



Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em

Computação Aplicada

Mestrado Acadêmico

Felipe Rocha Wagner

Análise Antropométrica Semiautomática em Imersão para
Pesquisa e Diagnóstico Clínico de Síndromes Dismórficas

São Leopoldo, 2017

Felipe Rocha Wagner

**Análise Antropométrica Semiautomática em Imersão para Pesquisa e
Diagnóstico Clínico de Síndromes Dismórficas**

Dissertação ou Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Gonzaga da Silveira Jr.

São Leopoldo

2017

W132a Wagner, Felipe Rocha.
Análise antropométrica semiautomática em imersão para
pesquisa e diagnóstico clínico de síndromes dismórficas / Felipe
Rocha Wagner. – 2017.
55 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos
Sinos, Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em
Computação Aplicada, 2017.
“Orientador: Dr. Luiz Gonzaga da Silveira Jr.”

1. Síndromes dismórficas. 2. Imersão. 3. Antropometria
facial. 4. Zika. 5. Modelos 3D. I. Título.

CDU 004

Felipe Rocha Wagner

Análise Antropométrica Semiautomática em Imersão para Pesquisa e Diagnóstico Clínico de Síndromes Dismórficas

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Aprovado em 20/02/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Lavinia Schuler Faccini – UFRGS

Prof. Dr. Cristiano Andre da Costa – UNISINOS

Prof. Dr. Luiz Gonzaga da Silveira Junior (Orientador)

Visto e permitida a impressão
São Leopoldo,

Prof. Dr. Sandro José Rigo
Coordenador PPG em Computação Aplicada

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro que permitiu a realização deste trabalho; a Sociedade Brasileira de Genética Médica, o Hospital de Clínicas de Porto Alegre e sua equipe de Genética que possibilitaram o estudo e a aquisição 3D dos pacientes com Zika Congenita em diferentes estados além de fornecerem apoio intelectual da área médica essencial para este trabalho; a Canfield Scientific pela disponibilização de um sistema de imagem 3D com o qual foram realizadas as aquisições dos modelos 3D; e, por fim, aos familiares e pacientes afetados por Zika Congenita que participaram deste estudo.

RESUMO

A compreensão da morfologia facial, seja pela visualização ou pela antropometria, é uma questão importante para o diagnóstico clínico e estudo de síndromes dismórficas. Quando não é possível ter acesso ao paciente, fotografias 2D podem ser utilizadas como um meio de visualização e análise antropométrica, ainda que limitada a um único ponto de vista por imagem e pela perda da dimensão de profundidade, o que não ocorre em imagens 3D. Este trabalho propõe um modelo de antropometria digital e análise imersiva de modelos 3D visando auxiliar a pesquisa e o diagnóstico clínico de síndromes dismórficas. Um total de 59 crianças afetadas por Zika Congênita foram analisadas. Foram coletados modelos 3D da cabeça e 13 medidas antropométricas craniofaciais de cada paciente. Para obtenção das medidas antropométricas foram utilizadas duas abordagens, o método manual tradicional com uso do paquímetro e o método computacional proposto neste trabalho. A diferença média das medidas do método proposto em relação com o método tradicional ficou abaixo de 1mm para a maioria das medidas consideradas, sendo a maior diferença média próxima de 3mm. Na comparação de ambos, o método proposto apresentou resultados compatíveis com o tradicional além de apresentar algumas vantagens em relação à antropometria manual.

Palavras-Chave: Síndromes Dismórficas, Imersão, Antropometria Facial, Zika, Modelos 3D.

ABSTRACT

The understanding of facial morphology, either by visualization or by anthropometry, is an important issue for the clinical diagnosis and the study of dysmorphic syndromes. When it is not possible to have access to the patient, 2D photographs can be used as a means of visualization and anthropometric analysis, although limited to a single point of view per image and the loss of the depth dimension, which does not occur in 3D images. This work proposes a model of digital anthropometry and immersive analysis of 3D models aiming to aid the research and clinical diagnosis of dysmorphic syndromes. A total of 59 children affected by Congenital Zika were analyzed. 3D models of the head and 13 craniofacial anthropometric measurements of each patient were collected using two approaches, the traditional manual method with the use of the caliper and the computational method proposed in this study. The average difference of the measurements of the proposed method in relation to the traditional method was below 1mm for most of the measures considered, with the largest average difference being close to 3mm. When comparing both, the proposed method presented results compatible with the traditional one also presenting some advantages over manual anthropometry.

Keywords: Dysmorphic Syndromes, Immersion, Facial Anthropometry, Zika, 3D Models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Antropometria Manual com o Paquímetro.....	18
Figura 2. Nuvem de Pontos (a), Malha Poligonal (b) e Voxels (c)	19
Figura 3. Etapas de Digitalização	19
Figura 4. Exemplo de aquisição utilizando LiDAR	20
Figura 5. Digitalização utilizando iluminação estruturada.....	20
Figura 6. Exemplo do pipeline do MVS (Imagens, Posicionamento, Reconstrução, Texturização).....	21
Figura 7. Resolução da Malha Poligonal – <i>Low Poly</i> vs. <i>High Poly</i>	22
Figura 8. <i>Landmarking</i> em imagem 3D (esquerda) e 2D (direita)	23
Figura 9. Usuário imerso no ambiente virtual	23
Figura 10. Jogo Imersivo; Jogador utilizando HTC Vive (direita); Visão do Jogador (esquerda)	24
Figura 11. (a) <i>Eigenfaces</i> de 15 síndromes e (b) face média.....	26
Figura 12. (a) Características Geométricas e (b) Características de Textura da Face 2D	27
Figura 13. Processo de Cálculo da Face Média.....	28
Figura 14. Comparação da Superfície das Faces Médias	29
Figura 15. Medidas antropométricas com Kinect.....	30
Figura 16. Fotografia estéreo da face (esquerda) e Câmera portátil VECTRA® H1 (direita). 32	
Figura 17. Protocolos da VECTRA® para aquisição de modelos 3D.....	33
Figura 18. <i>Pipeline</i> do método de transferência de <i>landmarks</i> do 2D para o 3D.....	34
Figura 19. <i>Landmarks</i> para medição do Perímetro Cefálico	35
Figura 20. <i>Landmarks</i> selecionadas e numeração correspondente.....	35
Figura 21. Medida do Perímetro Cefálico	36
Figura 22. Ferramenta de Cortes em Visualização Imersiva.....	37
Figura 23. Estruturas de armazenamento de informações de modelo	38
Figura 24. Trecho de código do cálculo do perímetro cefálico	39
Figura 25. Trecho de código do <i>shader</i> utilizado no modelo 3D	39
Figura 26. Gráficos Comparativos das Medidas Antropométricas Adquiridas.....	41
Figura 27. Diferença Média entre os Resultados dos Métodos	42
Figura 28. Diferenças Médias comparadas com Alavani e Kamat (2015).....	42
Figura 29. Diferença entre a DIE e a soma da DII com as Fissuras Palpebrais	43
Figura 30. Análise Imersiva com HTC VIVE e Ferramenta de Cortes.....	44
Figura 31. Ferramenta de Corte com Modelo 3D Genérico de um Cérebro	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela comparativa dos trabalhos relacionados	31
Tabela 2. Medidas Antropométricas e <i>Landmarks</i> Correspondentes	36

LISTA DE SIGLAS

3D	Tridimensional
2D	Bidimensional
AF	Altura do Filtro
ALI	Altura do Lábio Inferior
ALS	Altura do Lábio Superior
AN	Ângulo Nasolabial
API	<i>Application Programming Interface</i>
DC	Defeito Congênito
DI	Distância Inter Pupilar
DIE	Distância Intercantal Externa
DII	Distância Intercantal Interna
FPD	Fissura Palpebral Direita
FPE	Fissura Palpebral Esquerda
LB	Largura da Boca
LF	Largura do Filtro
LN	Largura Nasal
MVS	<i>Multi-View Stereo</i>
PC	Perímetro Cefálico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Motivação	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo Geral.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Organização do Volume	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Síndromes Dismórficas, Dismorfologia e Antropometria	18
2.2 Modelos 3D	19
2.2.1 Aquisição	19
2.2.2 Resolução.....	22
2.3 <i>Landmarking</i>	22
2.4 Imersão	23
3 TRABALHOS RELACIONADOS.....	26
4 ANTROPOMETRIA DIGITAL E ANÁLISE IMERSIVA	32
4.1 Aquisição de Imagens 3D.....	32
4.2 <i>Landmarking</i> 3D Assistivo	33
4.3 Medidas Antropométricas Digitais	35
4.4 Análise e Visualização Imersiva	37
4.5 Desenvolvimento do Protótipo	38
5 RESULTADOS.....	41
6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	45
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Atualmente os defeitos congênitos – quaisquer anormalidades que se apresentem a partir do nascimento – são a segunda maior causa de mortalidade infantil no Brasil (HOROVITZ et al., 2013). Síndromes dismórficas se caracterizam pela presença de dois ou mais defeitos morfológicos congênitos e independente de sua causa, muitas delas apresentam alguma alteração craniofacial (HAMMOND et al., 2004). O conjunto de alterações presentes em uma determinada síndrome formam características faciais únicas –denominadas também de “*gestalt*”¹ facial ou fenótipo – que são a primeira pista para o diagnóstico clínico (HAMMOND, 2007). Ainda que o “*gestalt*” facial de algumas destas síndromes faça parte do conhecimento popular, como o caso da Síndrome de Down, existem centenas de outras síndromes que não são identificadas pela população leiga, podendo, porém, ser identificadas por geneticistas treinados.

Quando a visualização do fenótipo por si só não basta para um diagnóstico clínico, medidas antropométricas podem auxiliar o especialista. Existem diversas medidas craniofaciais que podem fornecer informações morfológicas importantes tanto para o diagnóstico e acompanhamento da evolução de síndromes conhecidas como para o estudo e pesquisa de novas síndromes. (KOLAR; MUNRO; FARKAS, 1987; KOLAR; SALTER; WEINBERG, 2010)

A antropometria facial é o estudo dessas medidas bem como suas relações com aspectos genéticos e biológicos. Normalmente as medições são realizadas no paciente, porém, quando não é possível ter acesso a este – por exemplo, quando o especialista encontra-se em outra cidade, estado ou país – elas podem ser realizadas em fotografias 2D da face e do perfil do paciente. Nestes e em outros casos, fotografias são equivalentes a exames e muito valorizadas pelo corpo médico e pesquisadores da área. (NAYLER, 2003; MENEGHINI; BIONDI, 2012)

Desde 2015 o Brasil sofre um surto de microcefalia congênita em recém-nascidos causada pela infecção de Zika Vírus durante a gravidez (SCHULER-FACCINI et al., 2016a, 2016b). Ainda que a microcefalia não seja a única característica da Zika congênita, é um resultado predominante (SCHULER-FACCINI et al., 2016b). A microcefalia, independente de sua causa, pode ser detectada já no nascimento ao medir-se o Perímetro Cefálico do recém-nascido utilizando técnicas antropométricas padronizadas (VICTORA et al., 2016). Ainda que existam outras causas de microcefalia, especialistas defendem que bebês afetados pelo Zika vírus apresentaram características clínicas diferentes de outras doenças (FRANÇA et al., 2016).

Este trabalho foi realizado em parceria com o Hospital de Clínicas de Porto Alegre estando aprovado pelo Comitê de Ética do mesmo no parecer número 1.645.401.

1.1 Motivação

A análise antropométrica facial tradicional é realizada manualmente com a utilização de um paquímetro para realização de medidas lineares e fita métrica para medidas de perímetro ou arco. Alavani e Kamat (2015) destacam três grandes desvantagens da antropometria manual: (1) o treinamento necessário para habilitar um especialista que realize as medidas de maneira apropriada; (2) é uma tarefa que consome tempo e é, normalmente, tediosa; e (3) o sujeito sendo examinado precisa manter-se o mais parado possível e não mudar expressões faciais. Farkas e

¹ “*Gestalt*” do alemão “forma”. “*Gestalt*” facial é a face característica de uma determinada síndrome.

Deutsch (1996) relatam que pacientes abaixo dos 6 anos de idade costumam ficar inquietos durante a realização do exame de antropometria manual. No caso de bebês afetados pelo Zika vírus, manter-se parado pode ser ainda mais difícil uma vez que eles podem apresentar sintomas neurológicos como irritabilidade, tremores e convulsões (SCHULER-FACCINI et al., 2016b). A realização de medidas antropométricas nessas crianças tende a ser estressante tanto para ela e a mãe, quanto para o médico que as realiza.

Quando não é possível realizar as medidas diretamente no paciente, fotos 2D acabam sendo utilizadas para fins de análise antropométrica. Segundo Kung et al., (2013), uma figura pode valer mil palavras, mas um modelo 3D pode valer dez mil ou mais. Fotografias são projeções 2D de cenas e objetos 3D e, como tais, contém informações limitadas do objeto real, o que pode impactar na análise. Por exemplo, certas medidas quando realizadas em uma imagem 2D podem perder exatidão, em relação a medida real do objeto tridimensional, dependendo do ângulo de captura da imagem, já outras, como o Perímetro Cefálico, não são possíveis de serem realizadas. Farkas e Deutsch (1996) destacam que medidas antropométricas indiretas realizadas em fotografias de pacientes podem ser distorcidas devido à falta da informação de profundidade. Tais problemas não se aplicam a imagens 3D, uma vez que um modelo 3D contém toda a informação tridimensional do objeto real capturado e, assim, pode ser visualizado de diferentes ângulos, bem como ser analisado digitalmente para aquisição de medidas antropométricas relevantes.

A utilização de visualização imersiva é uma área relativamente nova e ainda há diversas pesquisas a serem exploradas em diferentes áreas. Djukic, Mandic e Filipovic (2013) defendem que educação, treinamento e diagnóstico médico podem ser aprimorados pelo uso de tecnologias como Realidade Virtual e Ambientes Imersivos. Visualização Imersiva foi usada recentemente para auxiliar no diagnóstico de câncer de mama (DOUGLAS et al., 2016) e de fraturas do escafoide (DRIJKONINGEN et al., 2016). Até onde se tem conhecimento, não existem trabalhos tratando de visualização imersiva para análise de dismorfologia e antropometria. A Visualização Imersiva por si só pode melhorar a percepção de modelos digitais 3D ao colocar o observador dentro do mundo virtual onde se encontra o modelo.

1.2 Objetivos

Esta seção apresenta os objetivos deste trabalho organizando-os em Objetivo Geral e Objetivos Específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo propor um método para realizar medidas antropométricas digitalmente a partir de modelos 3D craniofaciais, permitindo também a análise visual destes modelos em ambiente imersivo com intuito de auxiliar o diagnóstico clínico e as pesquisas relacionadas a síndromes dismórficas.

1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho a) adquirir modelos 3D realísticos de pacientes com Zika congênita; b) anotar digitalmente pontos de interesse – *landmarks* – no modelo 3D craniofacial; c) extrair medidas antropométricas com base no modelo 3D e nas *landmarks*; d) implementar um sistema de visualização imersiva; e) obter medidas antropométricas utilizando o método computacional proposto; e f) realizar uma comparação com os resultados obtidos pelo método tradicional.

1.3 Organização do Volume

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 é apresentado o referencial teórico, onde são expostos temas relevantes para o trabalho. Os tópicos abordados são: síndromes dismórfica, dismorfologia, antropometria, modelos 3D, *landmarking* e Imersão. O Capítulo 3 expõe os trabalhos relacionados. No Capítulo 4 é apresentado o modelo proposto para antropometria digital e análise imersiva. O Capítulo 5 exhibe os resultados obtidos e, por último, no Capítulo 6, são expostas as conclusões e os trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos básicos e o referencial teórico de tópicos relevantes a este trabalho. São revisados os conceitos de Síndromes Dismórficas, Dismorfologia, Antropometria, Modelos 3D, *Landmarking* e Imersão.

2.1 Síndromes Dismórficas, Dismorfologia e Antropometria

Qualquer anormalidade que se apresente a partir do nascimento é denominada defeito congênito (DC). Cerca de 3% dos nascidos vivos apresentam algum DC. Apesar de ser um problema mundial, o impacto na saúde é particularmente mais grave nos países em desenvolvimento, onde ocorrem 94% dos casos. Os defeitos congênitos podem ser de natureza genética (síndromes ou defeitos isolados) ou não-genética, como por exemplo as causadas por exposição materna a agentes ambientais ou uso de substâncias como medicamentos ou consumo de álcool. (CHRISTIANSON; HOWSON; MODELL, 2006)

Síndromes Dismórficas são aquelas que apresentam dois ou mais defeitos morfológicos congênitos, sendo a Dismorfologia a área da genética que se dedica ao estudo dos padrões de crescimento e defeitos morfológicos (HUNTER, 2002). O termo “dismórfico” deriva do grego “*dys*” (anormal) e “*morph*” (forma). Muitas síndromes dismórficas apresentam características faciais que se desviam do padrão e são pistas para um diagnóstico inicial (HAMMOND, 2007). A maioria da população leiga, por exemplo, consegue identificar com relativa facilidade indivíduos com síndrome de Down. No outro extremo, estão geneticistas treinados que conseguem identificar centenas de síndromes dismórficas.

A palavra antropometria tem origem no grego “*anthropos*” (humano) e “*metron*” (medida), ela é o ramo da antropologia que estuda as medidas e dimensões do corpo humano, bem como suas relações com aspectos genéticos e biológicos. Uma de suas aplicações é o estudo da forma da face, analisando dismorfias e as relacionando com certas condições genéticas. No método tradicional de aquisição de medidas antropométricas craniofaciais um especialista utiliza um paquímetro para obter medidas lineares (ALAVANI; KAMAT, 2015) – como pode ser visto na Figura 1 – e uma fita métrica para aquisição do perímetro cefálico.

Figura 1. Antropometria Manual com o Paquímetro

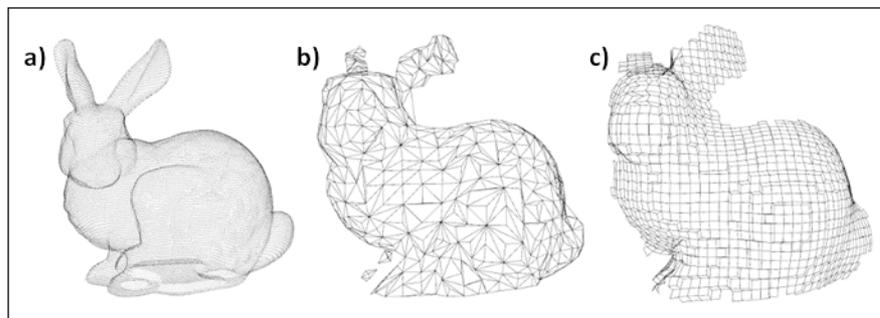


Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2 Modelos 3D

Modelos 3D são representações computadorizadas em três dimensões. Essas representações podem ser Nuvens de Pontos, Malhas Poligonais ou Voxels, como exemplificado na Figura 2. Uma nuvem de pontos é composta por um conjunto de pontos sem conexões entre si em um espaço 3D. Já uma malha poligonal trata-se de uma representação por pontos interligados por arestas que formam uma superfície para descrever o objeto. Voxels são pequenos cubos que podem ser comparados a pixels, porém em três dimensões. Um voxel possui superfície como a malha poligonal além de possuir volume. Objetos podem ser descritos por conjuntos de voxels que representam sua superfície e seu volume. Ao decorrer deste trabalho o termo modelo 3D será normalmente utilizado para se referir a malhas poligonais.

Figura 2. Nuvem de Pontos (a), Malha Poligonal (b) e Voxels (c)



Fonte: http://docs.pointclouds.org/trunk/group__surface.html (editado pelo autor)

2.2.1 Aquisição

Figura 3. Etapas de Digitalização



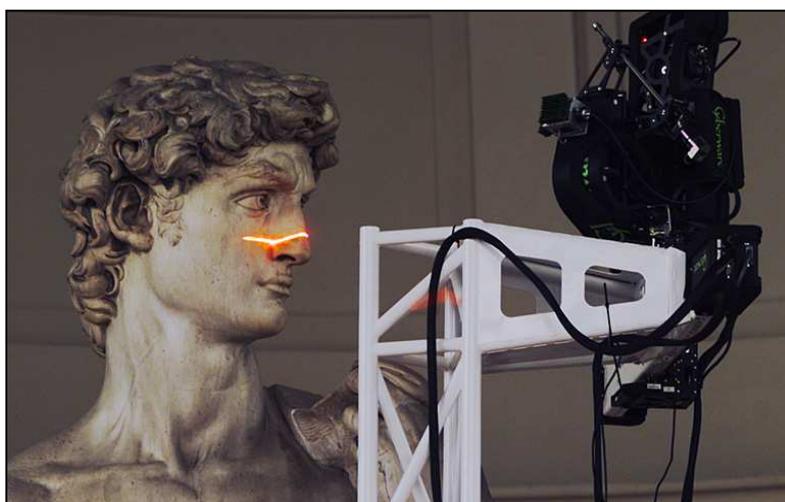
Fonte: <http://pixogram.co.uk/?cat=1&paged=2> (editado pelo autor)

A aquisição de modelos 3D trata-se da digitalização de um objeto tridimensional, que pode ser realizada de diferentes formas. A Figura 3 mostra, de forma geral, as etapas de digitalização para obter uma malha poligonal texturizada: (a) aquisição da nuvem de pontos, (b) reconstrução da malha poligonal, (c) aplicação de textura para maior detalhamento visual. Lasers e dispositivos fotogramétricos têm sido as duas ferramentas mais utilizadas para capturar

malhas (HAMMOND, 2007). Atualmente dispositivos de baixo custo como o Kinect® e o Structure® Sensor vêm ganhando destaque no mercado juntamente com o método de aquisição conhecido como Luz Estruturada.

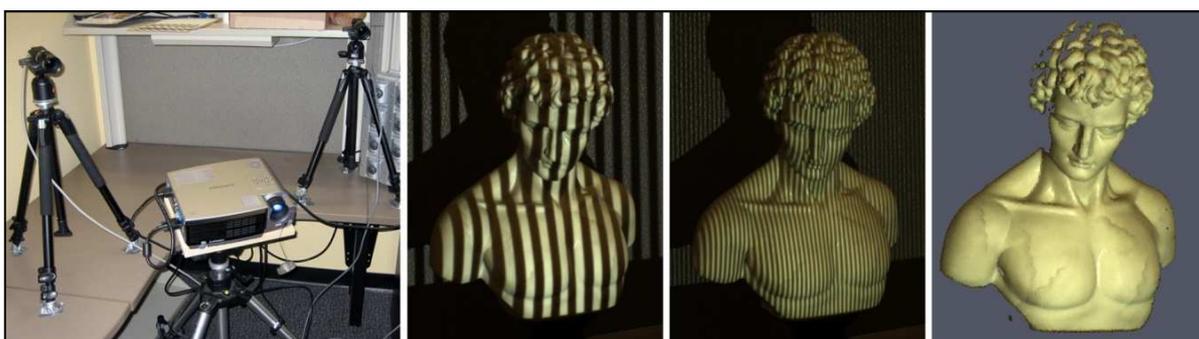
A digitalização pela utilização de laser, também conhecida por LiDAR (*Light Detection And Ranging*), utiliza feixes de luz (laser) que são disparados contra o objeto a ser digitalizado para obtenção de amostras da superfície na forma de pontos. Com a direção do pulso e o tempo de retorno ao emissor é possível calcular a posição do ponto no espaço. Com sucessivas leituras em uma varredura de superfície é possível obter uma nuvem de pontos capaz de representar o objeto a partir de um conjunto de amostras (LEVOY, 1999). A Figura 4 mostra uma aquisição de nuvem de pontos, utilizando LiDAR, que foi realizada no projeto desenvolvido por Levoy (1999).

Figura 4. Exemplo de aquisição utilizando LiDAR



Fonte: (LEVOY, 1999)

Figura 5. Digitalização utilizando iluminação estruturada



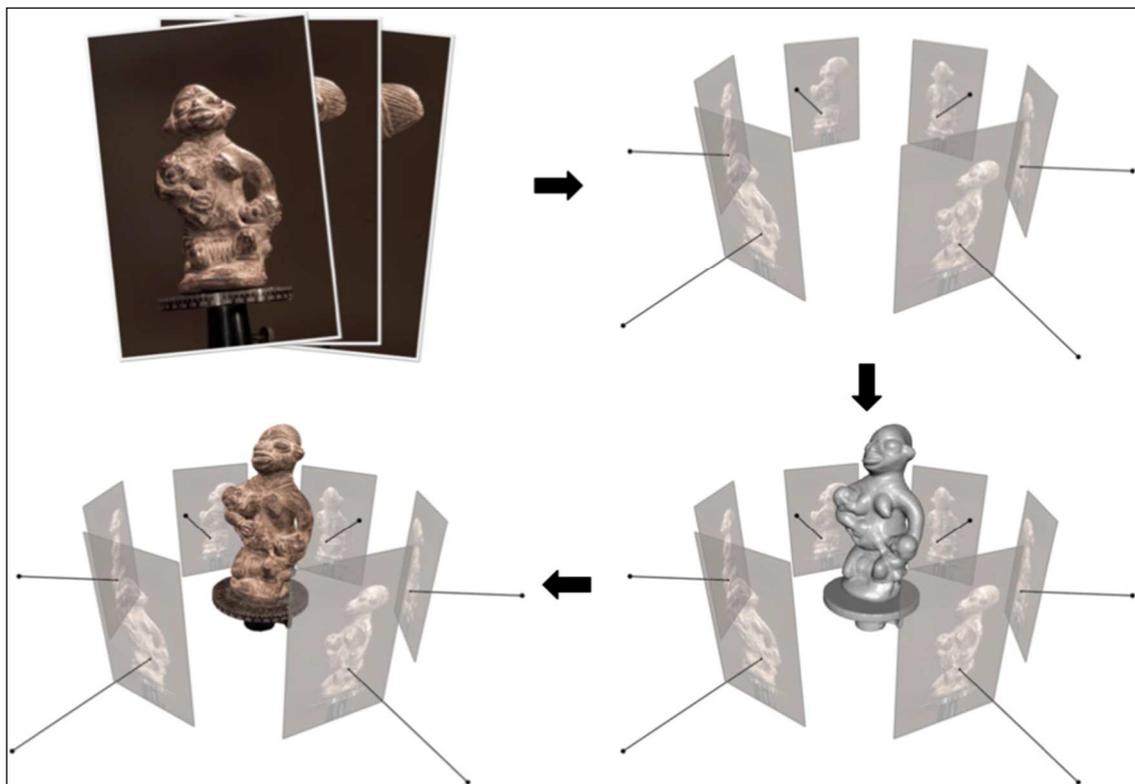
Fonte: <http://mesh.brown.edu/3dpgp-2009/homework/hw2/hw2.html>

Um método que tem se tornado popular para digitalização 3D é a iluminação estruturada devido ao seu baixo custo e confiabilidade. Para isso, é utilizado um par composto por projetor – para iluminar a superfície com um padrão conhecido – e câmera – para capturar as imagens do objeto com o padrão projetado. Com estas imagens é possível adquirir a correspondência de um ponto em diferentes projeções e, assim, calcular a coordenada deste no espaço tridimensional (LANMAN; CRISPELL; TAUBIN, 2009). A Figura 5 mostra um exemplo de digitalização utilizando luz estruturada. Recentemente dois métodos de reconstrução em tempo

real utilizando o Kinect® Sensor apresentaram resultados inovadores: o *Kinect Fusion* (NEWCOMBE et al., 2011) – para reconstrução de objetos estáticos em tempo real – e o *Dynamic Fusion* (NEWCOMBE; FOX; SEITZ, 2015) – que promete a reconstrução de objetos dinâmicos tratando o problema de movimento durante a aquisição.

Outras técnicas de Visão Computacional utilizam fotos 2D normais ou estéreo para obter um modelo 3D. A câmera é normalmente utilizada na mão ou em um tripé. Existem diferentes dispositivos e técnicas que podem ser utilizadas, uma delas é o *Multi-View Stereo* (MVS). Métodos MVS utilizam um conjunto de fotos de diferentes pontos de vista de um mesmo objeto ou cena para gerar um modelo digital em três dimensões. Utilizando propriedades da geometria original que são preservadas em representações bidimensionais (projeções da cena ou objeto tridimensional) é possível obter a nuvem de pontos que representa o objeto original e reconstruí-lo. A Figura 6 apresenta um exemplo do pipeline do *multi-view stereo* retirado do tutorial de MVS desenvolvido por Furukawa e Hernandez (2015). Tendo como entrada um conjunto de imagens, estas são posicionadas no ambiente virtual de acordo com o ponto de vista que cada uma representa, em seguida, o modelo é gerado a partir das fotos e, ao final, é aplicada a textura com base nas imagens de entrada. Urbanová, Hejna e Jurda (2015) realizaram um estudo sobre a aquisição 3D a partir de imagens para documentação forense. Foram testadas duas abordagens, uma utilizando fotografias obtidas por uma câmera digital comum e outra fazendo uso de fotografias estéreo obtidas por uma câmera estéreo parte do sistema portátil para aquisição de imagens 3D Vectra H1.

Figura 6. Exemplo do pipeline do MVS (Imagens, Posicionamento, Reconstrução, Texturização)

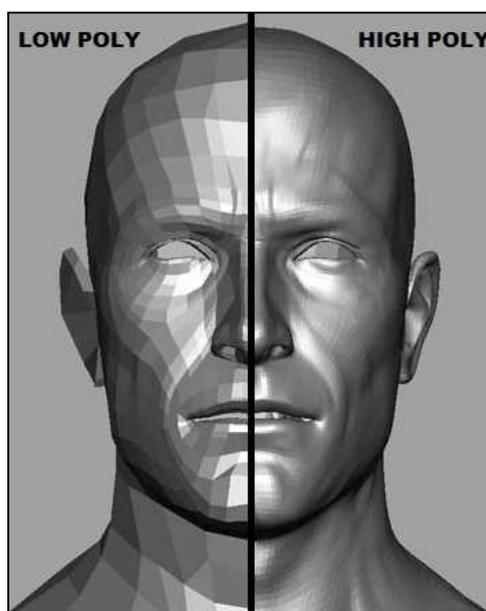


Fonte: (FURUKAWA; HERNÁNDEZ, 2015)

2.2.2 Resolução

A necessidade de se ter modelos 3D em diferentes resoluções vem da existência de diferentes dispositivos que possuem capacidades de processamento e armazenamento distintas. A resolução da malha poligonal é um conceito utilizado em jogos e modelagem 3D para a classificação de objetos de acordo com a quantidade de polígonos que o formam. Assim, modelos 3D podem ser classificados em: *Low Poly* (poucos polígonos), *Mid Poly* (quantidade média de polígonos) e *High Poly* (muitos polígonos). Quanto maior o número de polígonos de uma malha poligonal maior é a quantidade de detalhes que ela pode conter, no entanto, maior é o processamento necessário para manipulá-la, bem como o espaço para seu armazenamento. A Figura 7 mostra a diferença visual entre uma malha *Low Poly* e uma malha *High Poly*.

Figura 7. Resolução da Malha Poligonal – *Low Poly* vs. *High Poly*



Fonte: <http://forum.nystic.com/viewtopic.php?p=19654> (editado pelo autor)

O conceito de resolução de malha poligonal também pode ser aplicado a nuvens de pontos, com a diferença que na nuvem de pontos, em vez do número de polígonos, considera-se a densidade da nuvem, ou seja, a concentração de pontos em segmentos da nuvem.

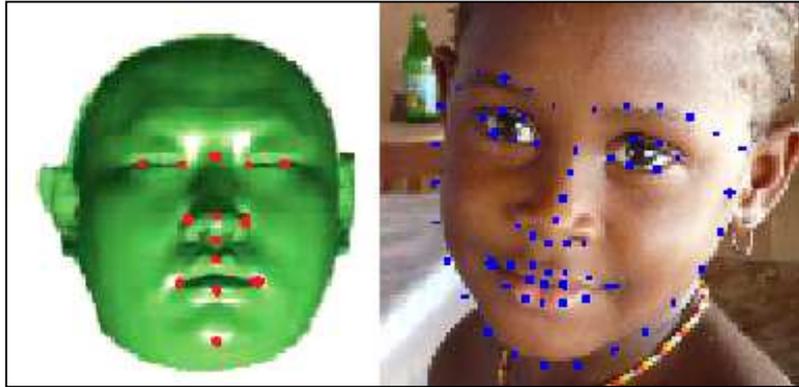
2.3 Landmarking

Landmarking é o processo de marcação de pontos de interesse (marcos ou *landmarks*) de um objeto ou sujeito em imagens 2D ou modelos 3D. A detecção de *landmarks* é uma etapa de pré-processamento comumente utilizada em métodos de reconhecimento facial e outras técnicas de análise (ABDALMAGEED et al., 2016). *Landmarking* é uma etapa importante na análise antropométrica de imagens 2D e 3D pois determina os pontos utilizados para realização das medidas antropométricas. Ainda que possa ser realizado manualmente, atualmente existem métodos computacionais de *landmarking* em imagens 2D e 3D. Zhou et al. (2013) aprimoraram o processo de detecção para imagens faciais 2D em diferentes posições sendo capaz de encontrar com precisão 68 *landmarks* faciais. Tulyakov e Sebe (2016) desenvolveram um método para

estimar uma face 3D a partir de uma única imagem facial 2D, diminuindo assim o erro geral de reconhecimento de *landmarks*. Liu, Zhang e Tang (2015) utilizam informações geométricas de modelos 3D de alta resolução para detectar *landmarks*.

As abordagens de *landmarking* em imagens 2D, atualmente, são capazes de detectar um número maior de pontos de interesse na face do que as abordagens em 3D, como pode ser observado na Figura 8. A abordagem 3D de Liu, Zhang e Tang (2015) encontra menos de 1/3 das *landmarks* obtidas pela abordagem 2D utilizada por Zhou et al. (2013).

Figura 8. Landmarking em imagem 3D (esquerda) e 2D (direita)



Fonte: (ZHOU et al., 2013; LIU; ZHANG; TANG, 2015)

2.4 Imersão

Imersão em Realidade Virtual trata-se da percepção do usuário de que está presente no ambiente virtual (PEÑA-RIOS et al., 2016). Um ambiente imersivo utiliza-se de técnicas de visualização e interação que fazem com que o usuário interaja da maneira mais natural possível com o mundo virtual. A imersão busca a inserção do usuário no ambiente virtual de modo que ele se sinta tão presente quanto no mundo real – como exemplificado pela Figura 9.

Figura 9. Usuário imerso no ambiente virtual



Fonte: <http://vr.bstarx.com/2016/07/15/?p=553>

Os sistemas de imersão de baixo custo apresentaram grandes avanços nos últimos anos com o surgimento de dispositivos de visualização e interação como o Oculus® VR², o HTC Vive®³ e o PlayStation® VR⁴. Estes dispositivos apresentam melhor qualidade visual, com maiores taxas de atualização de imagem e melhor rastreamento da movimentação da cabeça, que melhoram a visualização e a percepção do usuário no ambiente virtual. Bem como a utilização de controles físicos que podem ser rastreados e visualizados também no mundo virtual – como os do Oculus® VR e do HTC Vive® – aumentando a sensação de presença e de controle do usuário e, conseqüentemente, a sensação de imersão. A Figura 10 mostra um jogo imersivo onde o jogador inserido no mundo virtual – utilizando o HTC Vive® – usa os controles para controlar um arco e flecha.

Figura 10. Jogo Imersivo; Jogador utilizando HTC Vive (direita); Visão do Jogador (esquerda)



Fonte: <http://vr.bstarx.com/2016/07/15/?p=553>

² <https://www.oculus.com/>

³ <https://www.vive.com>

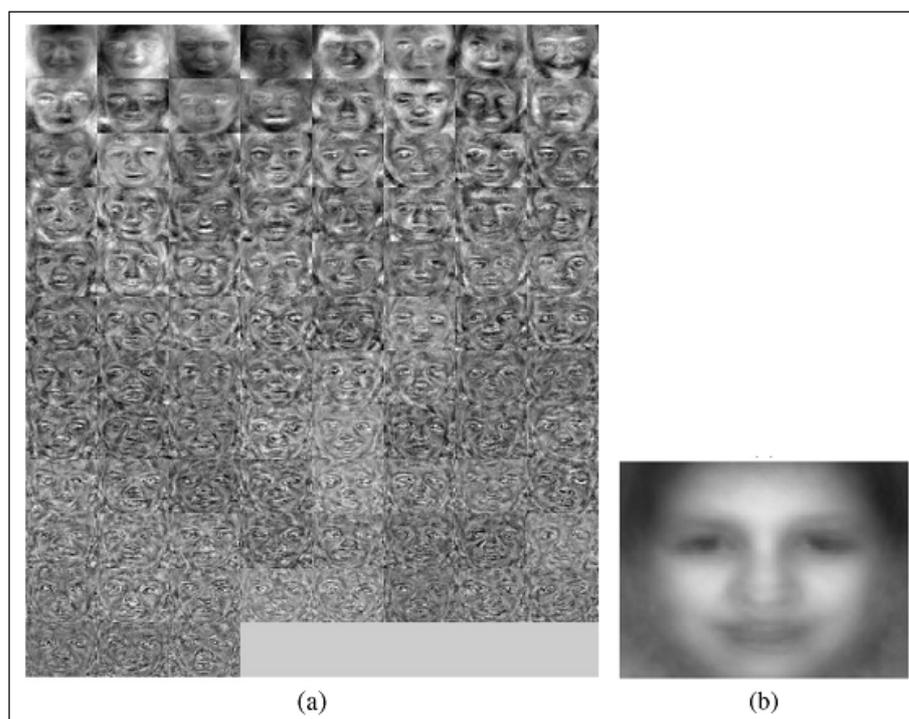
⁴ <https://www.playstation.com/en-us/explore/playstation-vr/>

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção são apresentados alguns trabalhos relacionados a diagnóstico assistivo de síndromes dismórficas e análise antropométrica digital. Tanto imagens 2D quanto imagens 3D tem sido utilizadas para análise facial de síndromes dismórficas visando identificar padrões e auxiliar no diagnóstico.

Kuru et al. (2014) desenvolveram um sistema de apoio à decisão de diagnóstico em genética médica aplicando algoritmos de aprendizado de máquina e técnicas de processamento de imagem digital. A abordagem busca características visuais em imagens de referência de distúrbios para identificar relações genótipo-fenótipo visuais. Para isso são utilizadas *eigenfaces*, um conjunto de autovetores resultantes da aplicação de análise de componentes principais em uma coleção de imagens faciais. As *eigenfaces* buscam descrever a morfologia das faces utilizadas para a análise, de modo que uma imagem possa ser descrita por uma combinação linear delas. A Figura 11 mostra a face média e as *eigenfaces* de 15 síndromes obtidas por meio da análise de 92 imagens faciais.

Figura 11. (a) *Eigenfaces* de 15 síndromes e (b) face média



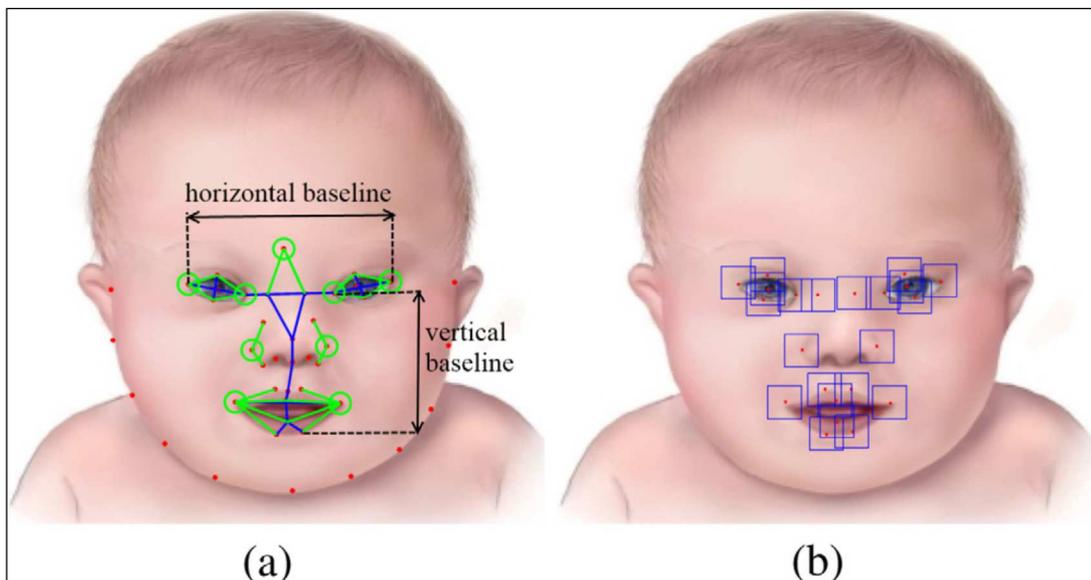
Fonte: (KURU et al., 2014)

A face média e as *eigenfaces* são utilizadas na classificação de imagens da face de pacientes para definir qual das síndromes analisadas melhor se aproxima das características faciais de cada um deles. Os autores buscaram determinar o diagnóstico mais provável incluindo 1, 2 e 3 possíveis diagnósticos obtendo taxas de acerto de 53%, 70% e 83%, respectivamente. (KURU et al., 2014) Este método não realiza a análise antropométrica dos pacientes, mas uma análise visual comparativa de forma computadorizada visando auxiliar na decisão de diagnóstico.

Zhao et al. (2014a, 2014b) propõe um método para detectar Síndrome de Down utilizando imagens faciais 2D por meio da análise combinada de características geométricas e de textura. Para extração destas características são utilizadas *landmarks* faciais que descrevem

a morfologia e estrutura da face, como mostra a Figura 12. O método utiliza algoritmos e técnicas de detecção de *landmarks* e aprendizado de máquina para encontrar e analisar características geométricas e de textura da face buscando classificar pacientes como síndrômicos e não síndrômicos quanto à Síndrome de Down. e, com uma base de dados de 130 imagens (50 Síndrome de Down e 80 Controles Saudáveis), apresentou uma precisão de 96%. Ainda que algumas das características geométricas consideradas sejam medidas antropométricas, como as fissuras palpebrais, o método apresentado não realiza uma análise antropométrica do paciente e considera apenas a Síndrome de Down para a análise e classificação, não sendo aplicável a outras síndromes.

Figura 12. (a) Características Geométricas e (b) Características de Textura da Face 2D



Fonte: (ZHAO et al., 2014a)

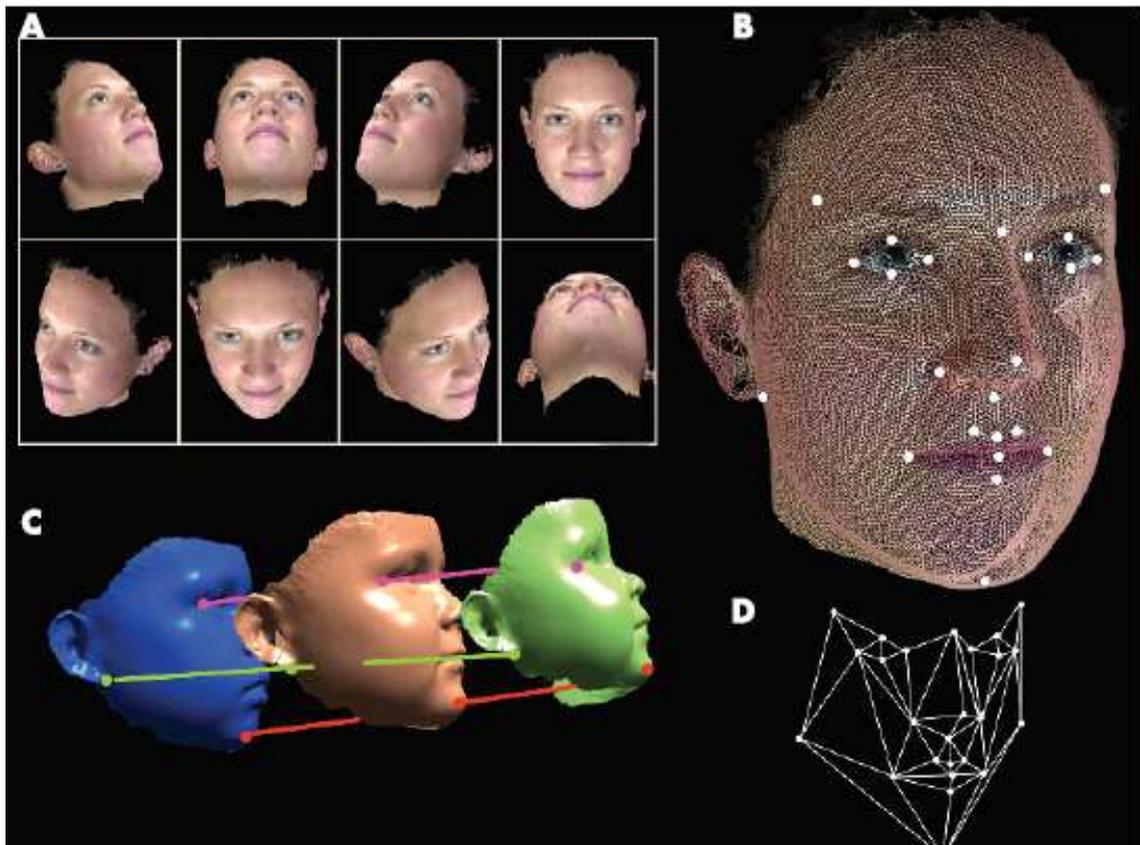
Ferry et al. (2014) apresentam um método para extrair informações fenotípicas de fotografias comuns, não clínicas. As imagens podem ser de um álbum de família e não necessitam de um ponto de vista específico para que o método funcione. São utilizados 36 *landmarks* faciais em conjunto com técnicas de aprendizado de máquina para extração de características relevantes do indivíduo. Os autores afirmam que características craniofaciais são altamente informativas para o diagnóstico de doenças genéticas. O algoritmo extrai informações morfológicas de fotos comuns não clínicas e utiliza aprendizado de máquina em conjunto com técnicas de visão computacional para obter uma nova representação em Espaço Clínico do Fenótipo Facial e analisar dismorfias craniofaciais. A base inicial do projeto incluí 2878 imagens, sendo 1515 imagens de controles – pacientes saudáveis – e 1363 imagens de oito síndromes conhecidas. As imagens foram adquiridas de fontes públicas na internet. Foi realizada anotação manual de *landmarks* para treinamento e teste de um algoritmo automatizado.

Após a localização das *landmarks* em Espaço Clínico, são extraídas informações geométricas e de textura do modelo para que então sejam analisadas as hipóteses de diagnóstico, comparando as características do indivíduo com as características de faces médias de síndromes. O método não é suficientemente preciso nem tem a intenção de determinar o diagnóstico, mas sim diminuir o campo de busca do diagnóstico de maneira não prejudicial ao sugerir hipótese de diagnóstico a partir da análise morfológica realizada em fotografias 2D. Ainda que tenha alcançado precisões de classificação superiores a 90% para as 8 síndromes

iniciais, para 20 síndromes onde a base de dados continha 5 ou menos exemplos, a taxa de precisão apresentada foi próxima a 20%. Logo, pode ser destacada a necessidade de um alto número de imagens para o correto funcionamento do método. (FERRY et al., 2014)

As principais publicações em relação à análise facial 3D foram realizadas por pesquisadores da Universidade de Oxford, como Peter Hammond e sua equipe. Hammond (2007) destaca o potencial que modelos faciais 3D apresentam para auxílio à dismorfologia, seja no treinamento de especialista, diagnóstico clínico ou estudo de correlações genótipo-fenótipo. Ele também destaca alguns pontos nos quais o 3D pode oferecer maiores benefícios que imagens 2D, por exemplo, imagens 3D não estão limitadas a um único ponto de vista como fotografias 2D. O grupo de pesquisadores de Oxford desenvolveu um método onde faces 3D são analisadas em comparação com faces médias de controles e de síndromes levando em conta gênero e idade dos indivíduos. Primeiramente é adquirido um modelo 3D facial contendo a face e ambos os perfis do paciente (Figura 13 A), em sequência *landmarks* faciais são anotadas no modelo (Figura 13 B) e utilizadas para aproximar e ajustar as posições do grupo de faces utilizadas para a geração da face média (Figura 13 C). As *landmarks* também são utilizadas na representação poliédrica da forma do rosto (Figura 13 D). Com as faces alinhadas, a face média é gerada de modo a representar a posição média de regiões das faces que compõe o grupo. (HAMMOND, 2007)

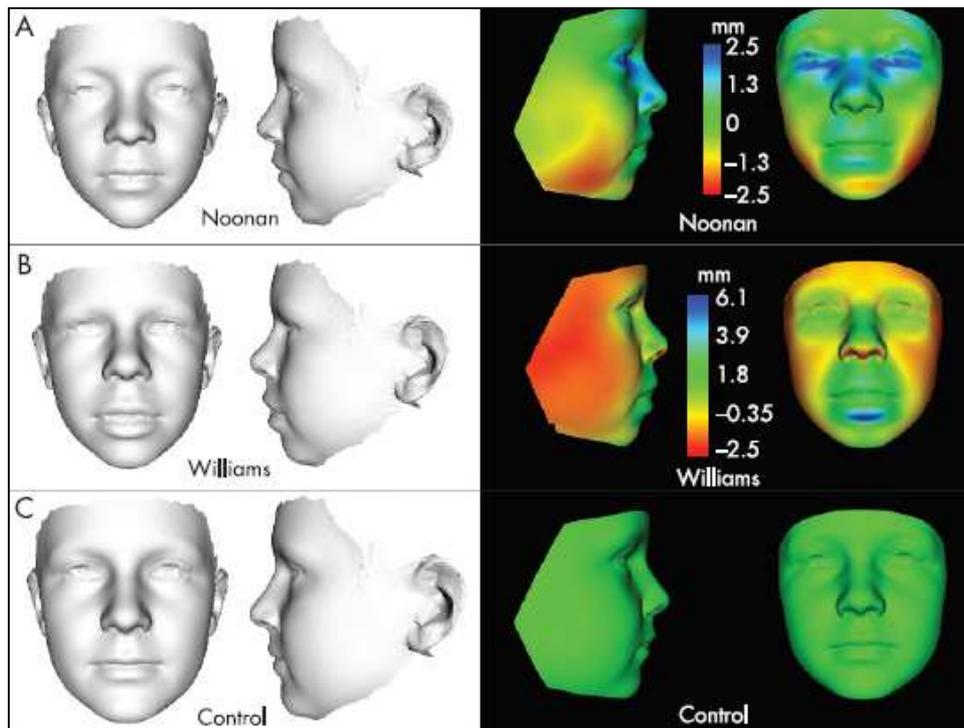
Figura 13. Processo de Cálculo da Face Média



Fonte:(HAMMOND, 2007)

As faces médias também podem ser analisadas comparativamente de modo a destacar as diferenças da superfície facial de uma síndrome em relação à face média de um grupo controle saudável. As duas primeiras colunas da Figura 14 mostram as faces médias das síndromes de Noonan (A) e Williams (B), e do grupo controle (C), enquanto a terceira e quarta colunas mostram as diferenças da superfície em relação ao grupo controle em um mapa de calor no modelo. Verde representa regiões onde a diferença é indistinguível, e vermelho e azul indicam regiões de maior diferença para dentro e para fora, respectivamente. (HAMMOND, 2007)

Figura 14. Comparação da Superfície das Faces Médias



Fonte:(HAMMOND, 2007)

O método desenvolvido rendeu outros trabalhos mais recentes na área, uma análise da relação fenótipo-genótipo em Síndrome de Wolf-Hirschhorn (HAMMOND et al., 2012), um estudo de caso de paciente afetado pela mesma síndrome que só foi diagnosticado na fase adulta (COPPOLA et al., 2013), um estudo da análise de fenótipo e de morfologia facial 3D em larga escala (HAMMOND; SUTTIE, 2012); e um estudo das dismorfias faciais em síndrome do álcool fetal (SUTTIE et al., 2013).

Os trabalhos realizados pelo grupo de Oxford apresentam grandes avanços e aplicabilidade em estudos de relações fenótipo-genótipo. Ainda assim, não apresentam análise antropométrica facial. Além disso, utilizam modelos faciais apenas, não sendo possível analisar deformações cranianas nas regiões posterior e superior como as notadas em pacientes afetados por Zika congênita.

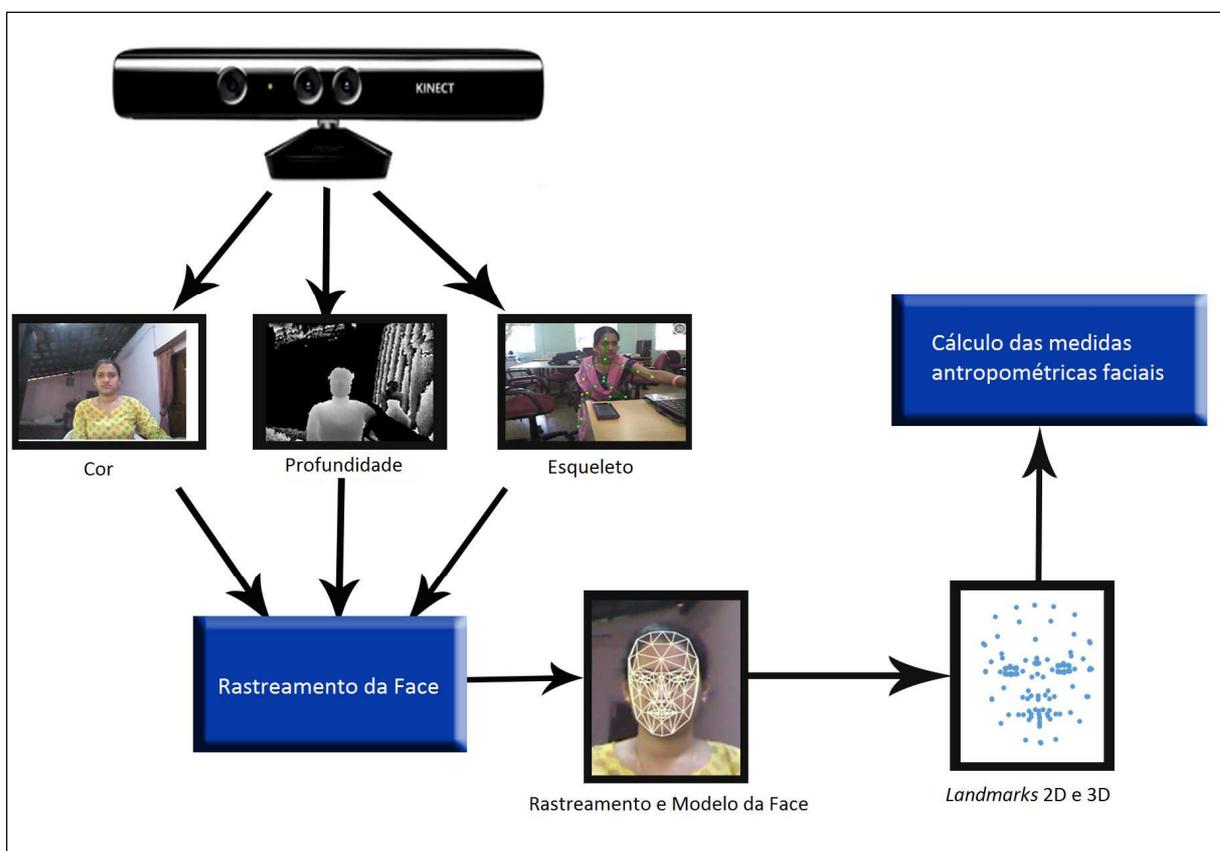
Dolci et al. (2015) utilizam *landmarks* em modelos faciais 3D para realizar uma análise morfométrica de indivíduos com Síndrome de Marfan. A captura dos pacientes é realizada com o sistema de imagem 3D VECTRA M3 da Canfield, que utiliza fotos estéreo para reconstruir

modelos 3D faciais. Antes da aquisição do modelo 3D, 50 *landmarks* faciais foram identificados por um examinador experiente e destacados com o uso de um delineador comercial comum. Com a face e as *landmarks* digitalizadas, são analisadas 28 medidas antropométricas faciais, 13 medidas lineares e 15 ângulos, utilizando 18 *landmarks* selecionadas dentre as 50 iniciais. Algumas das medidas antropométricas consideradas são: terços faciais; distância intercantal externa; largura da boca; largura mandibular; largura da face; ângulo nasolabial; ângulo interlabial.

O trabalho de Dolci et al. (2015) apresenta a mesma limitação dos trabalhos anteriores quanto a medida de perímetro e análise de deformações nas regiões posterior e superior do crânio, uma vez que trabalha apenas com modelos faciais – face e perfil – e não modelos craniofaciais completos.

Alavani e Kamat (2015) apresentaram o trabalho mais relacionado com esta proposta no âmbito da antropometria digital. Os autores propõem um método para realização de medidas antropométricas utilizando um Kinect e comparam os resultados com o método tradicional onde um especialista realiza as medidas com um paquímetro. O *pipeline* do método proposto pode ser visualizado na Figura 15. O Kinect captura informações de cor, profundidade e esqueleto que são utilizadas para encontrar a face do indivíduo e extrair o modelo. *Landmarks* 2D e 3D da face são adquiridas de forma automática para serem utilizadas na realização das medidas antropométricas.

Figura 15. Medidas antropométricas com Kinect



Fonte: (ALAVANI; KAMAT, 2015)

Ao total foram adquiridas 15 medidas canônicas lineares tanto com o método proposto quanto com o método tradicional. Algumas das medidas antropométricas consideradas na análise são: distância intercantal interna; largura nasal; distância inter pupilar; largura da boca; distância intercantal externa; fissuras palpebrais (direita e esquerda); altura labial superior e inferior; terços faciais; e altura total da face. Os resultados das medidas obtidas por ambos os métodos foram comparados entre si. Foi observada uma diferença média aproximada de 3,08mm para todas as medidas. A maior diferença média apresentada foi igual a 11,69mm para as medidas da largura da boca. Os autores afirmam que a diferença média observada é significativa e necessita de melhorias. Também sugerem que o uso de câmeras 3D comerciais de baixa resolução como o Kinect, pode não ser adequado para aplicações onde precisão é crucial. (ALAVANI; KAMAT, 2015)

O trabalho de Alavani e Kamat (2015) também utiliza apenas modelos faciais – face e perfil – e, assim, apresenta as mesmas limitações mencionadas nos trabalhos supracitados.

A Tabela 1 apresenta um resumo comparativo dos trabalhos relacionados. Nota-se que diversos trabalhos buscam o auxílio ao diagnóstico usando tanto imagens 2D como 3D. Trabalhos mais recentes buscaram a realização de análise antropométrica em imagens 3D para auxílio ao diagnóstico, porém nenhum dos trabalhos encontrados utiliza imersão para aprimorar a visualização dos modelos. Os trabalhos que utilizam imagens 3D limitam-se a imagens faciais, não realizando uma reconstrução completa do crânio, o que impede a realização de medidas importantes como o Perímetro Cefálico.

Tabela 1. Tabela comparativa dos trabalhos relacionados

	Auxílio ao Diagnóstico	Análise Antropométrica	Visualização	Imersão
(KURU et al., 2014)	Sim	Não	2D	Não
(ZHAO et al., 2014a)	Sim (Síndrome de Down)	Não	2D	Não
(FERRY et al., 2014)	Sim	Não	2D	Não
(HAMMOND, 2007)	Sim	Não	3D (Face)	Não
(DOLCI et al., 2015)	Sim (Síndrome de Marfan)	Sim (Linear e Ângulo)	3D (Face)	Não
(ALAVANI; KAMAT, 2015)	Sim	Sim (Linear e Ângulo)	3D (Face)	Não

4 ANTROPOMETRIA DIGITAL E ANÁLISE IMERSIVA

Este capítulo apresenta o método proposto e uma visão geral do protótipo. O capítulo está dividido do seguinte modo: Aquisição 3D – descreve o processo de aquisição e os dispositivos utilizados; *Landmarking* 3D Assistivo – descreve o processo utilizado para determinar os *landmarks* nos modelos 3Ds; Medidas Antropométricas Digitais – apresenta o conjunto de medidas realizadas nos modelos 3D a partir das *landmarks*; Análise e Visualização Imersiva – apresenta o sistema de visualização imersiva e introduz a ferramenta de cortes desenvolvida para análise em imersão.

4.1 Aquisição de Imagens 3D

A aquisição de modelos 3D para este trabalho foi realizada utilizando o Sistema de Imagem 3D Portátil VECTRA® H1 da Canfield exibido na Figura 16. O sistema é composto por uma câmera fotográfica digital, uma lente estéreo com flash embutido e um software utilizado para processar as fotografias estéreo e transformá-las em modelos 3D. Um par de lasers na base da lente é utilizado para demarcar a distância focal e auxiliar no posicionamento correto da câmera para as fotografias.

Figura 16. Fotografia estéreo da face (esquerda) e Câmera portátil VECTRA® H1 (direita)



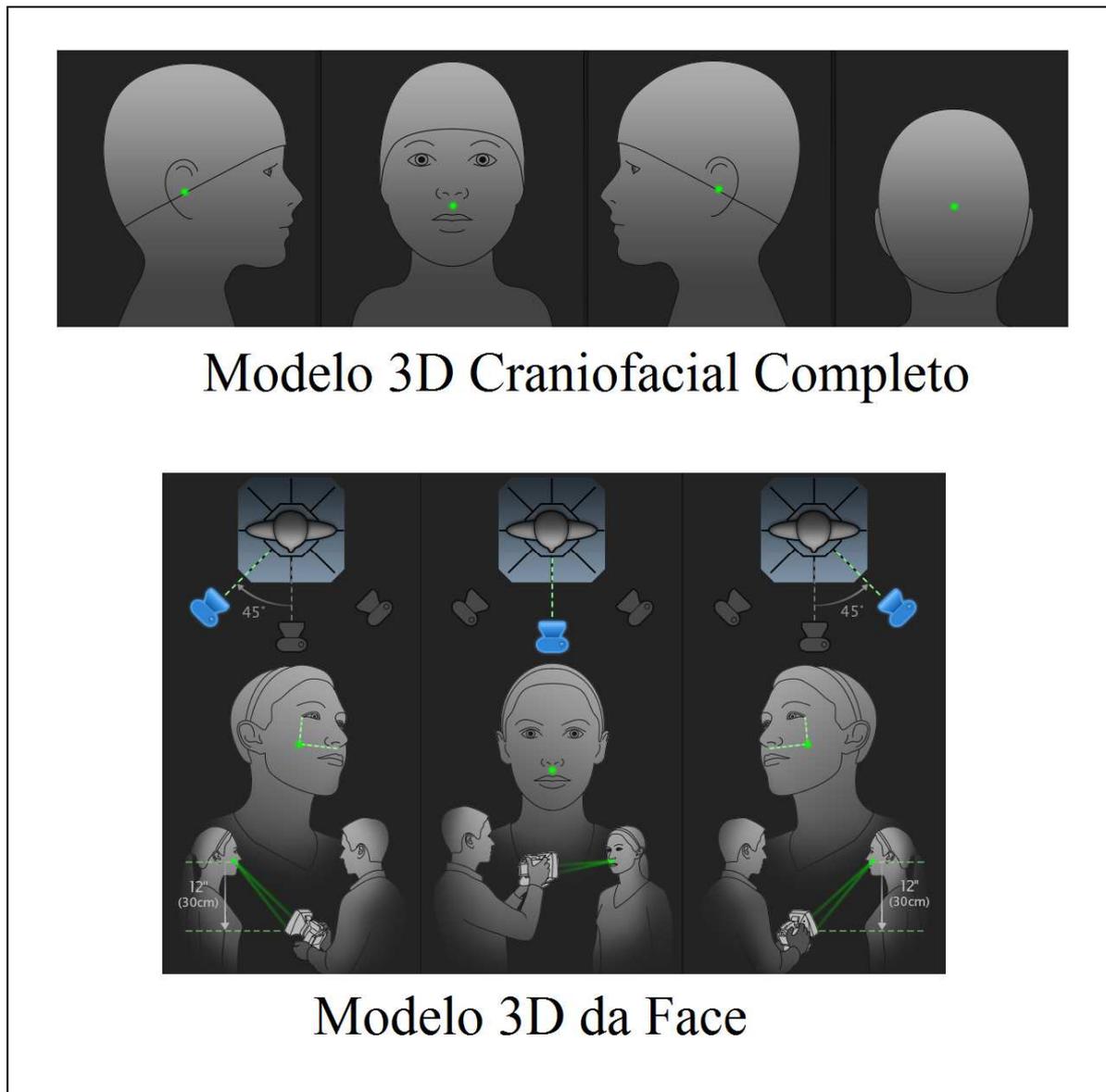
Fonte: <http://www.canfieldsci.com/imaging-systems/vectra-h1-3d-imaging-system>

A escolha do sistema se deu por este ser capaz de obter modelos 3D em escala milimétrica com pouco ruído, além da praticidade de aquisição de um sistema portátil visto que as aquisições de modelos tiveram de ser realizadas no nordeste onde há a maior concentração de casos de Zika congênita no país.

O sistema utiliza dois protocolos de aquisição de imagens 3D craniofaciais, um para aquisição de modelos da face e outro para aquisição de modelos completos da cabeça. O protocolo para aquisição de modelos 3D da face utiliza 3 fotos estéreo – face, perfil direito e perfil esquerdo – e o protocolo para aquisição de modelos completos da cabeça utiliza 4 fotos estéreo, sendo a quarta imagem referente à parte de trás da cabeça. Cada imagem estéreo é processada pelo software e transformada em uma malha 3D, que, posteriormente, são

costuradas ou fundidas para formarem um único modelo 3D da cabeça ou face do indivíduo. A Figura 17 exemplifica os protocolos de aquisição de imagens da VECTRA® H1 para modelos craniofaciais completos e para modelos da face, o ponto verde ilustra a posição na qual deve estar focado o par de lasers mencionado anteriormente.

Figura 17. Protocolos da VECTRA® para aquisição de modelos 3D



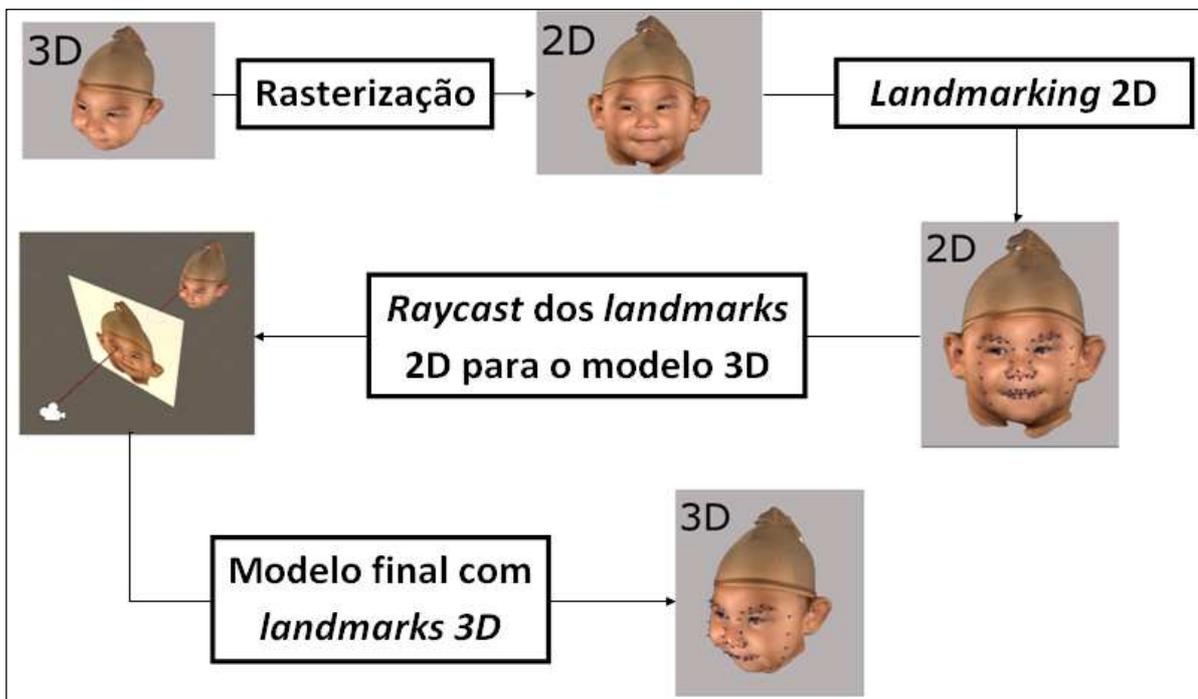
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Landmarking 3D Assistivo

Ainda que o processo de detecção de *landmarks* em 3D tenha mostrado avanços nos últimos anos (LIU; ZHANG; TANG, 2015; RAI et al., 2016a, 2016b), muitos dos trabalhos detectam apenas parte das *landmarks* detectadas em técnicas com imagens 2D. Além disso, a maior parte dos sistemas de detecção de *landmarks* disponíveis utiliza imagens 2D e não 3D.

Com isso em mente, optou-se por uma abordagem de *landmarking* em 2D e definiu-se um método de transferência das *landmarks* encontradas para o modelo 3D. O *pipeline* para o método proposto é exibido na Figura 18 e descrito abaixo.

Figura 18. *Pipeline* do método de transferência de *landmarks* do 2D para o 3D



Fonte: Elaborada pelo autor.

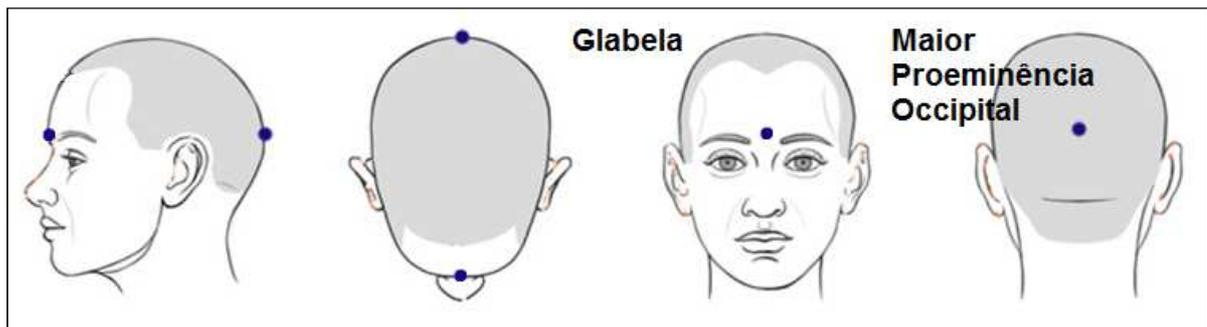
1. Rasterização do modelo 3D: rasterização é o processo de pegar uma cena 3D e transformá-la em uma imagem 2D. É o processo utilizado em jogos e outras aplicações 3D para que possamos visualizar elas na tela do computador que é um plano 2D. Para isso, primeiramente o modelo 3D é carregado e inserido dentro do ambiente virtual que compõe a cena 3D. Com o modelo na cena, a câmera é posicionada de modo que fique voltada para a face do modelo corretamente. Após isso, a imagem rasterizada é salva para que possa ser utilizada na próxima etapa deste processo.
2. *Landmarking* 2D: é utilizada uma API para detecção das *landmarks* faciais em 2D. A imagem rasterizada é transferida para a API que retorna uma lista contendo as coordenadas 2D de 68 *landmarks* faciais.
3. *Raycast* para o modelo 3D: com as coordenadas 2D das *landmarks*, cada uma delas pode ser transferida para o modelo 3D utilizando o processo de *raycast*, que se dá da seguinte forma: um raio é lançado da câmera em direção ao modelo 3D passando pela coordenada da *landmark* na tela 2D; o ponto de colisão do raio com o modelo 3D é a coordenada 3D da *landmark*.

As APIs de *landmarking* disponíveis são treinadas, por padrão, com fotografias de pessoas normais e não rasterizações de modelos 3D. Visto que o treinamento da aplicação de

landmarking não faz parte do escopo deste trabalho e que são utilizadas imagens de modelos 3D de indivíduos com dismorfias faciais, é preciso verificar se os pontos estão corretamente posicionados e ajustá-los manualmente quando necessário.

Após esse processo, duas novas *landmarks* são adicionadas manualmente ao modelo para permitir a medição automática do perímetro cefálico seguindo as diretrizes do Ministério da Saúde (2016). O primeiro ponto deve ser posicionado na glabella, a região entre as sobrancelhas. O segundo ponto deve ser posicionado na maior proeminência occipital. A Figura 19 mostra estes pontos de quatro pontos de vista diferentes.

Figura 19. Landmarks para medição do Perímetro Cefálico

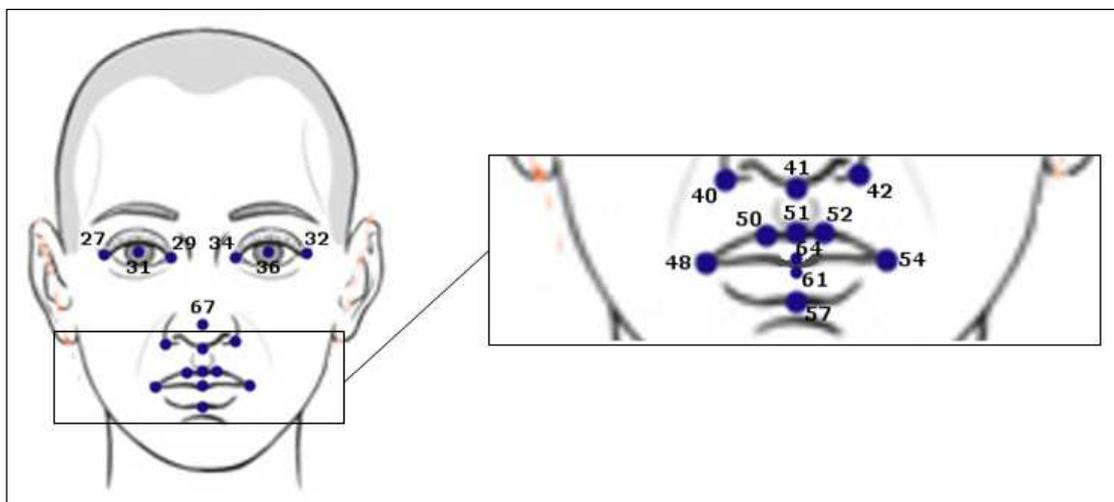


Fonte: <http://jeffsearle.blogspot.com.br> (editada pelo autor)

4.3 Medidas Antropométricas Digitais

Com todos os *landmarks* posicionados e ajustados no modelo 3D, é possível adquirir uma variedade de medidas antropométricas automaticamente. Em conjunto com especialistas da área médica, foram selecionadas 13 medidas antropométricas relevantes – 11 medidas lineares, 1 perímetro e 1 ângulo – para serem analisadas nos modelos 3D. Para isso foram selecionadas 20 *landmarks*, das quais 2 são as exibidas anteriormente na Figura 19 e as outras 18 foram selecionadas dentre as 68 encontradas no processo de *landmarking* facial – como visto na Figura 20.

Figura 20. Landmarks selecionadas e numeração correspondente



Fonte: <http://jeffsearle.blogspot.com.br> (editada pelo autor)

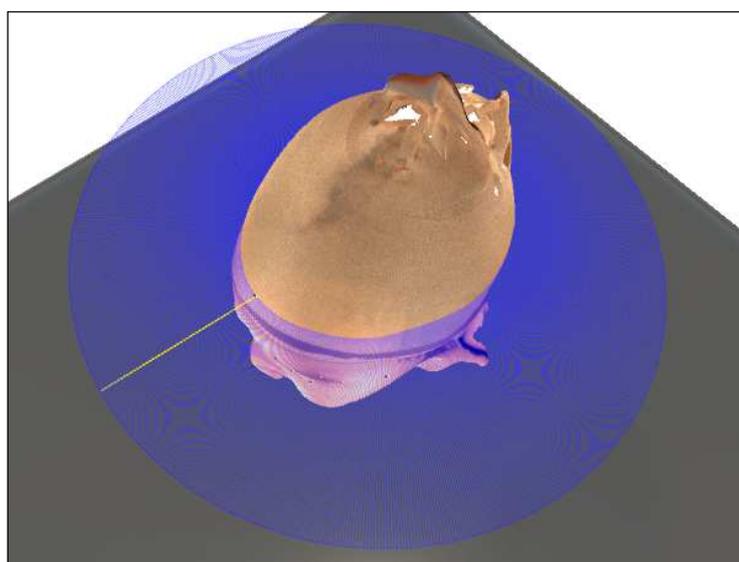
A Tabela 2 lista as 13 medidas antropométricas e as *landmarks* relacionadas a cada medida. As medidas lineares são facilmente adquiridas calculando-se a distância entre as duas *landmarks*. Ângulos podem ser calculados utilizando 3 *landmarks* onde uma é o ponto central e as outras duas formam vetores que partem do ponto central, o ângulo medido é o ângulo entre os vetores. A medida mais complexa é o Perímetro Cefálico. Para adquirir essa medida, uma circunferência é calculada para envolver a cabeça utilizando as duas *landmarks* exibidas na Figura 19. Para cada ponto na circunferência um raio é lançado em direção ao modelo – como pode ser visto na Figura 21 – e as distâncias entre as colisões são somadas para fornecer o Perímetro Cefálico.

Tabela 2. Medidas Antropométricas e Landmarks Correspondentes

Medidas Antropométricas	Landmarks
Perímetro Cefálico (PC)	<i>Landmarks</i> na Figura 19
Distância Inter Pupilar (DI)	31, 36
Fissura Palpebral Direita (FPD)	27, 29
Fissura Palpebral Esquerda (FPE)	34, 32
Largura Nasal (LN)	40, 42
Largura do Filtro (LF)	50, 52
Altura do Filtro (AF)	41, 51
Largura da Boca (LB)	48, 54
Altura do Lábio Superior (ALS)	51, 64
Altura do Lábio Inferior (ALI)	57, 61
Distância Intercantal Interna (DII)	29, 34
Distância Intercantal Externa (DIE)	27, 32
Ângulo Nasolabial (AN)	41, 51, 67

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21. Medida do Perímetro Cefálico



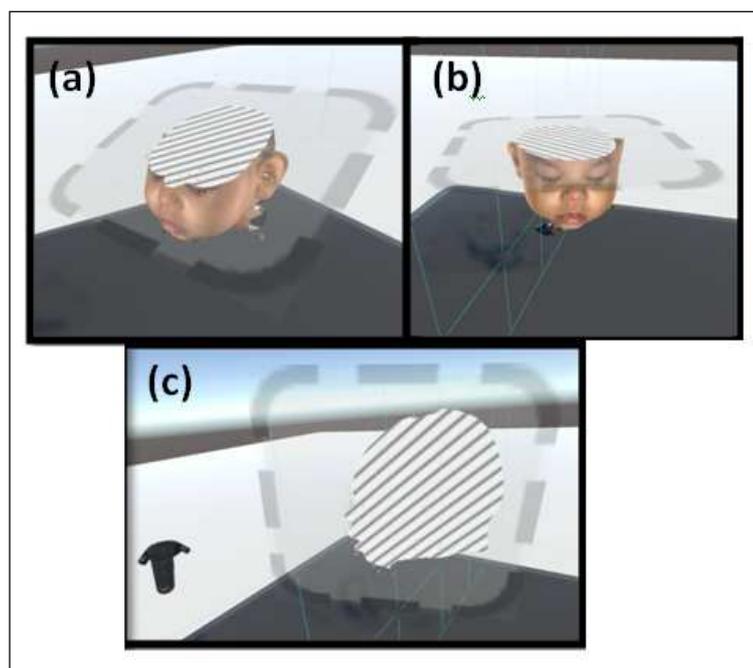
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 Análise e Visualização Imersiva

Ainda que o modelo 3D visualizado na tela do computador contenha a informação de profundidade, o observador visualiza uma projeção 2D do objeto 3D, assim perdendo a percepção visual de uma dimensão. O surgimento de Sistemas de Imersão – também conhecidos por HMD (*Head Mounted Display*) – como o HTC VIVE possibilitou novas abordagens e aplicações em Realidade Virtual com melhor qualidade de imersão e com uso de controles para iteração com o ambiente virtual. A visualização imersiva permite que o usuário perceba o modelo 3D como se o estivesse vendo no mundo real sem perder a percepção visual da profundidade que é comumente perdida em representações 2D.

O ambiente imersivo possibilita também que o usuário utilize ferramentas no mundo virtual de maneira semelhante com a qual as utilizaria no mundo real. Um exemplo disso é a ferramenta de cortes em modelos 3D desenvolvida neste trabalho em conjunto com a visualização imersiva. Utilizando um plano que pode ser facilmente manipulado no ambiente virtual com o uso dos controles, o usuário pode realizar diferentes cortes no modelo 3D para diversas finalidades. A Figura 22 mostra alguns exemplos de cortes que podem ser realizados utilizando a ferramenta. Posicionando o plano de corte verticalmente, cortando a linha central da face, é possível extrair o perfil do paciente como observado na Figura 22 (c). A Figura 22 (a) e (b) mostram diferentes cortes que podem ser realizados para visualização de informações internas do modelo 3D como ossos e tecido cerebral quando estas estiverem disponíveis junto ao modelo também em 3D. Como as informações internas dos pacientes digitalizados não estão disponíveis ainda, estas não podem ser visualizadas na imagem.

Figura 22. Ferramenta de Cortes em Visualização Imersiva



Fonte: Elaborada pelo autor.

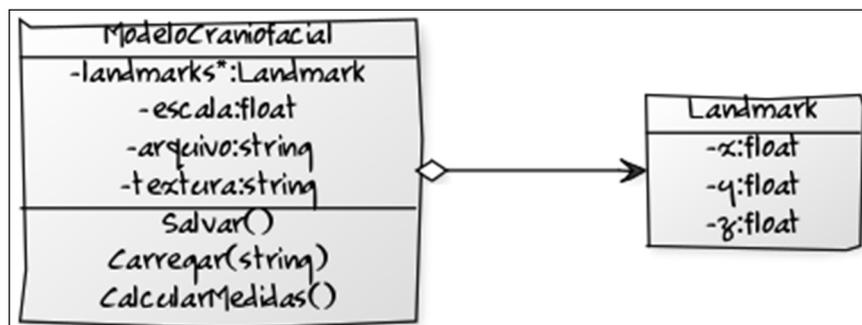
4.5 Desenvolvimento do Protótipo

O protótipo foi desenvolvido utilizando linguagem de programação C# com Unity3D⁵. Primeiramente o modelo é carregado para o processo de *landmarking* para que então seja salvo junto com as informações das *landmarks* encontradas. Na sequência, o modelo é carregado no protótipo de visualização imersiva e as medidas antropométricas são calculadas. No ambiente imersivo também é permitido ao usuário realizar cortes no modelo 3D para auxiliar na análise visual.

4.5.1 Salvar e Carregar Modelos e Landmarks

A biblioteca Assimp⁶ foi utilizada para ler e carregar os modelos 3D no ambiente virtual para *landmarking*, análise e visualização. A Figura 23 apresenta as estruturas de armazenamento de informações do modelo. A classe ModeloCraniofacial guarda a escala do modelo (mm, cm, m), os caminhos do arquivo do objeto 3D e da(s) textura(s) e a lista de *landmarks*. Ele possui funções para salvar essas informações – inclusive a lista de *landmarks* – em um arquivo json e para carregar o modelo e as *landmarks* a partir desse mesmo arquivo json, além da função utilizada para calcular as medidas antropométricas. A estrutura que descreve uma *landmark* possui uma coordenada 3D que representa a posição dela no ambiente virtual em relação ao modelo 3D.

Figura 23. Estruturas de armazenamento de informações de modelo



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.5.2 Medidas Antropométricas

As medidas antropométricas foram calculadas utilizando as posições das *landmarks* e, no caso do perímetro cefálico, também a superfície do modelo 3D craniofacial do paciente. As medidas lineares são calculadas pela distância entre duas *landmarks*. Já os ângulos necessitam

⁵ <https://unity3d.com>

⁶ <http://www.assimp.org>

de três *landmarks* para serem obtidos, um ponto central e dois outros pontos que formam dois vetores junto com o ponto central, para que seja possível calcular o ângulo entre os vetores.

Para o cálculo do perímetro cefálico é traçada uma circunferência passando pela glabella e pela região mais proeminente occipital e são lançados raios em direção ao centro da circunferência para que colida com a superfície do modelo craniofacial. A Figura 24 mostra um trecho do código utilizado para calcular o perímetro cefálico.

Figura 24. Trecho de código do cálculo do perímetro cefálico

```
float distance = 0;
Vector3 cursor = RotateAround(startPoint, up, 0);
Ray ray = new Ray(cursor, center - cursor);
RaycastHit hit1;
if (!Physics.Raycast(ray, out hit1, radius * 1.5f, LayerMask.GetMask("Object")))
{
    Debug.LogError("No HIT");
    return;
}
float stepAngle = 360.0f / precision;
for (int i = 1; i <= precision; i++)
{
    cursor = RotateAround(startPoint, up, i * stepAngle);
    ray = new Ray(cursor, center - cursor);
    RaycastHit hit2;

    if (Physics.Raycast(ray, out hit2, radius * 1.5f, LayerMask.GetMask("Object")))
    {
        distance += Vector3.Distance(hit1.point, hit2.point);
        hit1 = hit2;
    }
}
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.5.3 Ferramenta de Cortes em Modelos 3D

Para realização dos cortes no modelo 3D foram utilizados *shaders* no modelo e no plano de corte permitindo a oclusão parcial da superfície do modelo em relação ao plano. A Figura 25 mostra o trecho de código responsável pela oclusão de superfícies em relação ao plano de corte. O produto escalar é utilizado para determinar se um ponto é visível ou não e a superfície é descartada ou renderizada de acordo com o resultado.

Figura 25. Trecho de código do *shader* utilizado no modelo 3D

```
bool checkVisibility(fixed3 worldPos)
{
    float dotProd1 = dot(worldPos - _PlanePosition, _PlaneNormal);
    return dotProd1 > 0;
}

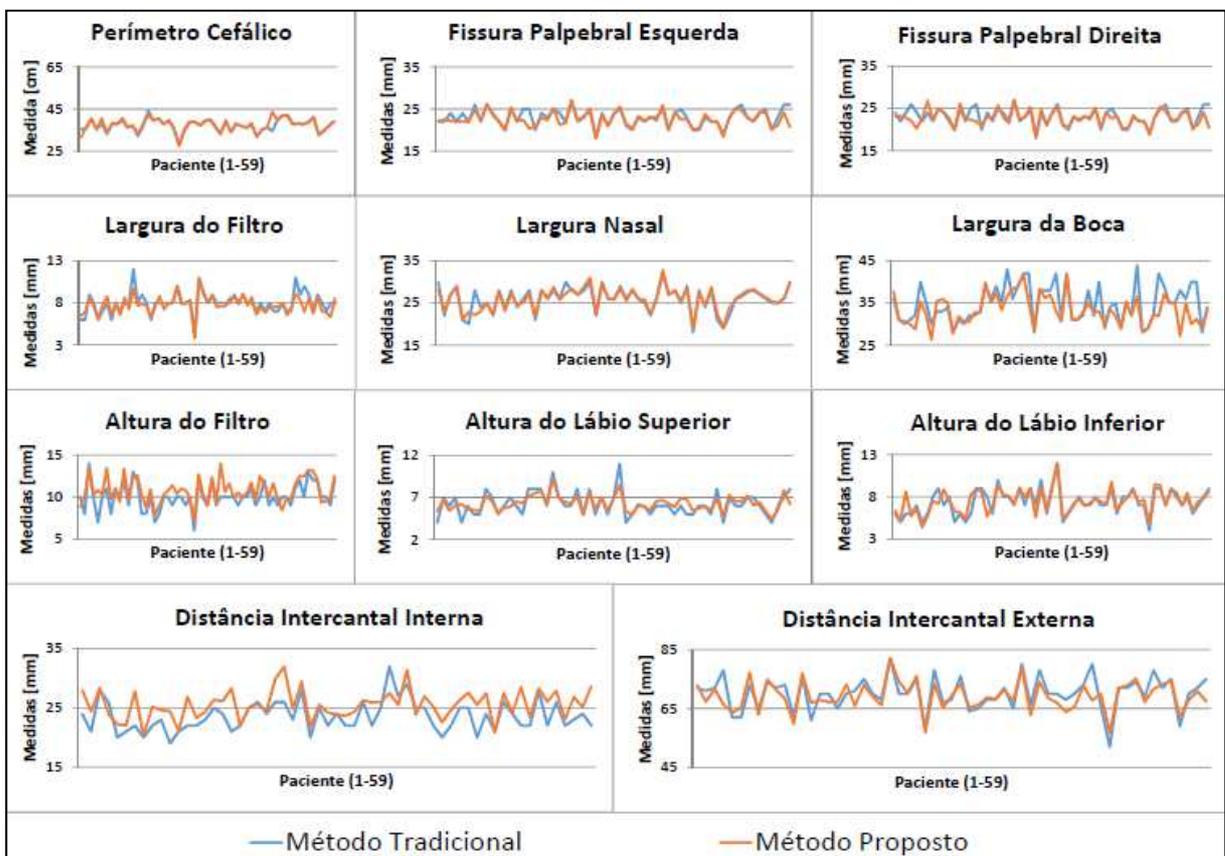
void surf(Input IN, inout SurfaceOutput o) {
    if (checkVisibility(IN.worldPos))discard;
    fixed4 c = tex2D(_MainTex, IN.uv_MainTex);
    o.Albedo = c.rgb;
    o.Alpha = c.a;
}
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 RESULTADOS

Foram adquiridos 59 modelos 3D craniofaciais de crianças com Zika Congênita. As 13 medidas antropométricas selecionadas foram adquiridas utilizando o método manual tradicional e o método computacional proposto, com exceção do Ângulo Nasolabial que não pode ser adquirido pelo método tradicional por falta de ferramenta apropriada no momento em que foram realizadas as medidas. A Distância Inter Pupilar não pode ser adquirida pelo método tradicional em mais da metade dos pacientes, ou por a criança estar com os olhos fechados ou devido a ela estar muito inquieta – situação na qual adquirir a medida representaria risco de dano à criança devido à proximidade do paquímetro dos olhos. Os gráficos da Figura 26 mostram as medidas individuais de cada paciente analisado em ambos os métodos.

Figura 26. Gráficos Comparativos das Medidas Antropométricas Adquiridas



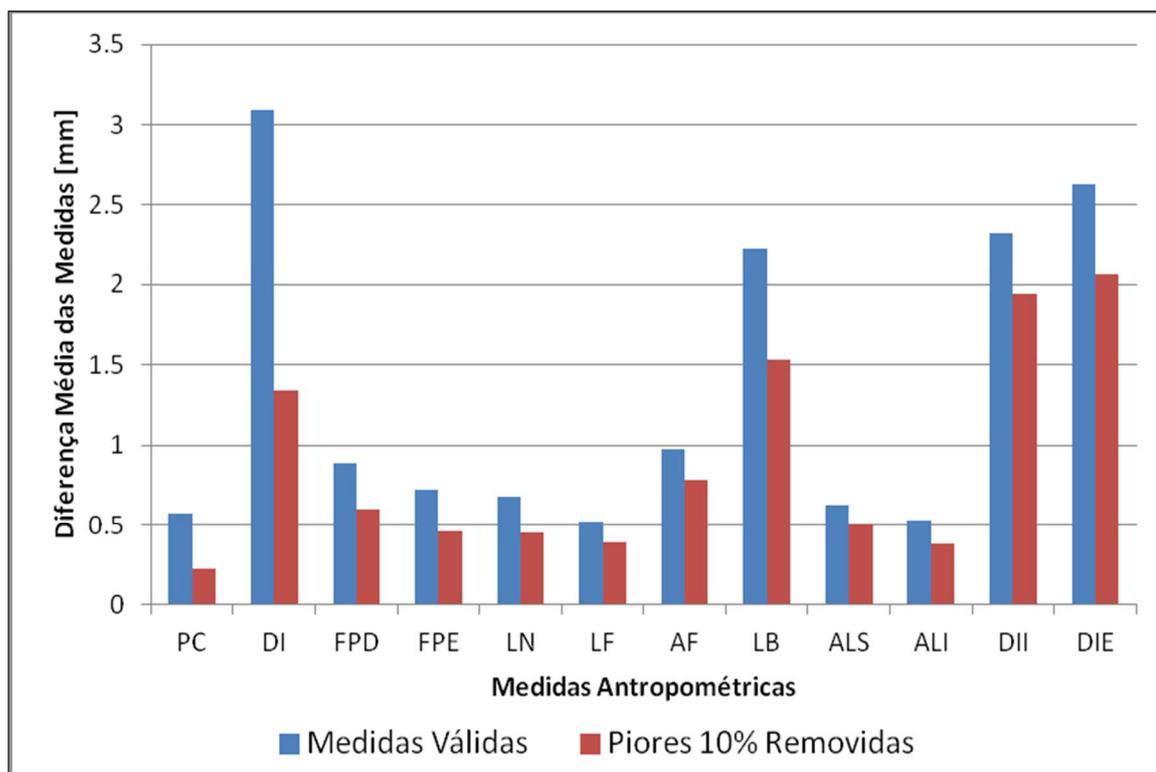
Fonte: Elaborada pelo autor.

Utilizando o método computacional proposto foi possível adquirir o Ângulo Nasolabial de todos os pacientes, infelizmente não existem medidas do método tradicional para comparação e validação dos resultados obtidos. Para a medida da Distância Inter Pupilar, o método proposto soluciona o problema do paciente inquieto visto que o modelo 3D do paciente sempre será estático não apresentando movimentações ou alterações de expressões faciais. O problema dos olhos fechados continua caso a criança esteja de olhos fechados durante a aquisição do modelo 3D. Nos modelos que apresentaram olhos fechados a posição das pupilas foi estimada de modo a permitir a realização da medida.

A Figura 27 mostra a diferença média das medidas realizadas com ambos os métodos. A maior parte das medidas antropométricas obtidas utilizando o método proposto apresenta um

erro menor do que 1,0mm comparado ao método tradicional. Se os 10% piores resultados forem descartados, sendo estes os resultados com maior diferença, a maior diferença média fica próxima de 2,0mm. A Largura da Boca foi uma das medidas a apresentar uma diferença média mais elevada mesmo desconsiderando os 10% piores resultados. Acredita-se que isto se deva ao fato de que as crianças frequentemente mudam expressões faciais e se movimentam durante a aquisição de medidas antropométricas utilizando o método tradicional, o que pode afetar os resultados. A diferença apresentada pelas Distâncias Intercantais pode ser atribuída à dificuldade de posicionar o paquímetro exatamente nos mesmos pontos utilizados para medir as Fissuras Palpebrais durante a aquisição manual.

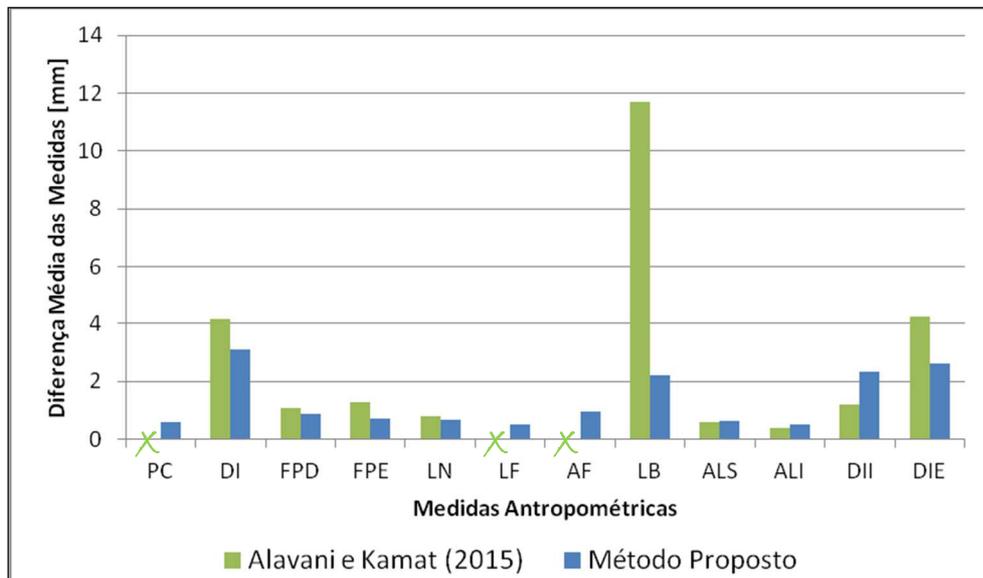
Figura 27. Diferença Média entre os Resultados dos Métodos



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 28 mostra um gráfico comparativo com as diferenças médias das medidas antropométricas apresentadas pelo método de Alavani e Kamat (2015) e pelo método proposto neste trabalho. O método proposto apresentou diferenças médias menores em relação ao método comparado na maior parte das medidas. A diferença apresentada pela largura labial foi a mais marcante, enquanto o método de Alavani e Kamat (2015) apresenta uma diferença de quase 12mm, o método proposto apresenta uma diferença de pouco mais de 2mm. O método proposto também apresentou menores diferenças na distância inter pupilar, nas fissuras palpebrais, na largura nasal e na distância intercantal externa, além de apresentar melhor equilíbrio entre as diferenças das distâncias intercantais.

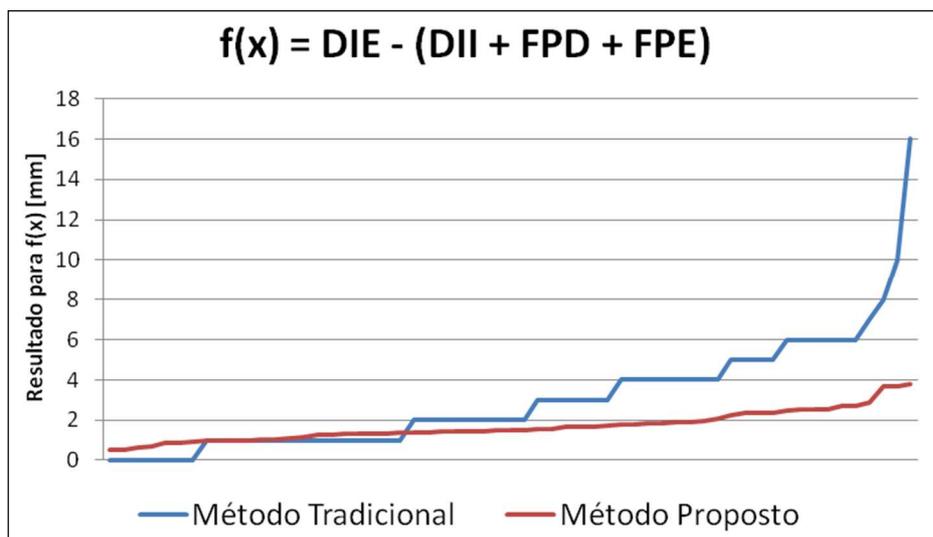
Figura 28. Diferenças Médias comparadas com Alavani e Kamat (2015)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Há uma correlação entre as medidas das Distâncias Intercantais e das Fissuras Palpebrais. A Distância Intercantal Externa deve ser igual ou muito próxima à soma das medidas das Fissuras Palpebrais (Direita e Esquerda) com a medida da Distância Intercantal Interna. Para validar a precisão das medidas realizadas, é possível realizar um teste simples subtraindo da Distância Intercantal Externa a Distância Intercantal Interna, a Fissura Palpebral Direita e a Fissura Palpebral Esquerda, obtendo a diferença entre elas. Esse teste foi realizado para ambos os métodos e o método proposto apresentou resultados melhores que o método tradicional. A Figura 29 apresenta um gráfico com a diferença absoluta resultante da função $f(x)$. Medidas realizadas com o método tradicional apresentaram uma diferença mínima de 0,0mm, uma diferença máxima de 16,0mm e uma diferença média de 3,05mm. Já as medidas realizadas com o método proposto apresentaram uma diferença mínima de 0,5mm, uma diferença máxima de 3,82mm e uma diferença média de 1,67mm.

Figura 29. Diferença entre a DIE e a soma da DII com as Fissuras Palpebrais



Fonte: Elaborada pelo autor.

O uso de modelos 3D com visualização imersiva proporciona melhor visualização para especialistas em comparação com as fotografias 2D que são normalmente utilizadas para documentação e análise. Sistemas Imersivos também proporcionam melhor interação com o ambiente virtual e, por consequência, com o modelo 3D, permitindo que o usuário interaja de modo mais intuitivo utilizando comandos simples dos controles. A ferramenta de corte, por exemplo, pode ser utilizada com um comando apenas para segurar o plano de corte e o posicionamento se dá de maneira natural pelo rastreamento do controle que replica a movimentação realizada no mundo real para o mundo virtual. Na Figura 30 pode ser observado um usuário utilizando o HTC VIVE (direita) e o controle sendo utilizado para posicionar o plano de corte no ambiente imersivo (esquerda).

Figura 30. Análise Imersiva com HTC VIVE e Ferramenta de Cortes



Fonte: Elaborada pelo autor.

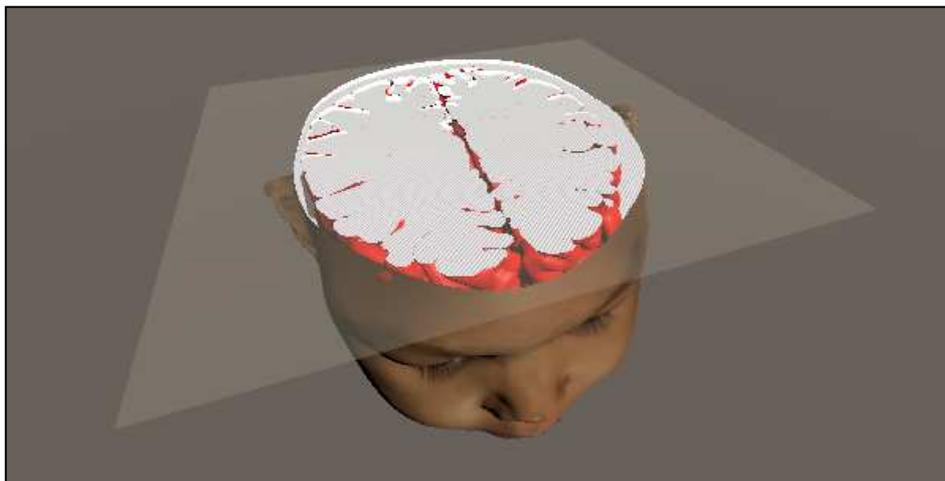
6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Foi apresentado um método menos invasivo para aquisição de medidas antropométricas em 3D. O método proposto resolve alguns dos problemas enfrentados pela antropometria manual, como o problema de movimento e mudança de expressões faciais durante a aquisição, apresentando resultados próximos ou melhores em comparação com o método tradicional – conforme apontado pela comparação das medidas. Outra vantagem da análise antropométrica digital é a diminuição do estresse causado na criança e no especialista que realiza as medidas pelo método tradicional. A análise de modelos 3D permite a realização de medidas como o Perímetro Cefálico, que não são possíveis em imagens 2D, além de possibilitar a análise por múltiplos pontos de vista.

A detecção de *landmarks* em 2D seguida da transferência dos pontos para o 3D possibilitou a marcação de um maior número de pontos no modelo 3D do que técnicas puramente 3D, ainda que necessite de ajustes manuais em alguns casos. O processo de *landmarking* 2D poderá ser treinado utilizando rasterizações de modelos 3D buscando reduzir erros de detecção e automatizar o processo de modo que não seja mais necessária a realização de ajustes manuais.

A visualização imersiva de modelos 3D pode melhorar a percepção do observador ao inseri-lo no ambiente virtual juntamente com o modelo a ser analisado. Também pode facilitar a interação com o modelo e ferramentas que são utilizadas de modo mais intuitivo. Uma prova disso é a ferramenta de corte apresentada neste trabalho. Existem muitas outras ferramentas para interação em ambientes imersivos que podem ser exploradas em trabalhos futuros. Uma etapa importante na continuação deste trabalho é a aquisição e visualização de informações internas – osso e cérebro – na utilização da ferramenta de corte. A Figura 31 mostra um exemplo de visualização do cérebro com o uso da Ferramenta de Corte. Foi utilizado um modelo 3D genérico de um cérebro visto que a aquisição dos modelos contendo as informações internas dos pacientes faz parte dos trabalhos futuros mencionados.

Figura 31. Ferramenta de Corte com Modelo 3D Genérico de um Cérebro



Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise digital e visualização imersiva de modelos 3D provaram ter potencial para substituir a análise de imagens 2D e até mesmo o método antropométrico tradicional, podendo auxiliar no diagnóstico e na pesquisa de síndromes dismórficas.

REFERÊNCIAS

- ABDALMAGEED, W.; WU, Y.; RAWLS, S.; HAREL, S.; HASSNER, T.; MASI, I.; CHOI, J.; LEKUST, J.; KIM, J.; NATARAJAN, P.; NEVATIA, R.; MEDIONI, G. Face recognition using deep multi-pose representations. In: 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), Lake Placid, NY, USA. **Anais...** Lake Placid, NY, USA: IEEE, mar. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7477555/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- ALAVANI, G. K.; KAMAT, V. Human face anthropometric measurements using consumer depth camera. In: 2015 Fifth National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG), Patna, India. **Anais...** Patna, India: 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7490001/>>.
- CHRISTIANSON, A.; HOWSON, C.; MODELL, B. March of Dimes. Global report on birth defect. The hidden toll of dying and disabled children. **New York**, p. 10–16, 2006. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:MARCH+OF+DIMES+GLOBAL+REPORT+ON+BIRTH+DEFECTS#6>>.
- COPPOLA, A.; CHINTHAPALLI, K.; HAMMOND, P.; SANDER, J. W.; SISODIYA, S. M. Pediatric diagnosis not made until adulthood: A case of Wolf-Hirschhorn syndrome. **Gene**, v. 512, n. 2, p. 532–535, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.gene.2012.09.108>>.
- DJUKIC, T.; MANDIC, V.; FILIPOVIC, N. Virtual reality aided visualization of fluid flow simulations with application in medical education and diagnostics. **Computers in Biology and Medicine**, v. 43, n. 12, p. 2046–2052, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.combiomed.2013.10.004>>.
- DOLCI, C.; PUCCIARELLI, V.; CODARI, M.; GIBELLI, D. M.; MARELLI, S.; TRIFIRO, G.; PINI, A.; SFORZA, C. 3D Craniofacial Morphometric Analysis of Young Subjects with Marfan Syndrome: A Preliminary Report. In: Proceedings of the 6th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, Lugano, Switzerland. **Anais...** Lugano, Switzerland: 2015. Disponível em: <<http://www.3dbodyscanning.org/cap/abstracts/2015/054dolci.html>>.
- DOUGLAS, D. B.; BOONE, J. M.; PETRICOIN, E.; LIOTTA, L.; WILSON, E. Augmented Reality Imaging System: 3D Viewing of a Breast Cancer. **Journal of nature and science**, v. 2, n. 9, 2016. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27774517>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- DRIJKONINGEN, T.; KNOTER, R.; COERKAMP, E. G.; KONING, A. H. J.; RHEMREV, S. J.; BEERES, F. J. Inter-observer agreement between 2-dimensional CT versus 3-dimensional I-Space model in the Diagnosis of Occult Scaphoid Fractures. **The archives of bone and joint surgery**, v. 4, n. 4, p. 343–347, out. 2016. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27847847>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

- FARKAS, L. G.; DEUTSCH, C. K. Anthropometric determination of craniofacial morphology. **American Journal of Medical Genetics**, v. 65, n. 1, p. 1–4, 2 out. 1996. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ajmg.1320650102>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- FERRY, Q.; STEINBERG, J.; WEBBER, C.; FITZPATRICK, D. R.; PONTING, C. P.; ZISSERMAN, A.; NELLÅKER, C. Diagnostically relevant facial gestalt information from ordinary photos. **eLife**, v. 2014, n. 3, p. 1–22, 2014.
- FRANÇA, G. V. A.; SCHULER-FACCINI, L.; OLIVEIRA, W. K.; HENRIQUES, C. M. P.; CARMO, E. H.; PEDI, V. D.; NUNES, M. L.; CASTRO, M. C.; SERRUYA, S.; SILVEIRA, M. F.; BARROS, F. C.; VICTORA, C. G. Congenital Zika virus syndrome in Brazil: a case series of the first 1501 livebirths with complete investigation. **The Lancet**, v. 388, n. 10047, p. 891–897, ago. 2016. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673616309023>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- FURUKAWA, Y.; HERNÁNDEZ, C. Multi-View Stereo: A Tutorial. **Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision**, v. 9, n. 1–2, p. 1–148, 2015. Disponível em: <<http://www.nowpublishers.com/article/Details/CGV-052>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- HAMMOND, P. The use of 3D face shape modelling in dysmorphology. **Archives of Disease in Childhood**, v. 92, n. 12, p. 1120–1126, 2007. Disponível em: <<http://adc.bmj.com.pklibresources.health.wa.gov.au/content/92/12/1120.full.pdf?sid=a07ee8a2-98c9-41b6-8bfe-94f4a7cf14b3>>.
- HAMMOND, P.; HANNES, F.; SUTTIE, M.; DEVRIENDT, K.; VERMEESCH, J. R.; FARAVELLI, F.; FORZANO, F.; PAREKH, S.; WILLIAMS, S.; MCMULLAN, D.; SOUTH, S. T.; CAREY, J. C.; QUARRELL, O. Fine-grained facial phenotype–genotype analysis in Wolf–Hirschhorn syndrome. **European Journal of Human Genetics**, v. 20, n. 1, p. 33–40, 2012. Disponível em: <<http://www.nature.com/doifinder/10.1038/ejhg.2011.135>>.
- HAMMOND, P.; HUTTON, T. J.; ALLANSON, J. E.; CAMPBELL, L. E.; HENNEKAM, R. C. M.; HOLDEN, S.; PATTON, M. A.; SHAW, A.; TEMPLE, I. K.; TROTTER, M.; MURPHY, K. C.; WINTER, R. M. 3D Analysis of Facial Morphology. **American Journal of Medical Genetics**, v. 126 A, n. 4, p. 339–348, 2004. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-11144356118&partnerID=tZOtx3y1>>.
- HAMMOND, P.; SUTTIE, M. Large-scale objective phenotyping of 3D facial morphology. **Human Mutation**, v. 33, n. 5, p. 817–825, 2012.
- HOROVITZ, D. D. G.; DE FARIA FERRAZ, V. E.; DAIN, S.; MARQUES-DE-FARIA, A. P. Genetic services and testing in Brazil. **Journal of Community Genetics**, v. 4, n. 3, p. 355–375, 5 jul. 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s12687-012-0096-y>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

- HUNTER, A. G. W. Medical genetics: 2. The diagnostic approach to the child with dysmorphic signs. **CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne**, v. 167, n. 4, p. 367–72, 20 ago. 2002. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12197694>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- KOLAR, J. C.; MUNRO, I. R.; FARKAS, L. G. Anthropometric evaluation of dysmorphism in craniofacial anomalies: Treacher Collins syndrome. **American Journal of Physical Anthropology**, v. 74, n. 4, p. 441–451, dez. 1987. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ajpa.1330740403>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- KOLAR, J. C.; SALTER, E. M.; WEINBERG, S. M. Preoperative Craniofacial Dysmorphism in Isolated Sagittal Synostosis. **Journal of Craniofacial Surgery**, v. 21, n. 5, p. 1404–1410, set. 2010. Disponível em: <<http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=0001665-201009000-00022>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- KUNG, S.; WALTERS, M.; CLAES, P.; GOLDBLATT, J.; LE SOUEF, P.; BAYNAM, G. A Dysmorphometric Analysis to Investigate Facial Phenotypic Signatures as a Foundation for Non-invasive Monitoring of Lysosomal Storage Disorders. **JIMD Reports**, v. 8, p. 31–9, 2013. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/8904_2012_152>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- KURU, K.; NIRANJAN, M.; TUNCA, Y.; OSVANK, E.; AZIM, T. Biomedical visual data analysis to build an intelligent diagnostic decision support system in medical genetics. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 62, n. 2, p. 105–118, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.artmed.2014.08.003>>.
- LANMAN, D.; CRISPELL, D.; TAUBIN, G. Surround structured lighting: 3-D scanning with orthographic illumination. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 113, n. 11, p. 1107–1117, 2009.
- LEVOY, M. The digital michelangelo project. In: Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, Ottawa, Canada. **Anais...** Ottawa, Canada: 1999.
- LIU, J.; ZHANG, Q.; TANG, C. Automatic landmark detection for high resolution non-rigid 3D faces based on geometric information. In: 2015 IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Chongqing, China. **Anais...** Chongqing, China: IEEE, dez. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7428562/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- MENEGHINI, F.; BIONDI, P. **Clinical facial analysis : elements, principles, and techniques**. [s.l.] Springer, 2012.
- NAYLER, J. R. Clinical photography: a guide for the clinician. **Journal of postgraduate medicine**, v. 49, n. 3, p. 256–262, 2003.

- NEWCOMBE, R. A.; DAVISON, A. J.; IZADI, S.; KOHLI, P.; HILLIGES, O.; SHOTTON, J.; MOLYNEAUX, D.; HODGES, S.; KIM, D.; FITZGIBBON, A. KinectFusion: Real-time dense surface mapping and tracking. In: 2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Basel, Switzerland. **Anais...** Basel, Switzerland: IEEE, out. 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6162880/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- NEWCOMBE, R. A.; FOX, D.; SEITZ, S. M. DynamicFusion: Reconstruction and Tracking of Non-rigid Scenes in Real-Time. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, Boston, MA, USA. **Anais...** Boston, MA, USA: 2015. Disponível em: <<papers3://publication/uuid/0C455515-C7B8-4E33-9D61-1E6DD9A5AF58>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- PEÑA-RIOS, A.; PIRKER, J.; GÜTL, C.; GARDNER, M. Preface to the Special Issue on Immersive Environments: Challenges, Research and New Developments. **EAI Endorsed Transactions on Future Intelligent Educational Environments**, v. 2, n. 6, p. 151520, 27 jun. 2016. Disponível em: <<http://eudl.eu/doi/10.4108/eai.27-6-2016.151520>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- RAI, M. C. El; TORTORICI, C.; AL-MUHAIIRI, H.; LINGURARU, M. G.; WERGHI, N. 3D constrained local model with independent component analysis and non-Gaussian shape prior distribution: Application to 3D facial landmark detection. In: 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), c, Phoenix, Arizona, USA. **Anais...** Phoenix, Arizona, USA: 2016a. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7532951/>>.
- RAI, M. C. El; TORTORICI, C.; AL-MUHAIIRI, H.; SAFAR, H. Al; WERGHI, N. Landmarks detection on 3D face scans using local histogram descriptors. In: Proceedings of the 18th Mediterranean Electrotechnical Conference: Intelligent and Efficient Technologies and Services for the Citizen, MELECON 2016, April, Limassol, Cyprus. **Anais...** Limassol, Cyprus: 2016b.
- SAÚDE, M. da. **Orientações integradas de vigilância e atenção à saúde no âmbito da Emergência de Saúde Pública de Importância Nacional**, 2016. Página 18. Disponível em: <<http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2016/dezembro/12/orientacoes-integradas-vigilancia-atencao.pdf>>.
- SCHULER-FACCINI, L.; RIBEIRO, E. M.; FEITOSA, I. M. L.; HOROVITZ, D. D. G.; CAVALCANTI, D. P.; PESSOA, A.; DORIQUEI, M. J. R.; NERI, J. I.; NETO, J. M. de P.; WANDERLEY, H. Y. C.; CERNACH, M.; EL-HUSNY, A. S.; PONE, M. V. S.; SERAO, C. L. C.; SANSEVERINO, M. T. V; BRAZILIAN MEDICAL GENETICS SOCIETY–ZIKA EMBRYOPATHY TASK FORCE. **Possible Association Between Zika Virus Infection and Microcephaly - Brazil, 2015.MMWR. Morbidity and mortality weekly report**, 2016a. . Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6503e2er>>.

- SCHULER-FACCINI, L.; SANSEVERINO, M. T. V.; VIANNA, F. S. L.; DA SILVA, A. A.; LARRANDABURU, M.; MARCOLONGO-PEREIRA, C.; ABEICHE, A. M. Zika virus: A new human teratogen? Implications for women of reproductive age. **Clinical Pharmacology and Therapeutics**, v. 100, n. 1, p. 28–30, 2016b.
- SUTTIE, M.; FOROUD, T.; WETHERILL, L.; JACOBSON, J. L.; MOLTENO, C. D.; MEINTJES, E. M.; HOYME, E.; KHAOLE, N.; K.ROBINSON, L.; RILEY, E. P.; JACOBSON, S. W.; HAMMOND, P. Facial Dysmorphism Across the Fetal Alcohol Spectrum. **Pediatrics**, v. 131, n. 779, p. 788, 2013.
- TULYAKOV, S.; SEBE, N. Regressing a 3D face shape from a single image. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Seattle, WA, USA. **Anais...** Seattle, WA, USA: 2016.
- URBANOVÁ, P.; HEJNA, P.; JURDA, M. Testing photogrammetry-based techniques for three-dimensional surface documentation in forensic pathology. **Forensic Science International**, v. 250, p. 77–86, 2015.
- VICTORA, C. G.; SCHULER-FACCINI, L.; MATIJASEVICH, A.; RIBEIRO, E.; PESSOA, A.; BARROS, F. C. Microcephaly in Brazil: How to interpret reported numbers? **The Lancet**, v. 387, n. 10019, p. 621–624, 2016.
- ZHAO, Q.; OKADA, K.; ROSENBAUM, K.; KEHOE, L.; ZAND, D. J.; SZE, R.; SUMMAR, M.; LINGURARU, M. G. Digital facial dysmorphology for genetic screening: Hierarchical constrained local model using ICA. **Medical Image Analysis**, v. 18, n. 5, p. 699–710, 2014a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.media.2014.04.002>>.
- ZHAO, Q.; WERGHI, N.; OKADA, K.; ROSENBAUM, K.; SUMMAR, M.; LINGURARU, M. G. eorge. Ensemble learning for the detection of facial dysmorphology. In: Proceedings of the 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Chicago, IL, USA. **Anais...** Chicago, IL, USA: 2014b.
- ZHOU, E.; FAN, H.; CAO, Z.; JIANG, Y.; YIN, Q. Extensive facial landmark localization with coarse-to-fine convolutional network cascade. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Sydney, Australia. **Anais...** Sydney, Australia: 2013.