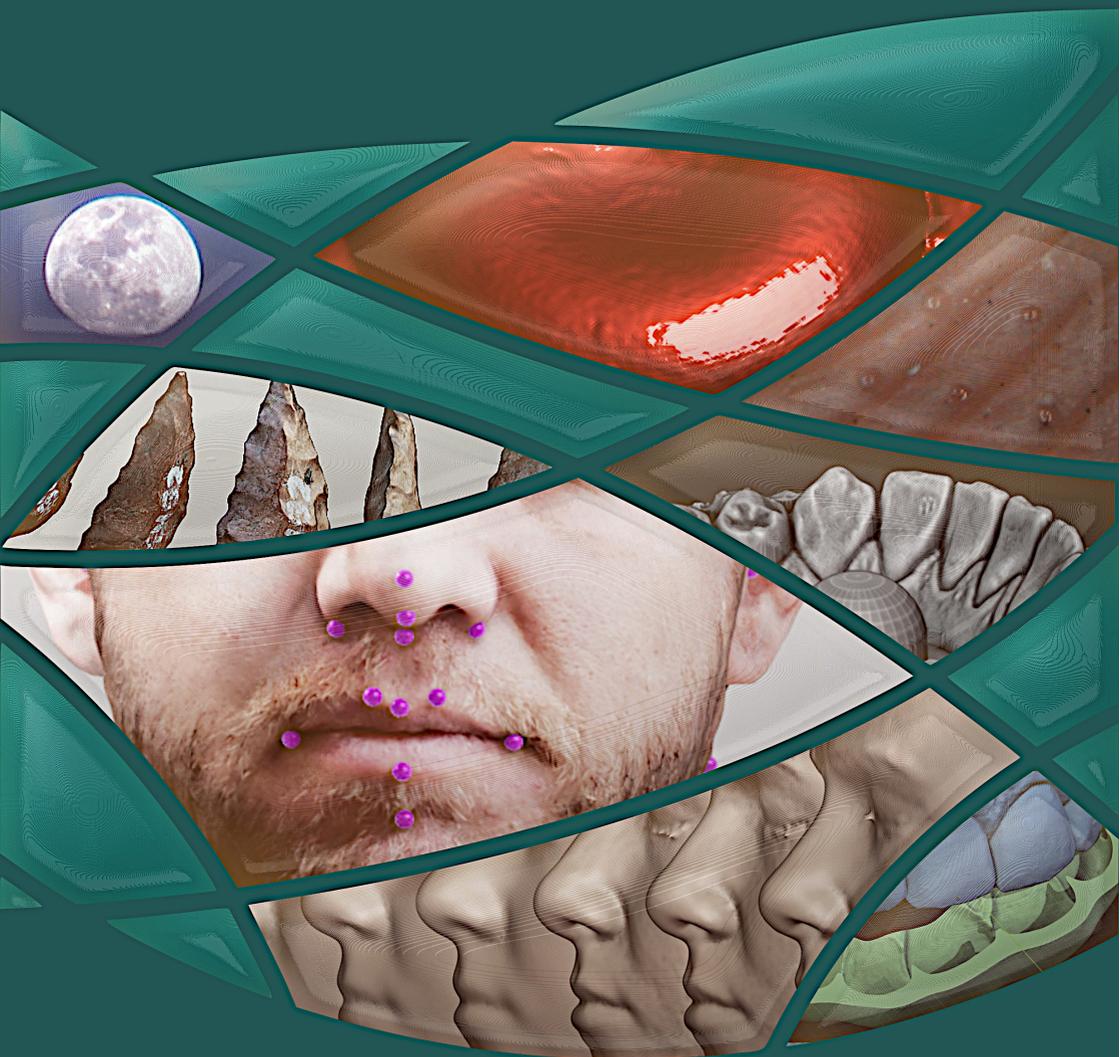


# OrtogOnLineMag



**Vol. 1**

Cicero Moraes ● Everton da Rosa ● Rodrigo Dornelles



CICERO MORAES EVERTON DA ROSA RODRIGO DORNELLES

# OrtogOnlineMag

VOLUME 1

SINOP-MT  
Cicero André da Costa Moraes  
2020

MORAES, Cicero  
DA ROSA, Everton  
DORNELLES, Rodrigo.  
OrtogOnLineMag  
-- 1. ed. -- Sinop-MT:  
CICERO ANDRE DA COSTA MORAES, 2020.  
127 p.: il.

**ISBN 978-65-00-08375-0**

**DOI 10.6084/m9.figshare.13055864**

# Sumário

<b>1</b>	<b>Lunetas, Macros e Microscópios Digitais de Baixo Custo na Fotografia e Fotogrametria 3D</b>	<b>1</b>
1.1	Equipamentos . . . . .	2
1.1.1	Smartphone . . . . .	2
1.1.2	Lente de Mira . . . . .	2
1.1.3	Lente de Câmera Digital Antiga . . . . .	4
1.1.4	Luneta 10x . . . . .	6
1.1.5	Microscópio 60X-100X . . . . .	7
1.1.6	Microscópio USB 1000x . . . . .	8
1.1.7	Microscópio USB 1600x . . . . .	9
1.1.8	Luneta 40x . . . . .	10
1.2	Calculando a Ampliação dos Equipamentos . . . . .	11
1.3	Calculando os Fatores de Redimensionamento e Ampliação dos Equipamentos . . . . .	13
1.3.1	Calculando a Ampliação com Imagens Digitais . . . . .	13
1.3.2	Calculando a Ampliação pela Projeção Visual . . . . .	14
1.3.3	Calculando a Ampliação da Macro e dos Microscópios . . . . .	15
1.3.4	Testes com Pipe de Telescópios . . . . .	17
1.4	Conclusão . . . . .	20
1.5	Imagens e Exemplos . . . . .	20
<b>2</b>	<b>Sistema de Geração de Malhas 3D Anti-Retenção Baseadas em Projeção Z-Depth</b>	<b>23</b>
2.1	Como Funciona a Projeção por Z-Depth . . . . .	24
2.2	Reconstruindo o Z-Depth em 3D . . . . .	26
2.3	O Problema das Superfícies Retentivas . . . . .	26
2.4	Como Criar Modelos Anti-Retenção no OrtogOnBlender . . . . .	27
2.5	Testando os Modelos Antes da Impressão 3D . . . . .	30
2.6	Conclusão . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Microscopia de Força Atômica no OrtogOnBlender 3D</b>	<b>33</b>
3.1	Microscópio de Força Atômica . . . . .	34
3.2	Processo de Importação . . . . .	37

3.2.1	Exportando como .XYZ . . . . .	37
3.2.2	Importando no OrtogOnBlender . . . . .	38
3.2.3	Segmentando a Região de Interesse . . . . .	40
3.3	Conclusão . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Fotogrametria 3D de uma Ponta de Projétil Arqueológica</b>	<b>45</b>
4.1	A Digitalização em Acervos Arqueológicos . . . . .	46
4.2	Uma Ponta de Projétil Lítica Pré-Colonial . . . . .	46
4.3	Montando o Cenário . . . . .	48
4.4	Produzindo a Iluminação . . . . .	48
4.5	A Câmera e seus Ajustes . . . . .	49
4.6	Processo de Digitalização 3D . . . . .	50
4.7	Conclusão . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Reconstrução Facial Forense de um Crânio Arqueológico com o ForensicOnBlender</b>	<b>53</b>
5.1	Histórico da Instituição . . . . .	54
5.2	Contextualização e Informações Bioarqueológicas . . . . .	55
5.2.1	Material arqueológico . . . . .	55
5.2.2	Localização . . . . .	55
5.2.3	Informações Bioarqueológicas . . . . .	58
5.3	Reconstrução Facial Forense . . . . .	61
5.4	Digitalização e Alinhamento do Crânio . . . . .	62
5.5	Processo Inicial de Reconstrução Facial . . . . .	63
5.6	Escultura Básica, Configuração da Estrutura, Adaptação e Finalização do Rosto . . . . .	64
5.7	Conclusão . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Guia de Colagem Ortodôntica Indireta com o OrtogOnBlender</b>	<b>67</b>
6.1	Introdução . . . . .	68
6.2	Descrição da Técnica . . . . .	69
6.3	Impressão 3D . . . . .	74
6.4	Conclusão . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Protocolo Complementar para Melhor Resolução do Nariz em Fotogrametria 3D</b>	<b>77</b>
7.1	Introdução . . . . .	78
7.2	Limitações do Protocolo de 26 Fotos . . . . .	79
7.3	Iluminação da Cena . . . . .	80
7.4	Tomadas Fotográficas e Digitalizações 3D . . . . .	82

7.5	Resultados da Digitalização . . . . .	86
7.6	Propostas para Melhorar a Resolução e Cobertura da Superfície . . . . .	92
7.7	Conclusão . . . . .	94
<b>8</b>	<b>Protocolo de Tratamento e Planejamento Digital para Fraturas de Mandíbulas Atróficas</b>	<b>95</b>
8.1	Fratura de Mandíbula com Atresia Severa . . . . .	96
8.2	Relato de Caso . . . . .	97
8.3	Planejamento Cirúrgico Virtual . . . . .	98
8.4	Procedimento Cirúrgico . . . . .	100
8.5	Acompanhamento Pós-Operatório . . . . .	101
8.6	Conclusão . . . . .	102
<b>9</b>	<b>Padronização de Pontos e Medidas para Antropometria 3D no OrtoGOnBlender</b>	<b>103</b>
9.1	Introdução . . . . .	104
9.2	Descrição dos Pontos . . . . .	106
9.2.1	Pontos Antropométricos . . . . .	106
9.2.2	Medidas Lineares . . . . .	107
9.2.3	Medidas Horizontais . . . . .	108
9.2.4	Medidas Angulares . . . . .	108
9.3	Desenvolvimento da Ferramenta . . . . .	109
9.4	Testando os Resultados . . . . .	112
9.5	Conclusão . . . . .	112
9.6	Agradecimentos . . . . .	115
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>117</b>



# Lunetas, Macros e Microscópios Digitais de Baixo Custo na Fotografia e Fotogrametria 3D

**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

**Rodrigo Dornelles**

*Cirurgião Plástico, Núcleo de Plástica Avançada - NPA, São Paulo-SP*

**Everton da Rosa**

*Cirurgião BMF, Hospital de Base, Brasília-DF*

DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12881309.v1>



Com o advento das tecnologias de captura digital nos dispositivos de comunicação como celulares e *smartphones* houve um grande incremento na geração de fotos nos últimos anos. No entanto, o fato de ter à disposição a tecnologia, não significa que ela forneça soluções para todos as forma de capturas como fotos muitos distantes ou muito próximas. Pensando em contornar essas limitações, o presente trabalho fornece soluções acessíveis a parte considerável dos proprietários de dispositivos de captura de modo a aumentar a potencialidades dos mesmos para observar desde objetos distantes até elementos microscópicos mais finos do que um fio de cabelo.

**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## 1.1 Equipamentos

### 1.1.1 Smartphone

Smartphone da Marca Samsung, modelo Galaxy A70 [Sam20] com tomadas fotográficas de 4032x2268 px.

### 1.1.2 Lente de Mira



Figural: Fotografias tiradas com lente de mira sobre a lente de um *smartphone*.

Lente convexa de mira extraída de uma antiga máquina fotográfica.

## Como Montar o Dispositivo

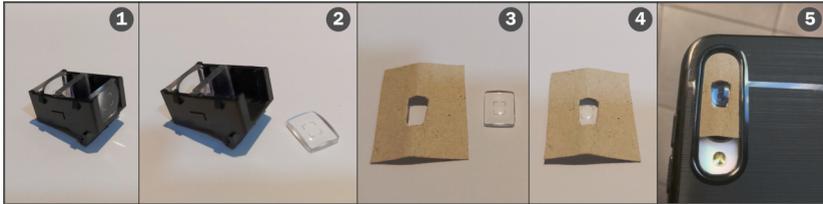


Figura2: Etapas da configuração da lente macro utilizando uma mira de câmera antiga.

1. Retire o dispositivo de mira de uma câmera digital antiga;
2. Retire a lente côncava;
3. Recorte um pequeno pedaço de papel com a grossura compatível com a capa de um caderno. Recorte um retângulo um pouco menor que a lente;
4. O papel deve ser usado para conter a lente no celular;
5. Retire a capa protetora do celular, coloque a lente da mira sobre a lente da câmera do celular. Em seguida cubra a mesma com o papel e recoloque a capa do celular de modo a conter o papel e a câmera. Faça pequenos ajustes, se necessário.

---

**Dica:** Caso não use capa para *smartphone* a fixação poderá ser feita com fita adesiva.

---

## Prós

- Por ser reaproveitamento de um equipamento antigo não há custos em sua obtenção.
- Apresentou resultados muito superiores ao da lente de macro pertencente ao conjunto adquirido junto com a luneta que será abordada mais adiante.
- Funciona para digitalização 3D por fotos (fotogrametria).

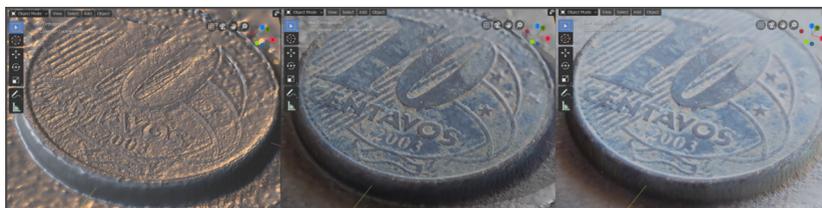


Figura3: Moeda digitalizada em 3D por fotografias (fotogrametria). Malha sem textura, sólido + textura e apenas textura.

## Contras

- Não é tão simples de montar e desmontar como as lentes adaptáveis para *smartphone*.
- As fotos saem borradas com relativa facilidade sendo necessária a captura de várias tomadas de modo a selecionar as melhores.

---

**Dica:** Caso não disponha de uma máquina antiga, é possível utilizar uma lente de DVD para a confecção de um macro [Cir20].

---

### 1.1.3 Lente de Câmera Digital Antiga

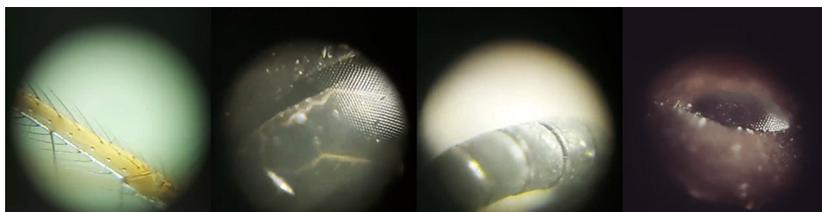


Figura4: *Frames* de vídeos capturados com microscópio de lente de máquina digital antiga. Perna de uma aranha, olho de uma vespa, antena de uma vespa e olho de uma formiga.

Lente extraída de uma antiga câmera digital.

## Como Montar o Dispositivo



Figura5: Etapas da configuração de um microscópio utilizando uma lente de câmera antiga.

1. Retire a lente de uma câmera digital antiga.
2. Para a colocação da lente pode ser usado um adaptador, como no exemplo, ou a fixação pode ser feita com massa de modelar atóxica.
3. Posicione a lente na abertura do adaptador.
4. Fixe o adaptador no *smartphone* de modo que a lente fique em uma posição invertida em relação a original, ou seja, a parte de dentro da lente precisa estar necessariamente para fora.

### Prós

- A ampliação funciona e é efetivamente grande.
- Por ser reaproveitamento de um equipamento antigo não há custos em sua obtenção.

### Contras

- As fotos saem borradas com muita facilidade obrigando o usuário a filmar as observações de modo a gerar material minimamente utilizável.
- É muito difícil manter o foco no objeto observado.

**Dica:** A mesma técnica de montagem pode ser utilizada com *webcams* antigas [Can20].

---

### 1.1.4 Luneta 10x



Figura6: Imagens de objetos distantes capturadas com a luneta de 10x de ampliação.

Luneta monóculo adaptável para *smartphone*, sem marca, com ampliação de 10 vezes (segundo o vendedor) [Liv20a].

Faixa de preço: R\$ 59,99 (+frete).

### Prós

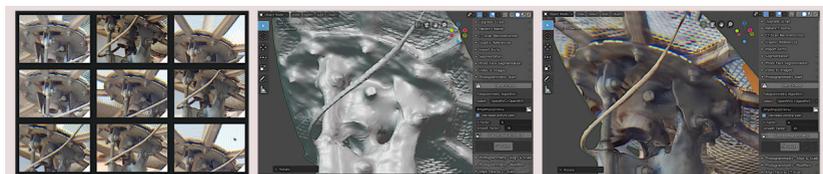


Figura7: Sequência de fotos tomadas a alguns metros (+- 4,00m) e digitalização 3D por fotogrametria.

- É possível utilizar na digitalização 3D por fotogrametria.
- O adaptador torna a colocação e retirada relativamente simples.
- É possível olhar diretamente pela luneta, sem a necessidade de um dispositivo eletrônico.

## Contras

- A luneta precisa estar bem apoiada, caso contrário a imagem capturada terá grande chance de sair borrada.
- Se não for bem encaixada no adaptador pode se perder pequenas áreas na extremidade, posto que há um escurecimento pela projeção circular da estrutura.
- Há a necessidade de se ter cuidado com a colocação do adaptador sob pena de trincar a película sobre a tela do *smartphone*, o mesmo pode acontecer com a parte inferior do aparelho (tampa), por isso é importante sempre utilizar uma capa protetora.

## 1.1.5 Microscópio 60X-100X



Figura8: Microscópio 60-100x: Digital, trama de tecido, cabelos, reboco de parede e inseto capturado por uma aranha.

Microscópio adaptável para *smartphone*, sem marca, com ampliação de 60 a 100 vezes (segundo o vendedor) [Liv20d].

Faixa de preço: **R\$ 63,90** (+frete).

## Prós

- Utiliza a captura da câmera do *smartphone* resultando em imagens de alta resolução.
- Conta com duas lâmpadas disponíveis em sua estrutura: led simples e ultravioleta.
- O modelo utiliza pilhas AAA, amplamente disponíveis em pequenas vendas e mercados.

- O adaptador torna a colocação e retirada relativamente simples.

### **Contras**

- O microscópio precisa estar bem apoiado, caso contrário a imagem capturada terá grande chance de sair borrada.
- É relativamente fácil perder o foco do objeto observado.
- Não foi possível, até o fechamento desse material proceder com digitalização 3D por fotos (fotogrametria) utilizando o equipamento.

### **1.1.6 Microscópio USB 1000x**



Figura9: Capturas efetuadas com o microscópio USB de 1000x de ampliação.

Microscópio USB, sem marca, com aumento de 1000x (segundo o vendedor) [[Liv20c](#)].

Faixa de preço: R\$ 82,99 (+frete).

### **Prós**

- Estrutura simples de ser organizada.
- Como gera fotografias praticamente ortográficas (sem deformação de perspectiva) é possível fazer várias capturas e criar um mosaico que resulta em uma imagem de alta resolução. Para tal pode-se utilizar programas geradores de panoramas como o Hugin [[Hug20](#)].

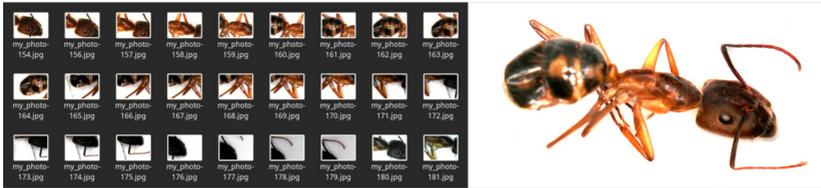


Figura10: Imagem em alta resolução (à direita) criada a partir de uma série de pequenas capturas.

- Luz embarcada no dispositivo, o que permite ao usuário controlar a iluminação; Pode ser utilizado na documentação de manchas na pele ao longo de um período, sempre com a mesma iluminação.

## Contras

- Por conta do seu sensor, as imagens e vídeo gerados são feitos em baixa resolução: 640x480 pixels. Ainda que o aplicativo permita que se capture e grave em outros formatos e ainda que os vendedores informem que a captura seja de 2MP as dimensões reais são: 640x480 pixels, logo, 0.307 MP.
- Como as imagens geradas são praticamente ortográficas, ao tentar digitalizar em 3D o objeto resultante é um plano texturizado e não uma estrutura tridimensional com volume.

### 1.1.7 Microscópio USB 1600x



Figura11: Capturas efetuadas com o microscópio USB de 1600x de ampliação. Cabelo preso ao couro cabeludo (à esquerda), fio de cabelo branco (ao centro) e raiz de um cabelo (à direita).

Microscópio USB, sem marca, com aumento de 1600x (segundo o vendedor).

Faixa de preço: R\$ 109,00 (+frete).

### **Prós**

- Todos os descritos no modelo de 1000x.

### **Contras**

- Todos os descritos no modelo de 1000x.
- Apesar de prometer um aumento de 60% em relação ao modelo de 1000x o real aumento é de 44,73% (ver na sequência do documento o levantamento da ampliação).

## **1.1.8 Luneta 40x**



Figura12: Imagens capturadas com o telescópio de 40x.

Luneta monóculo 60x360 da marca J.W.S., adaptável para *smartphone* e com aumento de 40x (segundo o vendedor) [Liv20b].

Faixa de preço: R\$ 249,95 (+frete).

**Prós**

- É possível olhar diretamente pelo telescópio, sem a necessidade de um dispositivo eletrônico.
- O foco é bem desenhado e a sua operação intuitiva.

**Contras**

- O adaptador não oferece uma boa fixação para o *smartphone* prejudicando o alinhamento da lente da câmera. O usuário precisa fazer constantes readaptações para alinhar os dispositivos corretamente.
- Por conta do adaptador não fixar bem o *smartphone* é comum desalinhar as lentes ao tentar focar um objeto.

## 1.2 Calculando a Ampliação dos Equipamentos

No site de venda dos produtos abordados no início deste material, os vendedores informam as supostas ampliações dos mesmos. Tomamos como base essas informações para nomear cada um dos equipamentos.

Buscando mensurar e compreender a ampliação descrita pelos vendedores para descrever os produtos, utilizamos duas abordagens neste material: **Fator de Redimensionamento** e **Fator de Ampliação**.

Em face da constante confusão em relação às descrições, segue uma explanação didática para uma melhor compreensão.

Imagine o leitor que temos em nossa frente uma TV full HD (à esquerda), ou seja, a tela do dispositivo transmite imagens de 1920x1080 pixels.

Se pudéssemos ampliar as dimensões da TV em 2 vezes (ao centro) mantendo como referência os pixels do mesmo tamanho, teríamos as seguintes dimensões:

- $1920 \times 2 = 3840$
- $1080 \times 2 = 2160$

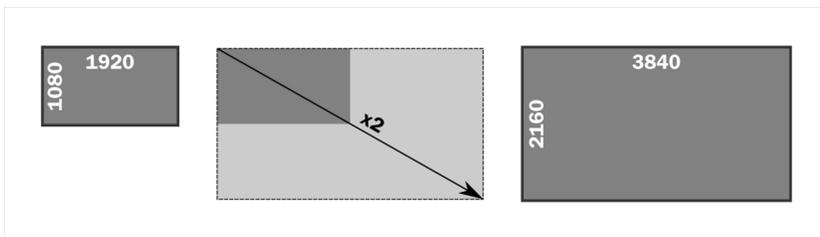


Figura13: Redimensionamento de duas vezes em uma tela fullHD resultando em uma tela 4K.

As dimensões são: **3860 x 2160** ou seja, temos o formato 4K (à direita). Como foi redimensionado, o **Fator de Redimensionamento** do 4K em relação ao full HD é **2**.

Mas, e o Fator de Ampliação?

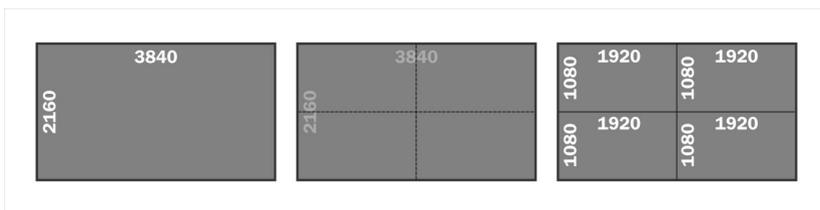


Figura14: Divisão de uma tela 4K resultando em 4 telas full HD.

Para compreendermos esse conceito basta dividirmos a tela do 4K em 4 partes, traçando duas linhas perpendiculares aos centros da vertical e horizontal do aparelho (centro).

Ao mensurar os pixels de cada retângulo temos o valor de 1920 x 1080 (à direita), ou seja, o **Fator de Ampliação** do 4K em relação ao full HD é **4**.

## 1.3 Calculando os Fatores de Redimensionamento e Ampliação dos Equipamentos

O cálculo dos fatores foi feito pelas seguintes fórmulas:

- Dimensão Ampliada ÷ Dimensão de Referência = Fator de Redimensionamento
- (Fator de Redimensionamento)<sup>2</sup> = Fator de Ampliação

### 1.3.1 Calculando a Ampliação com Imagens Digitais

Um exemplo são os cálculos dos fatores relacionados à lua. Foi tomado como referência uma fotografia tirada sem ampliação. Como a unidade mais óbvia da imagem digital é o pixel, ele foi utilizado para a mensuração.



Figura15: Levantamento das ampliações da lua.

As distâncias foram traçadas no software Inkscape [Ink20], por conta disso a medida de referência apresenta valores decimais: 79,552.

A lua ampliada pela luneta de 10x (ao centro) apresentou o valor de 394,688 pixels, ao jogar na fórmula temos os seguintes valores:

- Dimensão de Referência: 79,552
- Dimensão Ampliada: 394,688
- $394,688 \div 79,552 = 4,961383748$

O Fator de Redimensionamento, simplificado, é: 4,96

Aplicando a outra fórmula teremos o seguinte valor:

- $4,96^2 = 24,6016$

O **Fator de Ampliação** é: **24,60x**. Logo, a luneta que ampliaria 10x, amplia na verdade 24,60x.

Aplicando a mesma lógica no telescópio teremos os seguintes valores:

- Fator de Redimensionamento: **7,27**
- Fator de Ampliação: **52,85x**

Ou seja, o telescópio que ampliaria 40x na verdade amplia 52,85x.

### 1.3.2 Calculando a Ampliação pela Projeção Visual

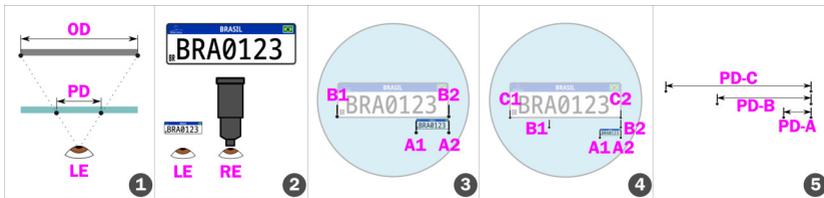


Figura16: Etapas do cálculo da ampliação por projeção visual.

1 - O observador (LE) se posicionou frente a uma estrutura de vidro temperado observando um objeto a distância. O objeto a distância (OD) projetou-se no vidro (PD) com uma dimensão significativamente menor do que o real.

2 - Para poder mensurar a ampliação o observador precisou mirar o objeto com os dois olhos abertos. Enquanto um dos olhos (LE) simplesmente focou o objeto naturalmente, com uma das mãos o observador empunhou uma luneta e a levou ao outro olho (LR). Assim, cada olho enxergou uma imagem da placa: uma sem e outra com ampliação.

3 - Mantendo uma distância de quase um braço do vidro e com um pincel marcador na outra mão, o observador inicialmente precisou alinhar as duas imagens em um dos lados para facilitar o traçado de projeção. Uma vez satisfeito o alinhamento, foram traçadas duas linhas correspondentes a projeção dos limites horizontais da placa menor (A1 e A2), depois duas linhas correspondentes aos limites horizontais da placa maior (B1 e B2). Na verdade na placa maior bastou

traçar um dos lados, posto que o outro estava alinhado e seria apenas a extensão do traçado anterior (A2).

4 - O observador repetiu o traçado das linhas, mas com um telescópio de maior ampliação, resultando evidentemente em uma distância maior (C1 e C2) do que a anterior (B1 e B2).

5 - Os traçados resultaram em espaços correspondentes as dimensões do objeto visto pela visualização natural sem luneta (PD-A), com a luneta de menor ampliação (PD-B) e com o telescópio de maior ampliação (PD-C).

Os testes foram repetidos por várias vezes resultando nos seguintes valores para o fator de redimensionamento e ampliação:

- Luneta 10x: 4,93 - 24,30x
- Telescópio 40x: 7,34 - 53,87x

Os resultados do modo visual não diferiram significativamente daqueles extraídos pela abordagem digital:

- **Luneta 10x:**
  - Digital: 4,96 - 24,60x
  - Visual: 4,93 - 24,30x
- **Telescópio 40x:**
  - Digital: 7,27 - 52,85x
  - Visual: 7,34 - 53,87x

### 1.3.3 Calculando a Ampliação da Macro e dos Microscópios

Para fazer a comparação da macro e dos microscópios a imagem de referência foi fotografada a 25 cm do gabarito gráfico que acompanha os microscópios USB. A distância corresponde a média que um olho humano necessita para focar um objeto [Edu20].

Para a comparação optou-se por utilizar um milímetro de cada captura, presente nas extremidades do quadrado de 10x10 milímetros.

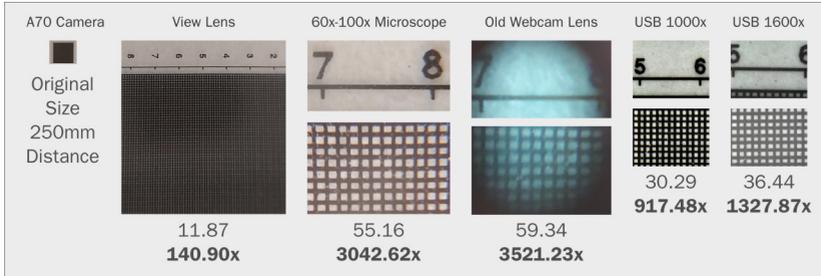


Figura17: Comparação dos milímetros em cada observação capturada.

Dentro do quadrado cada milímetro ainda foi subdividido em 10 partes resultando em um nível detalhamento impossível de ser visualizado a olho nu.

Para levantar o valor da Dimensão de Referência da fotografia base, foi necessário mensurar um lado do quadrado e dividi-lo por 10.

- A lente macro criada com uma lente de mira pode ampliar objetos até **140,90x** (limite do foco).
- O microscópio que é apresentado com ampliação de 60 a 100 apresentou ampliação de **3042,62x**, um número bem acima do esperado e que se deve a resolução da captura da câmera do celular, posto que o dispositivo a utiliza para gerar imagens. Em celulares com menos resolução esse valor seria, evidentemente, inferior.
- O microscópio criado com a lente de uma câmera digital antiga apresentou a maior ampliação com o valor de **3521,23x**, mas é perceptível a dificuldade do foco, já que vemos a imagem levemente borrada.
- A microscópio de 1000x chegou a quase 92% desse valor, dentro do esperado e compatível com a informação fornecida pelo vendedor: **917,48x**.
- A microscópio de 1600x chegou a quase 83% deste valor: **1327,87x**.

Para entender a situação da resolução da câmera, basta alinharmos a imagem gerada pelo microscópio de 60-100x com o de 1000x. A imagem gerada pelo primeiro dispositivo é tão grande em relação à

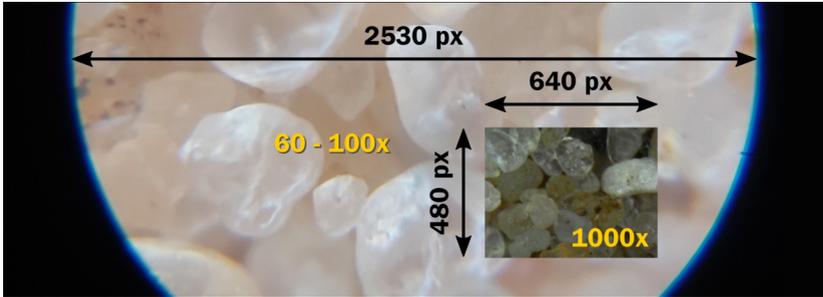


Figura18: Comparação entre a captura do microscópio de 60-100x e o de 1000x.

outra que a engloba dentro da captura (parcial, posto que é um círculo completo) e ainda sobra muito espaço.



Figura19: Comparação entre todos os microscópios ao observar grãos de areia.

Isso não significa necessariamente que a imagem maior tenha mais resolução que as menores, mas apenas que a captura tem mais pixels.

### 1.3.4 Testes com Pipe de Telescópios

Aproveitando a disponibilidade dos equipamentos foram implementados alguns testes alinhando uma luneta com o telescópio e um telescópio com outro.

Inicialmente observou-se uma flor a curta distância (mais ou menos 4,50 m) e os resultados foram as seguintes ampliações:

- Luneta de 10x: **30,25x**
- Telescópio de 40x: **59,91x**
- Luneta + Telescópio: **1723,91x**



Figura20: Diferentes ampliações de uma flor com lentes individuais e juntas em *pipe*.

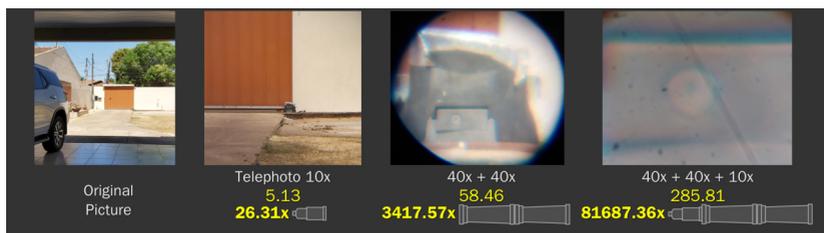


Figura21: Diferentes ampliações de um motor de abertura de portão com lentes individuais e juntas em *pipe*.

Posteriormente observou-se um motor de abertura de portão à distância de mais ou menos 30 metros e os resultados foram as seguintes ampliações:

- Luneta de 10x: **26,31x**
- Telescópio + Telescópio: **3.414,57x**
- Luneta + Telescópio + Telescópio: **81.687,36x**

A partir do momento que o *pipe* com três equipamentos foi efetuado, uma série de ruídos pontuaram pela lente final, muito provavelmente se tratam de elementos minúsculos que se ampliaram ao passar por várias lentes. Além deles também notam-se listas ao longo da saída de visão, bem como notórias aberrações cromáticas (desfoco azul e vermelho).

Ao que tudo indica há uma ampliação diferente para curtas distâncias, posto que a luneta amplia em média 24x enquanto o telescópio amplia 53x e respectivamente os dois ampliaram 30x e 60x em curta distância.

Ao capturar um objeto distante a mais ou menos 60 metros a ampli-

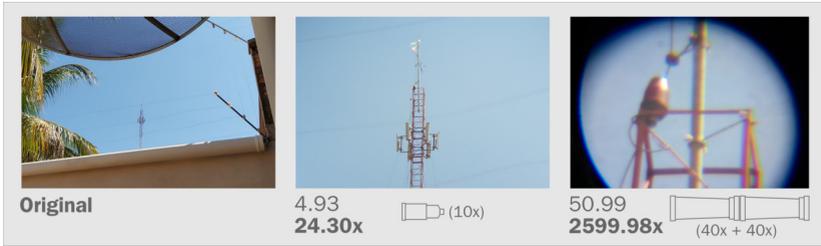


Figura22: Antena observada com lente individual e juntas em *pipe*.

ação da luneta se compatibilizou com a média, no entanto, a ampliação do *pipe* com os dois telescópios sofreu redução em relação ao motor, indo para **2.599,98x**.

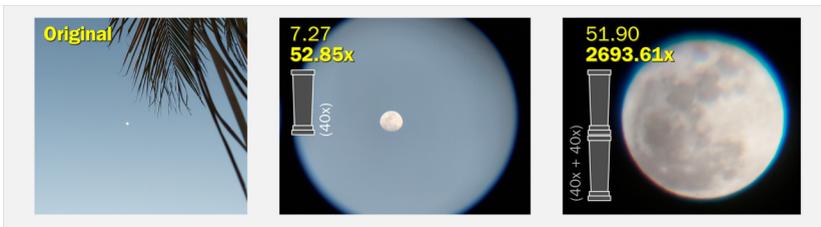


Figura23: Lua observada com lente individual e juntas em *pipe*.

Ao capturar a lua, que está a 384.400 Km da Terra [UFR20] a ampliação do telescópio se compatibilizou com a média e a ampliação do *pipe* se compatibilizou com a torre, chegando a **2.693,61x**.

## Prós

- Permite uma ampliação amplamente superior aos dispositivos separados.
- Apresenta uma boa qualidade quando se observa diretamente com o olho.

## **Contras**

- A menos que a estrutura que segure os dispositivos seja bem montada, o alinhamento das lentes se perde com facilidade.
- As imagens capturadas na lente por via digital costumam ter baixíssima qualidade quando comparadas com a observação direta feita com o olho.

## **1.4 Conclusão**

Os equipamentos testados oferecem um bom resultado frente ao custo de cada um e na maioria das vezes cumpriram com as designações descritas pelos vendedores.

Caso o indivíduo não possua recursos para adquirir alguns dos dispositivos, existe a possibilidade de criar alternativas com peças antigas, como no caso da lente macro e do microscópio.

Todos os problemas apresentados, como a falta de foco e a baixa resolução da captura das imagens podem ser contornados, ou com uma estrutura desenvolvida pelo usuário ou mesmo com um software, como o exemplo da montagem dos panoramas, resultando em imagens de alta resolução. O que definirá qual dispositivo adquirir será, evidentemente, a necessidade do usuário.

## **1.5 Imagens e Exemplos**

Disponíveis nas próximas páginas.



Figura24: Cabeça de uma formiga gerada com várias capturas do microscópio USB 1000x.

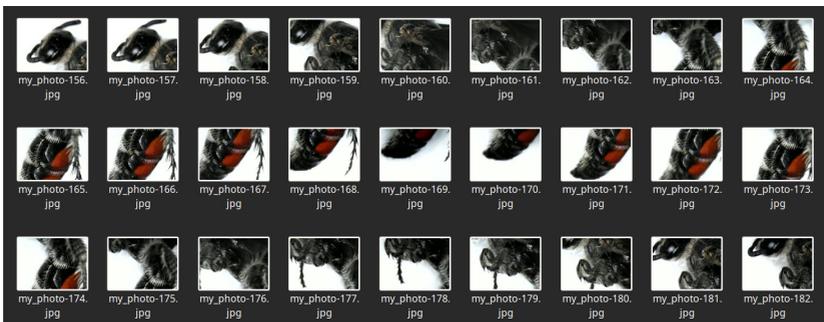


Figura25: Várias capturas de uma vespa efetuadas com o microscópio USB 1000x.



Figura26: Corpo de uma vespa gerada com várias capturas do microscópio USB 1000x.

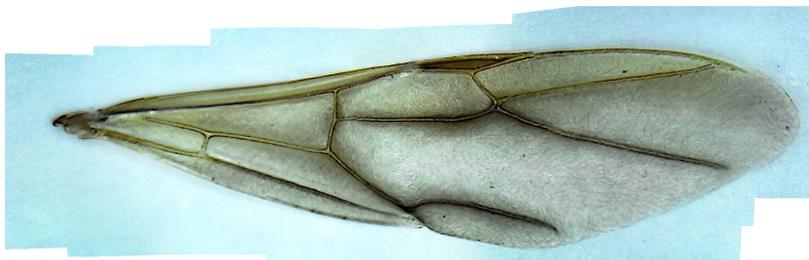


Figura27: Asa de uma vespa gerada com várias capturas do microscópio USB 1000x.

# Sistema de Geração de Malhas 3D Anti-Retenção Baseadas em Projeção Z-Depth

**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

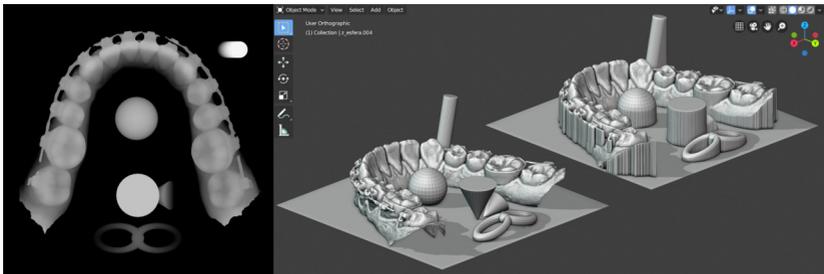
**Rodrigo Dornelles**

*Cirurgião Plástico, Núcleo de Plástica Avançada - NPA, São Paulo-SP*

**Everton da Rosa**

*Cirurgião BME, Hospital de Base, Brasília-DF*

DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12881231.v1>



Há uma grande demanda nas ciências da saúde para a geração de guias e *splints* baseados em superfícies não retentivas. Apesar de se tratar de um conceito relativamente simples, aplicá-lo em modelos

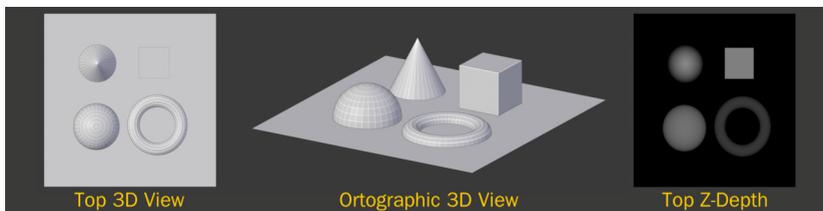
orgânicos pode ser uma tarefa bastante desafiadora em face da complexidade das malhas geradas a partir tomografias e digitalizações por laser ou luz estruturada. O presente trabalho apresenta uma solução baseada na projeção de malhas por z-depth, que simplifica o processo mas não compromete a precisão dos modelos. Graças a flexibilidade do Python script foi possível portar a solução para a *addon* OrtogOnBlender permitindo ao usuário não recorrer a programas externos, tornando o processo mais produtivo.

**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## 2.1 Como Funciona a Projeção por Z-Depth

Grosso modo, o Z-depth é uma imagem com dados de profundidade de uma cena 3D. Quanto mais claro um pixel, mais próximo do observador ele está, quando mais escuro, mais distante.

Nos softwares de computação gráfica o z-depth pode ter inúmeras utilidades, desde parâmetro para foco/desfoco de uma imagem até a projeção de vértices para mapeamento ou modelagem, justamente o que será abordado neste capítulo.



Figural: Exemplo de uma imagem z-depth criada a partir de uma cena 3D.

Na ilustração de exemplo (Figura 1) temos uma cena em 3D composta por vários elementos posicionados sobre um plano. O ponto de visualização utilizado como parâmetro de criação da projeção z-depth foi uma vista em topo (Top 3D View). Ao observarmos a cena de uma altura diferente (Ortographic 3D View) vemos que a parte mais baixa

da cena é o plano e que as partes mais altas são a ponta do cone e a parte superior da caixa. A imagem z-depth criada reflete essas características, a parte mais escura é o plano, que fica mais distante do observador e as mais próximas são a ponta do cone e o topo da caixa.

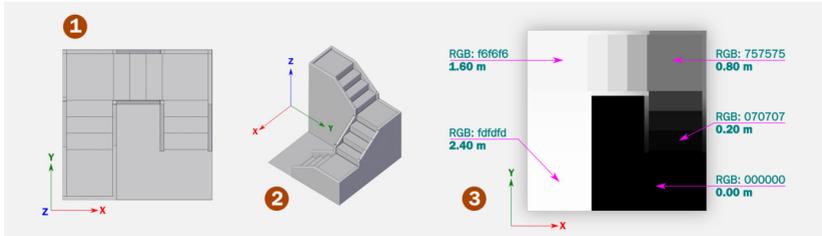


Figura2: Escadaria convertida em uma imagem z-depth.

Neste outro exemplo (Figura 2) temos uma escadaria também visualizada pelo topo (1). Trata-se de uma imagem ortográfica e como tal, um dos eixos perde as informações, no caso o eixo Z ainda está lá, mas só vemos dados dos eixos X e Y. Se observarmos pela diagonal em uma altura diferente poderemos ver todos os eixos e termos uma ideia mais volumétrica do modelo (2). A imagem z-depth gerada (3) é uma matriz bidimensional como toda imagem e nesse caso conta apenas com os eixos X e Y. O truque mora na intensidade das cores (escala de cinza), esses dados funcionam como o eixo Z! Simplificando bastante para viabilizar a explanação, temos o piso que é representado pela cor preta ou **000000** no padrão hexadecimal do RGB. O valor zero também corresponde a altura **0.00 m**. O primeiro degrau é um pouco mais claro, com o RGB em **070707** o que corresponde a altura de **0.20 m**. E assim segue até o último degrau com o RGB de **fdfdfd** e a altura de **2.40 m**. O valor máximo do RGB, segundo o padrão hexadecimal é de **ffffff**, isso significa que o ponto de observação de topo está um pouco mais alto que o último degrau. Por conta disso é importante estabelecer uma referência de altura para que as projeções dos objetos no z-depth sejam compatíveis com a cena original.

Essa explicação evidencia que, **se podemos converter um objeto 3D em uma imagem z-depth, também podemos reconstruir essa imagem em um objeto 3D!**

## 2.2 Reconstruindo o Z-Depth em 3D

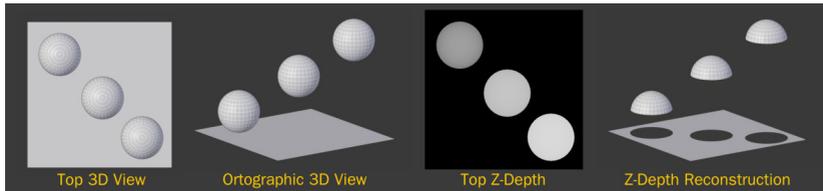


Figura3: Cena original e reconstruída a partir de uma imagem z-depth.

Seguindo o exemplo das cenas anteriores temos uma ilustração (Figura 3) com a cena observada pela câmera de referência para a projeção do z-depth (Top 3D View), a cena visualizada de outro ângulo (Orthographic 3D View), a imagem resultante da projeção (Top Z-Depth) e a reconstrução feita a partir da imagem (Z-Depth Reconstruction).

Pode parecer que houve algum problema na reconstrução, posto que as esferas não estão completas e na projeção inferior das mesmas temos três buracos, mas está correto. Sabemos que há um piso sem buracos e que se tratam de esferas completas porque visualizamos a cena de outro ponto de vista (Orthographic 3D View), capturando assim mais informações acerca da mesma. A imagem usada para a reconstrução não contém dados das regiões ocultas ao observador, sendo assim, foi reconstruído apenas o que estava disponível na projeção.

Essa aparente limitação é na verdade essencial para a criação de superfície não-retentivas, posto que são justamente as parte ocultas a partir de um ponto de vista as responsáveis pela retenção dos objetos.

## 2.3 O Problema das Superfícies Retentivas

Para entendermos o problema da retenção, tomemos como exemplo um objeto que será usado como base para a criação de um ecaixe (Figura 4, 1). Esse elemento será encaixado em um cubo de igual dimensão da parte superior, aqui representado pelo elemento A, sendo o B o elemento base apresentado em corte (2). No OrtogOnBlender a

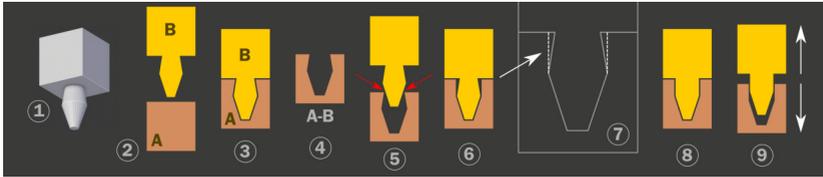


Figura4: Problema de retenção e solução do mesmo.

maioria dos usuários busca mover os elementos até a sua posição final, criando uma região de intersecção dos mesmos (3). Em seguida é efetuado um cálculo booleano de subtração de malhas A-B, resultando em um objeto com um buraco nas mesmas dimensões da ponta da nossa base (4). O problema mora justamente no momento de encaixar os dois elementos. Isso acontece porque o meio da parte inferior é mais grosso que a base, assim o objeto vai até uma parte e não entra mais (5). Para que ele entrasse sem retenção, seria necessário projetar a parte maior da ponta até a base final da parte superior (6 e 7). Isso alteraria a forma do modelo em relação ao original, não contendo as reentrâncias daquele (8) e permitindo uma movimentação livre de encaixe depois do cálculo booleano (9).

## 2.4 Como Criar Modelos Anti-Retenção no OrtogOnBlender



Figura5: Seção da criação da superfície anti-retenção no OthersOnBlender.

Como se trata de uma ferramenta experimental os botões se encontrarão na aba Other, correspondente ao OthersOnBlender (Figura 5), submódulo do add-on OrtogOnBlender [MdrRD20a].

Para definir qual região será utilizada para gerar a superfície não-retentiva é necessário clicar no botão “**Import Base Box**” (Figura 6). Assim que o o fizer aparecerá um cubo na cena com a escrita “TOP”

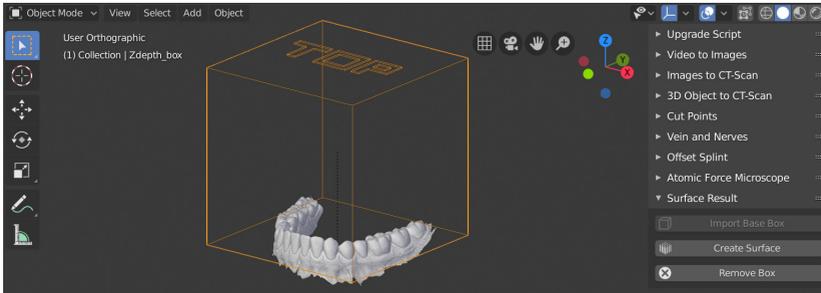


Figura6: Cubo com a região de projeção da superfície não-retentiva.

na parte superior, indicando o ponto de vista no qual será gerado o z-depth. Ao importar o cubo o botão clicado anteriormente ficará desabilitado para evitar qualquer confusão com cubo duplo no momento de criar a projeção.



Figura7: Ajuste da posição da Base Box.

O usuário pode então ajustar a posição do cubo até se adequar a região que pretende capturar (Figura 7).

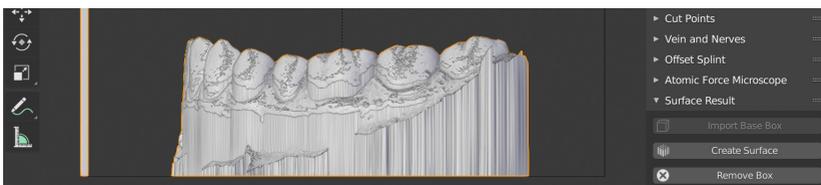


Figura8: Criação da malha retentiva.

Assim que o cubo é posicionado, basta clicar em **“Create Surface”** e aguardar alguns segundos para que a malha seja gerada (Figura 8).

A superfície criada pode ser deslocada caso o usuário assim o deseje (Figura 9). Neste caso os modelos foram posicionados lado-a-

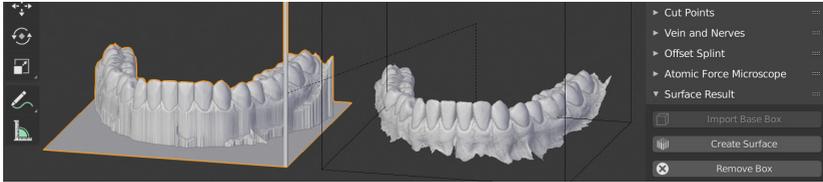


Figura9: Criação da malha não-retentiva.

lado para que possamos compará-los. Em um primeiro momento o comando lembra muito uma extrusão, mas é diferente da mesma, posto que o que faz é apenas fechar os espaços que não são contemplados pelo z-depth. Como a projeção foi feita pela parte superior (TOP) o comando simplesmente fechou as laterais evitando as áreas faltantes as quais foram abordadas na parte inicial deste capítulo onde apareceram meias esferas e buracos no plano.

O modelo gerado cria dois elementos que não estão presentes no original: uma base informando o limite do cubo de referência e uma haste correspondente a distância de controle do z-depth. O cubo de referência tem as dimensões de 80x80x80 mm, o suficiente para capturar uma arcada completa ou partes de uma face onde se deseja projetar uma superfície não-retentiva.

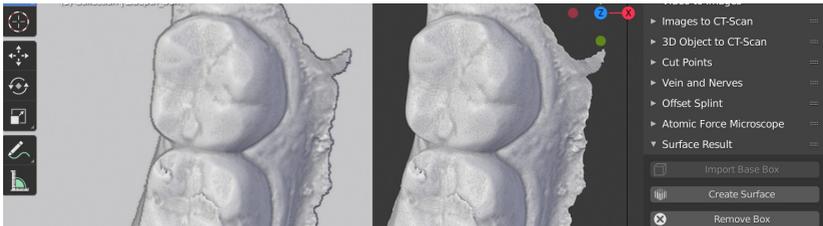


Figura10: Modelos observados pelo topo.

Ao observarmos os modelos pelo ponto de vista utilizado para gerar o z-depth, só conseguiremos diferenciá-los pela base que a malha à esquerda possui, ou seja, trata-se da superfície não-retentiva (Figura 10). Isso acontece porque essa vista contém todos os dados capturados pelo z-depth.

As diferenças ficam mais evidenciadas quando os modelos são observados pela lateral, onde as reentrâncias inferiores dos dentes dão



Figura11: Modelos observados pela lateral.

lugar a uma superfície lisa e não-retentiva, o que facilitará o encaixe, por exemplo, de um guia (Figura 11).

## 2.5 Testando os Modelos Antes da Impressão 3D

A cada dia cresce o número de usuários do OrtogOnBlender que adquirem impressoras 3D e fazem uso dessa tecnologia para a criação de guias cirúrgicos. Por se tratar de uma tecnologia com custo relativamente alto e também com tempo de impressão lento, é imprescindível que o modelo a ser impresso não contenha falhas, tanto estruturais no sentido da malha, como na funcionalidade do objeto.

Uma forma de entender o funcionamento e vantagem da superfície de não-retenção é justamente testando o encaixe com ferramentas de simulação de colisão oferecidas pelo OrtogOnBlender [MdrD20b]. As ferramentas podem ser usadas para testar o encaixe de arcadas, encaixe de *splints* e de guias de modo tornar o processo mais assertivo e barato, já que dispensará impressões de testes.

Foram criadas duas malhas a partir de um cálculo booleano de subtração para sulcar a região de intersecção dos dentes (Figura 12). As mesmas foram posicionadas acima das arcadas para que a simulação física fosse efetuada.

**Aviso:** Para compreender melhor o teste é necessário assistir o vídeo que está disponível neste [link](https://youtu.be/45TII57xPFO): <https://youtu.be/45TII57xPFO>

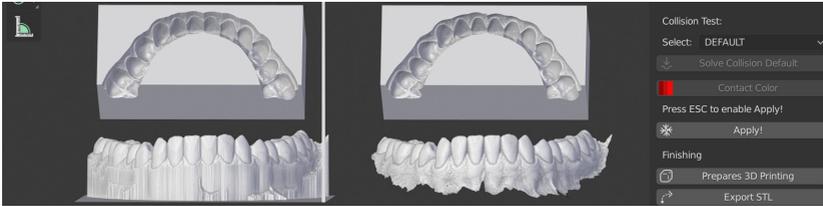


Figura12: Malhas criadas com boolean na parte superior e rotacionadas para melhor visualização.

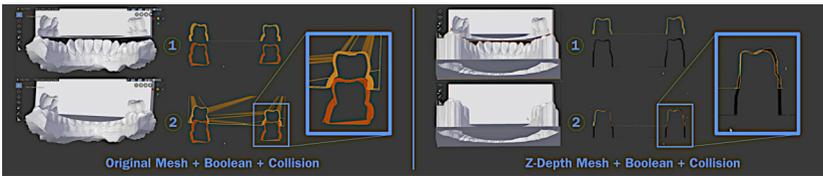


Figura13: Comparação no encaixe da malha original e da malha reconstruída a partir do z-depth.

Ao proceder com a colisão (Figura 13) a malha original tocou regiões com retenção e isso desestabilizou a malha que deveria se encaixar fazendo com que a mesma ficasse inclinada (à esquerda). Isso evidenciou o problema de se utilizar o boolean com a malha original sem o tratamento de encaixe. Já a malha que foi reconstruída pela imagem z-depth se encaixou com perfeição (à direita).



Figura14: A mesma cena com projeções diferentes do z-depth.

Além das facilidades supracitadas, o usuário pode criar a projeção do z-depth a partir de qualquer rotação que desejar, lembrando que a projeção é feita a partir do topo (Figura 14).

Essa abordagem pode ser muito útil quando o cirurgião, por exemplo, tem um espaço de posicionamento de guia muito limitado, forçando-o a inserir a estrutura a partir de um ângulo definido.

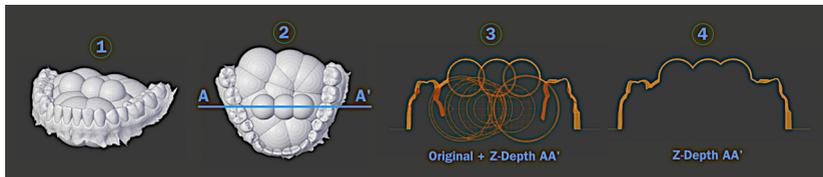


Figura15: Malha limpa resultante de um emaranhado de *meshes* sobrepostas.

Uma outra vantagem deste sistema é a possibilidade de gerar malhas limpas a partir de um agrupamento de *meshes*. Podemos tomar como exemplo a arcada utilizada neste capítulo, inserindo uma série de esferas na região interna da mesma (Figura 15, 1). Para entender a complexidade da estrutura é necessário fazer um corte ou um *clipping* (2) de modo a ver a série de intersecções que acontecem no interior (3) e como a malha resultante é limpa (4) quando comparada com o emaranhado orginal. Ou seja, o usuário pode fazer a projeção mesmo se tratando de um grupo de objetos distintos, o resultado será uma malha única, limpa e sem retenção.

---

**Dica:** Para melhorar o encaixe da malha o usuário pode criar uma cópia do objeto a ser projetado e fazer um redimensionamento por *normal* (Alt+s) com o valor de 0,05. O cálculo booleano será feito com essa malha mais grossa, garantindo assim o sucesso do encaixe posterior.

---

## 2.6 Conclusão

A ferramenta de geração de malhas não-retentivas mostrou-se funcional e flexível ao criar malhas limpas, próprias para cálculos booleanos, permitindo ao usuário gerar modelos de *splints*, guias e demais formas para encaixe, podendo escolher o ângulo que esse elemento vai se adaptar a superfície de conformação, seja ela uma arcada dentária, um osso, um remanescente de tecido mole ou uma estrutura sólida qualquer.

# Microscopia de Força Atômica no OrtoGOnBlender 3D

**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

**Everton da Rosa**

*Cirurgião BMF, Hospital de Base, Brasília-DF*

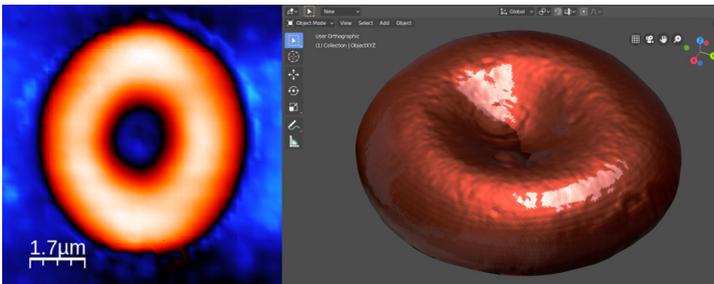
**Cíntia Caetano Bonatto**

*Bióloga, TecSinapse, Laboratório de Nanobiotecnologia (LNANO),  
Brasília-DF*

**Luciano Paulino da Silva**

*Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Laboratório de  
Nanobiotecnologia (LNANO), Brasília-DF*

DOI <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12881198.v1>



O presente capítulo tem por objetivo apresentar o funcionamento geral da microscopia de força atômica, bem como abordar as ferramentas de importação de arquivos para esse campo no Blender 3D através do *add-on* OrtogOnBlender.

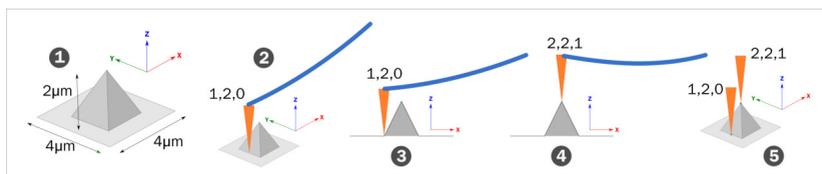
**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

### 3.1 Microscópio de Força Atômica

Inventado em 1986 o microscópio de força atômica (MFA) ou do inglês *atomic force microscope* (AFM), permite a visualização e estudo de elementos de dimensões nanométricas, como nanopartículas, ácidos nucleicos e proteínas [FPDMH13].

O escaneamento das amostras é realizado por uma ponteira colocada no final de uma estrutura cantiléver (haste) onde juntos funcionam como uma sonda. Ao deslocar a ponteira sobre a superfície da amostra a mesma é mapeada em 3D por meio dos desvios do ápice da ponteira indicativos de picos ou vales na superfície da amostra. Esses dados mecânicos são capturados por um laser que envia as informações dos desvios para um fotodetector.

Diferente do microscópio eletrônico de varredura que funciona apenas a vácuo, o MFA pode ser utilizado a vácuo, ambiente (ao ar) ou líquido, sendo ideal para o estudo de amostras biológicas quando comparado a outras técnicas de varredura por sonda [Ltd18].



Figural: Funcionamento da ponteira do microscópio de força atômica

Para uma melhor compreensão do funcionamento vamos utilizar como exemplo uma estrutura de 4x4 micrômetros (µm) com uma pi-

râmide ao centro com 2  $\mu\text{m}$  de altura (Figura 1, 1). O ápice da ponta se desloca ao longo da amostra e captura pontos específicos com espaçamento padrão registrando a coordenada XYZ (2). A primeira capturada ilustrada é a coordenada 1,2,0, ou seja a base da estrutura é a origem do eixo Z (3). Ao se deslocar e chegar ao topo da pirâmide houve uma movimentação nos eixos X e Z resultando na coordenada 2,2,1 (4). Logo, os espaçamentos capturados pelo exemplo são de 1 em 1  $\mu\text{m}$  (5).

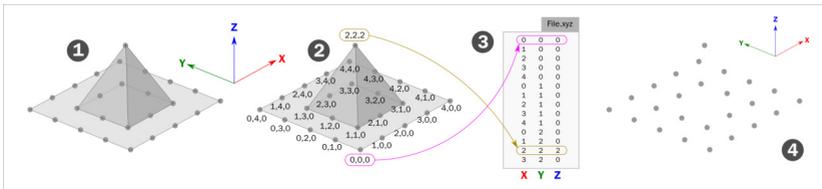


Figura2: Estrutura de um arquivo .XYZ

A cada espaçamento de 1 $\mu\text{m}$  a ponta capturou um ponto (Figura 2, 1). Cada ponto tem a sua coordenada XYZ (2). O conjunto de capturas foi exportado como o arquivo de texto File.xyz onde cada linha é um ponto e cada número espaçado na linha é um eixo de coordenada. É possível identificar dois deles pela ilustração, o ponto 0,0,0 e o ponto 2,2,2 (3). É importante informar que o formato .XYZ fornece apenas os vértices (pontos), sem as arestas e as faces, então caso o arquivo seja aberto o usuário verá apenas uma série de pontos em um espaço tridimensional (4).

O exemplo apresentado na ilustração é extremamente simplificado, em uma captura real o número de pontos é tão grande que o observador precisaria se aproximar bastante para poder vê-los.

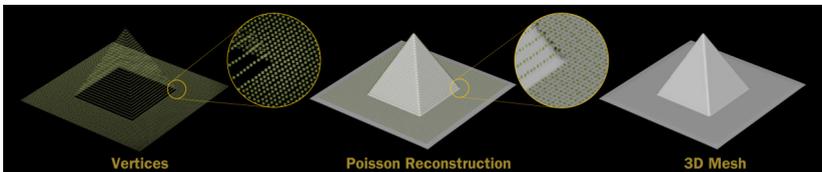


Figura3: Passo-a-passo da reconstrução da malha 3D.

Na ilustração (Figura 3) podemos ver um grupo de pontos mais pró-

ximo a um escaneamento real (Vertices). Esse modelo pode ser reconstruído em 3D a partir dos pontos (Poisson Reconstruction). O resultado final do processo é uma malha 3D completa, formada por vértices, arestas e planos (3D Mesh).

Outra informação importante está relacionada à limitação do equipamento na captura de uma amostra. Por conta de sua estrutura mecânica, que tem uma ponteira com dimensões finitas na extremidade, o escaneamento é limitado no que se pode abordar pelo topo da amostra, em particular reentrâncias com dimensões inferiores àquelas da ponteira ou ocultas à ela.

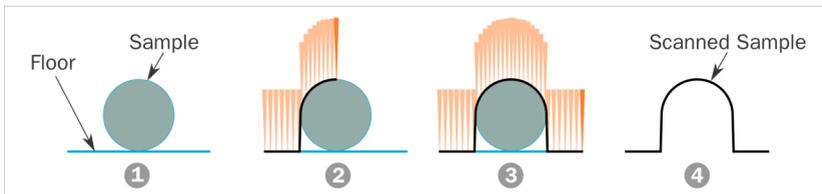


Figura4: Processo de escaneamento da superfície a partir da ponteira do MFA.

Se tomarmos como exemplo o escaneamento de um corpo esférico sobre uma base (Figura 4, 1), veremos que a ponteira percorre ao longo da superfície até tocar a esfera, a ponta contorna a esfera ignorando a parte inferior da mesma que fica inacessível topograficamente (2), seguindo até o final da esfera, retornando à base, finalizando o escaneamento e também ignorando a parte inferior do outro lado (3). O resultado final é uma estrutura de contorno que não contempla as partes inacessíveis ou intocáveis pelo topo devido à geometria da própria ponteira (4).

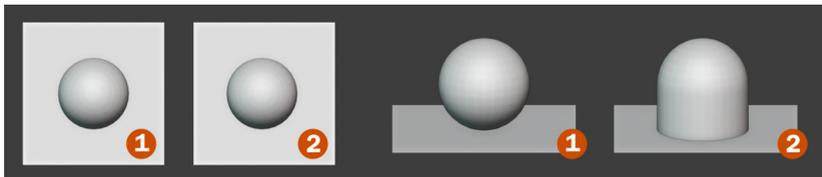


Figura5: Comparação entre uma amostra original e outra escaneada pelo AFM (casa).

Portando o exemplo inicial para uma visualização 3D, temos dois modelos vistos de cima (Figura 5), o original (1) e o escaneado pelo MFA

(2). Aqui ficam evidentes as limitações de digitalização da ponta, posto que uma esfera que levemente toca a base acabou se convertendo em um pino com a parte inferior fixa na base.



Figura6: Comparação entre uma amostra original e outra escaneada pelo AFM (casa).

Outro exemplo didático (Figura 6) pode ser uma pequena casa, ao serem observados pelo topo, ambos os modelos se apresentam da mesma forma, mas ao serem vistos pela lateral é possível atestar que o modelo escaneado perdeu as informações da parte inferior (reentrâncias inacessíveis à ponteira), bem como a janela lateral, posto que todos estes detalhes não são visualizados pelo topo.



Figura7: Comparação entre uma amostra original e outra escaneada pelo MFA (vaso).

O mesmo se aplica a um vaso (Figura 7), ao observarmos pelo topo ambos são semelhantes, mas pela visão lateral os dados não contemplados pela ponta são perdidos.

## 3.2 Processo de Importação

### 3.2.1 Exportando como .XYZ

O processo de importação inicia com a abertura do arquivo \*.stp no software proprietário WSxW [HR20] ou algum outro similar. Apesar de contar com suporte oficial apenas no sistema operacional Windows, para este exemplo (Figura 8) utilizamos uma instalação no Li-

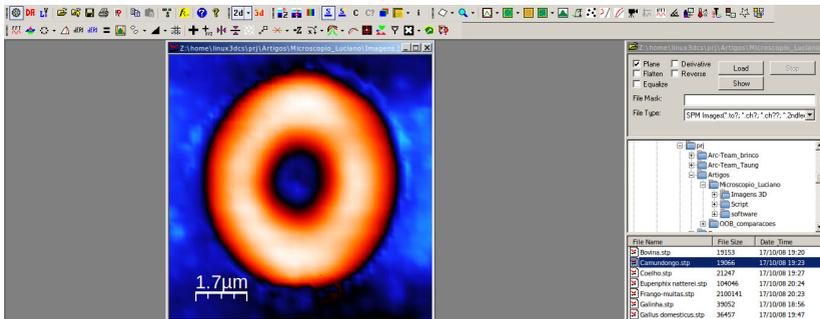


Figura8: Interface do software WSxM.

nux Ubuntu 20.04 através do “emulador” Wine na versão 5.0. Para evitar problemas típicos da renderização 3D, incompatível com as bibliotecas do Wine, optamos pela visualização 2D das capturas.

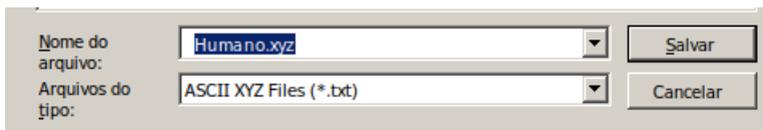


Figura9: Salvando como arquivo .XYZ.

Ao exportar o arquivo no formato ASCII XYZ, tomamos o cuidado de substituir a extensão .txt por .xyz (Figura 9). Esse passo não é obrigatório, posto que funcionará mesmo com a extensão .txt, trata-se apenas de uma boa prática de organização de arquivos.

### 3.2.2 Importando no OrtogOnBlender

O OrtogOnBlender (OOB) é um *add-on* para o ensino do planejamento de cirurgia ortognática que roda dentro do software de modelagem e animação Blender 3D. Em face da ampliação do número de usuários o *add-on* tem recebido novas ferramentas e incorporado submódulos, como o de planejamento de cirurgia ortognática (RhinOnBlender) e o de reconstrução facial forense (ForensicOnBlender). Além destes há ainda outra ferramenta nomeada de OthersOnBlender onde são agrupados os comandos experimentais, como o que será abordado neste material.

Caso haja interesse por parte do leitor em replicar o passo-a-passo aqui exposto é imprescindível que o software seja devidamente instalado e atualizado conforme descrito na documentação oficial [MdRD20a].

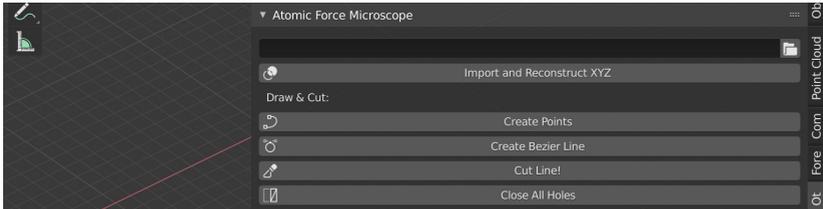


Figura10: Interface da importação dos arquivos de MFA.

O processo de importação é muito simples, bastando ao usuário indicar onde se encontra o arquivo `.xyz` e em seguida clicar em “Import and Reconstruct XYZ” (Figura 10).

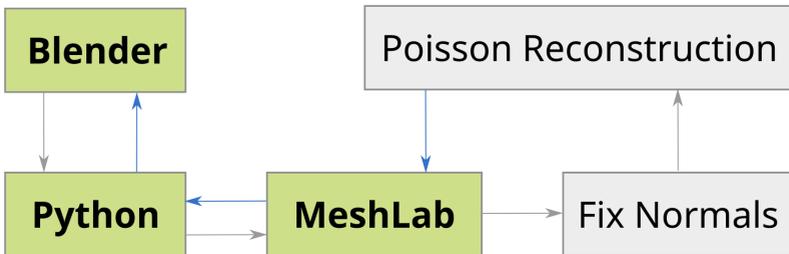


Figura11: Processo de importação de um arquivo `.XYZ`.

Parte significativa do processo acontece fora do Blender, isso se deve à flexibilidade permitida pelo Python script (Figura 11). O arquivo é aberto no MeshLab em *background*, recebe um tratamento para que os *normals* apontem todos para um lado, o que é interpretado como “lado de fora”. Com base nos *normals* o algoritmo Poisson faz uma reconstrução das faces resultando em uma malha 3D. A malha é então importada para o Blender através do Python script.

O próprio script configura a cena aumentando os detalhes das arestas da malha 3D, ativando a sombra, melhorando o contraste da penumbra e centralizando o objeto importado (Figura 12).

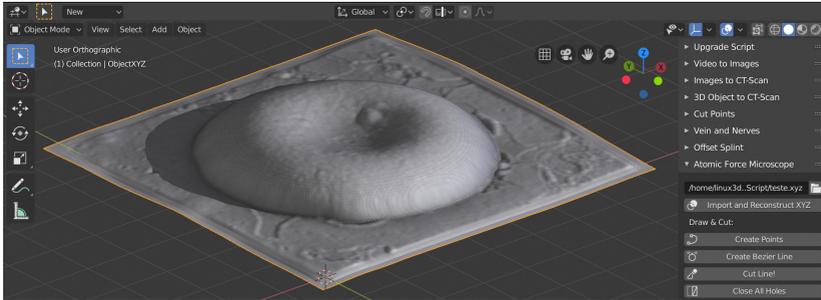


Figura12: Arquivo .XYZ de uma hemácia importado.

### 3.2.3 Segmentando a Região de Interesse

Há ainda a possibilidade de segmentar a região de interesse utilizando as ferramentas agrupadas logo abaixo da importação.

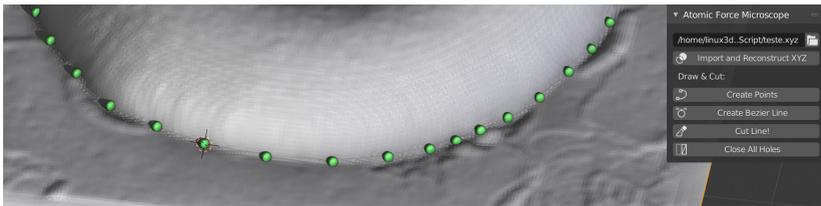


Figura13: Pontos posicionados na região a ser segmentada.

Inicialmente é necessário contornar a região com pontos adicionados pelo botão “Create Points” (Figura 13).

Uma vez que os pontos foram colocados o usuário pode clicar em “Create Bezier Line” para criar uma linha que passará por todos os pontos (Figura 14). Essa linha será a base de corte para a segmentação.

---

**Importante:** Ao fazer o corte é necessário observar o objeto por cima (Top Orthographic).

---

Caso o usuário não esteja satisfeito com a posição dos pontos e a linha de corte, há ainda a possibilidade de alterar as posições selecionando a linha, entrando em Modo de Edição e alterando as posições

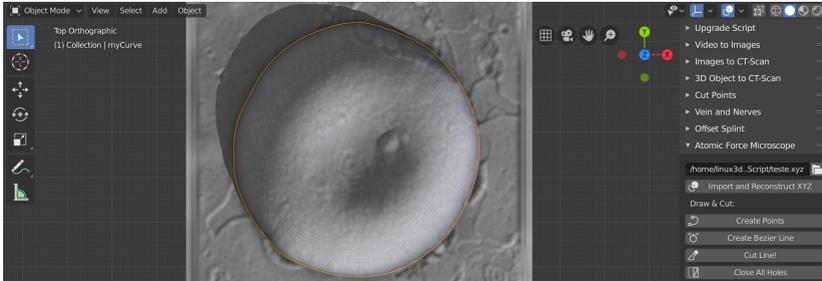


Figura14: Linha criada para posterior corte da malha 3D.

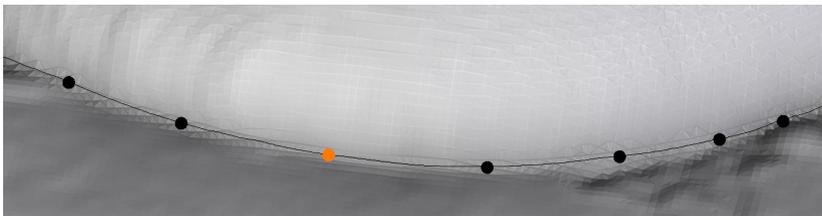


Figura15: Edição da linha de corte.

(Figura 15).

---

**Importante:** Atenção ao mover os pontos, os mesmos ficarão “grudados” na superfície da malha, a movimentação se limitará à área e volume desta. Assim que finalizar a edição selecione novamente a malha principal (escaneada pelo microscópio), caso contrário a segmentação não funcionará!

---

Ao clicar em “Cut Line” a região de interesse é segmentada resultando em duas malhas individuais (Figura 16).

A malha é naturalmente “oca” e a segmentação evidenciou a abertura inferior do modelo (Figura 17).

Caso o usuário opte por fechá-la, o que permitirá dentre outras coisas calcular o volume ou mesmo imprimir em 3D a peça, ele pode clicar em “Close All Holes” (Figura 18).

Em “Matcaps” há uma série de opções de *shaders* pré-definidos onde o usuário poderá trocar a forma na qual o objeto é visualizado na 3D

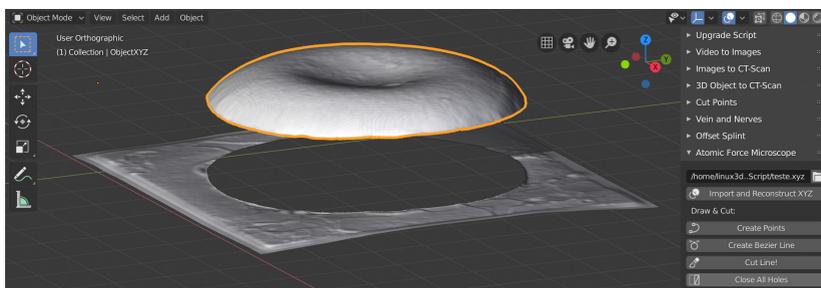


Figura16: Região correspondente à hemácia já segmentada.

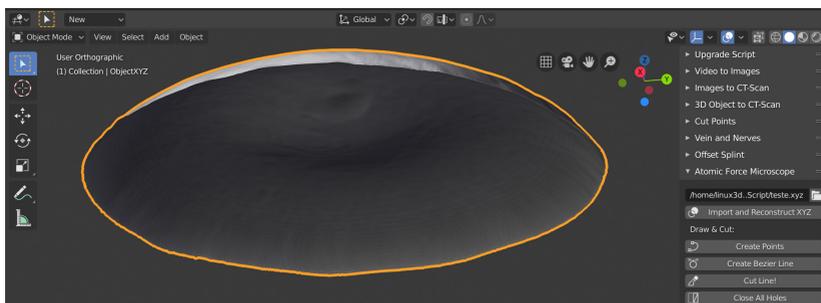


Figura17: Região inferior aberta ou oca.

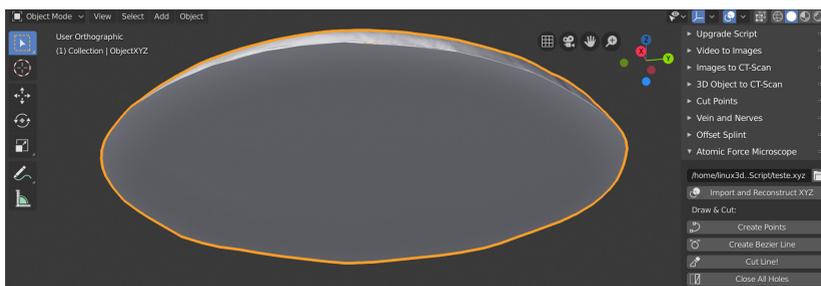


Figura18: Região inferior fechada.

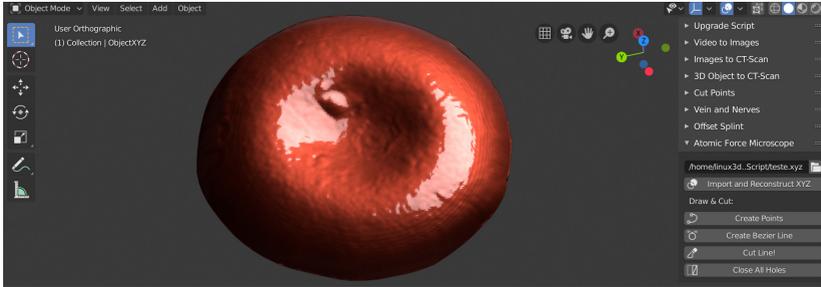


Figura19: Hemácia com *shader* disponível nos Matcaps do Blender.

View (Figura 19).

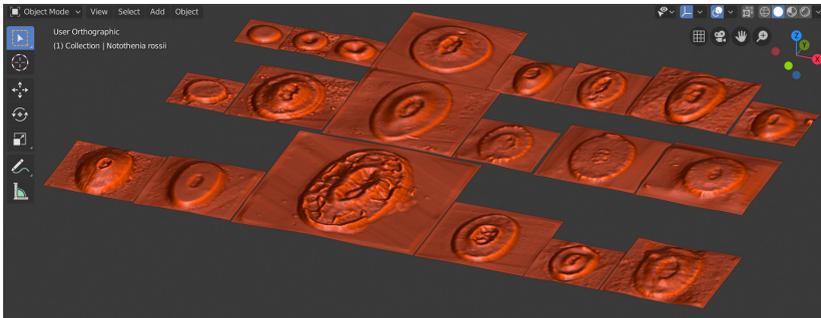


Figura20: Hemácias de diferentes espécies de animais importadas individualmente.

O *add-on* permite múltiplas importações em um mesmo arquivo, viabilizando assim comparações e medidas das estruturas tanto lineares quanto por volume (Figura 20).

### 3.3 Conclusão

A ferramenta mostrou-se eficaz na importação dos arquivos criados pelas observações efetuadas em microscópio de força atômica importando os modelos, preservando as suas escalas e permitindo explorar uma série de ferramentas disponíveis em um software de edição, modelagem e animação 3D.



# Fotogrametria 3D de uma Ponta de Projétil Arqueológica

**Antonio Carlos Soares**

*Mestre em História (PUCRS), Diretor do Museu Arqueológico do Rio Grande do Sul (Marsul)*

**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12894209>



O presente capítulo tem por objetivo descrever a conversão de uma série de fotografias de uma ponta de projétil arqueológica em uma malha tridimensional texturizada por meio da seção de fotogrametria 3D do *add-on* OrtoGOnBlender.

**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## **4.1 A Digitalização em Acervos Arqueológicos**

A digitalização em acervos arqueológicos cumpre não apenas o papel importante para a comunicação museográfica, com a possibilidade de exposições virtuais, como pode auxiliar na pesquisa e na própria curadoria. As exposições digitais são inegavelmente vantajosas aos museus, no entanto, tal como as exposições físicas, devem observar planos expográficos e serem acompanhadas por profissionais da museologia. Existem peças em acervos arqueológicos que necessitam de ambientação adequada para sua conservação e o seu manuseio, por vezes, se configura em um risco para sua integridade. Neste ponto, a digitalização pode oferecer um acesso em meio digital aos acervos, com alta fidelização de detalhes, reduzindo a zero o risco que os objetos musealizados correriam ao serem manuseados e/ou expostos fisicamente, tanto por pesquisadores quanto pelo público em geral, ainda que em ambiente controlado. No caso da digitalização por fotogrametria, quando se utiliza uma série de fotografias de muitos ângulos dos objetos para gerar modelos digitais em três dimensões, se torna uma forma acessível e segura. Acessível porque com qualquer câmera digital pode ser utilizada para realização das imagens a serem convertidas em objetos 3D. Seguro, porque estas fotografias podem – e devem – ser realizadas nas reservas técnicas ou em estúdios montados especificamente para esta finalidade, com acompanhamento de profissionais responsáveis pela curadoria desses objetos.

## **4.2 Uma Ponta de Projétil Lítica Pré-Colonial**

Diante desse cenário social de pandemia, e motivados pela realização do curso digitalização de acervo musealizado oferecido pela empresa de educação à distância OrtogOnLine, iniciamos a tarefa de digitalizar uma ponta de projétil, catalogada e salvaguardada no Mar-sull. A ponta de projétil lítica, é uma entre centenas oriundas das

pesquisas arqueológicas no sítio denominado como Cerrito Dalpiaz, localizado no distrito da Barra do Ouro, no município de Maquiné, no litoral norte do Rio Grande do Sul. Este sítio, pesquisado entre as décadas de 1960 e 1970, está situado ao pé da Serra do Umbú, e deu nome ao que se chamou de Tradição Arqueológica Umbú, definição atribuída ao tipo de cultura material produzida pelos grupos pré-coloniais caçadores-coletores dos pampas do sul do Brasil, do Uruguai e de parte da Argentina. Esses grupos chegaram às paisagens que atualmente denominamos como Rio Grande do Sul há aproximadamente 12 mil anos (Copé, 2013) [Moe13], e são considerados descendentes dos primeiros povoadores do continente Americano (Naves et. all., 2004) [NMHB04]. A ponta escolhida está vinculada a datações absolutas de aproximadamente cinco mil anos (Miller, 1969) [Mil69].

De acordo com Oliveira (2005) [dSd005], é a partir de aproximadamente 9 mil anos antes do presente, na virada para o atual período geológico, o Holoceno, que houve diversas modificações climáticas, formando três tipos de paisagens distintas: o planalto, o pampa e a planície litorânea. “Entendendo-se a importância do meio ambiente, podemos nomear os grupos de acordo com a paisagem que habitavam” (Oliveira, 2005, p. 14). Estes caçadores e coletores das paisagens abertas, ou dos pampas, migraram para o leste e sul, ocupando os pampas e se abrigando em abrigos rochosos. Permaneceram com sua tradição lítica estável por aproximadamente 11 mil anos e são definidos como ancestrais dos povos charruas e minuanos (Guidon, 1992; Oliveira, 2005) [dC98].

As pontas de projétil em pedra lascada são os artefatos que caracterizam a cultura material associada a esses grupos, por isso escolhemos um exemplar para digitalizar e possivelmente compor futuras exposições físicas e virtuais.

### 4.3 Montando o Cenário

Para a fotografia de qualquer peça, precisamos imaginá-la em um cenário. Este cenário deve harmonizar com o objeto, compondo uma cena. No nosso caso, uma ponta de projétil lítica, em basalto, para digitalização, precisa ser contrastada com o cenário para que suas características sejam ressaltadas. Poderíamos fazer um pequeno fundo infinito com papel, de preferência alcalino. Poderíamos escolher, neste caso, tanto um fundo branco quanto um fundo preto para que o objeto seja destacado. Optamos pelo fundo preto e plano, já que o fundo será desprezado no processo de digitalização, buscamos a harmonização da cena que possibilitará mais nitidez para o objeto. Um fundo excessivamente contrastante pode gerar problemas com a fotometria, que comentaremos mais adiante. Um contraste excessivo, entretanto, ressaltaria a silhueta do objeto ofuscando seu corpo. Precisamos ressaltar, além da silhueta, todas características volumétricas da nossa ponta de projétil que será digitalizada. Nesse ponto é que entra a iluminação.

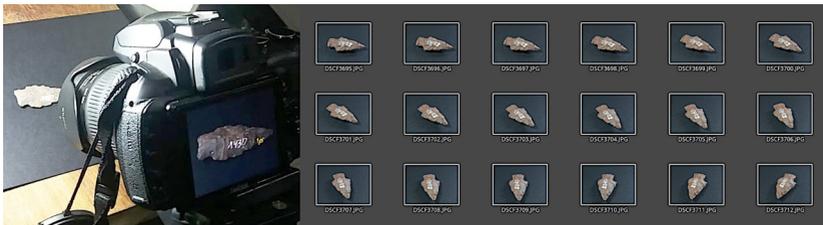
### 4.4 Produzindo a Iluminação

Por ser um objeto com lascamentos minuciosos, e por ser o objetivo das nossas seções fotográficas demonstrar o máximo desses detalhes, se fez necessária uma iluminação adequada para esse fim. Ao contrário do que se pensa comumente, uma boa iluminação não é sinônimo de muita iluminação. No nosso caso, e na maioria das vezes, o fotógrafo procura por uma angulação e intensidade acertadas de luz para ressaltar os aspectos desejados em toda a cena, sobretudo do motivo. No nosso caso, a ponta de projétil. Como escolhemos um fundo preto e o nosso objeto é em pedra basáltica, ou seja, tem uma coloração também escura, necessitaremos de luzes laterais com média intensidade a com aproximadamente 35 a 45 graus de elevação em relação a peça. O objetivo aqui é produzir sombreamentos na superfície do objeto para ressaltar os seus detalhes. Dessa forma, lançaremos mão de um recurso extremamente profissional denominado pelos especialistas como luminárias de mesa! Duas luminárias com lâmpadas em *led* de nove watts, que geram aproximadamente 800 lumens cada, posicionadas nas laterais do objeto, e envolvidas por papel branco para fazer a função de filtro difusor

evitando sombras duras. Obtivemos uma iluminação lateral de intensidade e angulação desejadas.

## 4.5 A Câmera e seus Ajustes

Ajustar a câmera, em que pese um arqueólogo fazendo o papel de fotógrafo em busca da digitalização por fotogrametria, e com um equipamento não profissional em mãos, a tarefa requer algum conhecimento básico sobre fotografia. A primeira coisa a se pensar é o posicionamento do equipamento. Como desejamos fotografias em série, e temos um mini estúdio, precisamos fixar a câmera. Utilizamos um tripé convencional para câmeras e posicionamos em uma distância aproximadamente de uns 20 centímetros a 45 graus da peça a ser fotografada. É importante observar o ajuste da distância da câmera para com o assunto, para que não se provoque distorções de perspectivas. No nosso caso específico, usamos um leve zoom ótico para simular uma lente de 35mm de uma câmera DSLR, como utilizamos uma câmera Fujifilm HS30exr, um equipamento dito semiprofissional.



Figural: Cenário e fotos resultantes.

Fixado o equipamento, é preciso ajustar o *setting* da câmera para a cena. Como o nosso assunto tem dimensões pequenas, selecionamos a opção de macrofotografia. As câmeras em geral utilizam ajustes automáticos que podem gerar problemas com a fotometria, causando saturações indesejadas ou granulações. Então acertamos manualmente três valores importantes: a sensibilidade (ISO), a abertura do diafragma e a velocidade do obturador. Estes três valores são basicamente a alma da fotografia. A definição manual destes valores é possível em alguns equipamentos e são definidos a partir da

fotometria, que no nosso caso, a própria câmera nos indicou da luminosidade da cena. Os fotômetros são opções mais profissionais neste caso. Lembrando que quanto menor a sensibilidade, maior é o tempo de exposição que o sensor necessitará para gerar uma imagem definida. Quanto maior for a abertura do diafragma, menor será a necessidade do tempo de exposição. Então, como uma boa iluminação, podemos reduzir a sensibilidade, para ter maior definição da imagem. Como não temos muita abertura de diafragma, que nos possibilitaria valores mais baixos de sensibilidade, utilizamos o valor de 100 de ISO, o menor valor disponível no nosso equipamento, a maior abertura de diafragma possível, sintonizando a velocidade do obturador para que o tempo de exposição produza a luminosidade adequada da fotografia. Os resultados finais, foram fotografias com um grau de detalhes satisfatórios para a fotogrametria (Figura 1).

## 4.6 Processo de Digitalização 3D

Uma vez com as capturas tomadas, as mesmas foram enviadas para dois diretórios distintos, cada um com uma face da ponta do projétil. Isso foi feito porque a sequência de fotos não contemplou uma rotação completa da peça “em pé”, mas apenas uma rotação em cada lado não contendo dados de transição entre eles. Em face disso, os autores optaram por fazer duas fotogrametrias distintas e depois uma união entre as mesmas que será abordada no decorrer desta explanação.

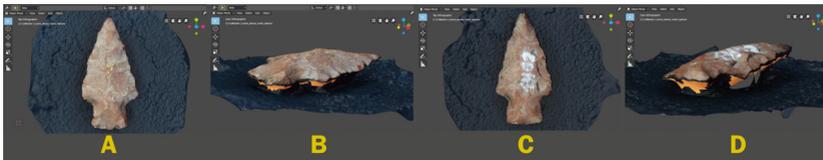


Figura2: Digitalização 3D dos dois lados do projétil.

Cada sequência de fotos passou por um processo de fotogrametria utilizando o algoritmo OpenMVG+OpenMVS rodando via OrtogOn-Blender [MdRD20]. A face de cada lado (Figura 2, A e C) foi reconstruída de modo satisfatório, ao serem orbitadas as peças revelavam regiões não contempladas pela digitalização (B e D).

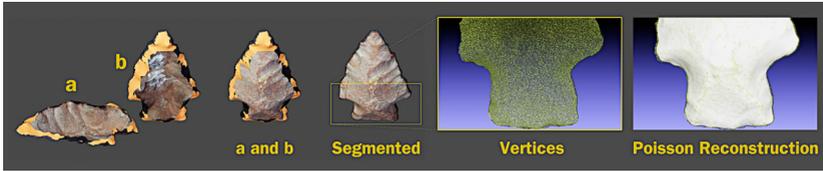


Figura3: Junção e reconstrução das partes em uma malha única.

As duas malhas resultantes do processo de digitalização 3D (Figura 3, a e b) são previamente segmentadas e alinhadas (a and b). Em seguida as regiões que não foram reconstruídas corretamente são apagadas (Segmented). As duas malhas são exportadas como um único objeto .STL. Este arquivo é importado no software MeshLab onde apenas as faces são deletadas, restando os vértices do objeto (Vertices). Em seguida é aplicado o algoritmo de reconstrução Poisson, que utiliza os dados dos vértices para reconstruir a malha em 3D. A malha reconstruída não contém textura.

**Importante:** A reconstrução da malha, além de garantir uma uniformidade maior à mesma, também permitirá o levantamento volumétrico, bem como a impressão 3D sem a necessidade de preparo adicional.

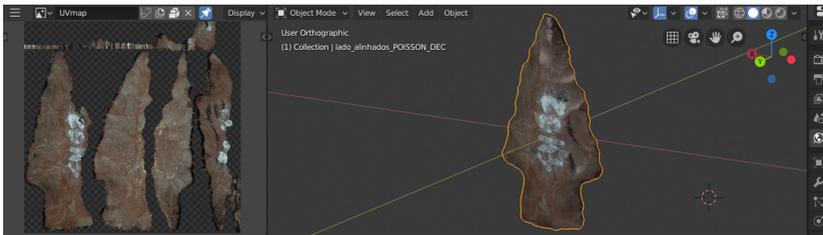


Figura4: Texturização da malha.

A texturização da malha é feita por projeção, utilizando como parâmetro o modelo unido anteriormente com os dois lados da lança, projetando a textura deles à malha reconstruída pelo algoritmo Poisson e devidamente importada no Blender (Figura 4).

O resultado final do processo é um objeto tridimensional único, texturizado e com uma superfície limpa, compatível com a peça original



Figura5: Modelo finalizado.

(Figura 5).

---

**Dica:** Graças a flexibilidade do software Blender 3D, há ainda a possibilidade de simplificar o modelo e disponibilizar o mesmo de modo *online* com órbita 3D interativa: <https://skfb.ly/6UIIr>

---

## 4.7 Conclusão

O OrtogOnBlender em trabalho conjunto com o MeshLab, se mostrou uma completa ferramenta para a digitalização de uma ponta de projétil arqueológica, permitindo a configuração de um modelo editável em espaço tridimensional, que pode ser impresso em 3D e também visualizado de modo interativo na internet.

# **Reconstrução Facial Forense de um Crânio Arqueológico com o ForensicOnBlender**

**Roberta Richard Pinto**

**Sérgio Mendonça de Almeida**

**Rebecka Borges da Nóbrega Chaves**

*Museu de Arqueologia e Ciências Naturais da Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE*

**Olivia Alexandre de Carvalho**

*Laboratório de Bioarqueologia (LABIARQ), Departamento de Arqueologia (DARQ), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju-SE*

**Marcos Paulo Salles Machado**

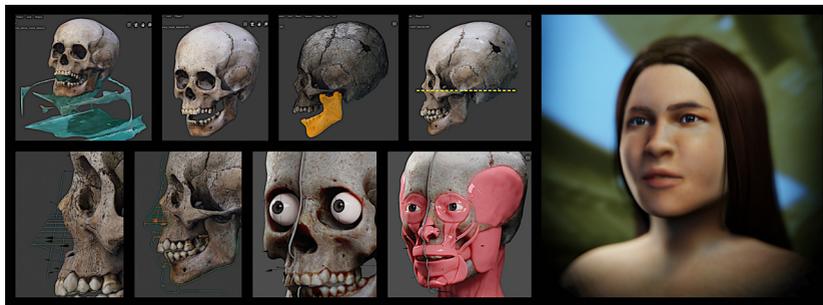
*Perito Legista Cirurgião Dentista, Chefe do Serviço de Antropologia Forense do IMLAP- RJ, Rio de Janeiro-RJ*

**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12943418>

O presente capítulo tem por objetivo abordar o contexto de um crânio indígena arqueológico (MUSARQ-A:023) pertencente ao acervo do Museu de Arqueologia da Universidade Católica de Pernambuco e descrever o processo de reconstrução facial forense do mesmo.



**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## 5.1 Histórico da Instituição

Em 03 de abril de 1987, o Museu de Arqueologia da Universidade Católica de Pernambuco, com sua exposição permanente “Um cemitério Indígena de 2.000 anos”, fundamentou-se com o intuito de divulgar a Pré-História de Pernambuco, vinda dos achados arqueológicos da Profa. Dra. Jeannette Maria Dias de Lima no Sítio Arqueológico Furna do Estrago, Município Brejo da Madre de Deus, Agreste de Pernambuco nas décadas de 1980 e 1990. Em caráter provisório, veio ocupar primeiramente o Centro Cultural da Universidade Católica, tendo sido movido para o primeiro andar do Bloco G, em fevereiro de 1988.

Em 18 de maio de 2015 a exposição foi reinaugurada em um novo endereço no Palácio da Soledade, edificação tombada como Patrimônio Histórico de Recife em 30 de novembro de 1937. Desde sua inauguração, o Museu vem sendo visitado regularmente por professores, pesquisadores e estudantes das redes pública e privada do estado, do Brasil e de outros países.

Com o objetivo de atrair mais público e aumentar a comunicação com a sociedade, em parceria com pesquisadores, médico e 3D Designer, em fevereiro de 2018, iniciou-se uma nova fase da identidade do Museu. Foi digitalizado o crânio do “Flautista”, indivíduo conhecido desta forma por apresentar uma flauta entre os braços em seu

sepultamento. Seu rosto foi reconstituído digitalmente com as técnicas de reconstituição facial forense, a partir da imagem digitalizada e do uso de software gratuito. A ação teve repercussão local [1E18] e nacional [New18], com a participação de representantes da comunidade dos Fulni-Ô, promovendo assim a divulgação do conhecimento científico bem como do Museu da UNICAP em sua missão.

## **5.2 Contextualização e Informações Bioarqueológicas**

### **5.2.1 Material arqueológico**

O indivíduo apresentado neste trabalho (MUSARQ-A:023) está salvo-guardado no acervo científico do Museu de Arqueologia e Ciências Naturais da Universidade Católica de Pernambuco, é do sexo feminino, proveniente do Sítio Arqueológico Furna do Estrago, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.

O acervo do Museu da UNICAP conta atualmente com mais de 120.000 peças de diferentes tipologias provenientes de diversas localidades, tais como, material zoológico, botânico, bioarqueológico, fósseis da megafauna, cerâmica, adornos, material lítico, estatuetas, vasilhames, vidros, grés, botões, madeira, tijolo, telha, esteira, cordame, instrumento musical e metais.

### **5.2.2 Localização**

O sítio Furna do Estrago é um pequeno abrigo rochoso granítico, localizado nas proximidades da cidade de Brejo da Madre de Deus, no Agreste pernambucano, a 194 km da capital do estado de Pernambuco, Recife. Encontra-se na encosta setentrional da Serra da Boa Vista, a 650m de altitude, na borda da caatinga e próximo a um brejo de altitude, nas coordenadas geográficas: 36°28'14" de longitude oeste e 8°11'36" da latitude sul (Lima et al., 2012 [LSMDSB12]) (Figura 01).

Os vestígios arqueológicos e bioarqueológicos foram resgatados em escavações ocorridas nos anos de 1982, 1983, 1987 e 1994, pela ar-



Figural: Sítio Furna do Estrago/Brejo da Madre de Deus/PE.

queóloga Jeannette Maria Dias de Lima† da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). O sítio Furna do Estrago apresentou uma estratigrafia composta por cinzas de fogueiras e elementos orgânicos (Figura 02).

Com relação à cronologia, a Furna do Estrago, possui sucessivas ocupações indígenas desde 11.000 anos antes do presente (BP). Segundo Lima et al. (2012 [LIM01]), foram atribuídas ao sítio as seguintes datações radiocarbônicas, realizadas no Smithsonian Institution, Washington DC e Beta Analytic, Flórida, USA):

- 11.060±90 anos (SI-6298), realizada como amostra de carvão do corte 4, camada 7;
- 9.150±90 anos (SI-6297), realizada como amostra de carvão do corte 4, camada 5 (inferior);
- 8.495±70 anos (SI-6296), realizada como amostra de carvão do corte 4, camada 5 (superior);
- 1.860±50 anos (Beta-14954), sepultamento FE18 (período antigo de ocupação do sítio cemitério, abaixo de 80 cm);
- 1.730±70 anos (Beta-14954), sepultamento FE87.3 (período médio de ocupação do sítio cemitério), de 80 a 50 cm de profundi-

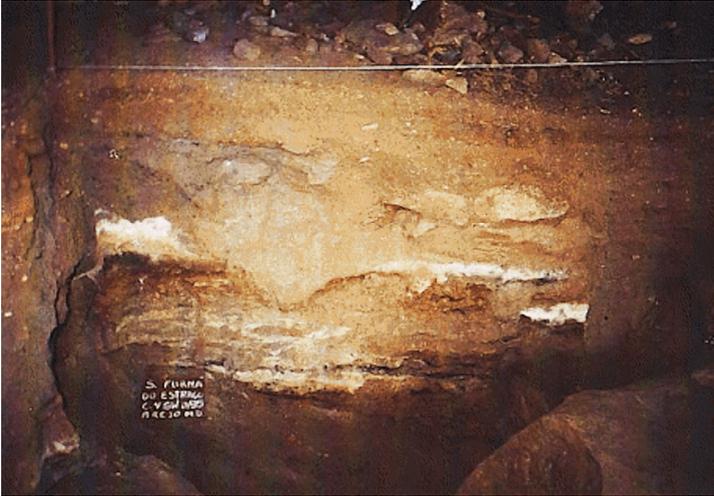


Figura2: Perfil estratigráfico do sítio Furna do Estrago/Brejo da Madre de Deus/PE (Acervo do Museu de Arqueologia e Ciências Naturais da UNICAP).

- dade); - 1.610±70 anos (Beta-145955), sepultamento FE87.3 (período mais recente de ocupação do sítio cemitério, até 50 cm de profundidade);
- 1.040±50 anos (SI-6295), carvão granulados do corte 2 (20 e 30 cm de profundidade), que estavam associados a um sepultamento cremado, que marca última ocupação do espaço funerário.

No tocante ao meio ambiente, o sítio Furna do Estrago está localizado na borda da Caatinga, ecossistema dominante que envolve a região mais úmida do brejo e se estende adiante, na direção da calha do alto Capibaribe (Lima, 2001; Carvalho et al., 2007 [CQM07]; Martin, 2008 [MAR08]). A Serra da Boa Vista, onde se encontra o sítio, é um prolongamento do Maciço da Borborema e nela se registra a maior altitude deste Maciço, com 1.195 m.

Esta serra encontra-se fortemente erodida, com o granito exposto, apresentando apenas alguns refúgios de vegetação rasteira em sua parte mais elevada.

Sobre as maiores altitudes da região, cerca de 11 km a sudeste do sítio, encontra-se a Mata Serrana do Bituri, que ocupa uma área em

torno de 41 km<sup>2</sup>. Sua presença acarreta efeitos umidificantes na Caa-tinga próxima, verificando-se, conforme observado por Lima (2001), um incremento de 80% na média da pluviosidade da cidade do Brejo em relação à média de Fazenda Nova (Icó), embora a diferença na altitude seja de apenas 137 m a mais para a cidade de Brejo da Madre de Deus, a distância entre essas localidades é de 20 km (Carvalho et al., 2007; Martin, 2008). Pelo fato de o sítio estar na encosta norte da Serra da Boa Vista, com a abertura da Furna voltada para Nordeste, tendo atrás de si a muralha de granito da própria serra, a radiação solar sobre esse local se faz sentir com menor incidência, resultando num meio-ambiente aprazível (Carvalho et al., 2007).

O abrigo tem 19 m de abertura, 4,80 m de altura máxima e uma profundidade máxima de 8,80 m. É constituído de um único salão com 125,10 m<sup>2</sup> de área coberta, sendo 76,60 m<sup>2</sup> de sedimentos e o restante ocupado por grandes rochas. O piso é levemente inclinado na direção noroeste e apresenta um sedimento superficial pardo-escuro, solto, macio, com presença de fragmentos de rocha e porções de ossos humanos queimados (Martin, 2008). O teto e as paredes estão dispostos em curvatura contínua na direção do fundo do abrigo e ostentam reentrâncias produzidas pelo desabamento de blocos de granito. Há vestígios de pictoglifos em vermelho em diversos pontos do teto e nos paredões externos, porém completamente destruídos, principalmente em decorrência de fogueiras acesas dentro da Furna (Mendonça de Souza, 1995) [MDS95].

### **5.2.3 Informações Bioarqueológicas**

Os primeiros resultados sobre o perfil bioarqueológico da população estudada surgiram a partir das análises nos vestígios ósseos humanos pelas Bioarqueólogas Marília Mello e Alvim e Sheila Mendonça de Souza (Mello e Alvim e Mendonça de Souza, 1991 [AdeMDSF91]; Mendonça de Souza e Mello e Alvim, 1992 [SFMEA92]; Mendonça de Souza, 2018) [MDS18]. De acordo com Mendonça de Souza (2018), as sepulturas do sítio Furna do Estrago têm sido estudadas por diversos pesquisadores e mostram resultados sobre o modo de vida e o viés biocultural dos habitantes daquela área em particular, através dos sepultamentos exumados (Figura 03). Foram exumados, as sepulturas FE83.1 (MUSARQ-A:01) a FE83.67 (MUSARQ-A:67), entre os meses

de outubro de 1982 e dezembro de 1983 (Lima et al., 2012).



Figura3: Sepulturas do sítio Furna do Estrago/Brejo da Madre de Deus/PE (Acervo do Museu de Arqueologia e Ciências Naturais da UNICAP).

Com relação aos dados bioarqueológicos, na sepultura do MUSARQ-A: 023 (FE83.23) foi inumada uma criança, cuja determinação do sexo foi indeterminada pela ausência de estruturas ósseas diagnósticas (Lima et al., 2012; Castro, 2009). A datação atribuída por (Lima, 2001), que inseriu a sepultura no nível médio de ocupação do sítio cemitério, foi de  $1.730 \pm 70$  BP (Beta-14954).

Não foram encontrados acompanhamentos funerários nessa sepultura (Lima et al., 2012 e Castro, 2009 [CAS09]) e a estimativa de idade foi de 15 anos  $\pm$  36 meses (observações com base na erupção dentária, grau de desenvolvimento e maturação dos ossos), baseadas nos trabalhos de Ubelaker (1978) [UBE78], Buikstra e Ubelaker (1994) [BU94], como também, Schaefer et al. (2009) [SBS09] e Scheur & Black (2004) [SB04].

Observamos apenas que os ossos do crânio estavam manchados de ocre. Vale lembrar que em alguns sepultamentos foram encontrados blocos de ocre associados às sepulturas, por isso devemos interpretar a presença de ocre nos ossos do crânio do indivíduo MUSARQ-A:

023 (FE83.23) com certa prudência.

O crânio apresenta características morfológicas bem robustas, características essas, presentes em quase todos os indivíduos proveniente da população pré-colonial da Furna do Estrago, mesmo em indivíduos femininos.

Os ossos do crânio estão bem conservados, porém apresentam algumas alterações na superfície ósseas provocadas por agentes tafonômicos, sobretudo relacionados ao intemperismo (fraturas post-mortem e esfoliações).

Observamos os seguintes ossos cranianos: neurocrânio (frontal, parietais, temporais, esfenoide, etmoide e occipital), ossos da face (maxilar, vômer, zigomáticos, maxilares, palatinos, nasais, lacrimais, mandíbula).

Os dentes estão bem conservados, apresentando incisivos em forma de pá (shovel-shaped) (caráter epigenético), com coroas em forma de pá, indicando origem nativa americana (ancestralidade).

Maxilar: dentes presentes (segundo molar, primeiro molar, segundo pré-molar, primeiro pré-molar, canino, segundo incisivo, primeiro incisivo medial-lado esquerdo). Primeiro incisivo medial, segundo incisivo lateral, canino, primeiro pré-molar, segundo pré-molar, primeiro molar e segundo pré-molar- lado direito.

Mandíbula: em bom estado de conservação, com exceção do processo condilar da mandíbula (lado direito). Dentes presentes (segundo molar, primeiro molar, segundo pré-molar, primeiro pré-molar, canino, primeiro incisivo medial-lado esquerdo), observamos a ausência do segundo incisivo lateral do lado esquerdo. Primeiro incisivo medial, segundo incisivo lateral, canino (lado direito), ausência (post-mortem) do primeiro pré-molar, segundo pré-molar, primeiro molar e segundo pré-molar-lado direito.

As observações macroscópicas evidenciaram uma anomalia de desenvolvimento nos ossos do crânio, que será tema de um estudo posteriormente, com a utilização de técnicas para diagnóstico (radiografia e tomografia), com o intuito de determinar as paleopatologias e anomalias de desenvolvimento.

Essa anomalia de desenvolvimento craniana reafirma a condição de endogamia (consanguinidade), assim como outras anomalias seme-

lhantes encontradas em outros indivíduos deste grupo (Carvalho, 1995 [CAR95]; Fontes, 2016 [FON16]), indicam essa condição, a qual raramente é descrita em populações pré-coloniais do Nordeste do Brasil.

Constata-se a necessidade da adoção de estudo morfométricos cranianos em todos indivíduos desta ocupação, para fins de diagnósticos complementares, buscando corroborar o efeito da consanguinidade na população.

Com relação as paleopatologias dentárias, observamos cálculos dentários (em grau leve), cárie e hipoplasia do esmalte dentário, bem como, a presença de diferentes níveis de desgaste dentário (leve, moderado e severo).

### 5.3 Reconstrução Facial Forense

Reconstrução facial forense é uma técnica que permite proceder com a aproximação de um rosto a partir do crânio com o propósito de reconhecimento individual (Taylor 2000, p. 370) [Tay00].

O primeiro trabalho formal atribuído a essa abordagem, ainda que pouco documentado, foi efetuado pelo anatomista suíço Whilhem His em 1895 e consistiu na reconstrução facial do compositor austríaco Johann Sebastian Bach (Taylor 2000, p. 364 e Prag e Neave 1997, p. 17) [PN97].

Na década de 1920 o arqueólogo russo Mikhail Gerasimov iniciou os seus estudos de reconstrução facial abrangendo desde ancestrais da evolução humana até homens modernos, culminando em 1949 com a publicação no livro Fundamentos de Reconstrução Facial do Crânio [Ger49]. O Dr. Gerasimov junto com a sua pupila, Galina Lebedinskaya são os criadores do que passou a ser conhecido como o **método russo** de reconstrução facial forense (Taylor 200, p. 342).

No final da década de 1960 a *medical artist* Betty Pat Gatliff em colaboração com o antropólogo forense Dr. Clyde Snow reconstruiu uma série de faces de vítimas de crime, que resultaram em uma taxa de identificação (reconhecimento) de 72% (Prag e Neave 1997, p. 18). Essa técnica ficou conhecida como o **método americano** de reconstrução facial forense.

Em 1973 o *medical artist* Richard Neave em parceria com o Dr. John Prag apresentou duas reconstruções faciais de múmias pertencentes ao acervo do Museu de Manchester (Prag e Neave, p. 41-52), desenvolvendo assim o que seria conhecido como método combinado ou **método de Manchester**.

Para proceder com a reconstrução apresentada neste capítulo os autores utilizaram uma técnica mista, composta pelos três métodos supracitados.

## 5.4 Digitalização e Alinhamento do Crânio



Figura4: Passos iniciais da reconstrução facial 3D.

Foram tomadas 134 fotografias de 4032x2268px (Figura 4, 1) em torno do crânio utilizando o smartphone Motorola G6 Plus, destas 72 fotografias foram selecionadas de modo a adequarem-se ao protocolo de círculo duplo para a fotogrametria de crânio [MdRD20b].

Para digitalizar a peça a opção escolhida foi **OpenMVG+OpenMVS**, com o **D Factor** em 4 e o **Smooth Factor** também em 4, seguindo a orientação da documentação oficial para peças arqueológicas e crânios [MdRD20]. Como as fotografias contemplavam o suporte e a mesa, partes dessas estruturas foram digitalizadas no processo (Figura 4, 2). Em um computador com processador Intel i9 9900K 3.6 Ghz, 64 MB de memória RAM e SSD de 960 GB com refrigeração a água, o processo de digitalização levou 9 minutos e 55 segundos. Para o redimensionamento do crânio utilizou-se como referência a distância entre os arcos zigomáticos: 135mm.

---

**Importante:** A aparente diferença na forma do crânio nas fotos 1 e 2 (Figura 4) se deve a primeira estar com deformação de perspectiva

e a segunda sem deformação (*orthographic*).

As partes não relacionadas ao crânio foram apagadas resultando na segmentação da região de interesse (Figura 4, 3). Em Modo de Edição a região relacionada a mandíbula foi selecionada e rotacionada para manter-se em oclusão (Figura 4, 4 e 5) e o crânio foi alinhado ao plano de Frankfurt (Figura 4, 6).

## 5.5 Processo Inicial de Reconstrução Facial



Figura5: Traçado do nariz e adequação dos músculos.

Em razão da faixa etária, optou-se pela utilização de uma tabela de espessura de tecido mole que contemplasse indivíduos mais jovens. Para evitar problemas de falta de harmonia superficial causada por marcadores feito no *post-mortem*, foi escolhida uma tabela com dados capturados *in vivo* de uma população de nativos canadenses de ancestralidade compatível com o crânio abordado neste capítulo [PMLF13].

Os dados das espessuras são coletados (copiados) da tabela presente no artigo e colados em uma planilha. O arquivo é salvo como **.CSV**, extensão que pode ser importada diretamente no ForensicOnBlender convertendo os dados diretamente em marcadores que serão distribuídos na superfície do crânio (Figura 5, 1).

Em seguida é feito o traçado da projeção do nariz (Figura 5, 2) utilizando como referência duas abordagens, uma pelo método russo e outra pelo método de Manchester, ambas descritas em Moraes e Miamoto (p. 338-352) [MD15].

Utilizando como referência de limite os marcadores distribuídos

pelo crânio e a projeção do nariz, é traçado então o perfil do rosto (Figura 5, 3 e 4).

Uma órbita é importada, posicionada anatomicamente e editada de modo a compatibilizar-se com a cor dos olhos do indivíduo (Figura 5, 5).

Com quase todas as projeções definidas, os seguintes músculos são importados e adaptados a estrutura do crânio: temporal, masseter, orbicular do olho, elevador do lábio superior, nasal, zigomático, orbicular do lábio, bucinador, mental e outros, esternocleidomastoideo e outros (Figura 5, 6).

## 5.6 Escultura Básica, Configuração da Estrutura, Adaptação e Finalização do Rosto



Figura6: Escultura e finalização do rosto.

Para dar sequência ao trabalho é necessário traçar mais algumas projeções (Moraes e Miamoto, p. 352-357), como a estrutura dos lábios e a sobrancelha (Figura 6, 1). Feito isso cria-se uma malha que envolve o crânio e os músculos da face (Figura 6, 2), essa malha será esculpida de modo muito simplificado para servir como base para a posterior adaptação do rosto final (Figura 6, 3). Assim que a face básica é esculpida recorre-se ao [MakeHuman](http://www.makehumancommunity.org/)<sup>2</sup>, um software de geração paramétrica de seres humanos (Moraes e Miamoto, p. 359-375). Nesse ambiente será configurada uma face com as características compatíveis com o rosto a ser reconstruído (Figura 6, 4). Trata-se de uma maneira muito prática e rápida para a obtenção de um ser humano já configurado com cabelo, textura, cílios, sobrancelha e indumentária (esse último não se aplica ao modelo do capítulo).

<sup>2</sup> <http://www.makehumancommunity.org/>

Ao importar o modelo para a cena da reconstrução, o ForensicOn-Blender configura os *shaders* (aspecto da estrutura) de modo a deixá-los com um bom aspecto visual sem a necessidade do usuário fazer edições posteriores na maioria dos casos. O rosto importado geralmente não conta com a mesma estrutura da escultura básica (Figura 6, 5), sendo necessário ao usuário fazer uma série de adaptações (Moraes e Miamoto, p. 389-409) de modo a compatibilizar a face criada no MakeHuman com a reconstrução facial (Figura 6, 6).



Figura7: Imagens finais da reconstrução facial digital.

Assim que todas as adaptações são finalizadas, pode ser necessários trabalhos extras de escultura digital, bem como de composição para criar um *background* na cena e gerar assim uma apresentação mais agradável aos olhos e compatível com o contexto da reconstrução facial (Figura 7). O trabalho então encontra-se finalizado.

## **5.7 Conclusão**

O ForensicOnBlender se mostrou uma ferramenta apta a ser utilizada na reconstrução facial forense para o âmbito arqueológico, desde a digitalização do crânio até a apresentação da imagem final. O fato de ser multiplataforma, livre, gratuito e relativamente leve, faz com que seja uma solução amplamente aplicável em todas as realidades institucionais, desde as que contam com ampla disponibilidade pecuniária, como aquelas de orçamento limitado.

# Guia de Colagem Ortodôntica Indireta com o OrtoGOnBlender

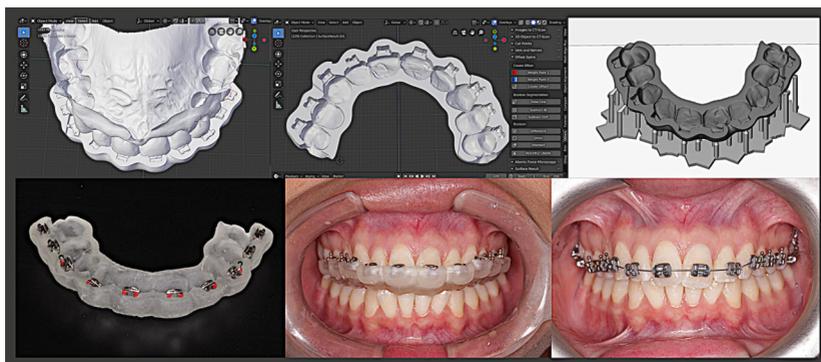
Cicero Moraes

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

Sérgio Luís Rodrigues Gianvechio

*Especialista em Endodontia APCD Araraquara (SP), Especialista em Ortodontia IPESP, Brasília-DF*

DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12996908>



O objetivo deste capítulo é propor uma abordagem técnica para a criação de guia de colagem ortodôntica indireta, utilizando software gratuito e com isso aumentar as possibilidades do uso das tecnologias digitais para os profissionais que não possuem acesso aos softwares de alto custo, evidenciando que a odontologia digital está

acessível a todos através do OrtogOnBlender.

**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## 6.1 Introdução

O tratamento Ortodôntico é composto por uma sequência de eventos que vão desde a análise facial, análise dos exames radiográficos e de modelos, determinação do plano de tratamento, instalação dos aparelhos, acompanhamento das movimentações até a fase de finalização onde objetiva-se ter uma oclusão próxima do ideal. A colagem de braquetes é uma das etapas mais importantes do tratamento ortodôntico pois através dela chega-se ao posicionamento dentário almejado no planejamento [PFNC03].

A técnica da colagem indireta foi desenvolvida por Silverman e Cohen em 1972 para reduzir o tempo clínico e aumentar o conforto do paciente. Neste método foi utilizado cimento para anexar braquetes ao modelo de gesso, um selante como um adesivo e guias termoplásticas para a transferência dos braquetes, a partir daí surgiram diversas variações, principalmente no que se refere aos materiais com que são confeccionadas as moldeiras, como por exemplo, as siliconas propostas por Scholz, placas de acetato indicadas por Hickman ou cola quente que utiliza polímero de etileno vinil acetato sugerido por White. De modo geral, todas elas baseiam-se na obtenção de modelos de trabalho dos arcos dentais confeccionados em gesso, nos quais posicionamos os acessórios ortodônticos que posteriormente serão transferidos para os dentes do paciente com o auxílio de moldeiras de transferência, não devendo haver nenhuma modificação morfológica nos dentes, no intervalo de tempo entre a moldagem e a colagem (VELLINI ET AL 2015) [FMA+15].

A odontologia digital introduziu o uso dos modelos intra orais escaneados em 3D e abriu a possibilidade da criação de set ups digitais, de alinhadores ortodônticos e também está provendo uma grande contribuição ao desenvolvimento da técnica de colagem indireta [Lay03]

[CC18] [P016]. Para isso novos materiais e softwares de design foram configurados especialmente para esta técnica.

Nos últimos anos, a popularidade da colagem indireta de braquetes tem aumentado devido a vantagens como a redução do tempo de cadeira, maior precisão no posicionamento dos braquetes e o aumento de conforto do paciente. Para trabalhar com essa técnica é necessário ter acesso a modelos intra orais, obtido preferencialmente por escaners intra orais bem calibrados e com a configuração correta para que o modelo seja o mais preciso possível. Além disso é fundamental obter o acesso a softwares específicos que possuam uma biblioteca de braquetes e também tenham módulos de design das guias e para uma melhor acurácia do processo este software também deve ser capaz de ler os arquivos DICOM das tomografias e fazer a integração entre os arquivos STL do escaneamento intra oral, com os arquivos DICOM das tomografias [DGS+20]. Finalmente é necessário acesso à tecnologia de impressão 3d para materializar estes projetos.

Embora a técnica de colagem indireta tenha melhorado ao longo dos anos, o acesso a modelos digitais pelos ortodontistas é bem maior que o acesso a softwares. Em um editorial Sabiha Bunek (2019) [Bun12], afirmou que 37% dos dentistas norte americanos possuem acesso a escaners intra orais mas não conseguiu afirmar quantos deles tinham um software de design integrado no seu workflow digital. Essa dificuldade de acesso pode ser justificada primeiramente pela preferência das empresas em apresentar principalmente os softwares para confecção de *aligners* ortodônticos, pelo custo de aquisição de softwares específicos para este fim e também pela falta de conhecimento profissional desta técnica.

## 6.2 Descrição da Técnica

Devido a grande complexidade das peças ortodônticas (braquetes) o uso do conceito de modelos digitais com superfícies não retentivas podem facilitar o desenvolvimento de guias e *splints* digitais. Para um melhor desempenho da técnica foi efetuada uma modificação nos braquetes seguindo o conceito de anti retenção, uma vez que os braquetes possuem além do slot onde é inserido o fio ortodôntico,

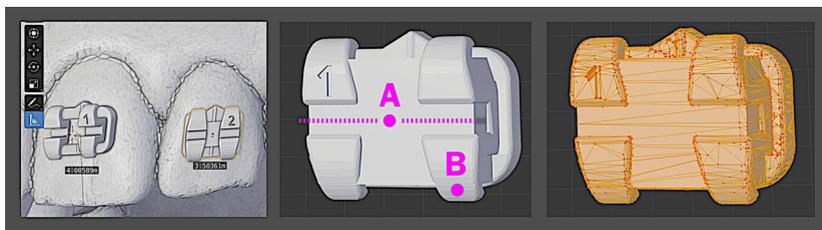


Figura1: Braquete convencional. Alinhamento ao dente (à esquerda). Ao centro: A) Slot de nivelamento e B) Aleta de retenção do alástico/amarrilhos. Braquete em modo de edição (à direita) para análise da estrutura.

aletas onde são inseridos os elásticos ou fios de amarrilho, estas regiões apresentam um design complexo e pode inviabilizar a adaptação da guia.

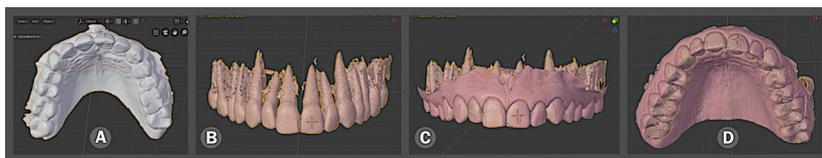


Figura2: Passo-a-passo da importação do modelo e reconstrução da tomografia computadorizada.

O processo de confecção da guia de colagem indireta inicia-se com a Importação de modelos em arquivo STL (Fig. 2, A).

Para um melhor posicionamento tridimensional dos braquetes utilizamos o arquivo DICOM obtido com o exame tomográfico dos pacientes e no software *Slicer*<sup>8</sup>, fazemos a seleção da região de interesse [MdRD20a] onde separamos os parâmetros de threshold para tecido mole, osso e dentes. Após a definição destes parâmetros seguimos no *OrtogOnBlender* na aba de CT-Scan Reconstruction, neste caso utilizando a opção de reconstrução CUSTOM e em seguida fazemos a conversão do arquivo DICOM em uma superfície 3D (Fig. 2, B).

**Importante:** Atualmente o CUSTOM está sendo substituído pela opção DEFAULT do CT-Scan Reconstruction. Isso acontece porque a segunda opção fornece configuração automática para uma grande

<sup>8</sup> <https://www.slicer.org/>

parte dos tomógrafos do mercado, dispensando a aborçagem burocrática da explanação anterior.

A próxima etapa é fazer a sobreposição destes modelos, ou seja, sobrepor o arquivo 3d proveniente da tomografia com o arquivo STL do escaneamento intraoral.

Para alinhar seguimos o menu Alignment na mesma aba “Import Archs”. Marcamos os pontos compatíveis de origem (modelo tomografia) e alinhamento (modelo STL). Fazer o procedimento para três pontos de acordo com o solicitado pelo software. Caso o usuário ainda queira refinar este alinhamento poderá ir no menu Force ICP Align e ativá-lo para melhorar esta sobreposição (Fig. 2, C e D).

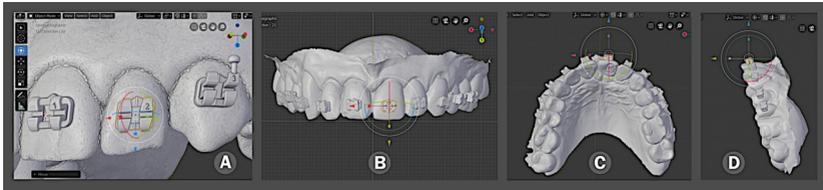


Figura3: Processo de alinhamento do braquete ao dente.

Agora iremos para a fase mais trabalhosa do nosso fluxo que é o posicionamento tridimensional dos braquetes. Para importarmos a biblioteca de braquetes, vamos ao no menu principal: File -> Import -> STL. Para movimentarmos os braquetes e irmos posicionando sobre o dente específico utilizamos o comando Grab e levamos o braquete para seu respectivo dente. Após este passo inicial temos que fazer o refinamento até alcançarmos o posicionamento ideal destes braquetes (Fig. 3, A).

Para isso usaremos o Pivot e o ideal é que este Pivot esteja posicionado no centro do braquete para podermos movimentá-lo nos eixos X, Y e Z. Ao mesmo tempo iremos orbitando o modelo para termos as vistas deste posicionamento. Sempre observamos o modelo nas três vistas, ou seja, frontal, oclusal e lateral para termos a perfeita noção deste posicionamento tridimensional (Fig. 3, B, C e D).

Para medirmos o posicionando vertical do dente temos à disposição a ferramenta de medida localizada no lado inferior esquerdo da tela.

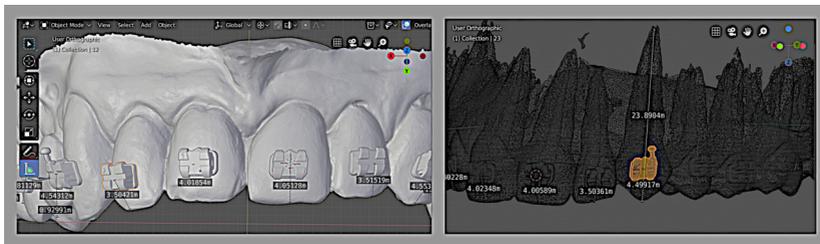


Figura4: Processo de alinhamento do braquete ao dente (detalhes externos e internos).

Fazemos esta aferição em todos os braquetes e a medida que alteramos a sua posição orbitamos o modelo e conferimos o processo, utilizando o que chamamos de técnica das 3 vistas: frontal, oclusal e lateral.

Neste momento ainda temos a possibilidade de posicionar o braquete de acordo com o longo eixo radicular, o que vai trazer uma maior precisão no posicionamento desta peça e melhorar a ação das forças ortodônticas e diminuir as chances de falha de posicionamento dos aparelhos (Fig. 4).

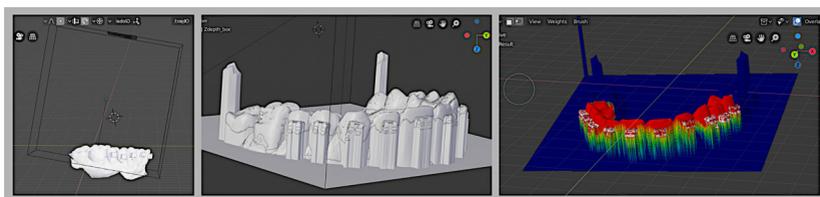


Figura5: Criação da malha não retentiva e seleção da região de interesse do guia.

Finalizando esta etapa estamos aptos a seguir para a confecção do modelo anti retentivo. Para gerar este modelo vamos na aba Others e entramos no menu Surface Result e em seguida na opção Import Base Box (Fig. 5, à esquerda).

Após o posicionamento do box e do modelo, ativamos o comando Create Surface que resultará no modelo anti retentivo (Fig. 5, ao centro).

**Dica:** O capítulo Sistema de Geração de Malhas 3D Anti-Retenção

**Baseadas em Projeção Z-Depth** conta com um passo-a-passo detalhado do funcionamento da ferramenta [MdrD20b].

Um detalhe importante é que essa malha é muito densa ou seja, a quantidade de triângulos é enorme e por isso necessitamos simplificá-la para trabalharmos de maneira mais tranquila e sem a possibilidade de travamento do computador. Para isso iremos nos Modifiers e colocaremos 0,20 ou 0,30 para simplificarmos a malha em 20 ou 30% do conteúdo inicial, ou seja, de cada 10 faces da malha original, a simplificação as converterá em 2 ou 3.

A seguir partimos para o desenho da guia no menu Offset Splint e para fazermos o desenho clicamos em Weight Paint 1. Se for necessário desselecionar alguma parte acionamos o Weight Paint 0 (Fig. 5, à direita).

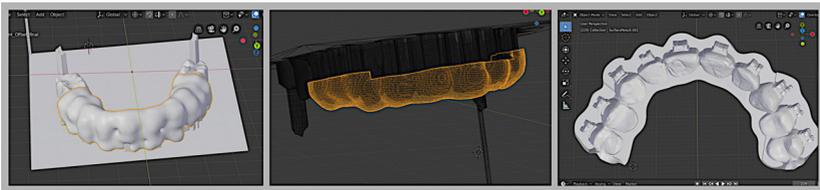


Figura6: Estapas da criação do guia.

Com a região de interesse pigmentada e definida, basta clicar em Create Offset para gerar uma malha expansiva e oca, compreendendo a região definida pela pintura (Fig. 6, à esquerda). A próxima etapa é cortar a superfície do offset para delimitarmos a guia (Fig. 6, ao centro). Usamos a imagem da malha para termos noção da posição dos braquetes e assim vamos fazendo o desenho de acordo com o desejado através das ferramentas Draw Line e Subtract (IN ou OUT).

Após essa delimitação faremos o *boolean* Difference entre o guia e a malha (Fig. 6, à direita).

Deixaremos apenas o guia selecionado e fazemos uma operação de Scale para termos um aumento uniforme da peça em 0,08x. Este aumento serve para a adaptação passiva dos braquetes na guia, após isso exportaremos o seu arquivo STL, mas antes utilizaremos a ferramenta Prepares 3D Printing, no menu Guide and Splint Creation,

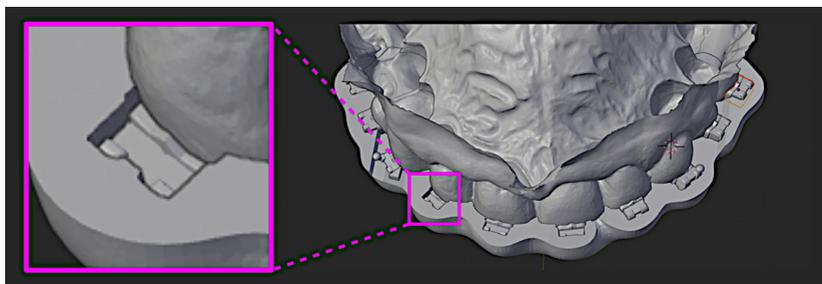


Figura7: Detalhe do encaixe não-retentivo do guia.

para reorganizar a malha e termos uma melhor distribuição dos polígonos para que a impressão 3d seja efetuada sem imprevistos.

## 6.3 Impressão 3D



Figura8: Preparo digital da impressão (à esquerda), impressão finalizada (ao centro) e teste de encaixe dos braquetes na impressão (à direita).

As guias de colagem indireta necessitam de flexibilidade para que a sua inserção seja o mais confortável possível e também para que sua saída após a fotopolimerização da resina seja concluída. Para isto utilizamos neste trabalho o a resina Ortho Flex, Yller Digital.

A impressora utilizada para o trabalho do presente capítulo foi uma Moonray D75, no parâmetro pré determinado para a resina NextDent Ortho Clear, com a resolução de eixo y em 50 microns. O posicionamento do modelo segue as orientações de menor área de descolagem e para isso ele foi posicionado em uma angulação próxima a 45° e em seguida inserimos os suportes de maneira automática.

Após a impressão seguimos com os processos de limpeza da peça com álcool isopropílico e o pós processamento com luz de LED por 15



Figura9: Processo de transferência dos braquetes aos dentes com o guia anti-retentivo.

minutos para a polimerização das camadas superficiais e para que a resina seja totalmente curada e assim exibir suas melhores propriedades mecânica.

Neste momento a guia se encontra pronta para a inserção dos braquetes e os mesmos deverão ser posicionados cuidadosamente antes da montagem do aparelho. A sequência clínica utilizada foi a clássica ou seja, profilaxia, ataque ácido, aplicação de adesivo e na base do braquete aplicaremos a resina (transbond). A guia é então posicionada na arcada dentária e a fotopolimerização da resina é iniciada.

## 6.4 Conclusão

O OrtogOnBlender se mostrou uma ferramenta apta para ser utilizada na criação de guias de colagem ortodôntica indireta, seja pela possibilidade de gerar malhas anti retentivas que servirão de base para o encaixe, quanto para a modelagem do próprio guia e posterior impressão 3D. Por se tratarem de ferramentas não desenvolvidas especificamente para esse fim, a criação de guias de colagem demandou um conhecimento intermediário dos comandos por parte do operador para o mesmo configurar as peças, no entanto, as características do software permitem que ferramentas específicas e significativamente mais práticas sejam desenvolvidas no futuro, caso a demanda dos usuários aponte para essa necessidade.



# **Protocolo Complementar para Melhor Resolução do Nariz em Fotogrametria 3D**

**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

**Davi Sandes Sobral**

*Cirurgião Crânio-Maxilo-Facial, Otorrinolaringologista. Hospital Irmã Dulce Salvador-BA*

**Daniele Walter Duarte**

*Cirurgiã Plástica e Crânio-Maxilo-Facial, Hospital de Clínicas de Porto Alegre- RS*

**Gabriel Zorron Cavalcanti**

*Cirurgião Crânio-Maxilo-Facial e Otorrinolaringologista. Hospital Instituto Paranaense de Otorrinolaringologia, Curitiba - PR*

**Rodrigo Salazar-Gamarra**

*Cirurgião Dentista Reabilitador Bucomaxilofacial. Instituto Mais Identidade, São Paulo-SP*

**Rodrigo Dornelles**

*Cirurgião Plástico, Núcleo de Plástica Avançada - NPA, São Paulo-SP*

DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13010300>



O presente capítulo tem por objetivo analisar as limitações do protocolo de fotogrametria facial proposto na documentação oficial do *add-on* OrtogOnBlender, adaptando-o para uma melhor digitalização da região nasal.

**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## 7.1 Introdução

Ainda hoje, o resultado de cirurgias estéticas passa por análises subjetivas e bidimensionais. A necessidade de uma avaliação objetiva, tridimensional e precisa da face é o combustível para a criação de ferramentas de qualidade que auxiliem o cirurgião na análise, planejamento e avaliação dos resultados cirúrgicos. O uso do Blender na prática clínica teve muita força com o *add-on* OrtogOnBlender criado para o planejamento em cirurgias ortognáticas e mais recentemente a criação do RhinOnBlender começou a preencher lacunas ainda abertas.

Dentro do campo das cirurgias na face, a Rinoplastia é um dos procedimentos cirúrgicos mais procurados. O nível de detalhamento e exigência tanto de cirurgiões que realizam, quanto de pacientes que procuram o procedimento, é bastante elevado. Dessa forma, o alto nível de precisão na geração da malha tridimensional da face e consequentemente sua fidedignidade à face do paciente são fatores in-

dispensáveis no sucesso da cirurgia virtual e sua real transposição a cirurgia do paciente propriamente dita.

O protocolo padrão de aquisição da fotogrametria disponível na documentação do OrtoGOnBlender atende de forma satisfatória a geração de uma malha tridimensional com textura fotorrealística muito adequada ao planejamento cirúrgico virtual para ortognática. Todavia o detalhamento de uma estrutura complexa e destacada na face, como o nariz pode sofrer com perda de precisão em algumas regiões, de forma que pretendemos com esse estudo direcionar um protocolo de fotogrametria com ênfase na abordagem nasal. Por outro lado, a simplificação dos processos é condição fundamental para exequibilidade clínica na rotina regular da prática dos cirurgiões em seus consultórios.

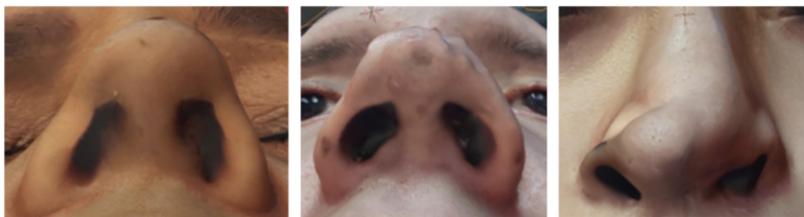
Os cirurgiões habituados com o procedimento da rinoplastia são, em sua maioria, pouco acostumados a utilizar softwares de manipulação de imagens tridimensionais complexos. É importante que o uso seja amigável e de fácil aplicação para que possa se difundir, chegando ao maior número possível de usuários.

## **7.2 Limitações do Protocolo de 26 Fotos**

O nariz está localizado no centro da face e projetado anteriormente a mesma. Apresenta forma absolutamente peculiar, com diversos acidentes anatômicos, tendo porções mais elevadas e em curva, áreas de reentrância com sombreamento, outras zonas retas e com reflexão da luz ou mesmo áreas com ausência de estruturas como a aberturas narinárias. O nariz mostra-se um desafio a sua fiel captura e reprodução da estrutura tridimensional.

O uso do protocolo proposto inicialmente com 26 fotografias se mostra suficiente para demonstrar resultados de procedimentos que não tem a preciosidade da rinoplastia, como o caso da ortognática, que tem seu foco nos ossos da face. Procedimento com exigência de maior acurácia como a rinoplastia impõe o uso de ferramentas com alto detalhamento. Diferenças, mesmo que milimétricas são de grande impacto na possibilidade do uso da ferramenta. Assim, é necessária a criação de uma ferramenta que apresente um nível de acurácia na aquisição de malha sub milimétrica.

As consequências podem se relacionar a assimetrias de lateralidade, irregularidades no dorso nasal, quebra na fluidez de zonas de transição ou mesmo obstrução nasal por estreitamento excessivo das narinas. Abaixo exemplo de 3 fotogrametrias onde houve perda do detalhamento da base nasal utilizando o protocolo padrão, inviabilizando o planejamento cirúrgico virtual dessa região.



Figural: Fotogrametrias mal-sucedidas na região do nariz.

## 7.3 Iluminação da Cena

É amplamente conhecido entre os “fotogrametristas” que a luz ideal para a digitalização 3D por fotografias (fotogrametria) é a “suficiente luz natural indireta”. Mas, a iluminância não vem sendo explorada em termos objetivos (medição calibrada de luz) no seu impacto com os resultados finais do processo de digitalização 3D. O excesso de luz cria sobre exposição das imagens e a insuficiência de luz requer configurações dos parâmetros da câmera que são nocivas para um resultado favorável da fotogrametria. Uma cena pouco iluminada aumenta a sensibilidade ISO da câmera, aumenta o tempo de captura e aumenta também o diâmetro do obturador. Como resultante, as fotos concentram maior ruído, pixels inconsistentes, borrados e desfocados, resultando pouca ou nula informação adequada ao software de digitalização 3D. Por outro lado, o excesso de concentração de luz sobre superfícies reflexivas como o nariz, produz brilhos desnecessários que dificultam a criação da malha. Quando há excesso de brilhos localizados que criam sobre exposição localizada, menos pontos de interseção na “nuvem dispersa de pontos” da fotogrametria são obtidos. E por outro lado, o mapa de textura (UVmap) também não registrará tantos detalhes. A anatomia nasal, embora lisa

e oleosa, tem suficientes detalhes anatômicos como poros, cílios e formas únicas que, nas condições de luz adequadas, permitem reproduzir sua estrutura com muita precisão em um modelo 3D obtido por fotogrametria.

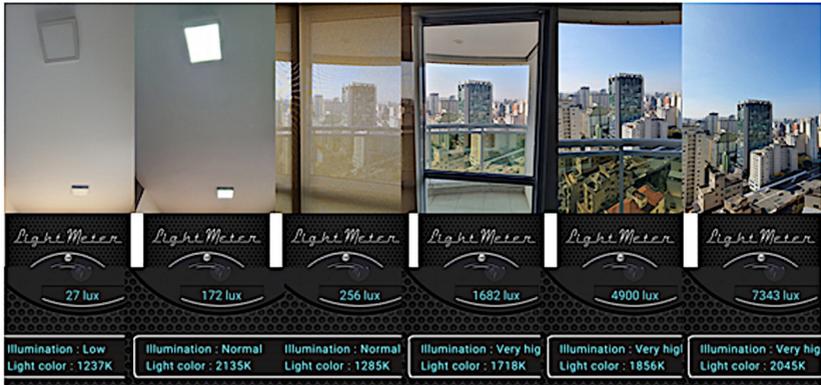


Figura2: Exemplos de diferentes capturas diferentes de iluminação.

Esta sequência de imagens tem como objetivo mostrar diferentes iluminâncias segundo localização do operador. Foram registradas a partir de um aplicativo de celular que faz uso do sensor de luz presente na maioria dos smartphones. No caso deste capítulo, foi utilizado o app *Light Meter*<sup>11</sup> Trajkovski Labs, em um dispositivo Android. Para o IOS há a opção do *Lux Light Meter Free* – Doggo Apps.

Há de se considerar que o sensor está sempre no lado da câmera frontal (selfie). Esse sensor é responsável por desligar a tela quando o usuário aproxima o celular ao rosto durante uma ligação. Por conta desta característica ele é utilizado para localizar o melhor lugar para colocar o sujeito e o operador, segundo o cenário e momento do dia. As fotos desta figura, foram tiradas com a câmera frontal em ângulo e posição exato de onde foi realizado o registro de iluminância, medido em lux (lumens/m<sup>2</sup>). Ou seja, a luz foi medida na mesma orientação que a foto apresenta. Pode se concluir que pequenas mudanças dentro do local, ou de posição num mesmo ambiente podem criar variações significativas nos Lux. Os resultados costumam ser favoráveis quando é escolhida uma posição do sujeito que permite a

<sup>11</sup> [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bti.lightMeter&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bti.lightMeter&hl=pt_BR)

captura de fotos em cena com iluminância acima de 1000 Lux sobre o rosto do paciente. Neste contexto, os mapas de textura (UVmap) resultantes são de maior qualidade e melhor representação da realidade. Por consequência as malhas geradas são superiores e mais consistentes.

## 7.4 Tomadas Fotográficas e Digitalizações 3D

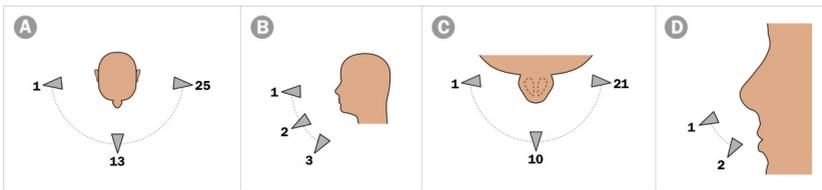


Figura3: Ilustração esquemática das tomadas fotográficas.

Para o estudo do presente capítulo foi capturado um total de 117 fotos. Sendo feitas 75 destas fotos do rosto completo em três grupos de 25 fotos em arco (Fig.3, A) em três alturas diferentes (Fig.3, B). Foram adicionados mais dois grupos de 21 fotos (Fig.3, C) em duas alturas diferentes (Fig.3, D) totalizando 42 tomadas fechadas na região do nariz.

Para simplificar o processo de digitalização os autores optaram por utilizar como base de tomadas o Protocolo de Fotogrametria da Face, disponível na documentação oficial do OrtogOnBlender [MdRD20]. A abordagem foi a mesma, mas com algumas adaptações.

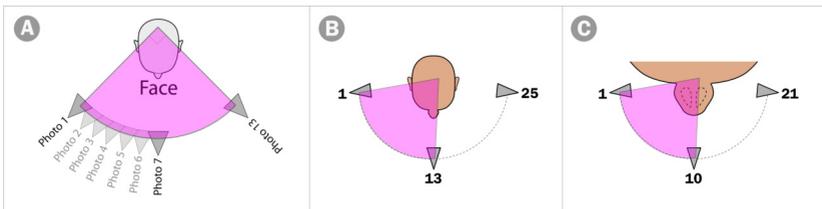


Figura4: Adaptação dos níveis dos arcos.

No protocolo padrão a captura do rosto é efetuada com um arco de

fotos em 90 graus (Fig.4, A). Para este estudo o número de fotos foi quase duplicado, de 13 para 25, permitindo com o número ímpar que a foto do centro fosse a de número 13, formando um arco de 170 graus (Fig.4, B). O mesmo foi feito no nariz, mas com um número reduzido de imagens, totalizando 21 tomadas em um arco de 170 graus (Fig.4, C).

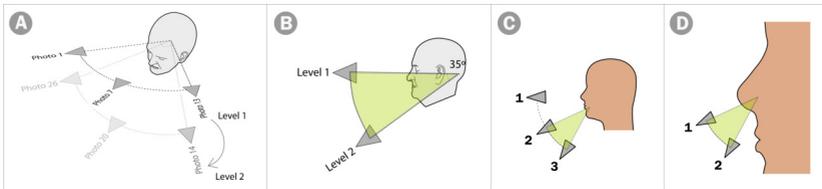


Figura5: Adaptação dos níveis dos arcos.

O protocolo padrão propõe a captura de dois arcos de fotos em níveis distintos (Fig.5, A), com a diferença de 35 graus (Fig.5, B). Para esse material foi capturado um nível suplementar seguindo mais ou menos a mesma rotação (Fig.5, C) e no caso do nariz capturou-se apenas dois níveis (Fig.5, D).

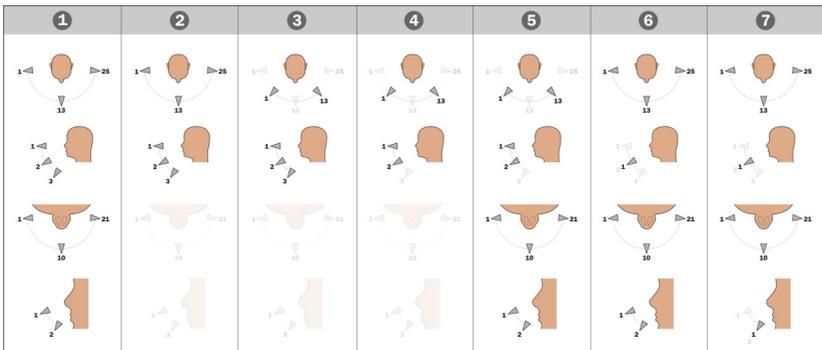


Figura6: Esquema gráfico de todos os protocolos utilizados no capítulo.

Para testar o nível de detalhamento as 117 fotos foram organizadas em 7 grupos (Fig.6):

- **1 - Protocolo Completo (Face Triplo 170° + Nariz Duplo 170 °)**
  - Com 117 fotos; (25 fotos/170 graus da face em 3 planos

- + 21 fotos/170 graus fechadas no nariz em 2 planos);
- Tempo total da captura: 126 segundos (2m06s).
- **2 - Protocolo Face Triplo 170°**
  - Com 75 fotos; (25 fotos/170 graus da face em 3 planos);
  - Tempo total da captura: 81 segundos (1m21s).
- **3 - Protocolo Face Triplo 90°**
  - Com 39 fotos; (13 fotos/90 graus da face em 3 planos) seguindo o protocolo padrão, mas com a adição de um nível inferior, totalizando 39 fotos;
  - Tempo total da captura: 42 segundos.
- **4 - Protocolo Padrão Original (Face Duplo 90°)**
  - Com 26 fotos; (13 fotos/90 graus da face em 2 planos) seguindo o protocolo padrão;
  - Tempo total da captura: 28 segundos.
- **5 - Protocolo Face Duplo 90° + Nariz Duplo 170°**
  - Com 68 fotos; (13 fotos/90 graus da face em 2 planos + 21 fotos/170 graus fechadas no nariz em 2 planos);
  - Tempo total da captura: 73 segundos (1m13s).
- **6 - Protocolo Face Baixo (Face Duplo 170° Baixo + Nariz Duplo 170°)**
  - Com 67 fotos; (25 fotos/170 graus da face no plano baixo + 21 fotos/170 graus fechadas no nariz em 2 planos);
  - Tempo total da captura: 72 segundos (1m12s).
- **7 - Protocolo Duplo Baixo (Face Duplo 170° Baixo + Nariz Baixo 170°)**
  - Com 46 fotos; (25 fotos/170 graus da face no plano baixo (altura 2) + 21 fotos/170 graus fechadas no nariz em no plano mais baixo);
  - Tempo total da captura: 50 segundos.

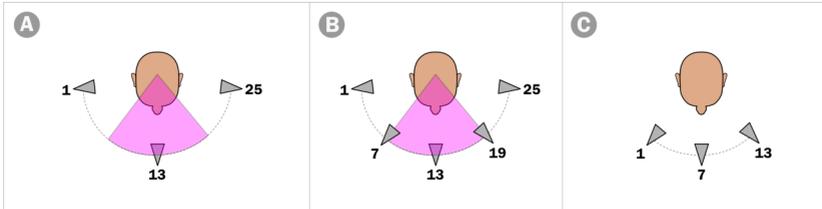


Figura7: Seleção das fotos para adaptação ao protocolo padrão.

Como se trata de uma adaptação, foi permitido aos autores separar a sequência de fotos correspondentes ao protocolo padrão, bastando para isso selecionar as tomadas a partir da foto 13, que é o centro do arco de 170 graus (Fig.7, A). Com a foto central definida lecionou-se 6 tomadas à esquerda e seis tomadas à direita (Fig.7, B). Ao isolar as 13 fotos tem-se o arco do protocolo padrão (Fig.7, C).

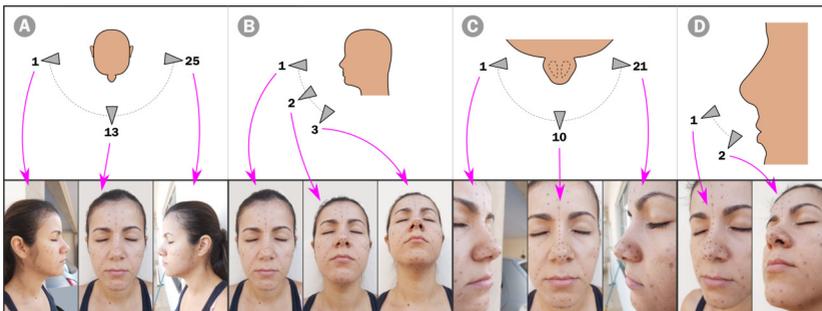


Figura8: Posições, rotações e alturas das tomadas fotográficas.

**Importante:** É importante salientar que a rotação para captura do nariz pode variar conforme a estrutura do mesmo.

**Aviso:** A cabeça precisa estar fixa em uma mesma rotação durante a tomada fotográfica. Caso haja alguma rotação, ou o algoritmo ignora a fotografia diferente ou pode gerar problema nos cálculos. Apesar de parecer que houve uma rotação do pescoço na imagem de exemplo (altura 3) a rotação manteve-se a mesma du-

rante toda a sessão fotográfica, o aspecto de rotação é atribuído a deformação da lente da câmera que causou o efeito.

O gráfico com o esquema de fotos traz algumas capturas, ilustrando a posição da câmera nos pontos principais. É importante saber que na realidade as fotos não são feitas em um arco perfeito. Algumas podem ficar um pouco mais distantes, como as laterais e outras um pouco mais próximas como as frontais (Fig.8, A), o importante é fazer uma rotação mais harmoniosa possível, de modo que não haja muita diferença entre as fotos.

O gráfico das alturas é outro que fornece apenas uma referência e não há a necessidade de seguir perfeitamente a disposição da câmera, posto que na realidade há uma certa dificuldade de manter a mesma rotação do equipamento, sendo o mais importante capturar nos pontos mais baixos as aberturas nasais e a parte inferior do queixo e o pescoço (Fig.8, B). As capturas mais próximas do nariz costumam recortar parte do rosto, mas aqui o objetivo é justamente detalhar a região então não há grandes problemas neste recorte (Fig.8, C). Neste caso também é interessante fazer tomadas mais baixas, de modo a capturar o espaço aéreo da narina (geralmente mais escuro pela ausência de estruturas anatômicas) e parte da complexa estrutura das asas (Fig.8, D).

## 7.5 Resultados da Digitalização

Os sete grupos de fotogrametria foram digitalizados em três equipamentos com configurações distintas:

- **i9:** Computador de mesa com processador i9-9900K 3.60GHz, 64 GB de memória RAM e sistema operacional Linux3DCS (20.04).
- **i7:** Notebook com processador i7-8565U 1.80GHz, 20 GB de memória RAM e sistema operacional Linux3DCS (18.04).
- **i5:** Notebook com processador i5-4200U 1.60GHz, 12 GB de memória RAM e sistema operacional Linux3DCS (18.04).

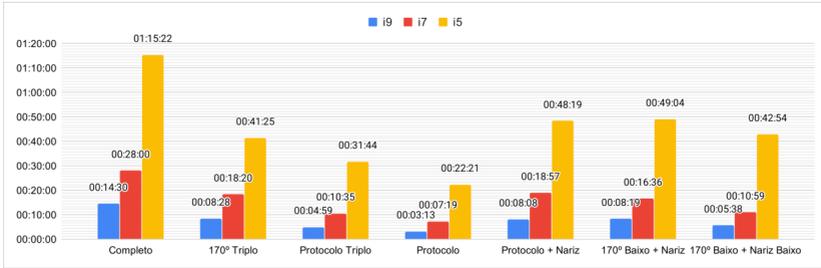


Figura9: Tempo Total da Fotogrametria.

O tempo total da fotogrametria variou conforme o número de tomadas, sendo a mais rápida a sessão com 26 imagens (3m12s, 7m19s, 22m21s) e a mais longa a sessão com 117 imagens (14m30s, 28m, 1h15m22s), ou seja, a tomada completa foi, em geral, 3,58 vezes mais demorada do que a do protocolo padrão e isso, dependendo da máquina em questão pode significar um tempo considerável (Fig. 9).

Parte majoritária do processo de fotogrametria utiliza todas as *threads* do processador e isso pode implicar em uma lentidão do sistema operacional, dependendo da configuração do computador, inviabilizando a execução de outras tarefas. Por isso é importante para o usuário avaliar o tipo de abordagem pretendido com a fotogrametria. Nos experimentos efetuados para a composição deste material o uso de outros aplicativos em paralelo com a fotogrametria fez com que o tempo da mesma se estendesse mais, quando comparado com a digitalização feita sozinha, sem outros processos correndo em paralelo.

É importante lembrar que o OrtoGOnBlender e demais submódulos fazem uma redução das imagens que originalmente contam com uma resolução muito alta, tornando o processo mais rápido, ou seja, se essas imagens fossem processadas em tamanho natural, o tempo de digitalização seria consideravelmente mais longo.

Durante a confecção deste material foi desenvolvida uma nova abordagem acerca do tempo necessário para que uma sessão de fotos seja digitalizada em 3D. Usando o tempo total de digitalização, dividido pelo número de fotografias efetivamente utilizadas para a criação da nuvem densa de pontos, chegou-se ao Fator de Tempo por Fotografia (FTF) (Fig. 10).

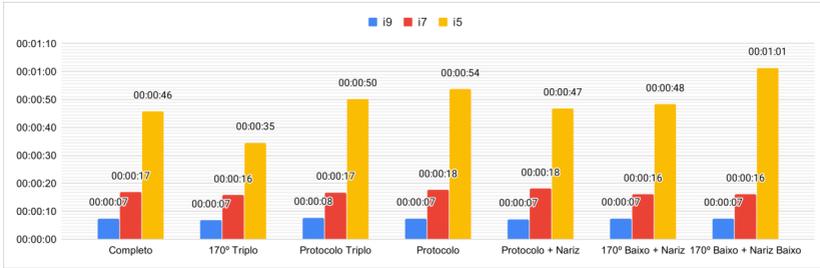


Figura10: Fator de Tempo por Fotografia (FTF).

Com esse fator é possível avaliar, em média, quanto tempo será necessário para que uma determinada máquina converta uma série de fotos em um objeto 3D. Isso permitirá ao usuário avaliar precocemente o tempo que será demandado de processamento computacional para efetuar a tarefa.

No caso do estudo em questão os resultados foram, em média, os seguintes: i9: 7 segundos por fotografia, i7: 17 segundos por fotografia e i5: 49 segundos por fotografia. Ou seja, entre o processador mais rápido e o mais lento há uma diferença de tempo de 7 vezes, o que reforça a necessidade de uma avaliação em face da potência computacional e o tempo disponível para efetuar a tarefa.

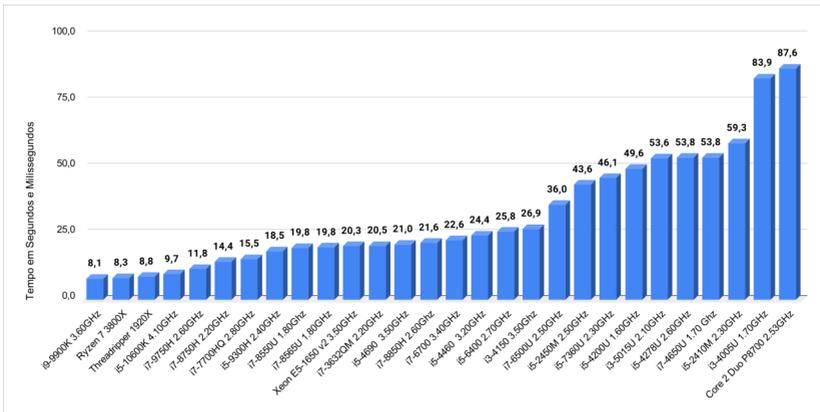


Figura11: Teste de fotogrametria - Desempenho dos processadores.

No intuito de melhorar as ferramentas de diagnóstico que passaram

a ser desenvolvidas a partir deste capítulo, foi enviado a uma série de usuários do OrtogOnBlender um convite para testar o FTF em seus computadores de trabalho. O experimento consistia em rodar o conjunto de fotos presentes no diretório FOTOGRAMETRIA, disponível na instalação do OrtogOnBlender, estando portanto em todos os computadores com o sistema presente. Ainda que possa haver uma variação em números de fotografias e cenários diferentes, ela não se apresentou grande o suficiente para inviabilizar o uso dos resultados como referência geral.

Em relação aos sistemas operacionais, quando comparados com os mesmos processadores, o Linux costuma ser mais rápido para gerar a fotogrametria, seguido pelo Mac OSX e o Windows. No entanto, mesmo que o Windows seja em média 15% mais lento que o Linux e 10% mais lento que o Mac OSX, isso pode ser insignificante no tempo total do trabalho, caso o usuário esteja familiarizado o suficiente com o sistema operacional.

Com o gráfico gerado a partir do experimento (Fig. 11) os usuários poderão ter uma boa ideia do tempo de digitalização de um processador, condicionando o trabalho ao tempo disponível ou analisando uma opção de compra futura, frente às necessidades de produção.

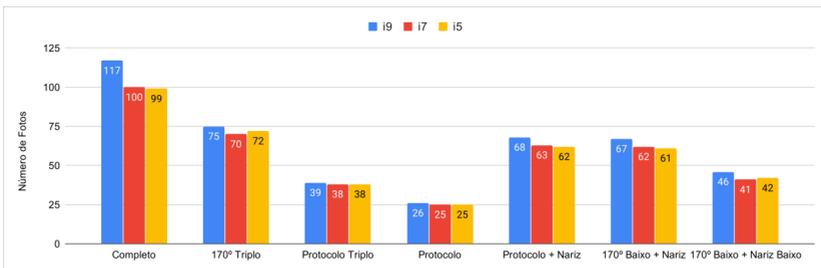


Figura12: Comparação de fotos utilizadas para gerar a nuvem densa de pontos.

Para complementar, os autores analisaram o uso de imagens para a geração de nuvem densa de pontos frente ao número total de fotos do grupo digitalizado (Fig. 12). O único computador que processou todas as fotos foi aquele contendo o processador i9, nos demais ignorou-se algumas imagens durante a digitalização. Dependendo da porcentagem de imagens ignoradas, pode ocorrer uma perda considerável da qualidade de malha podendo até inviabilizá-la para o

uso em trabalhos. Não foi o caso deste estudo, até porque, o elevado número de imagens garantia a boa qualidade de malha final, ainda que uma ou outra fosse ignorada durante a digitalização.

---

**Importante:** A diferença no uso de imagens para a nuvem densa de pontos pode explicar o funcionamento bem sucedido da fotogrametria em alguns computadores e o insucesso da digitalização em outros.

---

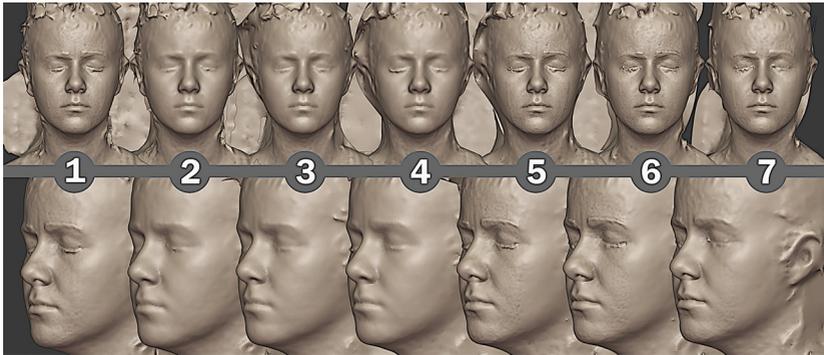


Figura13: Resultado das fotogrametrias.

Ao perfilar os resultados da fotogrametria é possível ver uma série de características bem definidas em algumas delas (Fig. 13). A face 1 é composta por 122 fotos e apresenta uma boa qualidade de digitalização desde a parte frontal da face até as orelhas. As faces 2, 3 e 4, ainda que tenham uma boa qualidade, é possível ver que não há muito detalhamento nas asa do nariz, nos lábios e toda a parte frontal do rosto.

Isso acontece porque as fotos capturadas enquadraram o rosto como um todo. Já nas faces, 1, 5, 6 e 7 que contaram com capturas mais próximas ao nariz, é possível ver um detalhamento maior.

Ao aumentar a região de interesse deste estudo, ou seja, o nariz e comprar o resultado visual com o número de fotos e o tempo total de digitalização 3D é possível se chegar a algumas respostas relacionadas a custo/benefício do processo como um todo (Fig. 14).

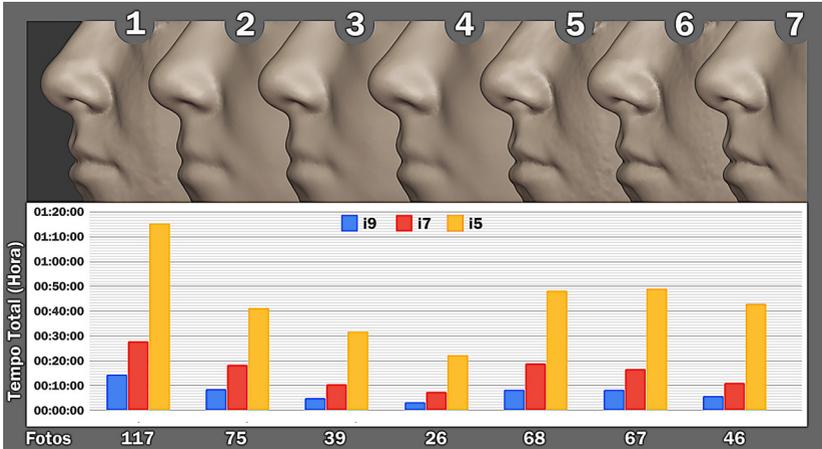


Figura14: Comparação entre os resultados visuais e o número de fotos e tempo total de digitalização.

Os modelos 2, 3 e 4 claramente tem menor definição que os demais. O modelo 1 tem a melhor definição, mas também foi o que mais demorou para ser gerado. Os modelos 5, 6 e 7 são muito semelhantes ao 1 e entre eles mesmos. No entanto o modelo 7 teve um número de fotos significativamente menor que o 5 e 6 e notoriamente menor que o 1. Em relação ao tempo, de modo geral, somando-se todos os resultados dos processadores, a face 7 levou a metade do tempo da 1 para ser gerada, ou seja, o protocolo de 46 imagens é quase o meio termo entre o de 26 imagens e o de 117, com resultados semelhantes aos demais protocolos de resultados semelhantes (5 e 6), mas sem o elevado número de imagens, posto que é composto por apenas dois arcos: um baixo de  $170^\circ$  da face geral e outro baixo de  $170^\circ$  do nariz.

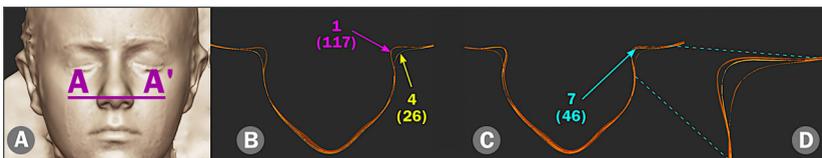


Figura15: Comparação entre cortes na face 1 e 4 alinhadas e posteriormente entre 1, 4 e 7 alinhadas.

Ao se alinhar os modelos e fazer um corte na região inferior do nariz (Fig. 15, A) é possível comparar os dois protocolos: A face 1 com 117

fotos tem mais detalhes, isso é evidenciado pelas reentrâncias. Já o protocolo de 26 fotos tem as mesmas reentrâncias bastantes suavizadas, pela ausência de dados naquela região, resultando a uma diferença (na quina) de 1,75mm (Fig. 15, B). Se o protocolo de 46 imagens (face 7) for alinhado aos outros dois, ele vai se compatibilizar muito mais com a face 1 do que com a face 4, ou seja, os resultados são significativamente superiores ao protocolo padrão com um número notoriamente menor de fotos do que a face 1 (Fig. 15, C e D).



Figura16: Comparação entre outros nas faces 1, 4 e 7 alinhadas.

Apesar da diferença não ficar muito evidente a longa distância (Fig. 16, A), quando aproximado, os diferentes níveis de detalhamento ficam claros. Na ilustração é possível ver isso na região dos lábios (Fig. 16, B), vias respiratórias (Fig. 16, C) e corte vertical em uma das vias respiratórias (Fig. 16, D).

## 7.6 Propostas para Melhorar a Resolução e Cobertura da Superfície

Pelo acima exposto, e entendendo que existem diferenças entre as necessidades no uso da fotogrametria, diferentes equipamentos para o processamento das imagens ou mesmo na captura das fotos dos pacientes, recomendamos o usuário escolher qual protocolo de aquisição de fotos irá se adequar mais ao trabalho em questão. Buscamos trazer o máximo de informações práticas, desde iluminação da cena, conceitos das câmeras de celulares, especificidades do contorno nasal, equipamentos dos computadores e malhas resultantes, dessa forma o usuário poderá com o devido entendimento do pro-

cesso e individualização de cada situação, escolher a melhor abordagem para geração da fotogrametria.

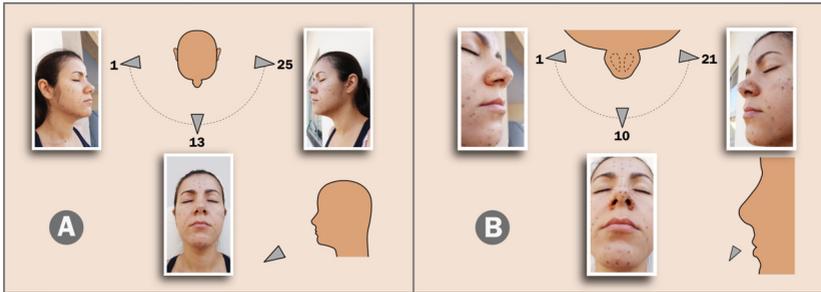


Figura17: Protocolo de 46 fotografias para melhor exploração do nariz.

Recomendamos que a maioria dos usuários use o protocolo de 46 fotos sendo 1 plano de 25 capturas da face por um ângulo baixo e mais 1 plano de 21 tomadas fechadas (close) no nariz, também com ângulo baixo. Exceto em situações especiais essa abordagem não irá atender as demandas com malhas 3D para rinoplastia virtual (Fig. 17).



Figura18: Pontos complementares para melhor digitalização da face.

Esse protocolo de fotos mostrou precisão da malha semelhante ao protocolo com quase o triplo de tomadas e obviamente pelo tempo gasto na aquisição das fotos e processamento das imagens, uma exequibilidade melhor. Outro aspecto relevante é a possibilidade de melhor comparação entre fotogrametrias que seguem um mesmo protocolo em futuros estudos, haja vista a necessidade de mais dados objetivos e com metodologia padronizada.

## **7.7 Conclusão**

Conhecendo as necessidades terapêuticas, anatomia, e compreendendo as capacidades da fotografia e computação gráfica, é possível adaptar um protocolo de fotogrametria específico, como foi feito no presente capítulo para a região nasal.

Mais pesquisas precisam ser desenvolvidas para continuar explorando os limites das tecnologias aplicadas com o fim de aprimorar e otimizar os fluxos de trabalho clínico assistidos por ferramentas digitais.

# **Protocolo de Tratamento e Planejamento Digital para Fraturas de Mandíbulas Atróficas**

**Frederico Yonezaki**

*Cirurgião Bucomaxilofacial, Serviço de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP*

**Esdras Façanha de Carvalho**

*Residente do Serviço de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP*

**Gustavo Luiz Alkmin Paiva**

*Residente do Serviço de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP*

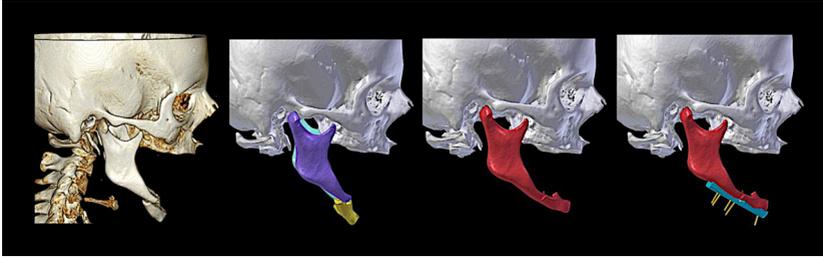
**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

**Gustavo Grothe Machado**

*Diretor do Serviço de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, Hospital da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP*

DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13052990>



O presente capítulo tem como objetivo descrever a utilização da simulação cirúrgica auxiliada por computador no tratamento de fraturas de mandíbulas atróficas com uso do *add-on* OrtogOnBlender associado a impressões 3D de guia para redução e estabilização das fraturas e biomodelo para modelagem de placa reconstrutiva.

**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## 8.1 Fratura de Mandíbula com Atresia Severa

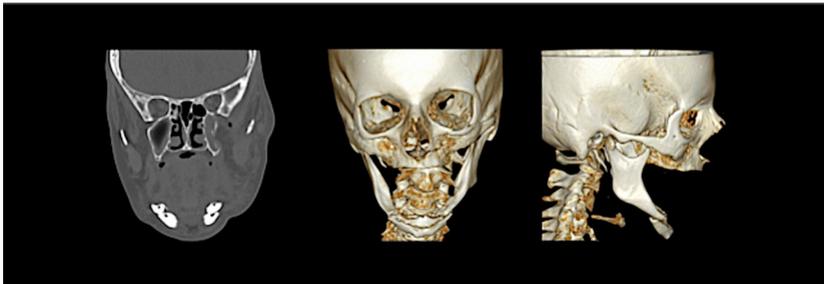
A perda óssea alveolar é consequência do edentulismo, e quando iniciada precocemente, pode levar à atrofia óssea severa da mandíbula [LRM] [EII]. Quando da ocorrência de fraturas nesta situação, as adversidades impostas pela deficiente espessura óssea e a impossibilidade de realização de bloqueio maxilomandibular, dificultam uma apropriada redução cirúrgica dos cotos ósseos fraturados. Além disso, uma adaptação adequada do sistema de fixação interna rígida composta por placas reconstrutivas de titânio se torna um desafio, podendo resultar em desalinhamento da fratura e consequente assimetria facial.

A redução aberta e fixação interna (ORIF) com um hardware de carga compreende uma abordagem padrão ouro para tratar mandíbula atrófica com fratura luxada. Porém, nesta modalidade de tratamento existem diversos protocolos cirúrgicos relatados na literatura [WFCD] [XGeaa] [RPR]. Muitos deles são projetados para minimizar as dificuldades transoperatórias, como a estabilização da fratura durante a redução, principalmente nas fraturas corporais bila-

terais, e a flexão da placa que é frequentemente realizada de ângulo a ângulo. As complicações associadas são assimetria e alterações entre a posição da cabeça condilar e fossa mandibular [LRM].

A aplicação do planejamento cirúrgico virtual (VSP) em deformidades dentofaciais complexas [XGeab] [CJPT] e reconstrução de mandíbula com retalho livre de fibula [LBea] [eGS] é uma técnica bem estabelecida. No entanto, poucos ensaios clínicos sobre o manejo de lesões por trauma mandibular com aplicação de VSP foram publicados [RPR] [MJSS]. Nosso objetivo é relatar um novo método para VSP e fabricação assistida por computador para o tratamento de fratura mandibular atrófica em um paciente idoso com trauma.

## 8.2 Relato de Caso



Figural: Tomografia computadorizada inicial. Corte coronal: A espessura do corpo mandibular de aproximadamente 8 mm evidencia o grau severo da atrofia mandibular. Reconstrução 3D: Aspecto do deslocamento da fratura bilateral de corpo mandibular.

Uma paciente de 72 anos de idade, vítima de acidente ciclístico com trauma facial, portadora de fraturas faciais, foi encaminhada ao Departamento de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de São Paulo, Brasil. A tomografia computadorizada evidenciou uma fratura bilateral do corpo da mandíbula com deslocamento importante do segmento anterior (Figura 1). A altura do corpo mandibular foi de cerca de 8 mm em ambos os lados, classificada como uma atrofia severa da mandíbula.

## 8.3 Planejamento Cirúrgico Virtual

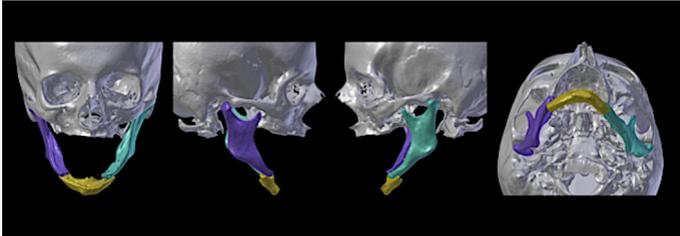


Figura2: Planejamento cirúrgico virtual: Separação da mandíbula do crânio e segmentação dos cotos ósseos fraturados.

As imagens de tomografia computadorizada (TC) foram adquiridas no formato Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). Esses conjuntos de dados foram importados para o Blender 2.80 (Blender Foundation, Amsterdam, Holanda), com o uso do add-on OrtogOnBlender [MdRD20] para planejamento cirúrgico virtual (VSP). Na primeira etapa, a imagem foi limpa, eliminando pequenos artefatos flutuantes, os osso vertebrais e o hióide. A segunda etapa foi alinhar o modelo 3D a um plano horizontal de Frankfurt. Usando um “Modo de Edição” no Blender, os pontos de contato bilaterais entre a fossa mandibular e o côndilo foram resolvidos para obter uma segmentação mandibular completa do crânio. A mandíbula foi posteriormente segmentada em 3 partes nas áreas acometidas pelas fraturas (Figura 2).

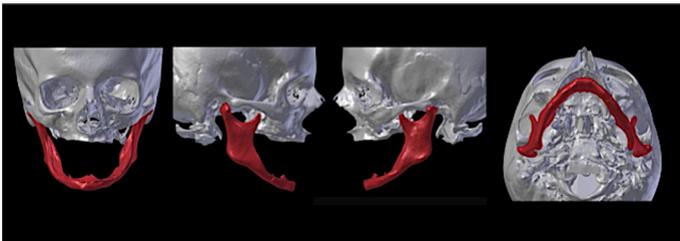


Figura3: Planejamento cirúrgico virtual: Redução anatômica das fraturas mandibulares com o reestabelecimento dos contornos.

Após a conclusão do processo de segmentação, uma redução anatômica virtual da fratura foi alcançada e cautela foi tomada para evitar

uma penetração interfragmentar. Isso pode ser verificado no modo de visualização de wireframe. Um cuidado especial foi tomado para manter os côndilos em uma posição adequada na fossa mandibular durante a redução virtual das fraturas mandibulares virtuais (Figura 3).

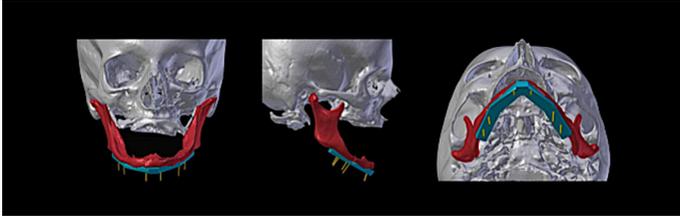


Figura4: **Desenho do guia cirúrgico:** Modelado na base da mandíbula, evitando a área de instalação da placa reconstrutiva. Perfurações na porção inferior do dispositivo de 1,65 mm de diâmetro foram obtidas através da diferença.

Seguindo o procedimento de redução virtual da fratura, o guia cirúrgico foi confeccionado e modelado para se ajustar à superfície basal da mandíbula na posição alcançada pela redução (Figura 4). Para a aplicação simultânea de uma placa reconstrutiva de 2,4 mm e guia cirúrgico basal, foi tomado o cuidado de evitar que o guia cirúrgico cruzasse a face externa ou vestibular da mandíbula.

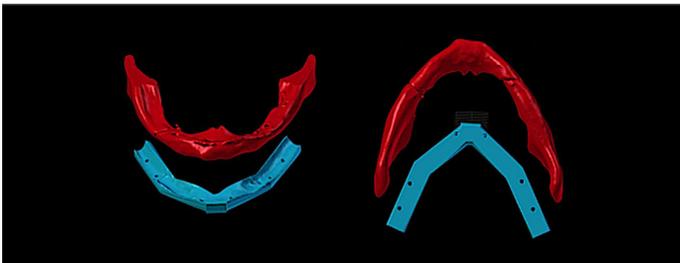


Figura5: **Isolamento das áreas de interesse para impressão 3D:** Área útil mandibular para modelagem da placa reconstrutiva e o guia cirúrgico para redução e estabilização das fraturas ósseas.

As áreas de interesse para impressão 3D foram isoladas e segmentadas (Figura 5).

O modelo 3D da mandíbula e o guia cirúrgico foram exportados para



Figura6: Impressão 3D: Realizada em impressora de filamentos. Material: Tritan.

uma impressora 3D de filamentos (Figura 6). Ambas as peças impressas foram encaminhadas para procedimento de esterilização.

## 8.4 Procedimento Cirúrgico

Com o paciente sob anestesia geral, as fraturas de mandíbula foram expostas por meio de uma abordagem de cervicotomia (Figura 8-A) enquanto outro cirurgião sênior procedeu com a modelagem da placa reconstrutiva mandibular de ângulo a ângulo com o auxílio do modelo 3D de mandíbula (Figura 7).

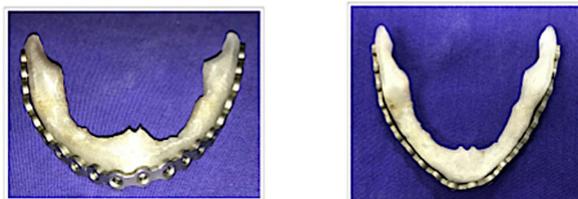


Figura7: Preparo do material para fixação interna rígida: Modelagem da placa reconstrutiva do sistema 2,4 mm baseada na posição final das reduções das fraturas mandibulares.

Em seguida, o guia cirúrgico basal foi fixado com parafusos monocorticais de 1,6 mm para redução das fraturas e estabilização temporária conforme descrito a seguir: Primeiramente, a guia foi conduzida no segmento anterior considerando referências anatômicas. Em seguida, foi reduzida a fratura do corpo direito seguido do lado

esquerdo (Figura 8-B). A posição final alcançada foi avaliada antes da fixação do hardware. As etapas acima mencionadas forneceram estabilização temporária de segurança e redução precisa da fratura e levaram apenas alguns minutos de todo o tempo operatório.

A placa reconstrutiva de 2,4 mm foi instalada com sucesso (Figura 8-C). O guia cirúrgico foi retirado e o fechamento foi realizado através de sutura por planos.

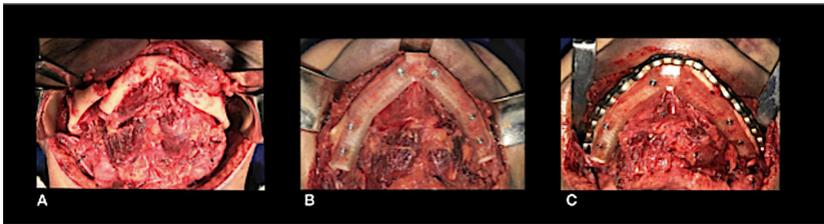


Figura 8: **Trans-operatório.** A: Aspecto do deslocamento das fraturas mandibulares. B: Guia cirúrgico em posição, promovendo a redução e estabilidade dos cotos ósseos. C: Placa reconstrutiva do sistema 2,4 mm instalada com o guia cirúrgico fixo.

## 8.5 Acompanhamento Pós-Operatório

A radiografia panorâmica pós-operatória mostrou boas posições condilares, adaptação de fixação interna rígida e redução de fraturas (Figura 9).

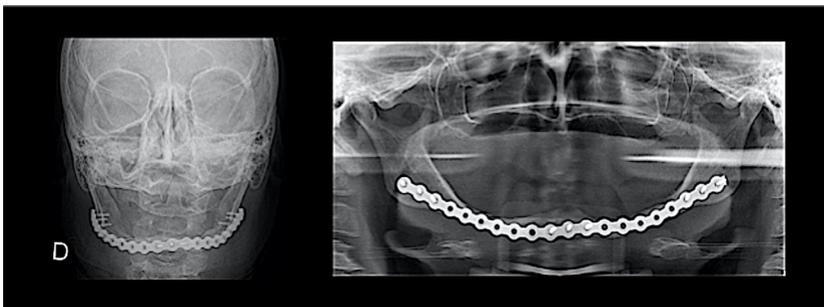


Figura 9: **Radiografias pós-operatórias:** Aspecto da redução das fraturas obtidas, contornos mandibulares recuperados com simetria satisfatória.

O exame de tomografia computadorizada evidenciou um resultado semelhante ao planejado com o auxílio da simulação cirúrgica assistida pelo software.

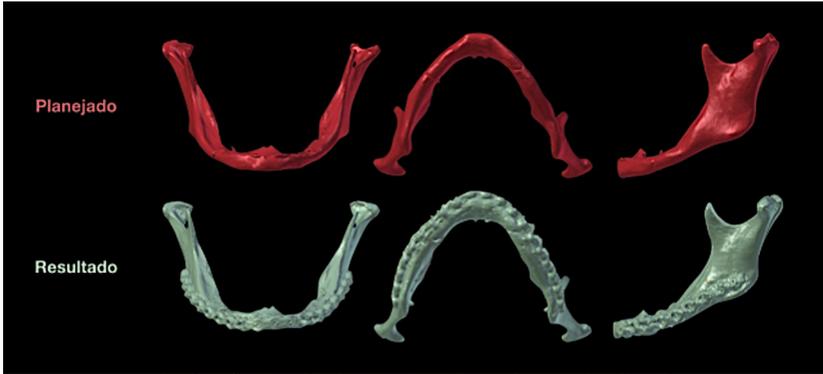


Figura10: Comparação entre as malhas da redução planejada e do resultado pós-operatório. Anatomia mandibular restabelecida, com posicionamento condilar semelhante ao planejado.

## 8.6 Conclusão

O planejamento cirúrgico virtual é uma tecnologia valiosa que pode melhorar os resultados e deve ser considerada no tratamento de fraturas mandibulares atróficas graves. No caso relatado, a utilização desta técnica promoveu um reduzido tempo cirúrgico, satisfatória precisão de redução das fraturas com resultados previsíveis, além de custos reduzidos, com a utilização de software livre e impressão de modelos 3D. Mais estudos são necessários para avaliar a viabilidade e reprodutibilidade da guia cirúrgica basal neste tipo de fratura de mandíbula. O uso de software de código aberto também deve ser avaliado a fim de minimizar a quantidade de custos na tecnologia, enquanto melhora os resultados cirúrgicos.

# Padronização de Pontos e Medidas para Antropometria 3D no OrtogOnBlender

**Cristiane Pereira Lopes**

*Residente de Cirurgia Plástica, Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP, São Paulo-SP*

**Rodrigo Dornelles**

*Cirurgião Plástico, Núcleo de Plástica Avançada - NPA, São Paulo-SP*

**Nivaldo Alonso**

*Professor Associado da FMUSP, São Paulo-SP*

**Cicero Moraes**

*3D Designer, Arc-Team Brazil, Sinop-MT*

DOI <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13049006>



O objetivo deste capítulo é descrever, padronizar e validar as medidas lineares, angulares e volumétricas obtidas por monofotogrametria por meio de *smartphone* utilizando o *add-on* OrtogOnBlender em voluntários saudáveis e em pacientes com Síndrome de Parry Romberg. Depois de realizada esta fase inicial, outras deformidades craniofaciais e outras assimetrias corporais serão avaliadas da mesma maneira.

**Atenção:** Este material utiliza a seguinte licença Creative Commons: **Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**.

## 9.1 Introdução

A Síndrome de Parry-Romberg (SPR), também conhecida como Atrofia Hemifacial Progressiva (AHP), descrita por Parry em 1825 [CH] e depois por Romberg em 1846 [MH], não possui etiopatogênese definida, sendo indagados prováveis processos autoimunes e neurogênicos. O diagnóstico da SPR é clínico. Ocorre uma atrofia unilateral progressiva da face [BO], podendo envolver toda a hemiface. Essa atrofia ocorre na pele, tecido celular subcutâneo, musculatura, nervos, cartilagens e ossos [MWD+] [EAL].

O tratamento a ser empregado, depende da idade, complexidade, presença de alterações funcionais. Ele deve ser realizado quando se considera a doença estável (2 anos após o término da progressão) [RCC]. O tratamento cirúrgico mais utilizado, seguro e aceito nas duas últimas décadas é o preenchimento com gordura autóloga, procedimento pouco mórbido, sem perdas funcionais, sem risco de rejeição ou extrusão, custo menor, com resultados mais naturais [MWD+] [RCC] [RCA+] [ATB] [RCCC].

No planejamento destas cirurgias, a definição das áreas a serem preenchidas e a quantificação do déficit de volume em comparação com o lado não alterado, se tratam de pontos chave para o sucesso do tratamento [RE]. Desta forma, o desenvolvimento de novas tecnolo-

gias para avaliação das características tridimensionais da face, preferencialmente não invasivas, permitiu um avanço na mensuração da assimetria facial destes pacientes [VCM+] e uma melhora no planejamento cirúrgico [MWD+], assim como uma análise quantitativa pós-operatória de mudanças de medidas lineares, de superfície e volumétricas, conforme discorrido a seguir.

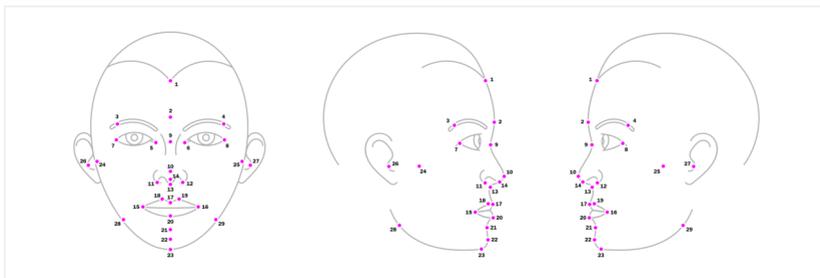
As medidas por antropometria direta possuem algumas desvantagens, como o gasto de tempo para tomada de medidas, possível interferência sobre tecidos moles da face e a necessidade de colaboração do paciente. Medidas lineares e angulares com as fotografias bidimensionais, podem criar problemas de distorção e magnificação, variações de iluminação e de distância da câmera ao objeto, além da inadequação para avaliação de objetos tridimensionais (perspectiva, profundidade e volume) [CNea] [FPG+] [DVA+] [RAUJ]. Além disso, a avaliação e comparação de resultados com este método por um avaliador, são extremamente subjetivas [DSJL] [RAUJ].

A tomografia é um método de alto custo e expõe o paciente à radiação. No escaneamento com laser, podem ocorrer artefatos de movimento devido ao tempo de captura e há necessidade de fechamento ocular para não expor os olhos ao laser, o que pode interferir na mímica facial. A estereofotogrametria tridimensional permite a aquisição de imagens com tempo de captura curto, alta resolução, sem exposição à radiação [dFN] [CNea] [FPG+] [DVA+] [RAUJ]. Porém sua desvantagem apontada com maior frequência é o alto custo [dEJN].

Com a introdução de *smartphones* de nova geração, amplamente disponíveis, com pelo menos duas câmeras e aplicativos adequados, as técnicas modernas de escaneamento tridimensional facial podem se tornar mundialmente disponíveis e com custo menor do que os métodos tradicionais de estereofotogrametria. O procedimento de escaneamento facial é seguro, não invasivo, sem contato físico entre o sujeito e o *smartphone*. Além disso, as medidas faciais automatizadas permitem um procedimento mais rápido de escaneamento da face, e também mais conforto e rapidez de aquisição das medidas. Existem várias evidências na literatura da acurácia do escaneamento facial por estereofotogrametria, porém não há relato sobre a acurácia do escaneamento facial realizado com aplicativos de celular [GLP].

## 9.2 Descrição dos Pontos

### 9.2.1 Pontos Antropométricos



Figural: Pontos anatômicos abordados no capítulo.

Os autores optaram por utilizar a nomenclatura em inglês para disponibilizar a ferramenta desenvolvida para o uso internacional, abrangendo, assim, maior número de usuários.

1 - Trichion	16 - Cheilion left
2 - Glabella	17 - Labiale superius
3 - Frontotemporale right	18 - Cristas Philtri right
4 - Frontotemporale left	19 - Cristas Philtri left
5 - Endocanthion right	20 - Labiale Inferius
6 - Endocanthion left	21 - Sublabiale
7 - Exocanthion right	22 - Pogonion
8 - Exocanthion left	23 - Gnathion
9 - Nasion	24 - Zygion right
10 - Pronasale	25 - Zygion left
11 - Alar Base right	26 - Tragus right
12 - Alar Base left	27 - Tragus left
13 - Subnasale	28 - Gonion right
14 - Columella	29 - Gonion left
15 - Cheilion right	

## 9.2.2 Medidas Lineares

### Medidas Verticais

1 - Trichion - Glabella	14 - Subnasale - Pogonion
2 - Trichion - Nasion	15 - Subnasale - Columella
3 - Trichion - Subnasale	16 - Columella - Labiale Superius
4 - Trichion - Gnathion	17 - Columella - Labiale Inferius
5 - Nasion - Pronasale	18 - Columella - Sublabiale
6 - Nasion - Subnasale	19 - Columella - Gnathion
7 - Nasion - Labiale Superius	20 - Labiale Superius - Labiale Inferius
8 - Nasion - Labiale Inferius	21 - Labiale Inferius - Sublabiale
9 - Nasion - Sublabiale	22 - Labiale Inferius - Pogonion
10 - Nasion - Pogonion	23 - Labiale Inferius - Gnathion
11 - Nasion - Gnathion	24 - Sublabiale - Pogonion
12 - Pronasale - Subnasale	25 - Sublabiale - Gnathion
13 - Pronasale - Columella	26 - Pogonion - Gnathion

### Medidas Oblíquas

1 - Trichion - Tragus right	11 - Nasion - Tragus right
2 - Trichion - Tragus left	12 - Nasion - Tragus left
3 - Glabella - Tragus right	13 - Pronasale - Tragus right
4 - Glabella - Tragus left	14 - Pronasale - Tragus left
5 - Frontotemporale right - Tragus right	15 - Subnasale - Tragus right
6 - Frontotemporale left - Tragus left	16 - Subnasale - Tragus left
7 - Endocanthion right - Tragus right	17 - Columella - Tragus right
8 - Endocanthion left - Tragus left	18 - Columella - Tragus left
9 - Exocanthion right - Tragus right	19 - Alar Base right - Tragus right
10 - Exocanthion left - Tragus left	20 - Alar Base left - Tragus left

21 - Cheilion right - Tragus right	30 - Pogonion - Tragus left
22 - Cheilion left - Tragus left	31 - Zygon right - Tragus right
23 - Labiale Superius - Tragus right	32 - Zygon left - Tragus left
24 - Labiale Superius - Tragus left	33 - Gonion right - Tragus right
25 - Labiale Inferius - Tragus right	34 - Gonion left - Tragus left
26 - Labiale Inferius - Tragus left	35 - Gonion right - Zygon right
27 - Sublabiale - Tragus right	36 - Gonion left - Zygon left
28 - Sublabiale - Tragus left	37 - Gonion right - Pogonion
29 - Pogonion - Tragus right	38 - Gonion left - Pogonion

### 9.2.3 Medidas Horizontais

1 - Endocanthion right - Endocanthion left	7 - Cristas Philtri right - Cristas Philtri left
2 - Exocanthion right - Exocanthion left	8 - Columella - Cristas Philtri right
3 - Alar Base right - Alar Base left	9 - Columella - Cristas Philtri left
4 - Columella - Alar Base right	10 - Zygon right - Zygon left
5 - Columella - Alar Base left	11 - Tragus right - Tragus left
6 - Cheilion right - Cheilion left	12 - Go right - Go left

### 9.2.4 Medidas Angulares

1 - ST Glabella - ST Nasion - Pronasale	4 - Nasion - Tragus right - Columella
2 - Subnasale - Columella - Labiale Superius	5 - Nasion - Tragus left - Columella
3 - Labiale Inferius - Sublabiale - ST Pogonion	6 - Columella - Tragus right - Pogonion

7 - Columella - Tragus left- Pogonion	13 - Tragus right - Columella - Tragus left
8 - Angle of Inclination of the Eyelid Slits right	14 - Tragus right - Pogonion - Tragus left
9 - Angle of Inclination of the Eyelid Slits left	15 - Glabella - Pronasale - Pogonion
10 - Glabella - Columella - Pogonion	16 - Columella - ST Nasion - Pronasale
11 - Tragus right - Nasion - Tragus left	17 - Trichion - Pronasale - ST Pogonion
12 - Tragus right - Pronasale - Tragus left	18 - Trichion - Columella - ST Pogonion

### 9.3 Desenvolvimento da Ferramenta

O OrtoGOnBlender é um add-on para o estudo de planejamento de cirurgia ortognática baseado em tecnologia de código aberto. Por conta do aumento constante da base de usuários e da demanda de ferramentas incompatíveis com o escopo inicial, outros módulos foram desenvolvidos ao longo dos últimos anos, a citar o RhinOnBlender, para planejamento de rinoplastia e o ForensicOnBlender para a reconstrução facial forense a partir de crânios.

Além dos dois abordados, há também o módulo CompareOnBlender que inicialmente oferecia uma opção para comparação de pré e pós cirúrgico baseado em 17 pontos antropométricos. Utilizando como base a abordagem de pontos fundamentada no início deste capítulo foi desenvolvida uma opção com os 29 pontos, medidas e ângulos descritas anteriormente.

Para acessar os comandos é necessário que o usuário vá até a aba **Comp**, expanda o menu **Compare Points** e em **Select** selecione a opção **29 Points**.

A interface do sistema é dividida em quatro partes:

1. Cursor e Select para alternar a forma que o clique do mouse se comportará;
2. Botões para inserção dos pontos anatômicos;

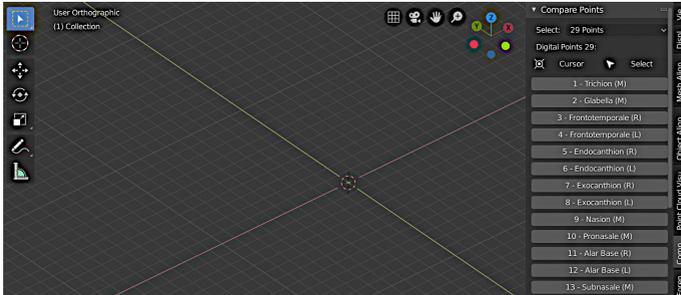


Figura2: Interface do CompareOnBlender - 29 Points.

3. Ocultação e visualização dos nomes e dos próprios pontos anatômicos;
4. Gerador de planilha e gráfico com valores.

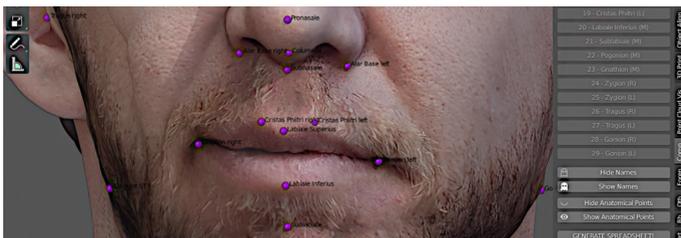


Figura3: Colocação dos pontos.

Ao ser colocado o ponto, o botão correspondente ao mesmo é desabilitado de modo a facilitar o processo. Nota-se que o texto com o nome do ponto pode se tornar um problema, posto que polui a visualização da cena (Fig. 3).

Uma vez que o usuário posicionou os pontos e conferiu o nome dos mesmos, ele pode ocultar os nomes em **Hide Names**, assim os pontos ainda ficam visíveis e a cena despoluída (Fig. 4).

O processo é finalizado clicando-se no botão **GENERATE SPREADSHEET**.

Em alguns segundos o gerenciador de arquivos padrão do sistema operacional vai ser aberto apresentando os dois arquivos resultantes do processo (Fig. 5).



Figura4: Todos os pontos posicionados com os nomes ocultados.

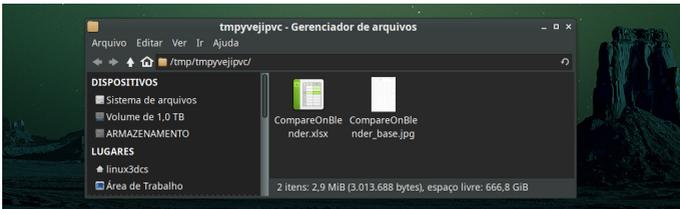


Figura5: Arquivos gerados no processo.

Name	Oblique Dist. (mm)	AF(%)
Trichion - Tragus right	148,3	
Trichion - Tragus left	153,52	3,4
Glabella - Tragus right	134,13	
Glabella - Tragus left	141,98	5,53
Frontotemporale right - Tragus right	86,97	
Frontotemporale left - Tragus left	88,6	1,84
Endocanthion right - Tragus right	97,05	
Endocanthion left - Tragus left	103,61	6,33
Exocanthion right - Tragus right	75,7	

Figura6: Visualização parcial da planilha gerada automaticamente.

Um dos arquivos nomeado **CompareOnBlender.xlsx** é uma planilha contendo todas as medidas e ângulos, além do Fator de Assimetria (AF) com a porcentagem de diferença entre as medidas simétricas (Fig. 6).

O outro arquivo, nomeado **CompareOnBlender\_base.jpg** é uma prancha com gráficos representando os pontos e os valores das medidas e ângulos (Fig. 7).

É possível observar todas as informações dos valores com elementos visuais que podem auxiliar na checagem, bem como fornecer mais uma mídia para apresentar e armazenar os dados levantados (Fig. 8).

## 9.4 Testando os Resultados

De modo a testar os resultados, foram criados dois estados para a face estudada: uma com deformação simulando a Síndrome de Parry-Romberg (*shape keys* via RhinOnBlender) e outra mantendo o volume original (Fig. 9).

Ao serem comparadas, as duas planilhas apresentam valores significativamente diferentes, sendo o Fator de Assimetria da simulação notoriamente superior ao rosto original (Fig. 10).

Uma vez que os dados foram armazenados em uma planilha, o usuário ou o estatístico terão a liberdade de incrementar com mais informações, cálculos e abordagens, segundo a necessidade do estudo em questão.

## 9.5 Conclusão

Com a automatização das medidas por meio do *add-on* OrtogOnBlender, podemos realizar grande número de medidas de forma objetiva, em curto espaço de tempo, com baixo custo, de forma não invasiva, mantendo a precisão, enquanto estas medidas sem auxílio do software, dispenderiam esforço e tempo inestimável. Além disso a flexibilidade da solução permite que a mesma possa ser utilizada em outras abordagens envolvendo estudos com a face humana, não se limitando ao escopo deste estudo.

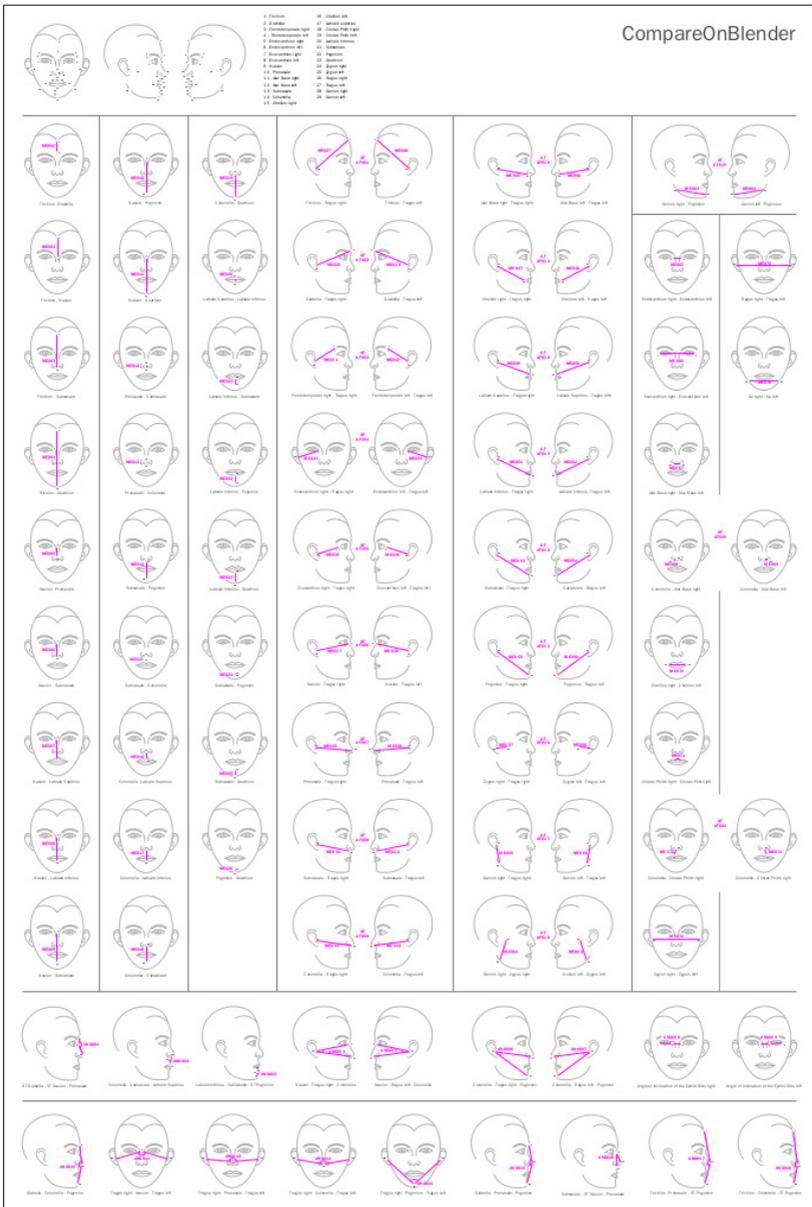


Figura7: Prancha completa com todos os gráficos e valores.

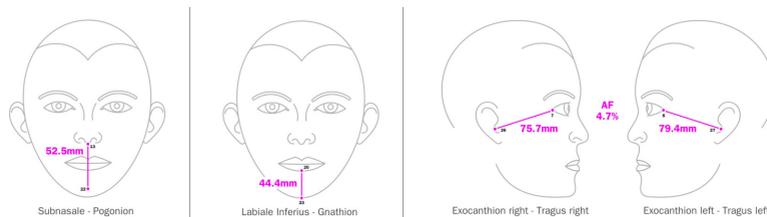


Figura8: Recorte da prancha com detalhes.



Figura9: Face modificada (à esquerda) e original (à direita).

Name	Oblique Dist. (mm)	AF(%)	Name	Oblique Dist. (mm)	AF(%)
Trichion - Tragus right	149.3		Trichion - Tragus right	152.84	
Trichion - Tragus left	153.52	3,4	Trichion - Tragus left	153.52	0,38
Glabella - Tragus right	134.13		Glabella - Tragus right	138,98	
Glabella - Tragus left	141,98	5,53	Glabella - Tragus left	141,98	2,11
Frontotemporale right - Tragus right	86,97		Frontotemporale right - Tragus right	88,86	
Frontotemporale left - Tragus left	88,6	1,84	Frontotemporale left - Tragus left	88,6	0,29
Endocanthion right - Tragus right	97,05		Endocanthion right - Tragus right	101,45	
Endocanthion left - Tragus left	103,61	6,33	Endocanthion left - Tragus left	103,61	2,08
Exocanthion right - Tragus right	75,7		Exocanthion right - Tragus right	77,85	
Exocanthion left - Tragus left	79,43	4,7	Exocanthion left - Tragus left	79,43	1,99
Nasion - Tragus right	126,72		Nasion - Tragus right	131,71	
Nasion - Tragus left	135,2	6,27	Nasion - Tragus left	135,2	2,58
Pronasale - Tragus right	132,84		Pronasale - Tragus right	137,46	
Pronasale - Tragus left	141,05	5,82	Pronasale - Tragus left	141,05	2,55
Subnasale - Tragus right	120,58		Subnasale - Tragus right	125,43	

Figura10: Comparação entre os Fatores de Assimetria (AF).

## **9.6 Agradecimentos**

Ao Dr. **Davi Sandes Sobral**, por ceder a digitalização facial utilizada neste capítulo.



# Referências Bibliográficas

- [Can20] CanalTech. Aprenda a construir um microscópio caseiro utilizando uma webcam. 2020. URL: <https://bit.ly/2ECdn7F>.
- [Cir20] Instructables Circuits. Lente macro para celular (lente do laser dvd). 2020. URL: <https://bit.ly/2ECdn7F>.
- [Edu20] Mundo Educação. Acomodação visual. 2020. URL: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/acomodacao-visual.htm>.
- [Hug20] Hugin. Hugin - panorama photo stitcher. 2020. URL: <http://hugin.sourceforge.net/>.
- [Ink20] Inkscape. Drawfreely. 2020. URL: <https://inkscape.org/>.
- [Liv20a] Mercado Livre. Lente celular universal 4in1 telescópica zoom 10x. 2020. URL: <https://bit.ly/2Di0woD>.
- [Liv20b] Mercado Livre. Luneta monocular aumento 40x espião. 2020. URL: <https://bit.ly/312bloX>.
- [Liv20c] Mercado Livre. Microscópio digital usb 1000x. 2020. URL: <https://bit.ly/2Divq1W>.
- [Liv20d] Mercado Livre. Microscópio lupa 60x a 100x. 2020. URL: <https://bit.ly/315uPZE>.
- [Sam20] Samsung. Galaxy a70. 2020. URL: <https://www.samsung.com/br/smartphones/galaxy-a70-a705/SM-A705MZKJZTO/>.
- [UFR20] CREF - UFRGS. Qual é a distância entre a terra e a lua? 2020. URL: <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=qual-e-a-distancia-entre-a-terra-e-a-lua>.
- [MdrD20a] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. Ortofonblender - documentação oficial. 2020.

- URL: [http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt\\_br/OrtogOnBlender/index.html](http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt_br/OrtogOnBlender/index.html).
- [MdrD20b] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. Ortogonblender - simulação de colisão física. 2020. URL: [http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt\\_br/OrtogOnBlender/OrtogOnBlender\\_Como\\_Funciona.html#mandible-collision](http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt_br/OrtogOnBlender/OrtogOnBlender_Como_Funciona.html#mandible-collision).
- [FPDMH13] Maria Eugenia Fuentes-Pereza, Mark S. Dillingham, and Fernando Moreno-Herrero. Afm volumetric methods for the characterization of proteins and nucleic acids. 2013. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1046202313000248>.
- [HR20] Julio Gómez Herrero and José María Gómez Rodríguez. Wsxm. 2020. URL: <http://www.wsxm.es/download.html>.
- [Ltd18] Nu Nano Ltd. Benefits of atomic force microscopy (afm). 2018. URL: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=4966>.
- [MdrD20a] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. Ortogonblender - documentação oficial. 2020. URL: [http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt\\_br/OrtogOnBlender/index.html](http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt_br/OrtogOnBlender/index.html).
- [dC98] Manuela Carneiro da Cunha. *História dos Índios do Brasil*. Volume 1. Cia das Letras, 1998. ISBN 9788571642607. p. 37-52.
- [dSd005] Elaine da Silveira and Lizete Dias de Oliveira. *Síntese histórica do povoamento do Rio Grande do Sul*. Volume 1. Ulbra, 2005. ISBN 8575281399. p. 11-34.
- [Mil69] Eurico Miller. *Resultados preliminares das escavações no sítio pré-cerâmico RS-LN-1: Cerrito Dalpiaz (abrigo-sob-rocha)*. Iheringia, 1969. p. 43-112.
- [Moe13] Silvia Moehlecke. *12000 anos de história: arqueologia e pré-história do Rio Grande do Sul*. UFRGS, 2013. Catálogo da exposição organizado pelo Museu da UFRGS.

- [MdRD20] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. *OrtogOnBlender - Documentação Oficial vol. 3*. Cicero André da Costa Moraes, 2020. ISBN 9786500053494. p. 34-37. doi:10.6084/m9.figshare.12871730.v1<sup>1</sup>.
- [NMHB04] Walter A. Neves, Pedro A. Mentz Ribeiro Mark Hübbe, and Danilo Bernardo. *Afinidades morfológicas de três crânios associados à tradição Umbu: uma análise exploratória multivariada*. UNISC, 2004. Revista do CEPA 28(39): 159-185.
- [1E18] GRTV 1ª Edição. Tecnologia revela face de pernambucano que viveu há 2 mil anos. 2018. URL: <https://globoplay.globo.com/v/6689302/>.
- [AdeMDSF91] MELLO E ALVIM, M. C. de e MENDONÇA DE SOUZA, and S. M. F. Relações biológicas entre populações indígenas pré-históricas e atuais do brasil. 1991. Revista de Arqueologia 6: 136-143.
- [BU94] J. E. BUIKSTRA and D. H. UBELAKER. Standards for data collection from human skeletal remains. 1994. Arkansas, Archaeological Survey Research Series, 44.
- [CQM07] O. A. CARVALHO, A. N. QUEIROZ, and F. A. A. MORAES. Diagnóstico diferencial entre fatores tafonômicos, anomalias de desenvolvimento e casos patológicos nos crânios exumados do sítio furna do estrago, pernambuco, brasil. 2007. Canindé (MAX/UFFS), v.10, p. 27-49.
- [CAR95] O. A. de CARVALHO. Análise das anomalias de desenvolvimento na população pré-histórica do sítio furna do estrago, pernambuco, brasil. 1995. Dissertação de Mestrado. Escola Nacional de Saúde Pública/ENSP/FIOCRUZ/ Rio de Janeiro.
- [CAS09] V. M. C. C. CASTRO. Marcadores de identidades coletivas no contexto funerário pré-histórico no nordeste do brasil. 2009. Tese de Doutorado na Universidade Federal de Pernambuco/PE. 309 f.

---

<sup>1</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12871730.v1>

- [FON16] S. M. FONTES. Aplicabilidades e contribuições da paleogenética à arqueologia: o caso do sítio furna do estrago/pe. 2016. Dissertação de Mestrado na Universidade Federal de Sergipe/UFS. 115 f.
- [Ger49] Mikhail M. Gerasimov. Osnovy vosstanovleniya litsa po cherepu. 1949. URL: [https://www.bulgari-istoria-2010.com/booksRu/Gerasimov\\_1949.pdf](https://www.bulgari-istoria-2010.com/booksRu/Gerasimov_1949.pdf).
- [LIM01] J. M. D. LIMA. El sítio arqueológico furna do estrago – brasil em uma perspectiva antropológica y social. 2001. México: Universidade Nacional Autónoma de México. (versão inicial e provisória da Tese de Doutorado, sem números de página).
- [LSMDSB12] J. M. D. de. LIMA, P. I. SCHMITZ, S. M. F. MENDONÇA DE SOUZA, and M. V. BEBER. A furna do estrago no brejo da madre de deus, pe. 2012. Pesquisa/Instituto Anchietano de Pesquisa – UNISINOS. 159 p. (Antropologia; n.69).
- [MAR08] G. MARTIN. Pré-história do nordeste do brasil. 2008. 5ª edição, Recife. Editora Universitária da UFPE, 434 p.
- [MDS18] S. M. F. MENDONÇA DE SAUZA. Arqueologia funerária e a furna do estrago. 2018. *Clio Arqueologia* 33(2): 44-92.
- [MDS95] S. M. F. MENDONÇA DE SOUZA. Estresse, doença e a adaptabilidade: estudo comparativo de dois grupos pré-históricos. 1995. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública/Tese de Doutorado.
- [MdRD20] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. *OrtogOnBlender - Documentação Oficial*. Cicero André da Costa Moraes, 2020. ISBN 978-65-00-05349-4. URL: <http://www.ciceromoraes.com.br/ebook/pdf/OrtogOnBlenderDocLQ.pdf>, doi:10.6084/m9.figshare.12871730<sup>3</sup>.
- [MdRD20b] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. Protocolo simples de fotogrametria

---

<sup>3</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12871730>

- para crânios. 2020. URL: <https://bit.ly/2DSLNTG>, doi:10.6084/m9.figshare.12923099<sup>4</sup>.
- [MD15] Cicero Moraes and Paulo Eduardo Miamoto Dias. *Manual de Reconstrução Facial 3D Digital: Aplicações com Código Aberto e Software Livre*. Volume 1. Expressão Gráfica, 2015. ISBN 978-85-420-0748-0. p. 37-52. URL: <https://bit.ly/3ki6vfl>, doi:10.6084/m9.figshare.12894947.v1<sup>5</sup>.
- [New18] Sputnik News. Rosto de homem de 2 mil anos que habitava o brasil é reconstruído. 2018. URL: [https://br.sputniknews.com/ciencia\\_tecnologia/2018042511074159-rosto-homem-2-mil-anos-brasil/](https://br.sputniknews.com/ciencia_tecnologia/2018042511074159-rosto-homem-2-mil-anos-brasil/).
- [PMLF13] Tanya R. Peckmann, Mary H. Manhein, Ginesse A. Listi, and Michel Fournier. In vivo facial tissue depth for canadian aboriginal children: a case study from nova scotia, canada. *Journal of Forensic Sciences*, 2013. doi:10.1111/1556-4029.12211<sup>6</sup>.
- [PN97] John Prag and Richard Neave. *Making Faces Using Forensic and Archaeological Evidence*. British Museum Press, 1997. ISBN 0714117439.
- [SBS09] M. SCHAEFER, S. BLACK, and L. SCHEUR. Juvenile osteology. a laboratory and field manual. 2009. ELSEVIER. 382 p.
- [SB04] L. SCHEUR and S. BLACK. The juvenile skeleton. 2004. ELSEVIER. 495p.
- [SFMEA92] MENDONÇA DE SOUZA, S. M. F., and M. C. de MELLO E ALVIM. A população pré-histórica da furna do estrogo: adaptação humana ao agreste pernambucano. 1992. *Symposium* 34(2):123-145.
- [Tay00] Karen T. Taylor. *Forensic Art and Illustration*. CRC Press, 2000. ISBN 9780429247637. doi:<https://doi.org/10.1201/9781420036954><sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12923099>

<sup>5</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12894947.v1>

<sup>6</sup> <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12211>

<sup>7</sup> <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781420036954>

- [UBE78] D. UBELAKER. Human skeletal remains. excavation, analysis, interpretation. 1978. Taraxacum. Washington.
- [Bun12] Sabiha Bunek. What's new in digital dentistry? 2012. Dental Advisor Dental Advisor Vol. 36.
- [CC18] Lars R Christensen and Jason B Cop. Digital technology for indirect bonding. 2018. Seminars in Orthodontics.
- [DGS+20] DUARTE, GRIBEL, SPITZ, ARTESE, and MIGUEL. Reproducibility of digital indirect bonding technique using threedimensional (3d) models and 3d-printed transfer trays. 2020. Angle Orthodontist, Vol 90, No 1.
- [FMA+15] VELLINI-FERREIRA F, SOUSA MVS, COTRIM-FERREIRA A, COTRIM-FERREIRA FA, and MACEDO AM. Indirect bonding: a step-by-step technique. 2015. REV ASSOC PAUL CIR DENT 2015 69(3):236-40.
- [Lay03] B Layman. Digital bracket placement for indirect bonding. 2003. JCO VOLUME LIII NUMBER 7.
- [MdRD20a] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. Protocolo de tomografia para planejamento de cirurgia ortognática. 2020. doi:10.6084/m9.figshare.12923807<sup>9</sup>.
- [MdRD20b] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. Sistema de geração de malhas 3d anti-retenção baseadas em projeção z-depth. 2020. doi:10.6084/m9.figshare.12881231.v1<sup>10</sup>.
- [PO16] Hande Pamukçu and Ömür Polat Özsoy. Indirect bonding revisited. 2016. Turk J Orthod 2016; 29: 80-6.
- [PFNC03] Arnaldo Pinzan, Acácio Fuziy, Leniana Santos Neves, and Rodrigo Hermont Cançado. Avaliação da precisão da acuidade visual no posicionamento dos acessórios ortodônticos. 2003. R Dental Press Ortodon Ortop Facial Maringá, v. 8, n. 3, p. 25-31.
- [MdRD20] Cicero Moraes, Rodrigo Dornelles, and Everton da Rosa. *Protocolo de Fotogrametria da Face*. Volume 1. Cicero

---

<sup>9</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12923807>

<sup>10</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12881231.v1>

- André da Costa Moraes, 2020. ISBN 978-65-00-05349-4. p. 197-209. doi:10.6084/m9.figshare.12923801.v1<sup>12</sup>.
- [CJPT] EI Chang, MP Jenkins, SA Patel, and NS Topham. Long-term operative outcomes of preoperative computed tomography-guided virtual surgical planning for osteocutaneous free flap mandible reconstruction. *Plast Reconstr Surg*. 2016;137(2):619–623.
- [eGS] M el-Gengehi and SA Seif. Evaluation of the accuracy of computer-guided mandibular fracture reduction. [published correction appears in *J Craniofac Surg*. 2015 Sep;26(6):e560]. *J Craniofac Surg*. 2015;26(5):1587–1591. doi:doi:10.1097/SCS.0000000000001773<sup>13</sup>.
- [Ell] E Ellis. Price c. treatment protocol for fractures of the atrophic mandible. *J Oral Maxillofac Surg*. 2008;66(3):421–435. doi:10.1016/j.joms.2007.08.042<sup>14</sup>.
- [LBea] JP Levine, JS Bae, and M Soares et al. Jaw in a day: total maxillofacial reconstruction using digital technology. *Plast Reconstr Surg* 131: 1386, 2013.
- [LRM] HG Luhr, T Reidick, and HA Merten. Results of treatment of fractures of the atrophic edentulous mandible by compression plating: a retrospective evaluation of 84 consecutive cases. *J Oral Maxillofac Surg*. 1996;54(3):250–255. doi:10.1016/s0278-2391(96)90733-8<sup>15</sup>.
- [MdRD20] Cicero Moraes, Everton da Rosa, and Rodrigo Dornelles. *OrtogOnBlender - Documentação Oficial*. Volume 3. Cicero André da Costa Moraes, 2020. ISBN 978-65-00-05349-4.
- [MJSS] M Mottini, SM Seyed Jafari, M Shafighi, and D Schaller. New approach for virtual surgical planning and mandi-

<sup>12</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12923801.v1>

<sup>13</sup> <https://doi.org/doi:10.1097/SCS.0000000000001773>

<sup>14</sup> <https://doi.org/10.1016/j.joms.2007.08.042>

<sup>15</sup> [https://doi.org/10.1016/s0278-2391\(96\)90733-8](https://doi.org/10.1016/s0278-2391(96)90733-8)

- bular reconstruction using a fibula free flap. *Oral Oncol.* 2016;59:e6–e9. doi:10.1016/j.oraloncology.2016.06.001<sup>16</sup>.
- [RPR] M Ramanathan, E Panneerselvam, and VB Krishna Kumar Raja. 3d planning in mandibular fractures using cad/cam surgical splints - a prospective randomized controlled clinical trial. *J Craniomaxillofac Surg.* 2020;S1010-5182(20)30042-1. doi:10.1016/j.jcms.2020.02.004<sup>17</sup>.
- [WFCD] HD Wang, C Frost, A Cusano, and AH Dorafshar. Management of bilateral edentulous mandible fractures through an intraoral approach using cad/cam technology: a case report. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(5):1056.e1–1056.e6. doi:10.1016/j.joms.2018.01.008<sup>18</sup>.
- [XGeaa] JJ Xia, J Gateno, and JF Teichgraber et al. Algorithm for planning a double-jaw orthognathic surgery using a computer-aided surgical simulation (cass) protocol. part 1: planning sequence. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44(12):1431–1440. doi:10.1016/j.ijom.2015.06.006<sup>19</sup>.
- [XGeab] JJ Xia, J Gateno, and JF Teichgraber et al. Algorithm for planning a double-jaw orthognathic surgery using a computer-aided surgical simulation (cass) protocol. part 2: three-dimensional cephalometry. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44(12):1441–1450. doi:10.1016/j.ijom.2015.06.007<sup>20</sup>.
- [ATB] Kasielska-Trojan A, Zieliński T, and Antoszewski B. Autologous fat transfer for facial recontouring in parry-romberg syndrome. *J Cosmet Dermatol.* 2020;19(3):585–589. doi:doi:10.1111/jocd.13072<sup>21</sup>.

---

<sup>16</sup> <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2016.06.001>

<sup>17</sup> <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2020.02.004>

<sup>18</sup> <https://doi.org/10.1016/j.joms.2018.01.008>

<sup>19</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2015.06.006>

<sup>20</sup> <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2015.06.007>

<sup>21</sup> <https://doi.org/doi:10.1111/jocd.13072>

- [BO] Rogers BO. Progressive facial hemiatrophy: romberg's disease: a review of 772 cases. Proc 3d Int Cong Plast Surg Excerpta Medica ICS. 1964;66:681-689.
- [CH] Parry CH. Collections from the unpublished medical writings of the late caleb hillier parry. Vol 2. Underwoods; 1825.
- [CNea] Tzou CHJ, Artner NM, and Pona I et al. Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. J Plast Reconstr Aesthetic Surg. 2014;67(4):489-497. doi:10.1016/j.bjps.2014.01.003<sup>22</sup>.
- [DVA+] Gibelli D, Pucciarelli V, Cappella A, Dolci C, and Sforza C. Are portable stereophotogrammetric devices reliable in facial imaging? a validation study of vectra h1 device. J Oral Maxillofac Surg. 2018;76(8):1772-1784. doi:doi:10.1016/j.joms.2018.01.021<sup>23</sup>.
- [dEJN] Ladeira PRS de, Bastos EO, Vanini JV, and Alonso N. Uso da estereofotogrametria nas deformidades craniofaciais: revisão sistemática. Rev Bras Cir Plástica. 2013;28(1):147-155. doi:10.1590/s1983-51752013000100025<sup>24</sup>.
- [DSJL] MIRANDA RE DE, MATAYOSHI S, BRABO JL, and MIYOSHI LH. Use of stereophotogrammetry for measuring the volume of external facial anatomy: a systematic review. Rev Bras Cir Plástica - Brazilian J Plast Surgery. 2018;33(4):572-579. doi:10.5935/2177-1235.2018rbcp0180<sup>25</sup>.
- [dFN] Dornelles R de FV and Alonso N. New virtual tool for accurate evaluation of facial volume. Acta Cir Bras. 2017;32(12):1075-1086. doi:10.1590/s0102-865020170120000009<sup>26</sup>.

---

<sup>22</sup> <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2014.01.003>

<sup>23</sup> <https://doi.org/doi:10.1016/j.joms.2018.01.021>

<sup>24</sup> <https://doi.org/doi:10.1590/s1983-51752013000100025>

<sup>25</sup> <https://doi.org/doi:10.5935/2177-1235.2018rbcp0180>

<sup>26</sup> <https://doi.org/doi:10.1590/s0102-865020170120000009>

- [EAL] Buchanan EP, Xue AS, and Hollier LH. Craniofacial syndromes. *Plast Reconstr Surg.* 2014;134(1):128e-153e. doi:10.1097/PRS.0000000000000308<sup>27</sup>.
- [FPG+] Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, and Aslan E. Accuracy and reliability of 3d stereophotogrammetry: a comparison to direct anthropometry and 2d photogrammetry. *Angle Orthod.* 2016;86(3):487-494. doi:10.2319/041415-244.1<sup>28</sup>.
- [GLP] Swennen GRJ, Pottel L, and Haers PE. Custom-made 3d-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available ffp2/3 masks. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2020:1-5. doi:0.1016/j.ijom.2020.03.015<sup>29</sup>.
- [MH] Von Romberg MH. Trophoneurosen: in romberg: klinische ergebnisse. Berlin, Forstner. 1846:75-81.
- [MWD+] Kim MJ, Jeong WS, Jeon DN, Choi JW, and Kim DH. Comprehensive three-dimensional technology strategies for autologous free fat graft in parry-romberg syndrome. *J Craniofac Surg.* 2020;31(1):64-67. doi:10.1097/SCS.0000000000005855<sup>30</sup>.
- [RCA+] Denadai R, Raposo-Amaral CA, Pinho AS, Lameiro TM, Buzzo CL, and Raposo-Amaral CE. Predictors of autologous free fat graft retention in the management of craniofacial contour deformities. *Plast Reconstr Surg.* 2017;140(1):50e-61e. doi:10.1097/PRS.0000000000003440<sup>31</sup>.
- [RCC] Denadai R, Raposo-Amaral CA, and Raposo-Amaral CE. Fat grafting in managing craniofacial deformities. *Plast Reconstr Surg.* 2019;143(5):1447-1455. doi:doi:10.1097/PRS.0000000000005555<sup>32</sup>.

---

<sup>27</sup> <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000000308>

<sup>28</sup> <https://doi.org/10.2319/041415-244.1>

<sup>29</sup> <https://doi.org/0.1016/j.ijom.2020.03.015>

<sup>30</sup> <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000005855>

<sup>31</sup> <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000003440>

<sup>32</sup> <https://doi.org/doi:10.1097/PRS.0000000000005555>

- [RCCC] Denadai R, Buzzo CL, Raposo-Amaral CA, and Raposo-Amaral CE. Facial contour symmetry outcomes after site-specific facial fat compartment augmentation with fat grafting in facial deformities. *Plast Reconstr Surg.* 2019;143(2):544-556. doi:doi:10.1097/PRS.0000000000005220<sup>33</sup>.
- [RAUJ] Enciso R, Shaw A, Neumann U, and Mah J. 3d head anthropometric analysis. *Proc SPIE - Int Soc Opt Eng.* 2003;5029. doi:10.1117/12.479752<sup>34</sup>.
- [RE] Losee JE Rodriguez ED, Neligan PC. *Plastic surgery: craniofacial, head and neck surgery and pediatric plastic surgery.* Vol 3. Elsevier Health Sciences; 2012.
- [VCM+] Pucciarelli V, Baserga C, Codari M, Beltramini GA, Sforza C, and Gianni AB. Three-dimensional stereophotogrammetric evaluation of the efficacy of autologous fat grafting in the treatment of parry-romberg syndrome. *J Craniofac Surg.* 2018;29(8):2124-2127. doi:doi:10.1097/SCS.0000000000004664<sup>35</sup>.

---

<sup>33</sup> <https://doi.org/doi:10.1097/PRS.0000000000005220>

<sup>34</sup> <https://doi.org/10.1117/12.479752>

<sup>35</sup> <https://doi.org/doi:10.1097/SCS.0000000000004664>