

William John Pereira Brobouski

Segmentação de Imagens Coloridas de  
Corpos Humanos (Base VHP) em  
Ultra-Alta-Definição usando Classificadores  
SVM

Curitiba - PR, Brasil

2020



William John Pereira Brobouski

**Segmentação de Imagens Coloridas de Corpos  
Humanos (Base VHP) em Ultra-Alta-Definição  
usando Classificadores SVM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Informática.

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGIa

Orientador: Edson José Rodrigues Justino

Curitiba - PR, Brasil

2020

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Edilene de Oliveira dos Santos CRB-9/1636

B863s  
2020  
Brobouski, William John Pereira  
Segmentação de Imagens Coloridas de Corpos Humanos (Base VHP) em Ultra-  
Alta-Definição usando Classificadores SVM/ William John Pereira Brobouski;  
Orientador: Edson José Rodrigues Justino. – 2020  
117 f. : il.; 30 cm.

Tese(doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Curitiba, 2020.  
Bibliografia: f. 111-117

1. Informática. 2. Morfologia. 3. Matemática. 4. Processamento de imagens -  
Técnicas digitais. I. Justino, Edson José Rodrigues. II. Pontifícia Universidade  
Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática. III. Título.

CDD. 20.ed. – 001.64



Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Escola Politécnica  
Programa de Pós-Graduação em Informática

## DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que o aluno **WILLIAM JOHN PEREIRA BROBOUSKI**, defendeu sua tese de doutorado intitulada “**Segmentação de Imagens Coloridas do Corpo Humano em Ultra-Alta Definição**”, na área de concentração Ciência da Computação, no dia 20 de fevereiro de 2020, no qual foi aprovado.

Declaro ainda que foram feitas todas as alterações solicitadas pela Banca Examinadora, cumprindo todas as normas de formatação definidas pelo Programa.

Por ser verdade, firmo a presente declaração.

Curitiba, 23 de abril de 2020.

---

Prof. Dr. Emerson Cabrera Paraiso  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná



# Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, por tudo que tenho e sou.

Ao professor Edson José Rodrigues Justino pela orientação, pela motivação e por tudo que ele batalhou por mim e pela minha família.

Ao professor Manoel de Campos Almeida por suas contribuições e por me apresentar ao Centro de Inovações em Imagens Médicas (CIIM).

Ao professor Carlos José Gomes pela supervisão e pelas aulas de anatomia no laboratório.

Aos professores, Edson Emilio Scalabrin, Mauren Abreu de Souza, Voldi Costa Zambenedetti, Alcides Calsavara, Paulo Varela e Flávio Bortolozzi, pelas contribuições nas bancas de qualificação e de defesa.

Aos professores do PPGIa, Jacques Facon, Andreia Malucelli, Sheila Reinehr, Júlio César Nievola e Paulo Sergio Macuchen Nogas, pelos ensinamentos durante o curso.

Aos professores da Escola da Ciências da Vida e da Medicina, Geraldo Alberto Sebben e Lara Guerios, e ao técnico Paulo Henrique Zink que auxiliaram no estudo da anatomia.

Ao grande amor da minha vida, Franciele Aparecida da Silva Brobouski pela força, pela paciência e pela compreensão.

Ao fruto desse amor, minha incrível filha, Maria Clara Brobouski por dar um novo sentido a nossa vida.

Aos meus pais, Almir e Sandra Brobouski, e ao meu irmão Eric que sempre me incentivaram.

Aos meus diretores espirituais, Frei Antonio Cordioli e Padre André Biernaski, pelos momentos de reflexão e oração.

Aos colegas do CIIM, particularmente aos meus amigos Mozart Gonçalves, Márcia Cristina Dadalto Pascutti, Lucas Murbach Pierin, Andrei Rafael Brongel, Aramis Hornung Moraes, Flávio de Almeida e Silva, Angelo Antonio Manzatto e Fabiano Utiyama, pela amizade e pelas contribuições.

Aos amigos do PPGIa, especialmente a Flávia Beuting, pela atenção e cordialidade.

Aos professores da PUC-PR, principalmente aos professores Jose Eloir Krupechacke e Florentino Augusto Fagundes, pelos incentivos à continuação dos meus estudos e pela carta de recomendação ao Curso.

A PUCPR pela isenção da mensalidade, inicialmente, com o incentivo à Educação, depois com o incentivo à Pesquisa em Área Estratégica e o apoio financeiro do FINEP.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para realização deste trabalho.

*A Deus.*

*À minha filha, MARIA CLARA*

*À minha esposa, FRANCIELE.*

*Aos meus pais, ALMIR e SANDRA.*



*"Estudar é conhecer mundos diferentes.  
Tempo de novidades a cada dia.  
Tempo de alegria a cada hora.  
Tempo de se preparar para vida."  
Albert Einstein*



# Resumo

A base do *The Visible Human Project* com aquisições de imagens coloridas por fotografias em Ultra-Alta-Definição, de corpos congelados, proporciona características como cor, textura e disposição anatômica igual a um corpo humano vivo. Por sua vez, a evolução tecnológica tem contribuído para o aperfeiçoamento do estudo de anatomia, com modelos de visualização 3D. No entanto, não se tem conhecimento de um modelo computacional que faça o uso dessas imagens sem algum tratamento, por exemplo, ocorre perda da qualidade de visualização ao alterar a cor com a renderização ou ao reduzir as imagens. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor um método de segmentação composto por um SVM (*Support Vector Machine*) na produção de máscaras, com morfologia matemática e extração de componentes conectados, a ser empregado em imagens coloridas, sem alterar cor e textura, na geração de modelos 3D. A escolha da base fundamentou-se na revisão sistemática da literatura, que identificou o *The Visible Human Project* como sendo a base mais acessível, pois disponibiliza a base completa a partir de uma licença de uso e amostra de imagens para estudo, contendo imagens coloridas em Ultra-Alta-Definição e imagens médicas de Tomografia Computadorizada e de Ressonância Magnética. A metodologia utilizada foi a exploratória, mediante um estudo de mapeamento sistemático, realizado com a finalidade de identificar as técnicas aplicadas anteriormente, visando os objetivos do presente projeto. Os resultados atingidos foram: (i) a extração do gelo interno e externo das imagens da base de dados em ambos os sexos. Isso proporcionou observar níveis de detalhes antes nunca percebidos; (ii) a segmentação dos principais sistemas do corpo humano, o que permite o desenvolvimento da *The Visible Human Table* como parte do Projeto Mesa de Dissecção Virtual e (iii) a evidência de que o método proposto é robusto e possível a aplicação em segmentação de imagens em Ultra-Alta-Definição.

**Palavras-chaves:** *The Visible Human Table*, Segmentação de imagens coloridas, SVM, Morfologia matemática, *The Visible Human Project*.



# Abstract

The base of The Visible Human Project whose colored image acquisitions by Ultra-High-Definition pictures of the frozen bodies afford characteristics like, color, texture and anatomic study with 3D visualization models. However, it is not known a computational model which uses these images without any treatment, for example, there is a loss of visual quality when the color is altered because it was rendered or reduced. Therefore, the aim of this work is to propose a segmentation method composed by a SVM (Support Vector Machine) in production of masks with mathematics morphology and extraction of connected components. They will be used in colored images without alter color and texture, in creation of 3D models. The base choice was based on the literature systematic review which identified the The Visible Human Project as being the most accessible base because it made a complete base available from a use license and the sample of images for study with Ultra-High-Definition colored images and medical images of Computed Tomography and Magnetic Resonance. It was used the exploratory methodology through a systematic mapping study carried out to identify the previously applied techniques focusing on the current project objectives. The results achieved were: (i) the extraction of the ice inside and outside the images from the database in both sexes. It provided to observe the detail levels never seen before; (ii) the segmentation of the main human body systems which allows the development of The Visible Human Table as part of the Virtual Dissection Table Project and (iii) the disclosure of the proposed method is robust and possible to be applied in Ultra-High-Definition image segmentation.

**Keywords:** The Visible Human Table, Color Image Segmentation, SVM, Mathematical Morphology, The Visible Human Project.



# Lista de ilustrações

Figura 1.1 – Imagens da <i>The Visible Human Table</i> . . . . .	31
Figura 2.1 – Comparação dos formatos das imagens . . . . .	33
Figura 2.2 – Imagens disponíveis no site do VHP . . . . .	35
Figura 2.3 – Imagem anatômica do VKH . . . . .	39
Figura 2.4 – Imagem anatômica do CVH . . . . .	39
Figura 2.5 – Imagens volumétricas comparativa de alguns projetos . . . . .	40
Figura 2.6 – Principais métodos de segmentação monocromático com espaço de cor . . . . .	43
Figura 2.7 – Tendências contemporâneas na segmentação de imagens coloridas - parte 1 . . . . .	44
Figura 2.8 – Tendências contemporâneas na segmentação de imagens coloridas - parte 2 . . . . .	45
Figura 2.9 – Comparação de algumas técnicas de segmentação . . . . .	48
Figura 2.10–Segmentação do braço por Liu et al. (2014) . . . . .	50
Figura 2.11–Reconstrução do braço por Liu et al. (2014) . . . . .	50
Figura 2.12–Modelo renderizado do Fang et al. (2017) . . . . .	51
Figura 2.13–Segmentação feita pelo VM . . . . .	52
Figura 2.14–Reconstrução feita pelo VM . . . . .	52
Figura 2.15– <i>The Anatomage Table</i> . . . . .	54
Figura 2.16–Imagens do <i>Anatomage Table</i> . . . . .	55
Figura 2.17–Interface do PMDV . . . . .	58
Figura 2.18–Sistemas segmentados disponíveis no PMDV . . . . .	59
Figura 3.1 – Imagem de uma seção do VHP masculino . . . . .	62
Figura 3.2 – Tipos de conectividade . . . . .	67
Figura 3.3 – Método proposto de segmentação . . . . .	68
Figura 3.4 – Registro das imagens TC do VHP com VM . . . . .	71
Figura 3.5 – Registro das imagens VM no VHP . . . . .	76
Figura 3.6 – Reconstrução dos ossos da perna . . . . .	79
Figura 3.7 – Reconstrução frontal dos ossos do VM . . . . .	80
Figura 4.1 – Reconstrução e ruídos após aplicação do SVM no formato VM . . . . .	84
Figura 4.2 – Resultados obtidos na imagem 1010 no formato VM . . . . .	85
Figura 4.3 – Resultados obtidos na imagem 1400 no formato VM com zoom das bordas . . . . .	85
Figura 4.4 – Resultados obtidos na imagem 1400 no formato VM . . . . .	86
Figura 4.5 – Reconstrução posterior no formato VM . . . . .	87
Figura 4.6 – Reconstrução frontal no formato VM . . . . .	87
Figura 4.7 – Resultados obtidos na imagem 1400 . . . . .	89
Figura 4.8 – Problema e resultados obtidos na Imagem 1010 . . . . .	89

Figura 4.9 – Problemas e resultado obtido na imagem 1550 . . . . .	90
Figura 4.10–Escoriação no braço . . . . .	91
Figura 4.11–Resultados do Experimento 3 - cabeça, tronco e membros superiores . .	92
Figura 4.12–Reconstrução frontal dos ossos . . . . .	93
Figura 4.13–Modelo renderizado do Pommert et al. (2006) . . . . .	93
Figura 4.14–Comparação dos resultados da segmentação dos ossos . . . . .	94
Figura 4.15–Resultado final da imagem 1150 . . . . .	95
Figura 4.16–Resultados do Experimento 3 - membros inferiores . . . . .	96
Figura 4.17–Comparação dos resultados para os ossos das pernas . . . . .	97
Figura 4.18–Comparação dos resultados para imagem 1455 . . . . .	97
Figura 4.19–Problema na segmentação da costela e resultado obtido pelas Splines na imagem 1411 . . . . .	99
Figura 4.20–Detalhes obtidos com a segmentação das imagens 2k . . . . .	102
Figura 4.21–Reconstrução final dos ossos em três vistas diferentes . . . . .	104
Figura 4.22–Reconstrução dos Sistemas segmentados - parte 1 . . . . .	104
Figura 4.23–Reconstrução dos Sistemas segmentados - parte 2 . . . . .	105
Figura 4.24–Reconstrução da composição dos ossos com os músculos e a fáscia . . .	106

# Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Principais bases de corpos humanos completos para estudo da anatomia	42
Tabela 3.1 – Número das imagens com problemas na geração da costela . . . . .	80
Tabela 4.1 – Comparação dos tempos de processamento para a primeira fase do PMDV	103



# Lista de quadros

Quadro 2.1 – Bases eletrônicas pesquisadas . . . . .	37
Quadro 2.2 – Documentos selecionados para a RSL . . . . .	38
Quadro 2.3 – Informações de acesso dos projetos . . . . .	41
Quadro 2.4 – Documentos selecionados para o EMS . . . . .	49



# Lista de algoritmos

Algoritmo 1	Composição dos sistemas do <i>The Voxel-Man</i> . . . . .	53
Algoritmo 2	Redimensionamento das imagens e alinhamento . . . . .	63
Algoritmo 3	SVM para geração de máscara binária . . . . .	70
Algoritmo 4	Técnica de registro do Utiyama (2019) . . . . .	70
Algoritmo 5	Técnica de registro das imagens TC do VHP para as TC do VM	72
Algoritmo 6	Experimento 1a - Extração do gelo em 2D . . . . .	73
Algoritmo 7	Experimento 1b - Extração do gelo em 3D com <i>bwlabeln</i> . . . . .	74
Algoritmo 8	Experimento 2 - Extração do gelo em 3D com <i>bwconncomp</i> . . . . .	75
Algoritmo 9	Experimento 3a - Segmentação dos ossos da cabeça . . . . .	77
Algoritmo 10	Experimento 3b - Segmentação dos ossos do tronco . . . . .	78
Algoritmo 11	Experimento 4a - Reconstrução dos ossos dos braços . . . . .	81
Algoritmo 12	Experimento 4b - Reconstrução das costelas . . . . .	82
Algoritmo 13	Correção dos ossos da cabeça . . . . .	95
Algoritmo 14	Correção dos ossos por splines . . . . .	98
Algoritmo 15	Função para aplicação das splines . . . . .	100



# Lista de abreviaturas e siglas

CIIM	Centro de Inovações em Imagens Médicas
CrEAre	Centro de Ensino e Aprendizagem
CVH	<i>The Chinese Visible Human</i>
EMS	Estudo de Mapeamento Sistemático
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HSI	<i>Hue-Saturation-Intensity</i>
HSV	<i>Hue-Saturation-Value</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
KNN	<i>K-Nearest Neighbors</i>
L*a*b*	<i>Lightness-Green to Red-Blue to Yellow</i>
NCBI	<i>National Center for Biotechnology Information</i>
NLM	<i>National Library of Medicine</i>
PMDV	Projeto Mesa de Dissecção Virtual
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
PPGIa	Programa de Pós-Graduação em Informática
PPGTS	Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
RGB	<i>Red-Green-Blue</i>
RM	Ressonância Magnética
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SURF	<i>Speeded-Up Robust Features</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TC	Tomografia Computadorizada

UHD	<i>Ultra High Definition</i>
VCH	<i>The Virtual Chinese Human</i>
VHP	<i>The Visible Human Project</i>
VKH	<i>The Visible Korean Human</i>
VM	<i>The Voxel-Man</i>

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>27</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>28</b>
1.1.1	Objetivos Específicos	28
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>29</b>
<b>1.3</b>	<b>Motivação</b>	<b>30</b>
<b>1.4</b>	<b>Contribuições e Originalidade</b>	<b>30</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b>	<b>32</b>
<b>2</b>	<b>PRESSUPOSTOS TEÓRICOS</b>	<b>33</b>
<b>2.1</b>	<b>Imagens em Ultra-Alta-Definição</b>	<b>33</b>
2.1.1	<i>The Visible Human Project</i>	34
2.1.2	Revisão Sistemática da Literatura	36
<b>2.2</b>	<b>Segmentação de Imagens Coloridas</b>	<b>43</b>
2.2.1	Estudo de Mapeamento Sistemático	46
<b>2.3</b>	<b><i>The Voxel-Man</i></b>	<b>51</b>
<b>2.4</b>	<b>Projeto Mesa de Dissecção Virtual</b>	<b>54</b>
<b>2.5</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>61</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodologia Científica</b>	<b>61</b>
<b>3.2</b>	<b>Base de Dados</b>	<b>61</b>
<b>3.3</b>	<b>Método Proposto</b>	<b>64</b>
3.3.1	<i>SVM-Support Vector Machine</i>	64
3.3.2	Morfologia Matemática	65
3.3.3	Componentes Conectados	66
3.3.4	Visão Geral	67
3.3.4.1	Algoritmos de geração de máscara	69
<b>3.4</b>	<b>Experimentos</b>	<b>72</b>
3.4.1	Primeira Fase do PMDV - Extração do Gelo	72
3.4.1.1	Experimento 1 – Aplicação em 2D nas imagens	72
3.4.1.2	Experimento 2 – Aplicação em 3D nas imagens	74
3.4.2	Segunda Fase do PMDV - Extração dos Sistemas	75
3.4.2.1	Experimento 3 – Segmentação dos ossos	77
3.4.2.2	Experimento 4 – Reconstrução	79
<b>3.5</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>82</b>

<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>83</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados dos Experimentos 1 e 2</b>	<b>83</b>
4.1.1	Resultado nas imagens do VM	83
4.1.2	Resultado nas imagens 2k do VHP	88
<b>4.2</b>	<b>Resultados dos Experimentos 3 e 4</b>	<b>91</b>
4.2.1	Resultados obtidos com o Experimento 3	91
4.2.2	Resultados obtidos com o Experimento 4	97
<b>4.3</b>	<b>Análise Crítica dos Resultados</b>	<b>101</b>
4.3.1	Resultados da primeira fase do PMDV	101
4.3.2	Resultados da segunda fase do PMDV	103
<b>4.4</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>107</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>109</b>
<b>5.1</b>	<b>Trabalhos Futuros</b>	<b>110</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>111</b>

# 1 Introdução

O estudo da Anatomia Humana se faz presente em diversos cursos, tais como medicina, ciências biológicas, nutrição, fisioterapia, psicologia, entre outros. O estudo de cadáver contribui para o conhecimento e aprendizado, pois é o mais próximo possível do seu aspecto “*in vivo*”.

A questão é que esses corpos perdem algumas características, como cor e textura, dificultando a visualização, e apresentam forte odor do formol, produto cancerígeno e prejudicial à saúde. Outro fator relevante é o alto custo de manutenção desses laboratórios. (LIMA, 2012; SILVA et al., 2013)

Existem diversas outras restrições, tanto legais como sanitárias, que vêm paulatinamente diminuindo o acesso a cadáveres para estudo. Em virtude disso, instituições tem buscado alternativas que minimizem o uso de cadáver, reduzindo o risco de saúde. Segundo Costa, Costa e Lins (2012) o atlas anatômico é o principal recurso de estudo, seguido pelos modelos anatômicos e por programas de computadores.

A grande questão é: por que os recursos computacionais são tão pouco explorados? Provavelmente, isto se deve ao fato dos modelos computacionais tridimensionais serem gerados a partir de imagens médicas, como ressonância magnética e tomografia computadorizada, não apresentando características como a cor e a textura de um corpo humano legítimo, fidedigno.

Visando atender as necessidades e ampliar o acesso as características encontradas nos modelos renderizados, a *U.S. National Library of Medicine* em 1994 disponibilizou o *The Visible Human Project* (VHP), segundo Ackerman (1998), um banco de imagens coloridas obtidas por fotografia dos cortes axiais pela criosecção dos corpos congelados, com definição 2k (2048 x 1216 pixels), cada pixel corresponde a 0,33 mm da imagem, assegurando a cor e textura fiel ao corpo humano.

Porém, os recursos tecnológicos da época e com uma base de dados de aproximadamente 15 gigabyte, impossibilitava a geração de modelo 3D, se fez necessário optar pela redução da imagem e por processos de renderização, conforme utilizado no *The Voxel-Man*. (TIEDE; SCHIEMANN; HOHNE, 1998)

A partir do VHP masculino, outros projetos foram realizados, os americanos replicaram para o corpo feminino (U.S. National Library of Medicine, 2019), os coreanos fizeram as aquisições para ambos os sexos (CHUNG et al., 2002) e os chineses, em dois projetos distintos desenvolveram suas bases com imagens de vários corpos (ZHANG et al., 2004; QI et al., 2007); descritos a seguir na revisão sistemática da literatura.

Todas as pesquisas demonstram o uso de imagens com algum tipo de processamento, como já mencionado processo de renderização, que acabam alterando características importantes como a cor.

Com base nos avanços tecnológicos, o Centro de Inovações em Imagens Médicas (CIIM) liderado pelo professor doutor Edson J. Justino, que desenvolveu o *Full Frame Semi-spherical Scanner* (F2S2) que permite a captura de imagens para geração de estereoscopia (OLSEN. et al., 2018), proporciona uma nova ferramenta para aprendizagem (SILVA. et al., 2019), idealizou o Projeto Mesa de Dissecção Virtual (PMDV) em Ultra-Alta-Definição para o ensino de anatomia. Contando com a parceria feita com a *U.S. National Library of Medicine*, que cedeu as imagens a partir de uma licença de uso.

O projeto faz parte do projeto Atlas Anatômico em Ultra-Alta-Definição e Estereoscopia, que vem abrindo espaço para vários projetos e criação de novos Ambientes Imersivos de Aprendizagem. O projeto teve a participação dos recursos disponibilizados pelo FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) da PUCPR (Pontifícia Universidade Católica do Paraná).

A tarefa era desafiadora, os três desafios principais envolviam: (i) conceber um computador capaz de atender a necessidade do software e permitir a utilização das bases em 2k; (ii) criar um software dinâmico e interativo, que proporcione um modelo volumétrico em alta definição e (iii) preparar uma base de imagens segmentadas capaz da reconstrução tridimensional, sem nenhuma renderização, retirando o gelo e separando os órgãos.

Cabe ressaltar, que o presente estudo tem por finalidade aprimorar o processo de segmentação das imagens por meio de uma combinação de métodos.

## 1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral propor um método de segmentação eficiente para aplicar às imagens coloridas em Ultra-Alta-Definição do *The Visible Human Project*, para utilização no PMDV, tornando possível a criação da mesa de dissecção virtual.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho podem-se destacar:

1. realizar uma Revisão Sistemática da Literatura, apresentando bases de imagens similares ao VHP, que possam ser utilizadas em outras mesas;
2. realizar um Estudo de Mapeamento Sistemático sobre as técnicas de segmentação que estão sendo aplicadas nessas bases;

3. estudar métodos alternativos de segmentação do gelo externo e interno nas imagens VHP;
4. estudar métodos alternativos de segmentação dos órgãos internos nas imagens VHP;
5. propor um método de segmentação para utilização no PMDV e
6. validar o método proposto mediante aos profissionais da área de saúde.

## 1.2 Justificativa

A anatomia humana é uma disciplina obrigatória em diversos cursos da área de saúde, e é crucial ressaltar a necessidade do contato com o corpo real para o estudo. O mais preocupante, contudo, segundo [Lima \(2012\)](#) é que as Instituições de Ensino vêm enfrentando sérias dificuldades na aquisição de corpos para os estudos anatômicos.

Tendo em vista isso, várias universidades fazem campanhas para doação voluntária de corpos para estudos de anatomia, pois o Ministério de Educação recomenda o uso de um cadáver para cada dez estudantes ([Coordenação de Comunicação Social, 2015](#)). Outro agravante foi a Lei Federal 8.501 de 1992, que restringiu o uso de corpos de indigentes e de mortos não reclamados ([SILVA et al., 2013](#)).

Em função dessa dificuldade, têm-se procurado alternativas viáveis, que minimizem o uso de corpos humanos em diversos cursos no estudo de anatomia. Neste contexto, segundo [Costa, Costa e Lins \(2012\)](#) o recurso didático mais utilizado pelos estudantes é o atlas anatômico com 87,8%, seguido pelos programas de computadores com 24,2% e modelos anatômicos com 20,8%.

A pesquisa não especifica o motivo da baixa procura por software, porém a impossibilidade de apresentarem cor e textura fiel, imprescindível para um aprendizado eficiente, contribuem para a baixa procura dos mesmos.

Perante a possibilidade da geração de uma mesa de dissecação virtual com as imagens coloridas do *The Visible Human Project* proporcionando cor, textura e a disposição anatômica de um corpo humano real, faz-se necessário segmentar essas imagens de modo que seja possível a reconstrução tridimensional do corpo humano.

Uma das questões é o fato das estruturas anatômicas serem representadas por pixels, evento que dificulta a diferenciação entre osso e tecido, pois um único pixel pode representar a transição entre eles ([ACKERMAN, 1998](#)).

Outra questão está em determinar o processo para encontrar as regiões de interesse, que pode ser manual. O grupo de pesquisa do CIIM, concentrou seis meses para conseguir segmentar apenas a região dos joelhos. Uma opção seria o uso do processamento

semiautomático, por meio de uma ferramenta como, o Photoshop; contudo a aplicação desse processo demandou sete anos de trabalho, conforme Wu et al. (2012).

### 1.3 Motivação

A principal motivação foi a ausência de modelos computacionais tridimensionais que apresentem características como a cor e a textura de um corpo humano real. Bem como, a demanda de cursos da área da saúde na busca de elementos facilitadores do processo de aprendizagem para a formação de profissionais. Somado a dificuldade na aquisição de corpos, conforme indicados pelos alunos no curso de medicina da USP (Universidade de São Paulo) (ARAGAKI, 2017).

Fica evidente, diante desse quadro, a necessidade de desenvolvimento de uma mesa de dissecação inovadora para o ensino de anatomia, a qual possibilitaria um novo ambiente computacional com características semelhantes ao corpo vivo.

Tais imperativos motivaram a geração de um banco de imagens segmentadas.

### 1.4 Contribuições e Originalidade

Especiais contribuições podem ser destacadas nos processos de segmentação, com seus respectivos resultados:

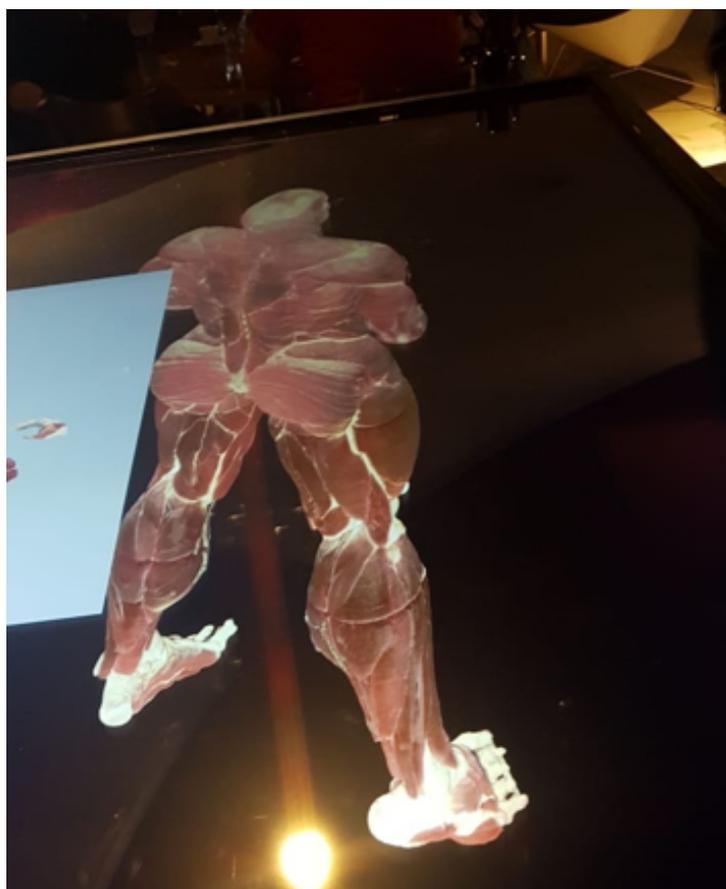
1. o método de segmentação composto com um classificador SVM, com várias técnicas de morfologia matemática aplicados a imagem, resulta na total extração do gelo interno e externo das imagens coloridas do VHP. Tal resultado, além da extração do gelo, proporcionou um refinamento, tornando possível visualizar detalhes, como a quantidade de tatuagens. Tornando possível o desenvolvimento do simulador interativo de dissecação em alta definição, concluindo a primeira fase do projeto mesa de dissecação virtual. A Figura 1.1a apresenta o *The Visible Human Table*, nome dado por Brongel. et al. (2019) e
2. o método de segmentação composto por máscaras obtidas pelo classificador SVM, pelos registros: nas imagens *The Voxel-Man* e nas imagens TC. Seguido pela teoria dos conjuntos e por várias técnicas de morfologia matemática em 3D, com a extração dos componentes conectados. Aplicados a todas as imagens, simultaneamente, proporcionou a segmentação dos sistemas: respiratório, digestório, circulatório, nervoso, ósseo, muscular e urinário do corpo masculino. Completando a segunda fase PMDV, constituiu uma nova ferramenta de ensino para a anatomia, conforme a Figura 1.1b.

Figura 1.1 – Imagens da *The Visible Human Table*

(a) Resultado da primeira fase



(b) Resultado da segunda fase



Fonte: Autoria Própria

O ineditismo do trabalho está na aplicação do método SVM treinado com pontos próximos a borda da região de interesse. Combinado com técnicas de morfologia matemática e extração de componentes em 3D, que proporcionou resultados importantes na reconstrução 3D. Sem uso da renderização, permite a observação fiel da cor dos órgãos, textura e formato.

Além disso as imagens foram mantidas em 2k, que permite visualizar estruturas nem sempre vistas em cadáveres reais.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco Capítulos, sendo o [Capítulo 1](#) a introdução, dividida em objetivos, justificativa, motivação e as contribuições e originalidade do trabalho.

No [Capítulo 2](#), referente aos pressupostos teóricos, é definindo as imagens Ultra-Alta-Definição e exhibe a base de imagens do *The Visible Human Project*. Revela os resultados obtidos com uma revisão sistemática da literatura dos trabalhos correlacionados as imagens coloridas obtidas de corpos congelados. Apresenta um estudo de mapeamento sistemático, cujo objetivo foi identificar algumas técnicas de segmentação já aplicadas ao VHP e nos projetos similares, fundamental para decisão da escolha do método proposto.

Expõe o *The Voxel-Man* que tem contribuído no estudo do processo de segmentação e conclui com a história do Projeto Mesa Dissecação Virtual, desde a concepção até os recentes projetos que estão em fase de implementação.

A metodologia é apresentada no [Capítulo 3](#), contém um detalhamento das imagens utilizadas e os processos de correção para o uso. É apresentado o método proposto, os Experimentos realizados na extração do gelo interno e externo, e na segmentação dos ossos.

O [Capítulo 4](#) aborda uma análise e discussão dos resultados obtidos com os Experimentos e algumas correções que foram realizadas em determinados locais. E finalmente, no [Capítulo 5](#) são apresentadas as conclusões e propostas de trabalhos futuros para sequência do PMDV.

## 2 Pressupostos Teóricos

O Capítulo é composto por quatro seções de referencial teórico, sendo que a [Seção 2.1](#) versa a respeito das imagens em Ultra-Alta-Definição e apresenta a história da criação do *The Visible Human Project* (VHP). Embasado por uma revisão sistemática da literatura, a qual aborda outras bases de imagens de corpos humanos que podem ser utilizadas em mesas de dissecação virtual.

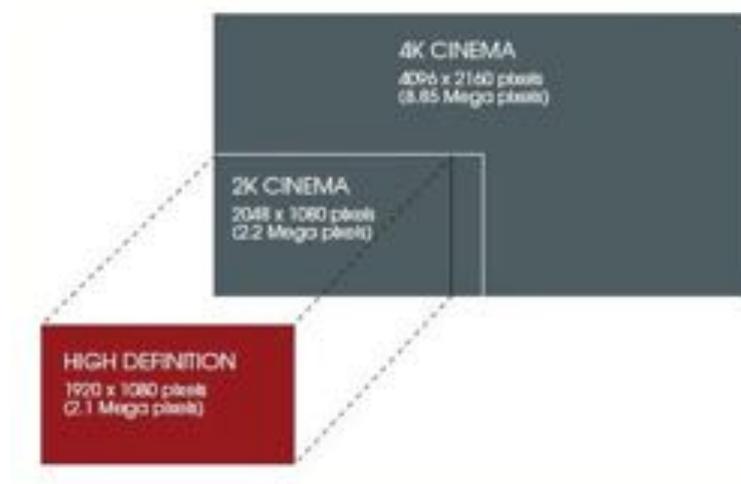
A [Seção 2.2](#) explora algumas técnicas de segmentação em imagens coloridas e explana a cerca de um estudo de mapeamento sistemático, procurando identificar as técnicas de segmentação aplicadas às bases.

Em seguida, a [Seção 2.3](#) faz referência ao *The Voxel-Man*, o qual disponibilizou as imagens segmentadas em baixa definição do VHP que tem contribuído para os estudos. Para concluir, a [Seção 2.4](#) traz um descritivo de todo o Projeto Mesa de Dissecação Virtual.

### 2.1 Imagens em Ultra-Alta-Definição

Na literatura não há um consenso quanto ao formato das imagens em Ultra-Alta-Definição (UHD - *Ultra High Definition*). Segundo [Santana \(2017\)](#) existem dois formatos: a usada para o cinema ([Figura 2.1](#)), que considera as imagens 2k e 4k, com 2048x1080 pixels e com 4096x2160 pixels, respectivamente, e outra para a televisão, com imagens compreendidas entre 4k e 8k.

Figura 2.1 – Comparação dos formatos das imagens



Fonte: <[http://regmedia.co.uk/2011/04/12/4k2k\\_1.jpg](http://regmedia.co.uk/2011/04/12/4k2k_1.jpg)>

Tal diferença é justificada pela ausência do formato 2k na televisão, por ter adotado o *Full HD* que possui 1920x1080 pixels. Essas imagens possuem pouca diferença do padrão 2k, devido ao ganho pouco significativo desestimulou o interesse dos fabricantes.

Para o desenvolvimento deste trabalho adotou-se a terminologia utilizada nos cinemas, imagens em Ultra-Alta-Definição. Sendo a base de imagens do corpo masculino em 2k, com 2048x1216 pixels. A base do feminino 2k, possui 2048x1216 pixels, enquanto a 4k de 4096x3061 pixels.

Essas imagens proporcionam um grande nível de detalhes, com uma maior quantidade de cores, fornecendo mais informações do que vista diretamente no corpo. O processo de aquisição das imagens do VHP as vista na [Subseção 2.1.1](#).

### 2.1.1 *The Visible Human Project*

O projeto constitui uma completa base de imagens médicas composta por imagens de ressonância magnética (RM), de tomografia computadorizada (TC) e por imagens coloridas em Ultra-Alta-Definição, obtidas por crioseções de cadáveres de corpos humanos, masculino e feminino. Michael Ackerman (Chefe do Departamento de Tecnologia Educacional da NLM - *National Library of Medicine*) com Cornelius Rosse (Presidente do Departamento de Estrutura Biológica na Universidade de Washington) foram os idealizadores desse projeto.

Conforme [Baatz \(2004\)](#), a ideia surgiu em um encontro realizado em 1986, e originou-se dos resultados obtidos no processamento de imagens no laboratório de Rosse. O material obtido é uma contribuição da Biblioteca Nacional de Medicina, a qual em 1990 começou a investigar a viabilidade de construir uma biblioteca de imagens biomédicas, conforme apresentado no relatório da [National Library of Medicine \(U.S.\) Board of Regents \(1990\)](#).

Segundo [Al-Gailani \(2016\)](#), o processo de aquisição das imagens coloridas, por meio do congelamento dos corpos, teve seu início em 1831 com Christian Wilhelm Braune, quando foram produzidas as primeiras seções congeladas de um corpo, sendo as ilustrações das seções anatômicas desenhadas a mão livre.

Mesmo o período entre 1870 e 1910 ficar conhecido como a “*Ice Age*”, com dezenas de publicações, lamentavelmente, anatomistas da época questionavam o processo para o ensino, por considerar a dissecação essencial para a prática de reconhecimento de estruturas complexas, na formação do profissional ([AL-GAILANI, 2016](#)).

É importante considerar que essa mentalidade vem aos poucos mudando, seja em razão dos avanços tecnológicos no processamento de imagens ou pelas contribuições referentes às cores reais, que não são visualizadas nos cadáveres.

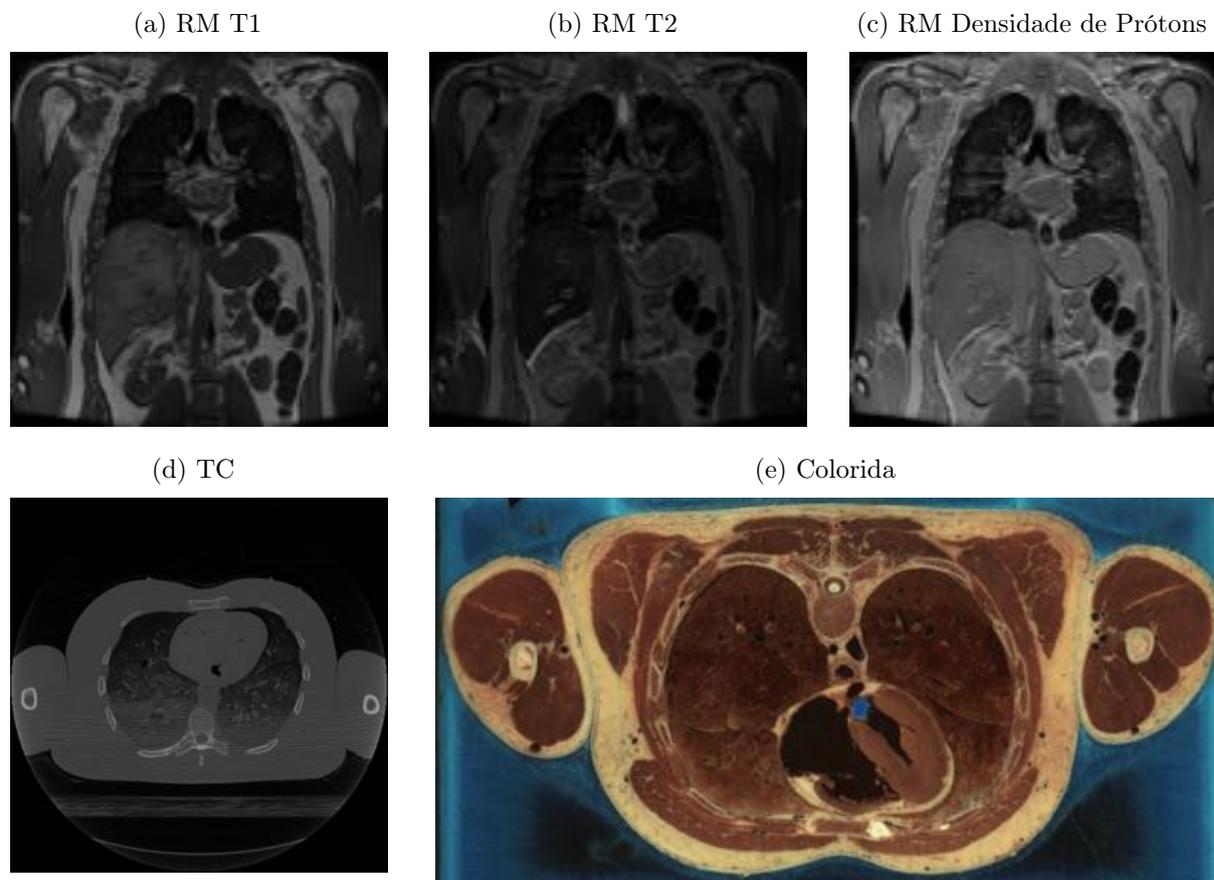
O principal marco para o desenvolvimento do projeto foi desconsiderar as dificuldades levantadas na época e acreditar na evolução da tecnologia. Segundo [Ackerman \(1996\)](#), a estimativa de armazenamento em 1989 para o projeto era 20 gigabytes e os recursos disponíveis para a distribuição na época eram por disquete ou CD, ocupando aproximadamente 20.000 disquetes, o equivalente a 70 CD's, sem considerar a taxa de transmissão, o que tornava o projeto totalmente inviável.

Para o mesmo autor, o sucesso deve-se aos sonhadores e as pessoas com coragem de assumir o risco frente a evolução tecnológica, pois acreditaram e apostaram nessa evolução.

A primeira base foi disponibilizada em 28 de novembro de 1994, pela NLM, de um corpo masculino, sendo formado por imagens de Ressonância Magnéticas (RM), tomografia computadorizada (TC) e imagens coloridas.

As RMs foram adquiridas em três modalidades diferentes: a T1 representada na [Figura 2.2a](#), a T2 na [Figura 2.2b](#) e a densidade de prótons na [Figura 2.2c](#), com intervalo de 4 mm entre as imagens e com resolução de 256x256 pixels, sendo divididas em 6 subconjuntos: cabeça (no plano de aquisição de axial); tórax; abdômen; pélvis; coxas e pé (na forma coronal).

Figura 2.2 – Imagens disponíveis no site do VHP



Fonte: <<https://www.nlm.nih.gov/research/visible/visiblegallery.html>>

A [Figura 2.2d](#) é referente as imagens de tomografia computadorizada (TC) que foram obtidas em intervalos de 1 mm, com resolução de 512x512 pixels e a [Figura 2.2e](#) indica as imagens coloridas obtidas por fotografia com secções transversais anatômicas, com intervalos de 1 mm para coincidir com as imagens axiais de TC e com resolução 2048x1216 pixels (2k) com cada pixel correspondendo 0,33 mm.

Percebe-se na [Figura 2.2e](#) a importância dos processos de segmentação para geração de um modelo 3D, iniciado com a extração do gelo e seguido pela extração dos sistemas para um estudo mais aprofundado do corpo humano.

No trabalho de [Spitzer et al. \(1996\)](#) encontra-se a história do *The Visible Human*, desde a sua concepção, passando pela escolha do cadáver humano masculino, os métodos e a tecnologia para aquisição dos dados. Alguns marcos importantes estão descritos abaixo:

- 5 de Agosto de 1993, data da morte do doador masculino com 38 anos, com 1,86 metros de altura e pesando 90 kg;
- 24 de janeiro de 1994, início da aquisição das imagens coloridas, divididas em quatro blocos: pernas, tornozelos e pés; coxas e joelhos; abdômen e pelve e cabeça, pescoço e tórax. Com perda de aproximadamente 1,5 mm entre os blocos;
- 19 de maio de 1994, conclusão das aquisições das imagens e
- 28 de novembro de 1994, divulgação da base, sendo possível adquirir algumas imagens pelo site ou obter a base completa por meio de uma licença de uso.

Vale ressaltar que, nesse período, foram feitas as aquisições de imagens TC adquiridas antes e depois do congelamento, já as RM apenas após o congelamento.

O projeto pode ser considerado o pioneiro no processo de criação de uma base contendo RM, TC e imagens coloridas de alta definição. A base passou a ser um mérito acervo da Biblioteca Nacional de Medicina Americana, constituindo uma inovadora base de imagens com grande relevância para o estudo de anatomia.

As pesquisas apontam outras bases de imagens de corpos humanos. Visando identificar projetos com as mesmas características, optou-se por fazer uma revisão sistemática da literatura, que é apresentada na sequência.

### 2.1.2 Revisão Sistemática da Literatura

*The Visible Human Project* é uma base de imagens médicas, composta por RM, TC e, principalmente, por fotografias coloridas. Embora, diversos estudos tenham abordado as aplicações dessas imagens, este Capítulo se concentra, exclusivamente, em identificar o desenvolvimento de outras bases, com composições semelhantes.

O intuito fundamental de realizar esta revisão é o de identificar a evolução das tecnologias nos processos de aquisição de imagens, estudando as mudanças no tamanho do pixel, possibilitando identificar outras estruturas, não visíveis no VHP.

A revisão sistemática da literatura (RSL) foi baseada no protocolo de Kitchenham (2004), visando identificar sobretudo projetos que utilizaram o congelamento de corpos inteiros para aquisição de imagens coloridas. A pergunta norteadora da pesquisa constitui em quais são, atualmente, as principais bases de imagens médicas da anatomia humana e quais as suas melhorias no processo de aquisição?

Tomando por referência artigos específicos, partiu-se para a pesquisa das palavras-chaves e seus sinônimos. As palavras foram divididas em dois grupos, um referente à população, mais abrangente, relacionadas às imagens anatômicas e à base de dados e o outro de intervenção reduzindo o estudo, relacionados ao congelamento e ao projeto.

A *string* utilizada foi: *((("anatomic images"OR "anatomical images"OR "digital anatomy"OR "anatomic structures"OR "anatomical structures") AND (dataset OR "data set"OR database OR data)) AND ("visible human"AND (frozen OR freezing OR freeze OR ice)))*.

O **Quadro 2.1** apresenta as bases eletrônicas que foram utilizadas e os respectivos links, foram selecionadas uma da área biomédica a NCBI - *National Center for Biotechnology Information*, outra da ciências exatas e engenharia a IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers* e as demais são multidisciplinares.

Quadro 2.1 – Bases eletrônicas pesquisadas

Base	classificação	Endereço da Base
IEEE	ciências exatas	< <a href="http://ieeexplore.ieee.org/search/advsearch.jsp?expression-builder">http://ieeexplore.ieee.org/search/advsearch.jsp?expression-builder</a> >
NCBI	área biomédicas	< <a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov">https://www.ncbi.nlm.nih.gov</a> >
Science Direct	multidisciplinares	< <a href="http://www.sciencedirect.com/">http://www.sciencedirect.com/</a> >
Springer	multidisciplinares	< <a href="http://rd.springer.com/">http://rd.springer.com/</a> >
Wiley	multidisciplinares	< <a href="https://onlinelibrary.wiley.com">https://onlinelibrary.wiley.com</a> >

Fonte: Autoria Própria

A pesquisa não apresentou restrição a um período específico, optou-se por publicações em periódicos, sendo a *string* pesquisadas em todos os textos, sendo a última realizada em 5 de maio de 2018, resultando em 261 artigos.

Para a busca dos artigos foram utilizados os seguintes critérios, publicações de artigos completos e em inglês. Quanto aos critérios de exclusão foram eliminados os artigos sem descrição detalhada da base a qual se referia, as imagens exibiam apenas parte do corpo e/ou ausência de informação a cerca dos três tipos de imagens (RM, TC e coloridas).

Mediante a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram selecionadas 11 referências, distribuídas conforme o [Quadro 2.2](#): são 2 da IEEE, 5 da Wiley, 2 da Springer, 1 da Science Direct e 1 da NCBI. Dentre os estudos selecionados, 2 são referentes à base americana, base em estudo; 4 tratam de uma base coreana intitulada como *The Visible Korean Human* - VKH e 5 alusivas à base chinesa dividida em dois projetos: o *The Chinese Visible Human*-CVH e o *The Virtual Chinese Human*-VCH.

Quadro 2.2 – Documentos selecionados para a RSL

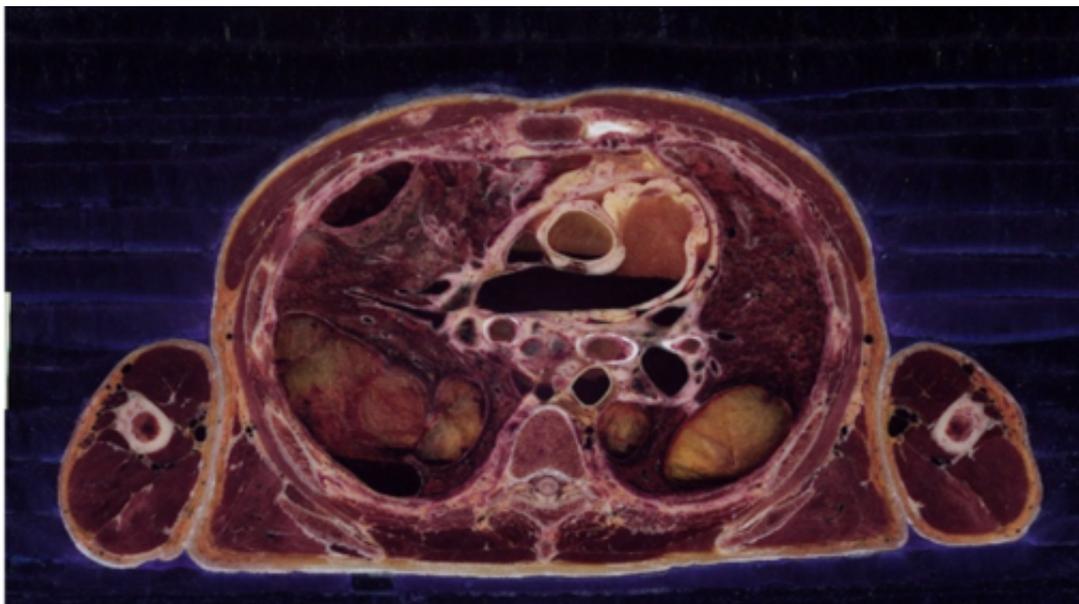
Base de dados	Referência	Local de pesquisa
VHP	The visible human male: a technical report ( <a href="#">SPITZER et al., 1996</a> )	NCBI
	3D airway reconstruction using visible human data set and human casts with comparison to morphometric data ( <a href="#">ROBINSON; RUSSO; DOOLITTLE, 2009</a> )	Wiley
VKH	Trial for making other serially sectioned images (Visible Korean Human) ( <a href="#">CHUNG et al., 2002</a> )	Springer
	Visible Korean Human: Improved serially sectioned images of the entire body ( <a href="#">PARK et al., 2005b</a> )	IEEE
	Visible Korean Human: its techniques and Applications ( <a href="#">PARK et al., 2006</a> )	Wiley
	The visible human projects in Korea and China with improved images and diverse applications ( <a href="#">DAI et al., 2012</a> )	Springer
CVH	The Chinese Visible Human (CVH) datasets incorporate technical and imaging advances on earlier digital humans ( <a href="#">ZHANG et al., 2004</a> )	Wiley
	Chinese Visible Human Project ( <a href="#">ZHANG; HENG; LIU, 2006</a> )	Wiley
VCH	Reconstruction of the Digital Chinese Human ( <a href="#">QI et al., 2007</a> )	IEEE
	The reconstruction and application of virtual Chinese human female ( <a href="#">YUAN; QI; LUO, 2008</a> )	Science Direct
	Advanced features of whole body sectioned images: Virtual Chinese Human ( <a href="#">TANG et al., 2010</a> )	Wiley

Fonte: Autoria Própria

A partir da pesquisa identificou-se a evolução nas imagens fotográficas, as americana captada por câmeras Rolleiflex 35mm e Rolleiflex 70mm, onde as imagens foram digitalizadas e recortadas na resolução de 2048x1216 pixels, com pixel de 0,33 mm para o corpo masculino ([SPITZER et al., 1996](#)). Os coreanos foram adquiridas com uma câmera DSC 560 da Kodak, obtidas com a resolução de 3040x2008 pixels, definida por 24 bits de cor ([CHUNG et al., 2002](#)).

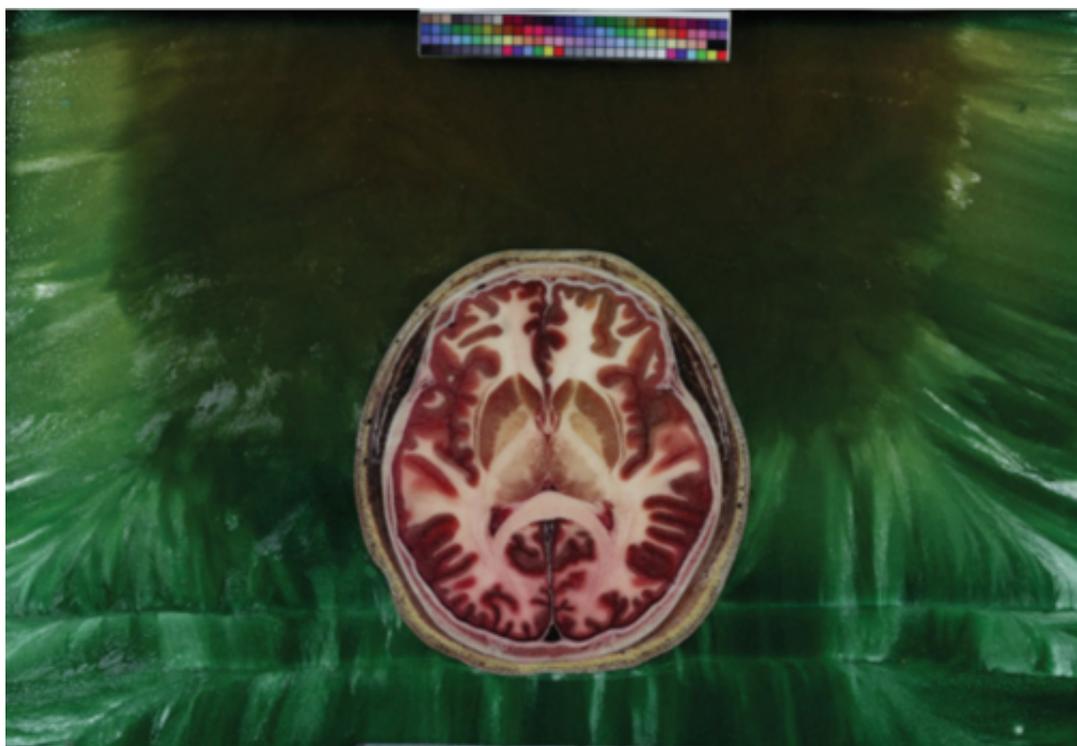
A [Figura 2.3](#) mostra uma imagem anatômica do corpo masculino em formato JPG. Os chineses no CVH, [Figura 2.4](#) utilizaram a câmera digital Canon EOS-1Ds, com resolução de 4064x2704 pixels, aperfeiçoando a aquisição das imagens coloridas com diminuição dos

Figura 2.3 – Imagem anatômica do VKH



Fonte: <<http://vkh3.kisti.re.kr/?q=node/4>>

Figura 2.4 – Imagem anatômica do CVH

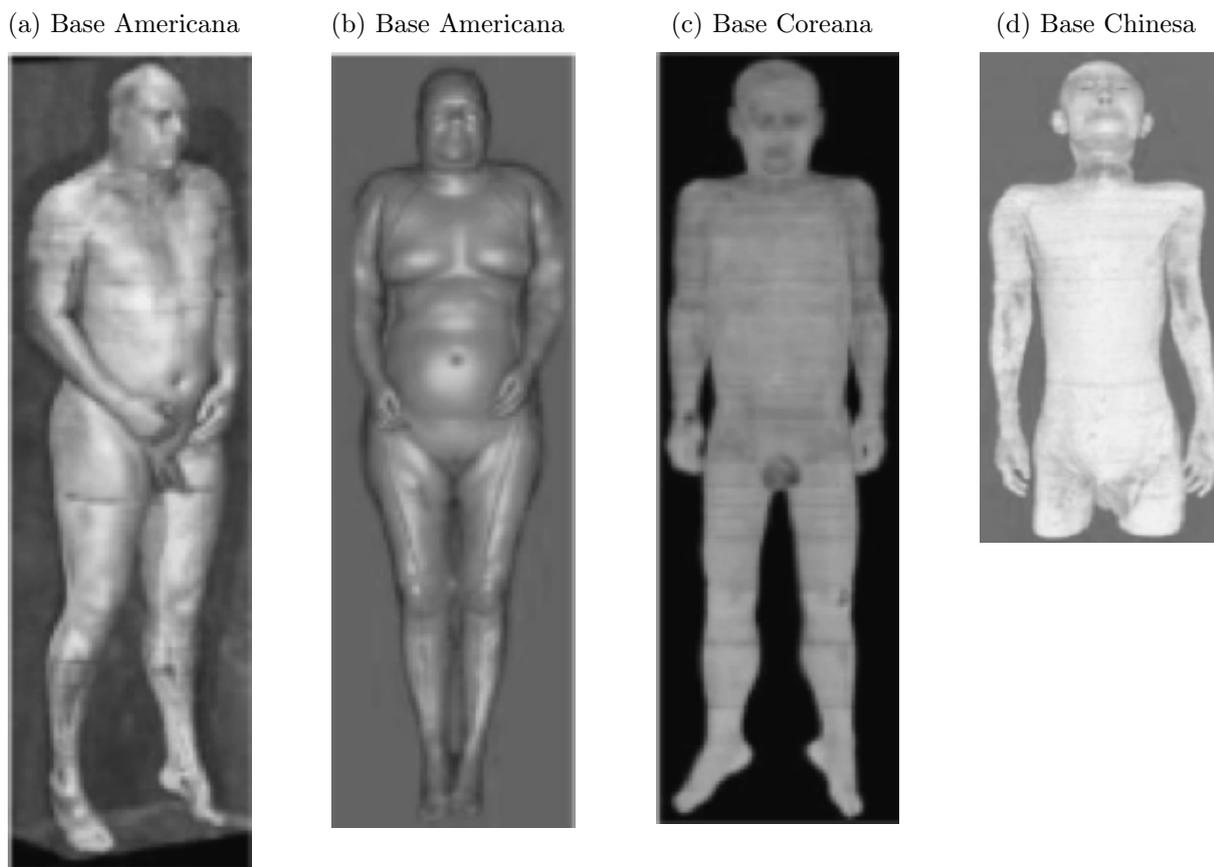


Fonte: Zhang, Heng e Liu (2006)

espaçamentos entre elas (ZHANG; HENG; LIU, 2006), enquanto no VCH foram registradas com uma câmera digital Fuji Fine Pix S2 Pro, em intervalos de 0,2 mm com 0,2 mm de pixel, possibilitando a construção do voxel com todos os lados do mesmo tamanho (YUAN; QI; LUO, 2008).

Os estudos propiciaram a aquisição de imagens de 13 corpos completos, sendo 2 da base americana, conforme a Figura 2.5a e 2.5b, 2 da coreana, exemplo na Figura 2.5c e 9 da chinesa na Figura 2.5d.

Figura 2.5 – Imagens volumétricas comparativa de alguns projetos



Fonte: Park et al. (2005b)

O Quadro 2.3 refere-se as principais formas de acesso as bases. O projeto americano no Quadro 2.3 é representado pelos índices de 1 a 6, onde no 1 disponibiliza o contrato para licença de uso da base completa; no índice 2 estão disponíveis 6 imagens coloridas obtidas da criosecção do sexo masculino (contendo a imagem da cabeça, do tórax, do abdômen, da parte superior da coxa abaixo da cabeça femoral, do joelho e dos pés); as imagens estão no formato jpg e foram cortadas para reduzir a quantidade de bytes.

No índice 3 estão disponíveis 6 fotos do sexo masculino e 5 do feminino, como foram adquiridas, no formato de 4096 por 2700 pixels em png. Nos índices 4, 5 e 6 têm-se respectivamente as 10 imagens TC obtidas antes e depois do processo de congelamento e

18 imagens de RM divididas em T1, T2 e Imagem de densidade de prótons.

Quadro 2.3 – Locais de acesso aos projetos

índice	Acesso	Descrição
1	< <a href="https://www.nlm.nih.gov/research/visible/getting_data.html">https://www.nlm.nih.gov/research/visible/getting_data.html</a> >	VHP-Licença
2	< <a href="https://www.nlm.nih.gov/research/visible/photos.html">https://www.nlm.nih.gov/research/visible/photos.html</a> >	VHP-Colorida-jpg
3	< <a href="https://erie.nlm.nih.gov/~dave/vh/">https://erie.nlm.nih.gov/~dave/vh/</a> >	VHP-Colorida-png
4	< <a href="https://www.nlm.nih.gov/research/visible/fresh_ct.html">https://www.nlm.nih.gov/research/visible/fresh_ct.html</a> >	VHP-TC - Antes congelar
5	< <a href="https://www.nlm.nih.gov/research/visible/frozen_ct.html">https://www.nlm.nih.gov/research/visible/frozen_ct.html</a> >	VHP-TC - Depois congelar
6	< <a href="https://www.nlm.nih.gov/research/visible/mri.html">https://www.nlm.nih.gov/research/visible/mri.html</a> >	VHP-RM
7	< <a href="http://vkh3.kisti.re.kr/?q=node/4">http://vkh3.kisti.re.kr/?q=node/4</a> >	VKH-Licença
8	< <a href="http://vkh3.kisti.re.kr/?q=node/8#loc1">http://vkh3.kisti.re.kr/?q=node/8#loc1</a> >	VKH-Imagens
9	< <a href="http://vkh3.kisti.re.kr/?q=node/9">http://vkh3.kisti.re.kr/?q=node/9</a> >	VKH-Banco de artigos
10	< <a href="http://cvh.bmicc.cn/cvh/cn/">http://cvh.bmicc.cn/cvh/cn/</a> >	CVH

Fonte: Autoria Própria

O projeto coreano representado no [Quadro 2.3](#), pelos índices de 7 à 9, onde no 7 expõe a política de compartilhamento das imagens, e nos índices 8 e 9 é possível obter imagens anatômicas no formato jpg e os artigos publicados da base.

E finalmente, no índice 10 do [Quadro 2.3](#) é descrito acesso online para a base chinesa, que permite visualizar imagens coloridas, TC e RM da base de dados do corpo masculino CHV-M, de acordo com a posição da fatia escolhida.

Outro resultado importante, é a [Tabela 2.1](#) que apresenta as principais características dos corpos como a idade, a altura e o peso, bem como os intervalos de aquisição e resolução para os três tipos de imagens: coloridas, TC e RM.

A pesquisa realizada com base no protocolo de [Kitchenham \(2004\)](#), permitiu extrair várias informações de cada uma das três bases Americana, Coreana e Chinesa. Observa-se a resolução das imagens coloridas referente ao tamanho do pixel, que era de 0,33 mm no VHP chegou a 0,1mm e o intervalo que começou em 1mm, passou para 0,1 mm.

Os problemas referentes ao armazenamento e a distribuição das imagens, que quase inviabilizaram o VHP devido a falta de recursos tecnológicos da época ([ACKERMAN, 1996](#)), não foram fatores de restrição das novas bases. Pois o armazenamento passou de 15GB (Gigabyte) na americana (VHP-Masculino), para 153,7 GB na coreana (VKH-Masculino) e chegando a 1331 GB na chinesa (VCH-Masculino de 28 anos).

Essa revisão da literatura contribuiu na identificação de bases possíveis de corpos para utilização na mesa de dissecação virtual. Podemos perceber, conforme mencionado

anteriormente, que as imagens dos coreanos e dos chineses apresentam uma melhor resolução e uma quantidade de imagens bem maior que o VHP masculino. Não é exagero afirmar que, nessas outras bases, é possível identificar estruturas menores, pois o pixel alterou de 0,33 mm para 0,1mm.

Tabela 2.1 – Principais bases de corpos humanos completos para estudo da anatomia

Base (ano)	Corpo	Imagem Colorida		RM	TC
	Sexo _ Idade (Altura _ peso)	Resolução (tamanho) pixel	Intervalo (quantidade _ GB)	Intervalo (resolução pixels)	Intervalo (resolução pixels)
VHP (1994)	M_38 (1,86m_90kg)	2048x1216 (0,33mm)	1,0mm (1878_15)	1mm (512x512)	4mm (256x256)
VHP (1995)	F_59 (1,67m_72kg)	2048x1530 (0,33mm) 4096x3061	0,33mm (5189_49) (5189_195)	1mm (512x512)	4mm (256x256)
VKH (2002)	M_33 (1,64m_55kg)	3040x2008 (0,2mm)	0,2mm (8590_153,7)	1mm (512x512)	1mm (512x512)
VKH (2010)	F_26 (1,62m_53kg)	5616x3744 (0,1mm)	0,2-1mm (4937_356)	1mm (512x512)	
CHV (2002)	M_35 (1,7m_65kg)	3072x2048 (0,2mm)	0,1-0,5-1mm (2518_90,65)	1mm (512x512)	1,5-3mm (512x512)
CHV (2003)	F_22 (1,62m_54kg)	3072x2048 (0,2mm)	0,25-0,5mm (3640_131,04)	1mm (512x512)	1,5-3mm (512x512)
CHV (2003)	M_21 (1,82m_66kg)	4064x2704	0,1mm (18398_1157,23)	1-2 mm (512x512)	1,5-3mm (512x512)
CHV (2003)	F_25 (1,62m_57,7kg)	4064x2704	0,25-0,5-1mm (3020_189,96)		
CHV (2003)	F_25 (1,7m_59kg)	4064x2704	0,2mm (8510_535,28)		
VCH (2003)	F_19 (1,55m_46kg)	3024x2016 (0,2mm)	0,2mm (8556_149,7)	1mm (512x512)	2mm (512x512)
VCH (2003)	M_24	3024x2016 (0,2mm)	0,2mm (9232_161,6)		
VCH (2004)	F_10 meses	4256x2848 (0,1mm)	0,1mm (4265_53)		
VCH (2005)	M_28 (1,66m_56kg)	5440x4080 (0,1mm)	0,2mm (9320_1331)		

Fonte: Autoria Própria

Mesmo com todas essas melhorias, o grupo de pesquisa adotou as imagens do VHP, por serem mais acessíveis que as das outras bases, permitir testar com as imagens originais em alta definição, antes de solicitar uma licença de uso e por causa do biotipo.

Diante da quantidade de imagens e da possibilidade da utilização delas no desenvolvimento de uma mesa de dissecação, pelo projeto PMDV, constatou-se a necessidade de um processo de segmentação. Na [Seção 2.2](#) é exposto algumas possibilidades para a segmentação das imagens coloridas.

## 2.2 Segmentação de Imagens Coloridas

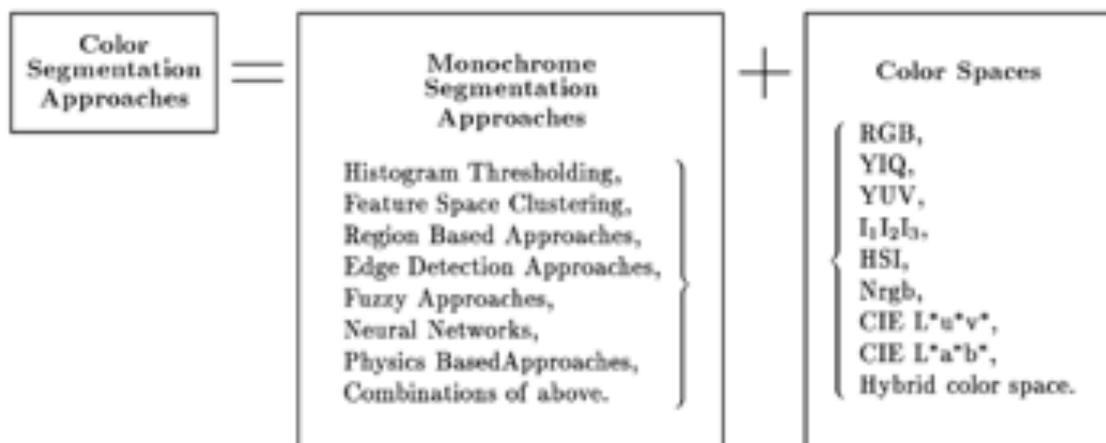
A segmentação consiste na separação da região de interesse das demais áreas. Para [Garcia-Lamont et al. \(2018\)](#) a segmentação é a união de pixels com características específicas. Sendo que considera essencial e crítica para o sucesso do processo, como por exemplo, o reconhecimento de padrões ([CHENG et al., 2001](#)).

"A segmentação de imagens não é trivial. Ela é uma das tarefas mais difíceis no processamento de imagens. A precisão da segmentação determina o sucesso ou o fracasso final dos procedimentos de análise computadorizada. Por essa razão, deve-se tomar muito cuidado para aumentar a probabilidade de se obter uma segmentação precisa."([GONZALEZ; WOODS, 2010](#), p. 454)

Conforme citado anteriormente, pode-se dizer que o sucesso da geração de uma mesa de dissecação virtual depende do processo de segmentação. Neste contexto, fica claro a necessidade de encontrar ou desenvolver um processo de segmentação que proporcione uma subdivisão das imagens com alto nível de detalhes e que identifique a região de interesse ([GONZALEZ; WOODS, 2010](#)).

[Garcia-Lamont et al. \(2018\)](#) e [Cheng et al. \(2001\)](#) relatam que a segmentação de imagens coloridas não foram extensamente exploradas como ocorreram com as imagens monocromáticas, apresentam também diversos espaços de cor, entre eles, o RGB-(*red, green, blue*), o HSV-(*hue, saturation, value*), o HSI-(*hue, saturation, intensity*),  $L^*a^*b^*$ -(*lightness, green to red, blue to yellow*) como uma possibilidade para aplicação das técnicas em imagem no nível de cinza. A [Figura 2.6](#) apresenta essas técnicas combinadas com o espaço de cor.

Figura 2.6 – Principais métodos de segmentação monocromático com espaço de cor



Fonte: [Cheng et al. \(2001\)](#)

Figura 2.7 – Tendências contemporâneas na segmentação de imagens coloridas - parte 1

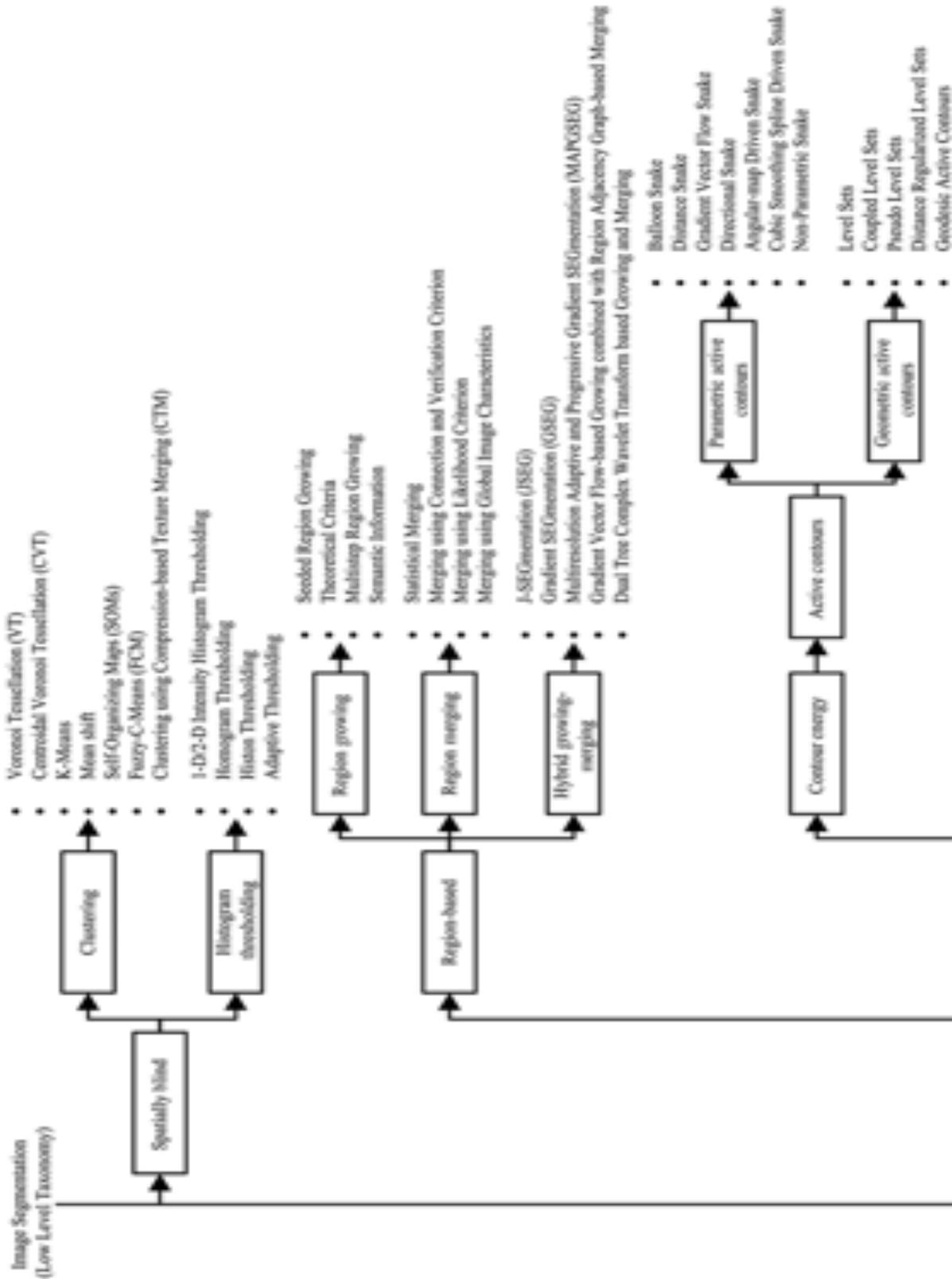
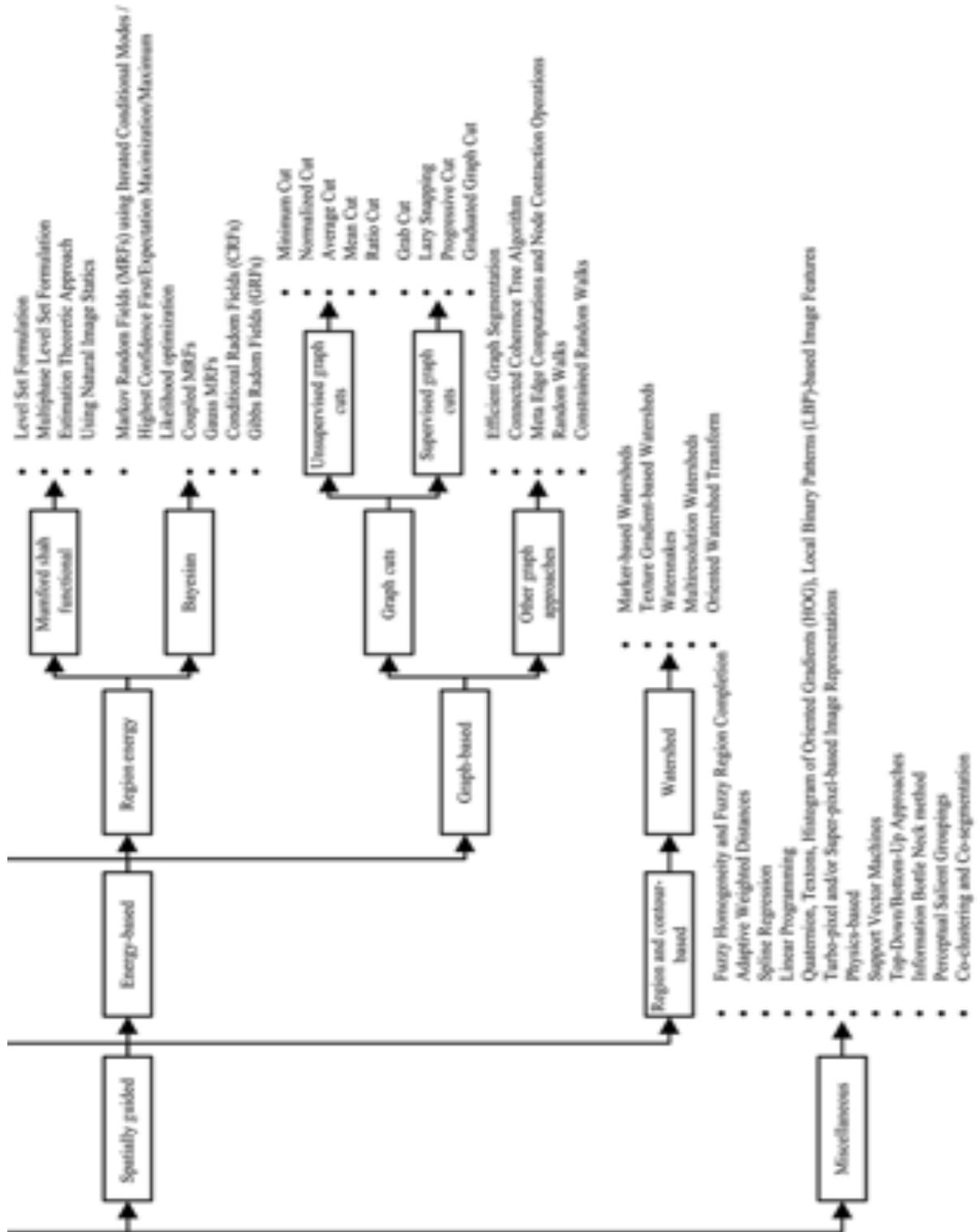


Figura 2.8 – Tendências contemporâneas na segmentação de imagens coloridas - parte 2



Os mesmos autores concluem que uma das dificuldades para segmentação das imagens coloridas é a escolha do espaço de cor, citando as vantagens e as desvantagens de cada uma.

Observa-se também na [Figura 2.6](#), que além dos espaço de cor, propriamente dito, pode-se utilizar a composição deles, proporcionando uma variedade maior de possibilidades e o mesmo ocorre com as técnicas de segmentação. [Vantaram e Saber \(2012\)](#) em sua pesquisa apresenta 78 técnicas de segmentação ([Figura 2.7](#) e [2.8](#)), consideram como tendência para a segmentação das imagens coloridas. Vale ressaltar que não aparecem algumas técnicas desenvolvidas para as imagens em nível de cinza, como as técnicas de detecção de bordas de Roberts, de Prewitt e de Sobel.

Por outro lado, é importante considerar a presença do SVM(*Support Vector Machine*), que é um algoritmo de aprendizagem de máquina, semelhante a uma rede Neural (*Perceptron*) e utiliza hiperplano para separar as regiões, a partir de uma base de treinamento e, a *Spline Regression* que é um modelo de interpolação utilizado para o contorno dos objetos a partir de alguns pontos iniciais, sendo ambas aplicadas no trabalho.

Tendo em vista a grande quantidade de métodos e a possibilidade de combinação, optou-se por um estudo de mapeamento sistemático com a finalidade de identificar as técnicas, os métodos e o espaço de cor que já foram aplicadas a essas bases.

### 2.2.1 Estudo de Mapeamento Sistemático

A motivação principal para a realização deste estudo de mapeamento sistemático (EMS) da literatura decorreu de três fatores:

1. da necessidade de segmentar o VHP para o desenvolvimento de uma mesa dissecação virtual;
2. do imperativo de identificar as técnicas que já foram aplicadas e os seus resultados e
3. conhecer quais foram os processos de reconstrução.

A ausência de uma base de imagens segmentadas, em alta definição do VHP, visando o desenvolvimento de uma mesa de dissecação virtual, tornou-se um desafio devido às características das imagens. Esse estudo de mapeamento sistemático teve por base o protocolo de [Kitchenham \(2004\)](#) e procura responder a seguinte pergunta de pesquisa: Quais foram as técnicas de segmentação aplicadas às imagens coloridas do corpo humano em alta definição que proporcionam a reconstrução 3D?

A partir da questão de pesquisa e baseado nos artigos encontrados na revisão, identificaram-se os termos mais relevantes e propôs-se a divisão em três grupos, sendo

uma parte referente aos projetos, outra sobre o tipo de imagens e a última relacionada aos processos de segmentação e a reconstrução 3D, da seguinte maneira:

- população: referente aos principais conjuntos de imagens encontradas na revisão da literatura: (*"Visible Human Project"OR "Chinese Visible Human"OR "Visible Korean Human"OR "Virtual Chinese Human"*);
- intervenção: relacionado ao tipo de imagem, restringindo-se às imagens coloridas em alta definição: (*cross-section OR cross-sections OR cross-sectional OR photographic OR "anatomical images"OR "anatomic images"*) e
- método: relativo a segmentação com a finalidade de reconstrução: (*segmentation OR segmented*) AND (*reconstructed OR reconstruction*).

A formação da *string* final da pesquisa é a união dos grupos pelo conectivo *AND* aplicada a todas as bases. No que se refere as bases de busca de artigos, optou-se pelas mesmas bases eletrônicas utilizadas na revisão e apresentadas no [Quadro 2.1](#).

Ao final, foram encontrados 448 artigos, para validação foram considerados os seguintes critérios: artigos completos em inglês, publicados em conferências e periódicos e sem restrição ao período de tempo, sendo a última busca realizada em fevereiro de 2019. Foram encontrados 29 artigos repetidos, 59 artigos incompletos, como resumos, posters e programação dos eventos e 3 não estavam em inglês. Restaram 357 artigos, dos quais foram analisados os seguintes critérios de exclusão:

1. apenas cita um dos projetos;
2. desconsideram as imagens coloridas;
3. não são aplicados a humanos e
4. ausência das técnicas de segmentação.

Após a aplicação desses critérios restaram 88 artigos, sendo 22 da IEEE, 8 da NCBI, 17 da Science Direct, 17 da Springer e 24 da Wiley.

Dos 88 artigos analisados, 52 usaram softwares comerciais, entre eles os mais utilizados são o Photoshop e o Amira, aparecendo em 26 artigos e em 13, respectivamente. O uso desses softwares necessita de uma supervisão de um especialista, são considerados como segmentação semi-automática ou manual, devido as ferramentas disponibilizadas por ambos os softwares.

Apareceu também o software Mimics nos trabalhos de [Xu et al. \(2011\)](#), [Pelteret e Reddy \(2012\)](#) e [Yang et al. \(2013a\)](#), muito utilizado na área médica e o Matlab em [Mareels, Wachter e Verdonck \(2004\)](#), que é uma ferramenta matemática.

Dentre os estudos já realizados, foram identificadas as seguintes técnicas de segmentação baseadas na classificação proposta por Zaitoun e Aqel (2015):

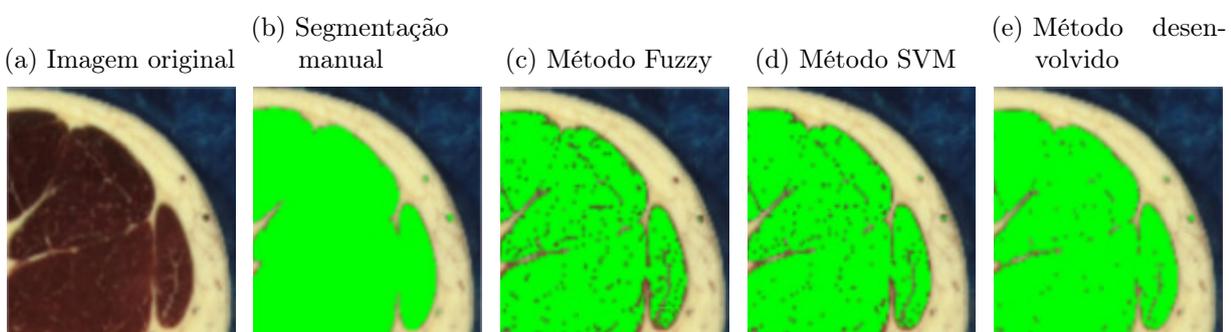
- abordagens por regiões: *Thresholding* (com definição do espaço de cor RGB por uma elipse conhecido como *RGB-Ellipsoid*), Região de Crescimento;
- abordagens baseadas em bordas ou limites análogo aos Métodos de detecção de bordas, tais como: Transformada de Hough, Sobel e Canny e
- abordagens de *soft computer* como Algoritmo Genético e *Deep-Learned*.

Para uma análise mais específica, optou-se por restringir os dados aos que apresentem resultados de reconstrução 3D e que tratam sobre a retirada do gelo, da segmentação do corpo inteiro e dos sistemas muscular e esquelético, obtendo assim 19 artigos conforme Quadro 2.4.

Os estudos, mesmo com a redução do escopo, apontam o Photoshop como a principal ferramenta de segmentação e dentre as técnicas de segmentação a região de crescimento. Alguns autores preferiram mudar o espaço de cor do RGB para HSI como Qi et al. (2007), que também optou pela redução da imagem e necessitou de ajustes manuais; Liu et al. (2014) modificou o algoritmo para ajuste na diferença de cor e argumenta que a melhor forma de segmentar as imagens coloridas é mudando o espaço de cor para o HSI.

O mesmo autor é o único que aplica seu método alterado, a Figura 2.9a e compara: o processo de segmentação manual por um profissional da área (Fig. 2.9b), com o método de conectividade fuzzy (Fig. 2.9c), com o SVM (Fig. 2.9d) e com o seu resultado obtido na Figura 2.9e.

Figura 2.9 – Comparação de algumas técnicas de segmentação



Fonte: Liu et al. (2014)

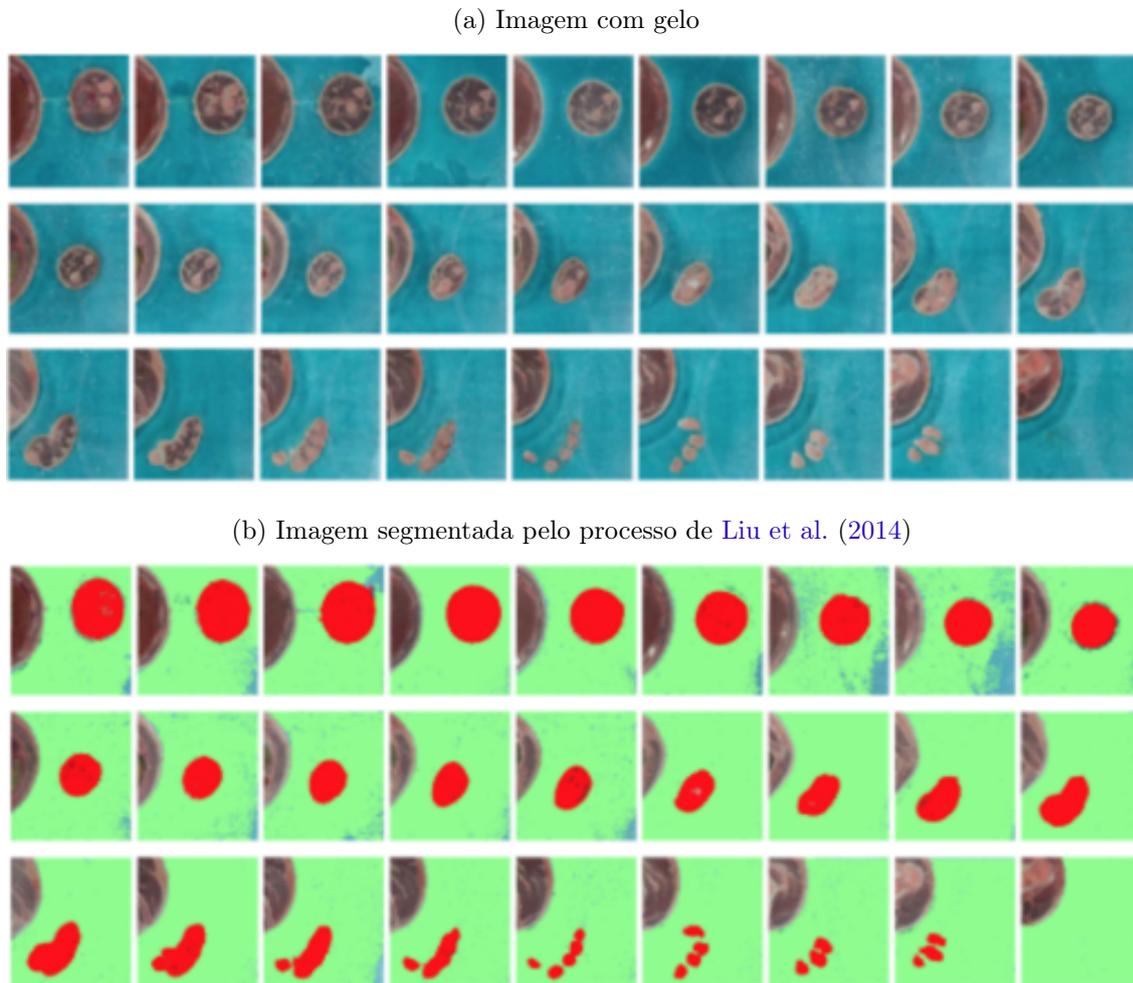
A Figura 2.10 é o resultado do processo desse mesmo algoritmo aplicado a um braço humano e a Figura 2.11 é a reconstrução 3D.

Quadro 2.4 – Documentos selecionados para o EMS

Base	Trabalho	Sistema	Algoritmo ou programa	Comentário
VHP	<a href="#">Schiemann et al. (2000)</a>	Todo corpo	<i>RGB-Ellipsoid</i>	O método de segmentação é adaptado de um método interativo. O procedimento é baseado no limiar seguido por morfologia matemática binária e rotulagem de componentes conectados.
VKH	<a href="#">Park et al. (2005b)</a>	Todo corpo	Photoshop	
VKH	<a href="#">Park et al. (2005a)</a>	Todo corpo	Photoshop	
VHP	<a href="#">Pommert et al. (2006)</a>	Todo corpo	<i>RGB-Ellipsoid</i>	Ferramenta interativa, baseada na classificação no espaço de cores. Em uma ou várias seções transversais, um especialista marca uma região típica do órgão em consideração.
VKH	<a href="#">Park et al. (2006)</a>	Todo corpo	Photoshop	
VKH	<a href="#">Park et al. (2007)</a>	Todo corpo	Photoshop	
CVH	<a href="#">Yin et al. (2007)</a>	Esquelético	Photoshop	
VHP	<a href="#">Armstrong, Price e Barrett (2007)</a>	Todo corpo	Live Surface	
VCH	<a href="#">Yuan, Qi e Luo (2008)</a>	Todo corpo	Região de crescimento	Partes automática, semi-automática e manual.
VCH	<a href="#">Zhang et al. (2008)</a>	Tegumentar, esquelético e cardiovascular	Amira	Utilizam ferramentas como <i>Brush</i> , <i>Lasso and Magic wand</i> , parecidos com o Photoshop.
VCH	<a href="#">Tang et al. (2010)</a>	Todo corpo	Photoshop	
VKH	<a href="#">Shin et al. (2011)</a>	Esquelético	Photoshop	
CVH	<a href="#">Wu et al. (2012)</a>	Todo corpo	Photoshop	Com manipulação de 7 especialistas em anatomia e 3 médicos.
VCH	<a href="#">Yang et al. (2013b)</a>	Esquelético	Photoshop	
VHP	<a href="#">Beveridge et al. (2013)</a>	Muscular e esquelético	Região de crescimento	Com manipulação manual para correção de imperfeições e auxílio das imagens CT para os ossos.
VHP	<a href="#">Liu et al. (2014)</a>	Todo corpo	Região de crescimento	Método rápido e automático para imagens coloridas, baseado na região de crescimento e na diferença de cor no pixel.
CVH	<a href="#">Fang et al. (2017)</a>	Todo corpo	Photoshop	

Fonte: Autoria Própria

Figura 2.10 – Segmentação do braço por Liu et al. (2014)



Fonte: Liu et al. (2014)

Figura 2.11 – Reconstrução do braço por Liu et al. (2014)

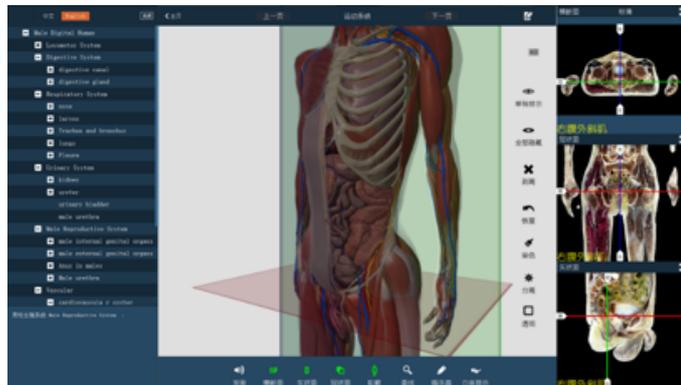


Fonte: Liu et al. (2014)

Observa-se que a reconstrução (Fig. 2.11) apresenta várias imperfeições, mesmo aplicando renderização por superfície (*Surface Rendering*). O mesmo acontece com Yuan, Qi e Luo (2008), Tang et al. (2010), Shin et al. (2011), entre outros, sendo a mais utilizada o *Ray-Casting*.

Outros autores, como Schiemann et al. (2000), Wu et al. (2012), Beveridge et al. (2013) e Fang et al. (2017), além de renderizar, aplicam uma textura adicional, tornando os objetos de estudos mais sintéticos, perdendo a cor, conforme Figura 2.12.

Figura 2.12 – Modelo renderizado do Fang et al. (2017)



Fonte: Fang et al. (2017)

Este mapeamento contribuiu para identificação dos métodos adotados para a segmentação das bases de imagens coloridas de corpos humanos congelados, servindo como um ponto de partida para novos estudos de segmentação. Observou-se que SVM foi utilizado por Qi et al. (2007), porém ele critica o tempo de processamento e comenta que os resultados depende da base de treinamento, o que também exige muito tempo.

## 2.3 The Voxel-Man

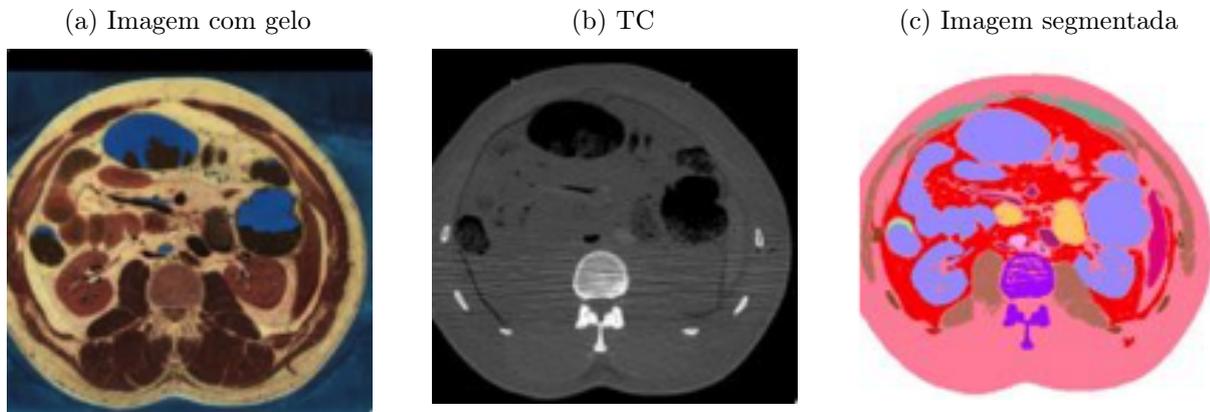
*The Voxel-Man* (VM) é uma base segmentada dos órgãos internos do VHP masculino, com mais de 200 objetos anatômicos segmentados e rotulados, onde as imagens coloridas foram reduzidas para a resolução de 573x330.

Segundo Tiede, Schiemann e Hohne (1998), o processo de segmentação foi iniciado na segmentação das imagens TC, seguida pelo registro dessas imagens nas imagens coloridas, permitindo a segmentação dos ossos.

Para a segmentação dos órgãos foi aplicado um método de segmentação adaptado de um método interativo, baseado no limiar (segmentação *RGB-Ellipsoide*, apresentado no Quadro 2.4) seguido por morfologia matemática binária e rotulagem de componentes conectados.

A [Figura 2.13](#) apresenta a imagem colorida com gelo na nova resolução, a TC ajustada a imagem colorida e o resultado dessa fatia segmentada.

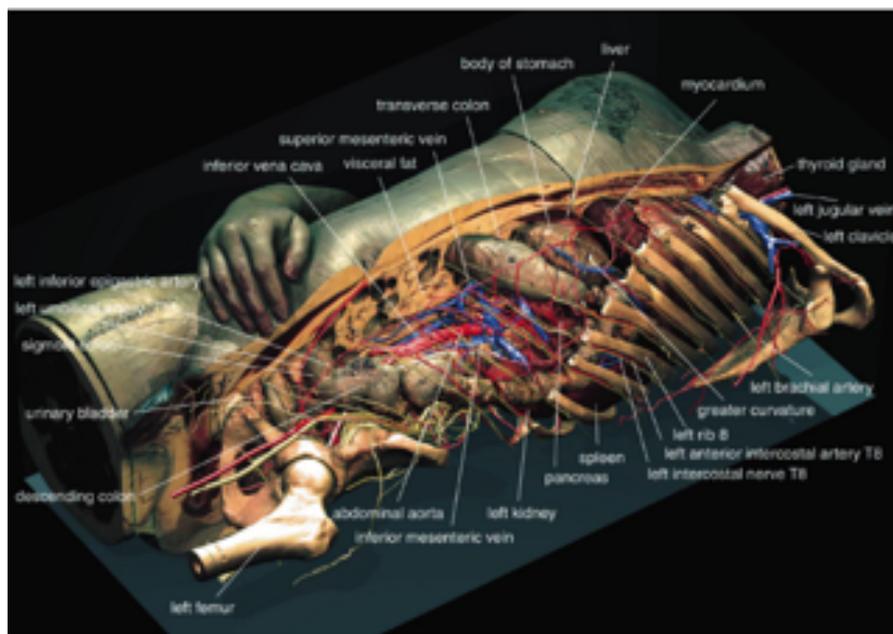
Figura 2.13 – Segmentação feita pelo VM



Fonte: <<https://www.voxel-man.com/segmented-inner-organs-of-the-visible-human/>>

Segundo [Pommert et al. \(2006\)](#), a figura [Figura 2.14](#) apresenta a visualização do volume dos órgãos renderizados usando *Ray-Casting* com textura, sendo esse o modelo gerado pelo VM. Esse tipo de modelo perde a qualidade de cor e de textura, próprios do corpo humano, apesar da visualização fácil, diferem do original ou real.

Figura 2.14 – Reconstrução feita pelo VM



Fonte: [Pommert et al. \(2006\)](#)

Essa base de imagens tem contribuído no estudo da segmentação das imagens em

alta definição. O [Algoritmo 1](#) tem permitindo identificar cada parte do sistema, bem como a formação de cada um deles.

<b>Algoritmo 1:</b> Composição dos sistemas do <i>The Voxel-Man</i>	
1	<b>Início</b>
2	<b>Para</b> ( $kk \leftarrow 1$ até 2) <b>faça</b>
3	<b>Se</b> ( $kk == 1$ ) <b>então</b>
4	$\text{caminhorgb1} \leftarrow \text{head} \backslash \text{rgb} \backslash \text{rgb} \backslash$
5	$\text{caminholab1} \leftarrow \text{head} \backslash \text{labels} \backslash \text{labels} \backslash$
6	$\text{vini} \leftarrow 1001$
7	$\text{vfin} \leftarrow 1255$
8	<b>Senão</b>
9	$\text{caminhorgb1} \leftarrow \text{innerorgans} \backslash \text{rgb} \backslash \text{rgb} \backslash$
10	$\text{caminholab1} \leftarrow \text{innerorgans} \backslash \text{labels} \backslash \text{labels} \backslash$
11	$\text{vini} \leftarrow 1256$
12	$\text{vfin} \leftarrow 2029$
13	<b>FimSe</b>
14	<b>Para</b> ( $\text{foto} \leftarrow \text{vini}$ até $\text{vfin}$ ) <b>faça</b>
15	$\text{im} \leftarrow \text{caminhorgb1} \backslash \text{foto}$
16	$\text{imlab} \leftarrow \text{caminholab1} \backslash \text{foto}$
17	$\text{alpha} \leftarrow \text{imagem\_branco}$
18	<b>Para</b> ( $\text{sist} \leftarrow 1$ até 7) <b>faça</b>
19	$\text{peca} \leftarrow \text{fun\_list\_sist}(\text{sist})$
20	$\text{alpha}(\text{imlab} == \text{peca}) \leftarrow 1$
21	<b>FimPara</b>
22	$\text{im}(\text{alpha} == 0) \leftarrow 0$
	<b>Resultado:</b> $\text{im}, \text{alpha}$
23	<b>FimPara</b>
24	<b>FimPara</b>
25	<b>Fim</b>

Observa-se no [Algoritmo 1](#) :

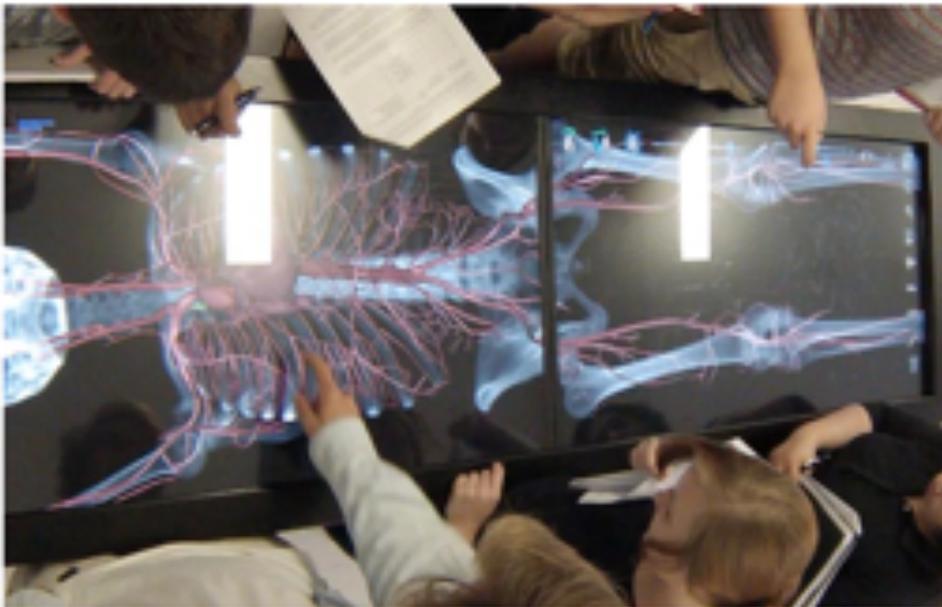
1. existem duas pastas, uma para a cabeça (da imagem 1001 até 1255), outra para os órgãos internos (da imagem 1256 até 2029);
2. nas pastas têm-se as imagens coloridas reduzidas e suas imagens correspondentes com os labels;
3. linha 18: foram 7 os sistemas estudados;
4. linha 19: `fun_list_sist` é uma matriz com a classificação do labels referente ao sistema;
5. linha 19: `peca` são todos labels do sistema e
6. linha 20: identifica todos os labels do sistema com os labels das figuras.

## 2.4 Projeto Mesa de Dissecação Virtual

O Projeto Mesa de Dissecação Virtual (PMDV), surgiu em 2014, de um desafio do Prof. Alberto Accioly Veiga, decano da Escola de Medicina da PUCPR ao Prof. Edson J. Justino, coordenador do Centro de Inovações em Imagens Médicas (CIIM), de encontrar uma ferramenta computacional 3D que auxiliasse no ensino de anatomia, com características como cor, profundidade, textura e disposição anatômica, imprescindíveis para um aprendizado integral.

Após algumas pesquisas foram encontrados vários aplicativos, a maioria deles provenientes de imagens renderizadas a partir das imagens médicas como CT e RM, sendo a que mais chamou atenção foi o *The Anatomage Table* da *Stanford University* (Fig. 2.15). A primeira aplicação em imagens de tomografias computadorizadas, gerou detalhes internos, como a do fígado como cita [Fyfe et al. \(2013\)](#), porém para o feminino esses detalhes não foram apresentados.

Figura 2.15 – *The Anatomage Table*

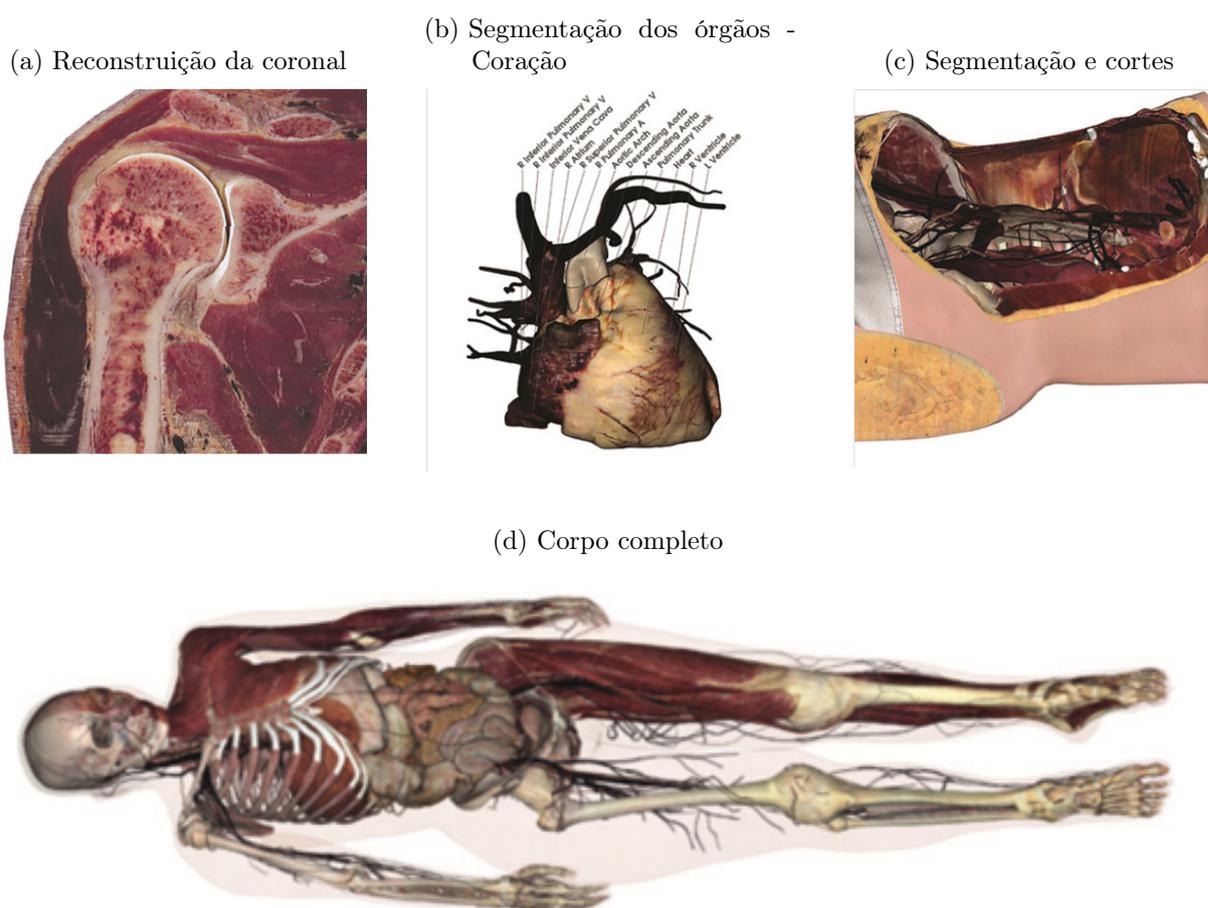


Fonte: [Fyfe et al. \(2013\)](#)

[Fyfe et al. \(2013\)](#) apresenta os resultados obtidos com estudantes referentes ao uso da mesa, que retrataram problemas com o congelamento das imagens nas rotações, a dificuldade de controlar a movimentação, a qualidade das imagens e a respeito da interação. Por outro lado, relataram que visualização 3D do corpo, proporcionam o mesmo tamanho dos órgãos de um corpo vivo e a importância da ferramenta de corte, reduzindo o contato com os cadáveres; então chamadas de “amostras molhadas”.

Segundo o [Anatomage Inc. \(2018\)](#) o *The Anatomage Table* se encontra na sétima versão, onde foram incluídos os corpos do VHP e do VKH, o que possibilitou a visualização da coloração análoga ao corpo humano (Fig. 2.16a). É uma ótima ferramenta, possui segmentação dos órgãos e animações (Fig. 2.16b), porém os modelos são também renderizados, perdendo então a qualidade, tornando artificial as estruturas, conforme a [Figura 2.16c e 2.16d](#).

Figura 2.16 – Imagens do *Anatomage Table*



Fonte: [Anatomage Inc. \(2018\)](#)

A partir da falta de ferramentas computacionais que atendessem as necessidades do ensino de anatomia, optou-se por desenvolver uma mesa que possuísse características como a cor, a textura e a disposição anatômica de um corpo humano vivo com imagens em Ultra-Alta-Definição.

O primeiro passo passo foi pesquisar e escolher uma base com imagens coloridas. Foram escolhidas as imagens do VHP, a partir de convênio assinado entre a *US National Library of Medicine* e o Centro de Inovação em Imagens Médicas da PUCPR, com imagens 2k do masculino e feminino, que totalizam 15 gigabytes e 49 gigabytes, respectivamente. A

base possui também as imagens CT, RM dos corpos e as imagens 4k do feminino, com 195 gigabytes, conforme [Tabela 2.1](#).

O PMDV, faz parte de um projeto ainda maior denominado: Atlas Anatômico 4kE (Atlas Anatômico em Ultra-Alta-Definição e Estereoscopia) em diferentes ambientes de projeção, tais como: FULLDOME, TV 3D/UHD e Projetores 3D de alta definição, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGIa) e divulgado no site de projetos<sup>1</sup> desde 2015 e em 2016 foi submetido no Edital Universal MCT/CNPq em 2016.

O principal objetivo do projeto foi de desenvolver um sistema de aprendizado da anatomia humana, de alta acuidade visual, que apresentasse quatro das principais propriedades esperadas no estudo de uma peça anatômica em laboratório (cor, textura, profundidade e disposição anatômica).

Para isso precisava ser desenvolvido um software que utilizasse a tecnologia de projeção em Ultra-Alta-Definição, com técnicas de projeção adaptativas, atendendo aos dispositivos de projeção utilizados, qual fosse: estereoscopia polarizada (UHDTV Ultra-Alta-Definição), projeção holográfica de quatro canais (pirâmide holográfica com 4 faces de projeção) e *FULLDOME* (Teatro: Arena Digital da PUCPR).

Um projeto para três anos, composto por oito etapas descritos a seguir:

1. segmentação da base de imagem para retirada do gelo que envolve os corpos;
2. reconstrução 3D dos Corpos com base em *Voxels*;
3. segmentação das Imagens da Base por Áreas de Interesse;
4. segmentação e geração do modelo 3D estereoscópico do Sistema Esquelético (Osteologia);
5. segmentação e visualização dos componentes individuais dos Sistema Esquelético;
6. adequação do sistema desenvolvido para a projeções em tela de TVUHD/3D;
7. adequação do sistema desenvolvido para a projeção em tecnologia *FULLDOME Theater* e
8. adequação do sistema desenvolvido para a projeção em tecnologia Holografia de 4 canais.

Outro fator importante é a composição do grupo para desenvolvimento do projeto, que é multidisciplinar e integra:

---

<sup>1</sup> <<https://projects.ppgia.pucpr.br/projects>>

1. três Escolas:
  - Escola Politécnica;
  - Escola de Medicina e
  - Escola de Educação e Humanidades.
2. dois programas de Pós-Graduação:
  - Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGIa) e
  - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde (PPGTS).
3. dois Centros:
  - Centro de Simulação Clínica e
  - Centro de Inovações em Imagens Médicas (CIIM).

O principal entrave do projeto foi a falta de recursos, sendo viabilizado no primeiro semestre de 2018 com recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) da PUCPR, apresentado sob título: Projetor horizontal digital para o ensino de anatomia.

O projeto previa um ano, foi fortalecido com a possibilidade de uso na aprendizagem significativa, a partir das metodologias ativas que vêm sendo exploradas pelo CrEAre (Centro de Ensino e Aprendizagem) mediante diversos cursos para formação de professores.

Conforme [Justino \(2017\)](#) em seu relatório parcial, o FINEP contribuiu com a aquisição dos componentes necessários para montagem de um computador e a Tela iterativa 4k (uma tela touchscreen 75" usada sobre a TV), sugeridos pelo CIIM, forneceu mais duas bolsas, uma para o desenvolvimento do software (para o Andrei Rafael Brongel), outro para a segmentação de forma manual, com auxílio do Photoshop (para a Isabela Castro).

Como o processo de segmentação manual para extração do gelo no corpo feminino estava demorando, devido a grande quantidade de imagens e de detalhes, identificou-se em agosto a possibilidade de não terminar a segmentação no prazo, o que inviabilizaria o projeto.

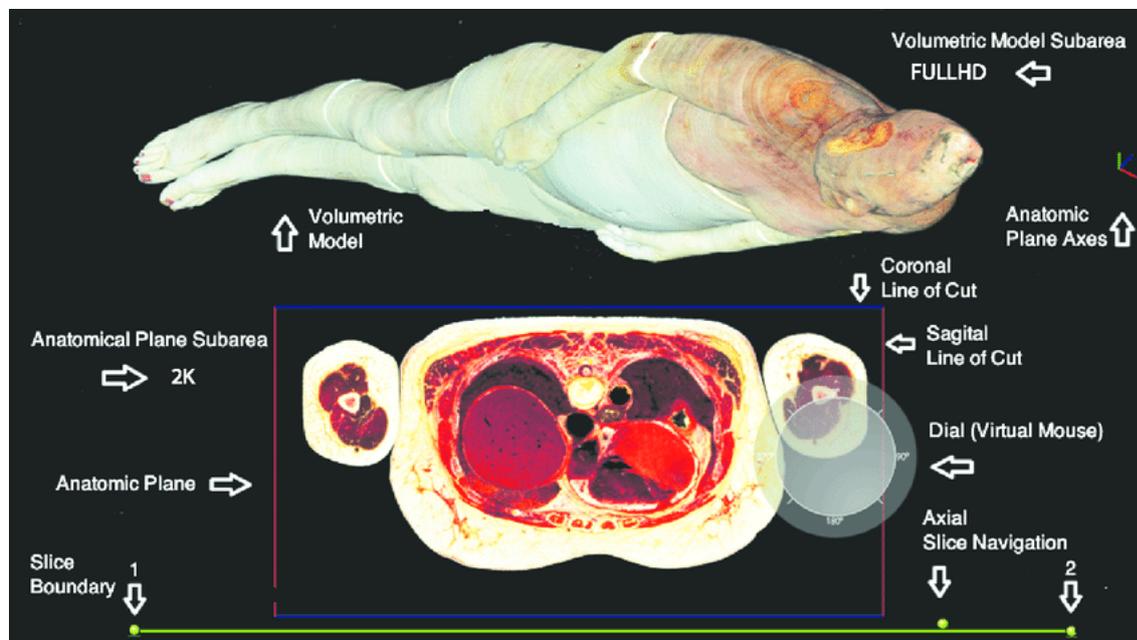
Iniciou-se um estudo em paralelo buscando acelerar o processo. Como o grupo de pesquisa CIIM já havia feito alguns testes com o classificador KNN, sem resultados expressivos, inclusive com erro de redução da imagem ocasionando a perda de parte dos braços. Os estudos iniciais tentaram reaproveitar a segmentação, melhorar e corrigir o processo.

Após várias tentativas, sem sucesso, optou-se aplicar outras técnicas, base no estudo de mapeamento sistemático, aplicou-se região de crescimento, *Thresholding*, *K-Means*,

KNN, entre outras técnicas, e em novembro, foi obtido a primeira versão da segmentação utilizando o SVM e aplicado aos dois corpos, o que viabilizou a conclusão da primeira versão da mesa, sendo sua apresentação aos professores em um dos cursos ofertados pelo CrEARe.

A Figura 2.17 apresenta a interface da mesa, que recebeu o nome *The Visible Human Table* (VHT) por Brongel. et al. (2019), composta pela visualização volumétrica do corpo em HD por imagens em Ultra-Alta-Definição do plano anatômico selecionado pelo usuário, por um dial dinâmico que acessa várias funcionalidades da mesa e as ferramentas de cortes.

Figura 2.17 – Interface do PMDV



Fonte: Brongel. et al. (2019)

Contempla ainda os exames de RM e TC, indexadas ao plano de corte e o mesmo pode ser visualizado no youtube<sup>2</sup>. A mesa foi apresentada aos Professores da Universidade de Aachen da Alemanha e o registro está no site do PPGIa<sup>3</sup>. Houve também, divulgação pelo Facebook<sup>4</sup> apresentando resultados significativos, com mais de 28 mil visualizações, mais de mil reações positivas, 177 comentários e 311 compartilhamentos.

Então, o projeto foi estendido. Segundo Justino (2018) contou com duas novas bolsas, uma para o aprimoramento do software (que continuou com o Andrei Rafael Brongel), e outra para segmentação da bases por sistemas (para o autor deste projeto),

<sup>2</sup> <<https://www.youtube.com/watch?v=yZ-rDkC4UXY&t=102s>>

<sup>3</sup> <<https://www.ppgia.pucpr.br/pt/?q=node/244>>

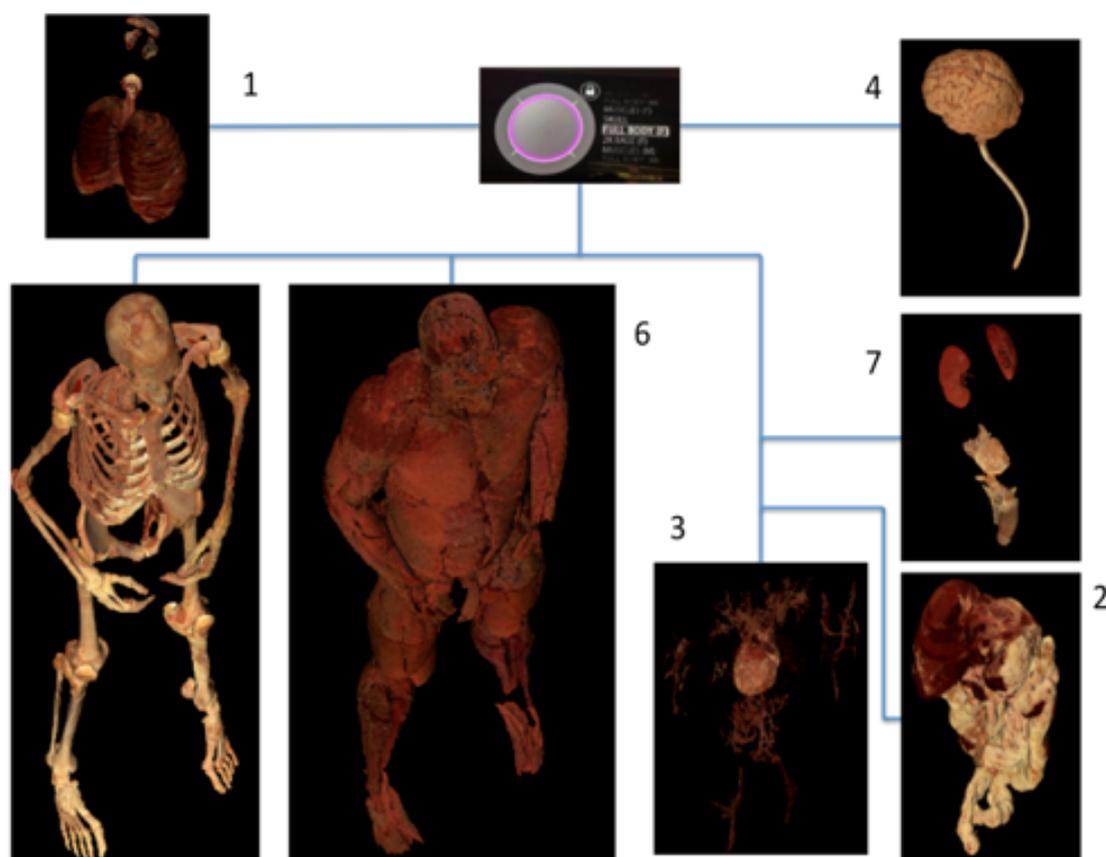
<sup>4</sup> <<https://www.facebook.com/pucprofficial/videos/308981460002252/>>

que auxiliou no desenvolvimento de trabalho e estudos, juntamente com uma bolsa de incentivo à Pesquisa em Área Estratégica da PUCPR.

E contou também, com recursos do FINEP para montagem de duas novas Mesas Digitais, uma como servidor de aplicações (mestre) e outra apenas para reprodução (escrava) e para um Projetor DLP 3D para a visualização 3D estereoscópica.

A nova versão foi apresentada à diretoria da PUCPR, no evento OXINOVAÇÃO e será apresentada aos demais professores em mais um curso do CrEAre. A mesa contempla os seguintes sistemas, conforme [Figura 2.18](#):

Figura 2.18 – Sistemas segmentados disponíveis no PMDV



Fonte: [Justino \(2018\)](#)

1. sistema Respiratório;
2. sistema Digestório;
3. sistema Circulatório;
4. sistema Nervoso;

5. sistema Ósseo;
6. sistema Muscular e
7. sistema Urinário.

Pode ser dada sequência ao projeto com a segmentação do corpo feminino e desenvolvendo um aplicativo para utilizar a projeção no *FULLDOME Theater*. O PMDV está possibilitando o desenvolvimento de outros projetos, aplicados a animais, insetos e em circuitos elétricos.

E, abrindo espaços para criação de novos Ambientes Imersivos de Aprendizagem, contando com diversas tecnologias, tais como: Cúpulas Geodésicas, Caves, Iglus, Óculos de Realidade Aumentada e Óculos de Realidade Virtual.

## 2.5 Considerações Finais

Este Capítulo trouxe uma revisão sistemática da literatura, onde foram identificadas 4 bases de imagens de corpos completos, o *The Visible Human Projec*, o *The Visible Korean Human*, o *The Chinese Visible Human* e o *The Virtual Chinese Human*, num total de 13 corpos disponíveis entre os anos de 1993 e 2005.

Nos resultados são expostos as resoluções e as quantidades das imagens, bem como dados dos cadáveres. Em razão dessa revisão optou-se pela utilização do VHP, por sua acessibilidade e seu biotipo. O estudo de mapeamento revelou que os softwares comerciais são os mais empregados na segmentação das imagens coloridas, sendo o Photoshop e o Amira os mais aplicados e o *RGB-Ellipsoide* a principal técnica adotada.

Foi apresentado o *The Voxel-Man* que vem contribuindo muito no estudo da segmentação. Concluindo este Capítulo o Projeto Mesa de Dissecção Virtual, desde suas origem até a criação de novos Ambientes Imersivos de Aprendizagem, frutos desse projeto.

## 3 Metodologia

Neste Capítulo são descritos quatro elementos necessários para o desenvolvimento do trabalho. A [Seção 3.1](#), destaca a metodologia científica utilizada no trabalho. A [Seção 3.2](#) descreve a base de imagens com a resolução e tamanho, bem como alguns ajustes feitos na base antes de aplicar os métodos.

A [Seção 3.3](#) apresenta o método proposto no trabalho, descreve cada uma das ferramentas utilizadas e seus usos com o Matlab. Finalmente, a [Seção 3.4](#) trata dos experimentos empregados na extração do gelo externo e interno das imagens e na segmentação dos ossos. As correções aplicadas no decorrer do processo e seus algoritmos.

### 3.1 Metodologia Científica

A pesquisa é uma estratégia de estudos, composta por etapas, que proporciona novos conhecimentos ([MARCONI; LAKATOS, 2003](#)). Consiste de um procedimento formal e científico, cuja finalidade é refletir sobre um determinado assunto.

Como o objetivo do projeto é segmentar as imagens VHP para o desenvolvimento de um software, a pesquisa será do tipo aplicada, pois segundo [Prodanov e Freitas \(2013, p. 51\)](#) a "pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos".

A pesquisa foi exploratória, com intuito de encontrar uma solução para o problema de segmentação das imagens em Ultra-Alta-Definição do VHP. Conforme [Marconi e Lakatos \(2003\)](#), a pesquisa exploratória tem por finalidade a familiarização com o conteúdo para a solução de um problema específico, para tanto foi realizado um estudo de mapeamento sistemático, identificando as principais formas de segmentação, servindo como ponto de partida para aperfeiçoamento ou desenvolvimento de uma nova técnica.

A abordagem da pesquisa foi qualitativa, realizada em artigos publicados em periódicos, sem uso de técnicas estatísticas, pois, para [Gil \(2008\)](#), a qualitativa é utilizada no estudo de campo, enquanto a quantitativa é normalmente utilizada em pesquisas experimentais, que requerem o uso de ferramentas estatísticas. Consequentemente, será aplicado o raciocínio hipotético-dedutivo para chegar a uma solução favorável ao projeto.

### 3.2 Base de Dados

*The Visible Human Project* é uma base de imagens do corpo humano composta por TC, RM e imagens coloridas de Ultra-Alta-Definição obtidas através da criosecção do

corpo congelado; o processo de aquisição é descrito em [Spitzer et al. \(1996\)](#).

Para o nosso estudo utilizaremos as imagens coloridas 2k com resolução de 2048x1216 pixels do corpo masculino, [Figura 3.1](#), sendo o pixel de 0,33 mm de tamanho e definido por 24 bits de cor, totalizando 7,5 megabytes por imagem. Com a possibilidade de aplicação nas imagens 2k e 4k do corpo feminino, onde a resolução do 4k é de 4096 pixels por 3061 pixels.

Figura 3.1 – Imagem de uma seção do VHP masculino



Fonte: Imagem da base do *The Visible Human Project*

Observa-se na [Figura 2.5a e 2.5b](#), as imagens dos corpos masculino e feminino. O corpo masculino possui as seguintes características, 38 anos de idade, aproximadamente 1,86m de altura e peso de 90 Kg, foram capturadas 1871 imagens no plano axial com 1 mm de intervalo entre as fatias.

O cadáver feminino tinha 59 anos de idade, com 1,67 m aproximadamente de altura e 72 kg, sendo adquiridas 5189 imagens anatômicas axiais no intervalo de 0,33 mm, dados apresentados na [Tabela 2.1](#). Os corpos foram congelados em 4 blocos, que não ultrapassam 51 cm, o que resultou em pequenas falhas entre os blocos.

Para gerar a noção de volume, com as imagens do VHP, como demonstra a [Figura 3.1](#), é necessário segmentar as imagens coloridas da [Figura 2.2](#), devendo-se iniciar por um processo de extração do gelo, externo e interno. Para complementar e aprofundar mais os estudos é necessária a extração dos sistemas do corpo humano.

Para [Robb e Hanson \(2006\)](#) a disponibilidade das imagens da *U.S. National*

*Library of Medicine* juntamente com os avanços no processamento digital das imagens, proporcionam uma grande relação da teoria científica com a prática clínica.

Para utilização das imagens do corpo masculino que pertencem às divisões dos blocos, foram necessários dois ajustes descrito no [Algoritmo 2](#), o primeiro referente as imagens de 1505 à 1507, de 2012 à 2022 e de 2424 à 2435 (representada na linha 5 pela função `fun_imagem_processamento`; as imagens restantes recebem 0), que pertencem às divisões dos blocos. Por isso optou-se por tornar as imagens em transparentes, excluindo-as, pois elas apresentavam mais ruídos do que informação.

**Algoritmo 2:** Redimensionamento das imagens e alinhamento

```

1 Início
2    $a \leftarrow 130$ 
3    $b \leftarrow 1880$ 
4   Para Cada (foto) faça
5     Entrada: foto
6     Se (fun_imagem_processamento(foto) == 0) então
7       Se ( $foto < 1231$ ) então
8          $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a : b, :)$ 
9       Senão Se ( $foto < 1253$ ) então
10         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 9 : b + 9, :)$ 
11      Senão Se ( $foto < 1361$ ) então
12         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a - 2 : b - 2, :)$ 
13      Senão Se ( $foto < 1391$ ) então
14         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 11 : b + 11, :)$ 
15      Senão Se ( $foto < 1417$ ) então
16         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a - 2 : b - 2, :)$ 
17      Senão Se ( $foto < 1730$ ) então
18         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 11 : b + 11, :)$ 
19      Senão Se ( $foto < 1791$ ) então
20         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 17 : b + 17, :)$ 
21      Senão Se ( $foto < 1881$ ) então
22         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 18 : b + 18, :)$ 
23      Senão Se ( $foto < 2547$ ) então
24         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 16 : b + 16, :)$ 
25      Senão Se ( $foto < 2703$ ) então
26         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 18 : b + 18, :)$ 
27      Senão
28         $fig \leftarrow fig(95 : 1090, a + 20 : b + 20, :)$ 
29      FimSe
30    Senão
31       $fig \leftarrow imagem\_branco$ 
32    FimSe
33  Resultado: fig
34  FimParaCada
35 Fim

```

O segundo ajuste foi referente a falta de alinhamento entre as imagens, que sofreram deslocamento horizontal, tomando como referência a primeira imagem. Para resolver isso, realizou-se um redimensionamento da imagens para 1751x996 com os deslocamentos necessários.

No [Algoritmo 2](#) é fixo os cortes na vertical de 95 a 1090 e os cortes na horizontal são inicializados nas linhas 2 e 3, sendo feito o alinhamento a partir desse ponto. Observa-se na linha 9 que as imagens de 1231 à 1252 estão deslocadas 9 pixels à direita, já na linha 11 as imagens de 1253 até a 1360 estão 2 pixels à esquerda ([The University of Texas at Austin, 2020](#)).

### 3.3 Método Proposto

Os métodos propostos neste trabalho se referem a processos de segmentação que proporcionem a detecção da região de interesse com bordas suavizadas, visando gerar uma base de imagens em Ultra-Alta-Definição do VHP. O presente trabalho foi dividido em duas etapas, sendo na primeira etapa a segmentação do gelo externo e interno, na segunda etapa a segmentação dos órgãos. Para ambas as etapas foram feitos vários testes identificados no estudo de mapeamento sistemático, descrito na [Seção 2.2](#).

Iniciou-se com técnicas baseadas em região, como *Thresholding* e Região de Crescimento e aplicou-se algoritmos baseados em bordas, como *Sobel* e *Canny*. Foram feitos testes para o uso da *Deep-Learning* com as imagens coloridas, porém a falta de imagens para treinamentos, inviabilizou o processo.

Os melhores desempenhos foram obtidos com os algoritmos não aplicados nas bases, os de aprendizado supervisionado baseado em classificadores como: *K-Means*, KNN (*K-Nearest Neighbors*) e o SVM (*Support Vector Machine*). O SVM apresentou resultado superior, mesmo tendo alguns ruídos.

Nas subseções a seguir são descritos as principais ferramentas utilizadas nesse trabalho.

#### 3.3.1 SVM-Support Vector Machine

O SVM é um algoritmo de aprendizagem de máquina baseado na teoria da aprendizagem estatística. Neste contexto, segundo [Zhang, Yang e Zhang \(2016\)](#), é uma importante técnica de segmentação de imagens, utilizada em imagens médicas no reconhecimento de objetos.

Contudo, é importante destacar que o método busca minimizar os erros a partir de um conjunto de treinamento, que pode ser definido de forma automática ou supervisionada. Fica evidente, diante desse predicado, a versatilidade do método, quanto à sua aplicação.

Assim, em imagens coloridas as entradas de dados podem ser feitas com um vetor de características classificando por cor ou com identificador de textura.

Segundo [Cristianini, Shawe-Taylor et al. \(2000\)](#), o SVM foi inventado por Boser, Guyon e Vapnik<sup>5</sup>, apresentado em 1992 na conferência *Computational Learning Theory* (COLT), proveniente da junção de vários estudos iniciados na década de 60, presentes no aprendizado de máquinas, com técnicas de otimização unido com a teoria da aprendizagem estatística desenvolvida por Vapnik<sup>6</sup> em 1979.

[Shawe-Taylor, Cristianini et al. \(2004, p. 250\)](#) relata que a diferença do SVM dos outros modelos de classificadores, como o KNN e *K-Means* é o fato de:

1. encontrar um mínimo global, fugindo dos mínimos locais que ocorrem em algumas redes neurais;
2. procurar no processo de otimização por margens suaves uma metodologia de minimização dos erros marginais, controlando a capacidade do processo e
3. empregar a função Kernel, o que gera uma flexibilidade para o método.

É importante observar que mesmo sendo um modelo de difícil compreensão, tem sido explorado em diversos problemas, como verificação de assinaturas ([JUSTINO; BORTOLOZZI; SABOURIN, 2003](#)), classificação da idade a partir de imagens do rosto ([GUPTA; KHUNTETA, 2012](#)), prevenção do infarto ([HUANG; SHEN; DUONG, 2011](#)), entre outras aplicações.

Observa-se a partir do mapeamento realizado, que o método não foi aplicado como principal método em nenhuma das bases de imagens coloridas do corpos humanos.

A aplicação do SVM nas imagens do VHP, treinada com elementos da borda, apresentou os melhores resultados para uma reconstrução 3D e possibilitou a sua utilização na mesa de dissecação virtual. Empregou-se SVM disponível no Matlab, com o método *default* e com uma base de treinamento supervisionada.

### 3.3.2 Morfologia Matemática

A morfologia matemática procura identificar formas e estruturas em imagens baseadas na teoria de conjuntos. Sua origem se dá nos estudos em imagens binárias, em 1964, na França, com Georges Matheron e Jean Serra, posteriormente estendendo-se para imagens em tons de cinza e coloridas ([MATHERON; SERRA, 2002](#)).

<sup>5</sup> BOSER, Bernhard E.; GUYON, Isabelle M.; VAPNIK, Vladimir N. A training algorithm for optimal margin classifiers. In: Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory. ACM, 1992. p. 144-152.

<sup>6</sup> VAPNIK, Vladimir N. Estimation of Dependences Based on Empirical Data [in Russian]. Nauka, Moscow, (English translation, Springer Verlag, New York), 1979. 1982.

Neste contexto, para [Gonzalez e Woods \(2010, p. 415\)](#) fica claro que é uma ferramenta muito importante no processamento de imagens, por lidar com formas e estruturas. Aplicada, por exemplo, na preparação das imagens, como pré-processamento, na redução de ruídos ou no pós-processamento, com extração de objetos.

Segundo [Facon \(1996, p. 415\)](#), "permite processar imagens com objetivos de realce, de segmentação, de detecção de bordas, de esquematização, de afinamento, de análise de forma, de compressão etc...". Sob essa ótica, observa-se uma grande quantidade de aplicações que podem ser utilizadas como pré-processamento ou no pós-processamento.

Conforme mencionado, é interessante constatar que a morfologia matemática permite uma suavização das bordas com as operações de erosão e dilatação, bem como o preenchimento. Segundo [Gonzalez e Woods \(2010\)](#) o preenchimento de buracos utiliza um procedimento chamado dilatação condicional.

Cabe ressaltar que o procedimento está relacionado ao elemento estruturante, que é um conjunto com tamanho e forma conhecidos, empregado a uma imagem e a sua escolha atinge diretamente no sucesso da sua aplicação.

Por todas essas razões, optou-se pela utilização dessa importante ferramenta no pós-processamento das imagens, sendo preenchida a região de interesse e delineadas as bordas. Para tanto, a escolha do elemento estruturante é fundamental.

No Matlab têm-se 6 opções bidimensionais e 3 são tridimensionais, dentre elas, o *diamond* e o *sphere* apresentaram resultados superiores. Foram aplicados os seguintes comandos do Matlab com suas funcionalidades:

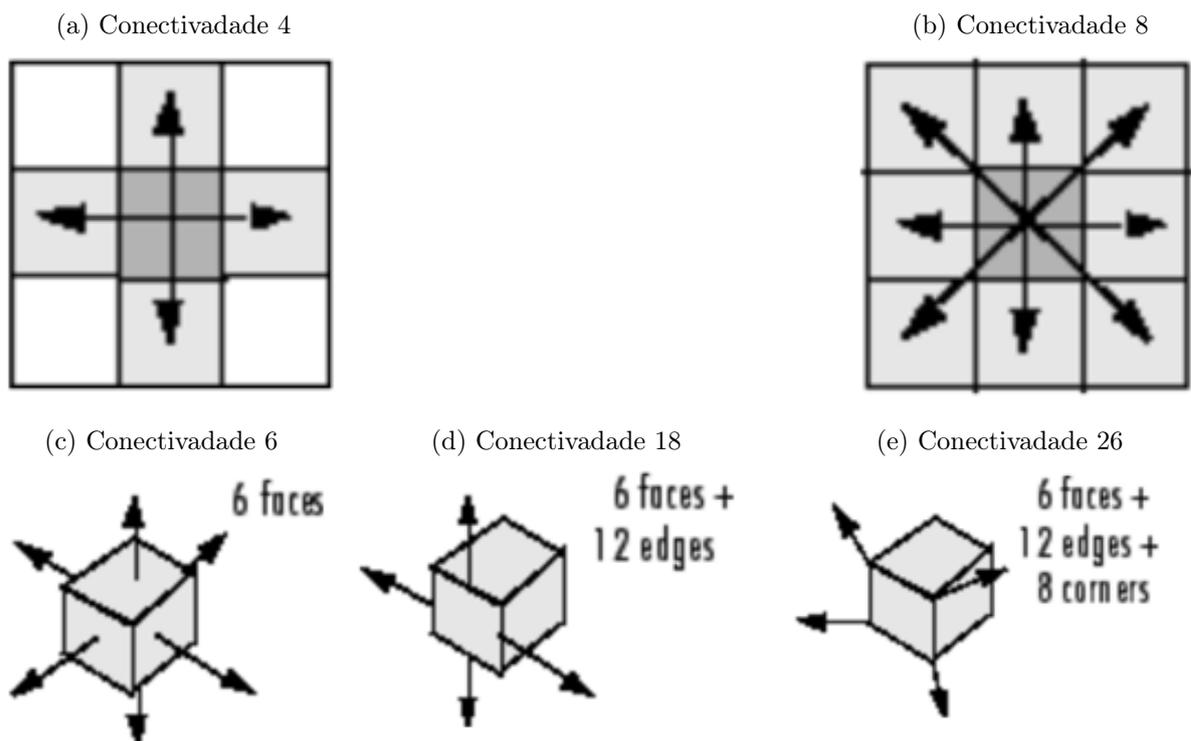
- a) *imerode* - faz a erosão;
- b) *imdilate* - faz a dilatação;
- c) *bwareafilt* - preenche os buracos com tamanho definido;
- d) *imfill* - preenche todo tipo de região fechada e conectada e
- e) *imclearborder* - limpa os elementos conectados a borda.

### 3.3.3 Componentes Conectados

O algoritmo dos componentes conectados, converte uma imagem binária em uma imagem rotulada por regiões, onde as regiões não possuem conectividade. É um importante processo para definir forma e fronteira da região, utilizado na segmentação, no reconhecimento de objetos, na detecção de texto, entre outras aplicações.

Segundo Grana, Borghesani e Cucchiara (2009), muitos trabalhos surgiram depois da proposta feita por Rosenfeld e Pfaltz<sup>7</sup> em 1966, dentre eles, o proposto por Haralick e Shapiro<sup>8</sup>, que se trata do algoritmo utilizado pelo Matlab, disponível no link <<https://www.mathworks.com/help/images/ref/bwlabel.html>>, que possibilita trabalhar com 4 ou 8 conectividades, Figura 3.2a e 3.2b, respectivamente.

Figura 3.2 – Tipos de conectividade



Fonte: <<https://www.mathworks.com/help/images/ref/bwconncomp.html>>

Udupa e Ajjanagadde (1990) apresentam um algoritmo de identificação de estruturas 3D, geradas por imagens médicas obtidas por TC ou RM, com conectividade 6, 18 e 26, conforme Figura 3.2c, 3.2d e 3.2e. Como o intuito deste projeto é mapear os órgãos internos, foi utilizado a função *bwconncomp* do Matlab com conectividade 6.

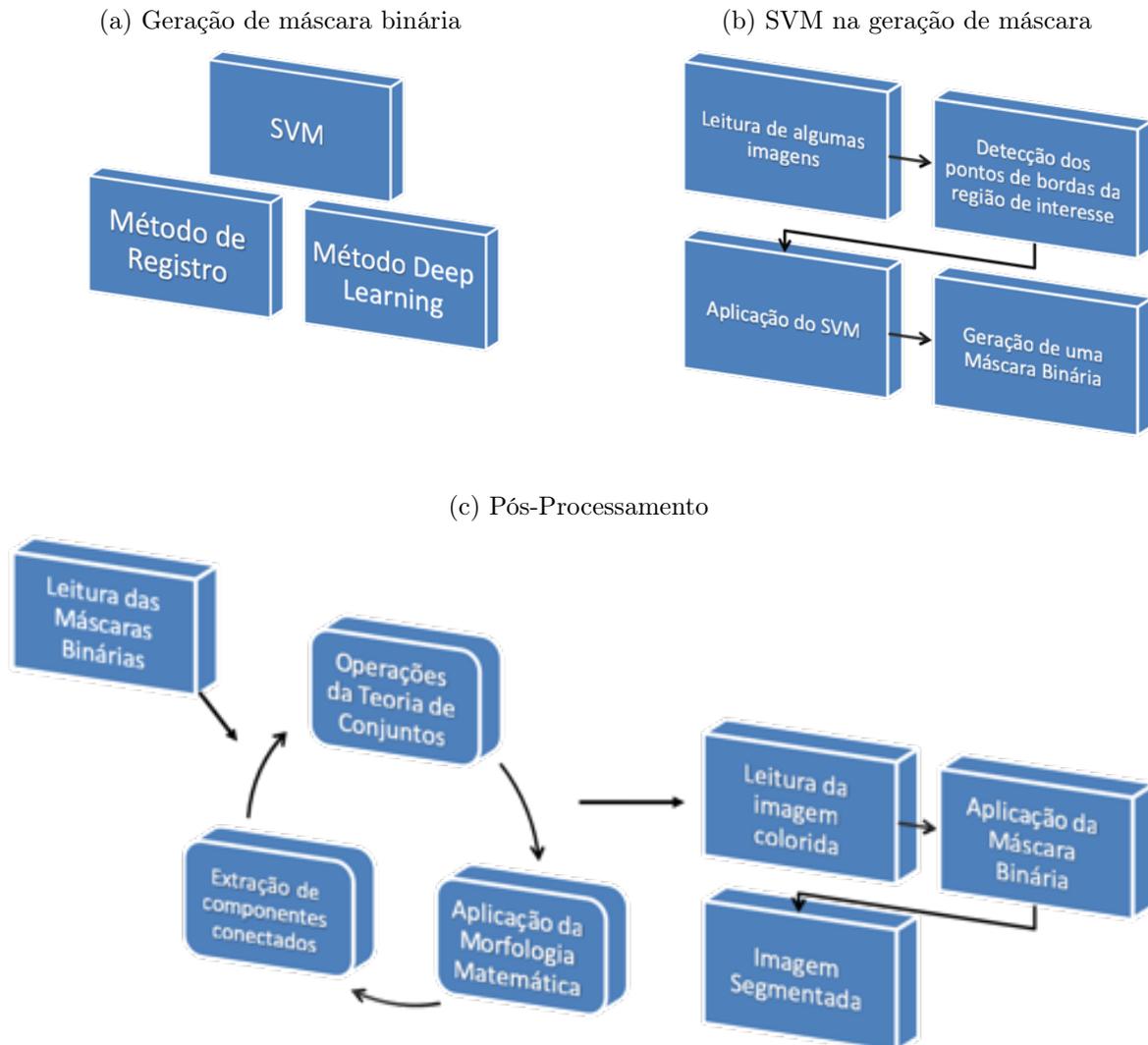
### 3.3.4 Visão Geral

A Figura 3.3 apresenta uma visão geral do método proposto, com os métodos utilizados para geração das principais máscaras binárias, a configuração do SVM utilizado para uma melhor performance na segmentação e o pós-processamento.

<sup>7</sup> ROSENFELD, Azriel; PFALTZ, John L. Sequential operations in digital picture processing. J. ACM, v. 13, n. 4, p. 471-494, 1966.

<sup>8</sup> HARALICK, Robert M.; SHAPIRO, Linda G. Computer and robot vision. v. 1, Reading: Addison-wesley, 1992, p. 28-48.

Figura 3.3 – Método proposto de segmentação



Fonte: Autoria Própria

Na [Figura 3.3a](#) apresenta as técnicas para geração das máscaras binárias, onde tem-se:

1. o SVM ([Algoritmo 3](#) as vista na [Subseção 3.3.4.1](#)) aplicado a todas as imagens do VHP sendo responsável pela geração de 4 máscaras: do corpo, do gelo interno, do músculo com órgãos internos e da pele com os ossos.
2. a técnica de registro ([Algoritmo 4](#) na [Subseção 3.3.4.1](#)), desenvolvida por [Utiyama \(2019\)](#), utiliza as imagens segmentadas do VM em baixa definição (573x330) e realiza o registro nas imagens Ultra-Alta-Definição. Iniciado com um conjunto de pontos

previamente escolhido entre as imagens do VM e do VHP, já para a geração das máscaras por sistemas, foi desenvolvido um algoritmo que une os labels dos órgãos formando os sistemas.

3. a *Deep Learning*, implementado por Angelo Antonio Manzatto no seu trabalho de mestrado, trás a segmentação dos ossos nas imagens TC do VHP. Treina a sua rede a partir vários bancos de imagens TC, já segmentadas.

Na [Figura 3.3b](#) é apresentado o SVM, considerado a principal forma de geração das máscaras, importante nas duas fases do PMDV, por possibilitar a extração do gelo externo e interno das imagens do VM e do VHP em 2k e 4k ([Algoritmo 3](#)), sendo possível aplicação em outros processos, conforme adaptado ao outro projeto do CIIM, no *Full Frame Semi-spherical Scanner* (F2S2), apresentado por [Silva. et al. \(2019\)](#).

O treinamento consiste em identificar apenas pontos da borda de um conjunto de imagens, sem se preocupar com a região interna e com o fundo, procurando definir o contorno da região de interesse após aplicação do SVM.

E por fim, na [Figura 3.3c](#) o pós-processamento, no qual é feita a leitura, conforme a aplicação das operações de teoria de conjuntos, a morfologia matemática e a extração dos componentes conectados, que podem ser utilizados em qualquer ordem, independente da quantidade de vezes, variando conforme a necessidade. Após isso, é realizada a leitura da imagem colorida e aplicação das máscaras, resultando na segmentação das imagens.

#### 3.3.4.1 Algoritmos de geração de máscara

O [Algoritmo 3](#) tem como entrada a cor dos pontos de transição da região de interesse, gerando a Matriz A. O vetor Y é composto pela classificação desses pontos. Na linha 6 é feito o treinamento com a função *fitcsvm* e a função *predict* e na linha 9 aplica o SVM treinado nas imagens. Assim, gerando a máscara binária para cada imagem, representada por *imbin*.

No [Algoritmo 4](#) tem-se a técnica de registro que possui uma seleção manual dos pontos de uma imagem do VM e uma VHP (linha 2 com a função *cpselect*), sendo encontrado o ajuste pela função *fitgeotrans* (linha 3) e armazenado na variável (mf). Este ajuste é aplicado a todas as imagens pela função *imwarp* (linha 5) e seu resultado é transformado em uma máscara binária para cada imagem.

Para utilizar as imagens obtidas pelo *Deep Learning*, optou-se por utilizar a técnica de registro de [Utiyama \(2019\)](#), devido a dificuldade em encontrar pontos entre as imagens TC e as imagens coloridas em alta definição do VHP que possibilitassem a aplicação direta de uma técnica de registro.

**Algoritmo 3:** SVM para geração de máscara binária

```

1 Início
  | Entrada: ponto_borda_RI
2  |  $Ya \leftarrow 1$ 
  | Entrada: ponto_borda_NRI
3  |  $Yb \leftarrow 2$ 
4  |  $Y \leftarrow [Ya, Yb]$ 
5  |  $A \leftarrow [ponto\_borda\_RI, ponto\_borda\_NRI]$ 
6  |  $SVMtreinado \leftarrow \text{fitcsvm}(A, Y)$ 
7  | Para Cada (foto) faça
  |   | Entrada: foto
8  |   |  $label \leftarrow \text{predict}(SVMtreinado, foto)$ 
9  |   |  $imbin(label == 1) \leftarrow 1$ 
  |   | Resultado: imbin
10 | FimParaCada
11 Fim

```

**Algoritmo 4:** Técnica de registro do Utiyama (2019)

```

1 Início
  | Entrada: foto_teste_VM
  | Entrada: foto_teste_VHP
2  |  $[mP, fP] \leftarrow \text{cpselect}(foto\_teste\_VM, foto\_teste\_VHP, 'Wait', true)$ 
3  |  $mf \leftarrow \text{fitgeotrans}(mP, fP, 'affine')$ 
4  | Para ( $foto \leftarrow 1001$  até 2029) faça
  |   | Entrada: foto_VM
5  |   |  $label \leftarrow \text{inwarp}(foto\_VM, mf)$ 
6  |   |  $imbin(registro == 1) \leftarrow 1$ 
  |   | Resultado: imbin
7  | FimPara
8 Fim

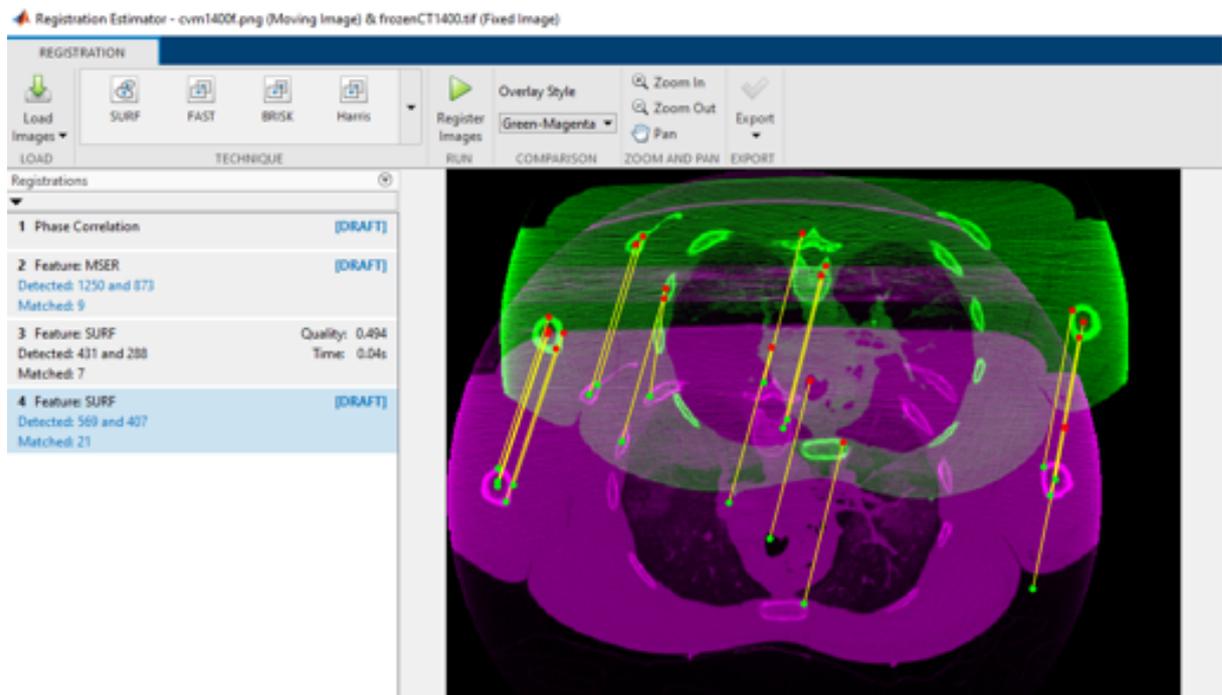
```

Surgiu a necessidade de ajustar as imagens TC do VHP com as VM, para encontrar os pontos entre as imagens de forma automática, para tanto utilizou-se do aplicativo do Matlab (*Registration Estimator*) com a função SURF (*Speeded-Up Robust Features*), conforme a [Figura 3.4a](#), a qual apresenta a relação dos pontos selecionados com seu método selecionado e na [Figura 3.4b](#) resultado desse registro, gerando um arquivo (*registrowjpb.mat*).

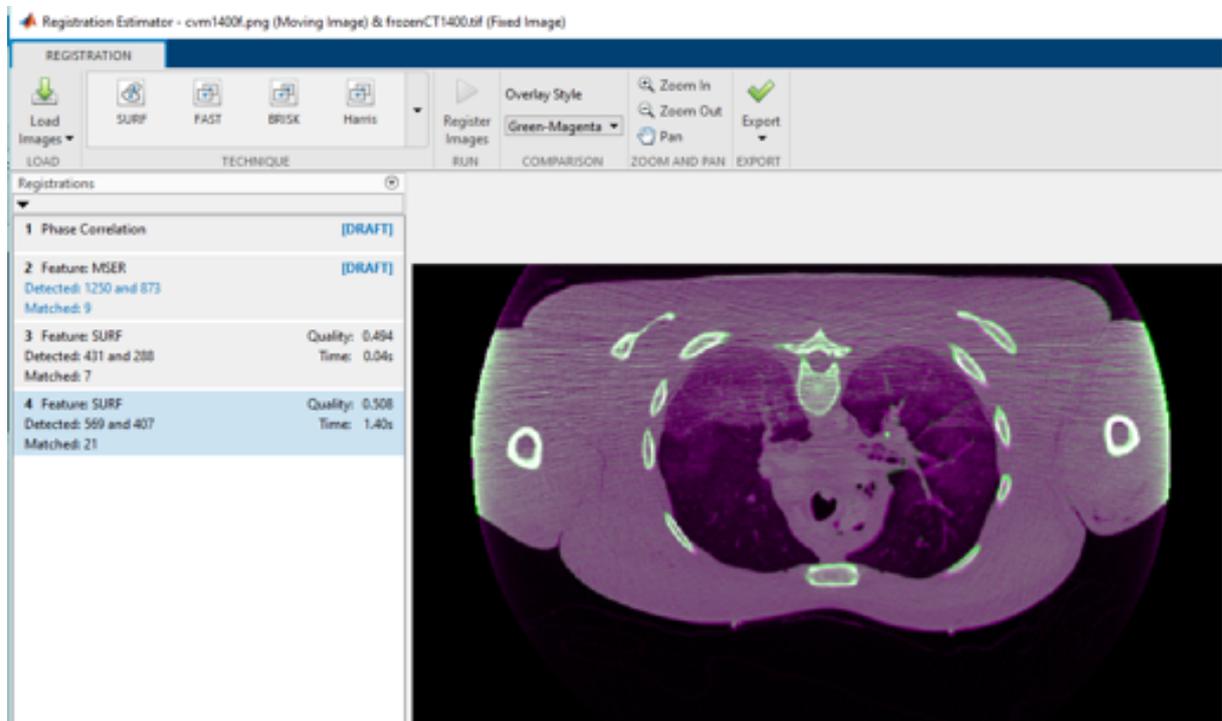
O [Algoritmo 5](#) responsável pela entrada dos dados mencionados acima e pela imagem TC que sofre uma reflexão no eixo horizontal, pela função *flip*, descrito na linha 3. Na linha 4 é aplicado o registro, gerando as imagens binárias ajustadas ao VM. Para gerar as máscaras nas imagens coloridas em Ultra-Alta-Definição, foi aplicado o [Algoritmo 4](#).

Figura 3.4 – Registro das imagens TC do VHP com VM

(a) Identificação dos pontos correspondentes com a função SURF



(b) Resultado do registro



Fonte: Autoria Própria

**Algoritmo 5:** Técnica de registro das imagens TC do VHP para as TC do VM

```

1 Início
  | Entrada: 'registrowjpb.mat'
2  | Para (foto ← 2030 até 2878) faça
  |   | Entrada: foto_CT
  |   | foto_CT ← flip(foto_CT, 1)
  |   | registro ← imwarp(foto_CT movingReg.Transformation)
  |   | imbin(registro == 1) ← 1
  |   | Resultado: imbin
3  |   |
4  |   |
5  |   |
6  |   | FimPara
7 Fim

```

## 3.4 Experimentos

Visando validar os resultados obtidos, eles foram divididos em duas fases, de acordo com o projeto do PMDV, sendo uma dedicada à extração do gelo interno e externo e a outra para extração dos sistemas.

### 3.4.1 Primeira Fase do PMDV - Extração do Gelo

Para extração do gelo, foi aplicado no processamento o classificador SVM supervisionado. O [Algoritmo 3](#) gerou máscaras com a região de interesse, que apresentavam ruídos nas bordas e objetos esparsos que pertenciam à região.

Para corrigir esses problemas, efetuamos dois Experimentos, um com processamento em 2D, aplicando o mesmo procedimento em todas as imagens e o segundo em 3D, onde foi gerada uma máscara binária e aplicada a todas as imagens ao mesmo tempo, conforme descrito a seguir. Esses Experimentos foram aplicados nas imagens 2k do corpo masculino, do feminino e na base do *The Voxel-Man*.

#### 3.4.1.1 Experimento 1 – Aplicação em 2D nas imagens

No Experimento 1, nessa máscara binária utilizou-se no pós-processamento a morfologia matemática gerada pelo SVM, sendo aplicadas duas erosões e uma dilatação com elemento estruturante definido por um losango de tamanho 2, consistindo no melhor resultado apresentado no corpo todo.

Para identificar a região de interesse de cada imagem, foram usadas duas formas:

- a) foram encontradas as maiores áreas em cada fatia, seguindo uma tabela onde foi identificada anteriormente a quantidade de elementos necessários. Contudo, esse método gerou algumas perdas de estruturas que estavam conectadas por um pixel apenas. Após aplicação da morfologia matemática, podiam ou não permanecer conectadas, o que tornou difícil a identificação de todos os elementos ([Algoritmo 6](#));

**Algoritmo 6:** Experimento 1a - Extração do gelo em 2D

```

1 Início
2   Para Cada (foto) faça
3     Se (fun_imagem_processamento(foto) == 0) então
4       Entrada: imbin
5       seD ← strel('diamond', 2)
6       imbin ← imerode(imbin, seD)
7       imbin ← imfill(imbin, 'holes')
8       imbin ← imerode(imbin, seD)
9       imbin ← imclearborder(imbin, 4)
10      imbin ← imdilate(imbin, seD)
11      quant ← fun_ident_quant(foto)
12      imbin1 ← imbinarize(imbin)
13      imagealpha ← bwareafilt(imbin1, quant)
14      imbin(imbin1 = imagealpha) ← 0
15      Entrada: foto
16      alpha(imbin == 0) ← 255
17      foto(imbin == 0) ← 0
18      Resultado: foto, alpha
19   FimSe
20 FimParaCada
21 Fim

```

- b) optou-se por identificar na primeira imagem base a região de interesse e a partir dela, observou-se elementos que possuíam conectividades tridimensionais. A geração de uma matriz de máscara com três dimensões. As matrizes binárias foram enfileiradas, utilizando a função *bwlabeln* do Matlab ([Algoritmo 7](#)).

Observa-se no [Algoritmo 6](#) a utilização do elemento estruturante na forma de um *diamond* (linha 4) de tamanho 2, seguido pelo preenchimento de qualquer tipo de buraco (função *imfill*). Depois outra erosão, acompanhado pela função *imclearborder* para eliminar ruído referente a paleta de cor e a numeração que ficaram coladas as bordas. A função *fun\_ident\_quant* contém a quantidade de elementos significativos de cada imagem, a função *imbinarize* separa os conjuntos desconectados e a função *bwareafilt* identifica a quantidade de elementos significativos.

Já no [Algoritmo 7](#) observa-se na linha 2, o local inicial para extração dos pontos conectados. É aplicado algumas erosões, dilatações e preenchimento de buracos. Nas linhas 12 e 13 é feito a montagem do matriz tridimensional para extração que ocorre nas linhas 16 à 18.

Para o processo, optou-se por retirar o fundo da imagem, para isso utilizou-se o formato PNG (*Portable Network Graphics*) aplicando a máscara no canal alfa da imagem (linhas 14 e 15 no [Algoritmo 6](#) e 23 e 24 no [Algoritmo 7](#)). Aproveitando que esse formato

**Algoritmo 7:** Experimento 1b - Extração do gelo em 3D com *bwlabeln*

```

1 Início
2    $pinicial \leftarrow [500, 900]$ 
3    $i \leftarrow 0$ 
4   Para Cada (foto) faça
5     Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
6       Entrada: imbin
7        $eeD \leftarrow strel('diamond', 2)$ 
8        $imbin \leftarrow imerode(imbin, eeD)$ 
9        $imbin \leftarrow imfill(imbin, 'holes')$ 
10       $imbin \leftarrow imerode(imbin, eeD)$ 
11       $imbin \leftarrow imdilate(imbin, eeD)$ 
12       $i \leftarrow i + 1$ 
13       $Imvol(:, :, i) \leftarrow imbin$ 
14    FimSe
15  FimParaCada
16   $Imvol \leftarrow imfill(Imvol, 6, 'holes')$ 
17   $[L, n1] \leftarrow bwlabeln(Imvol, 6)$ 
18   $Md(L == L(pinicial(1, 1), pinicial(1, 2), 1)) \leftarrow 1$ 
19   $i \leftarrow 0$ 
20  Para Cada (foto) faça
21    Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
22       $i \leftarrow i + 1$ 
23       $imbin \leftarrow Md(:, :, i)$ 
24      Entrada: foto
25       $alpha(imbin == 0) \leftarrow 255$ 
26       $foto(imbin == 0) \leftarrow 0$ 
27      Resultado: foto, alpha
28    FimSe
29  FimParaCada
30 Fim

```

permite comprimir imagens, mantendo a qualidade, aplicando a máscara nos três canais da imagem colorida, no RGB.

Tais procedimentos foram realizados nas imagens 2k, para as imagens do *The Voxel-Man* houve uma alteração do elemento estruturante que passou do tamanho 2 para 1, pois elas foram redimensionadas para que o voxel fosse de 1 mm.

### 3.4.1.2 Experimento 2 – Aplicação em 3D nas imagens

Neste Experimento antes de aplicar a morfologia matemática, optou-se por construir uma máscara binária em 3 dimensões, [Algoritmo 8](#) na linha 7. Depois aplicou-se os processos de preenchimento, de erosão e de dilatação nessa máscara com um elemento estruturante definido por uma *sphere* de tamanho 2 (linhas 10 à 13). Em seguida, nas linhas 14 à 17 identificou-se a região de maior volume com uma função (*bwconncomp*) que utiliza menos

memória que a função (*bwlabeln*) do Experimento 1. para finalizar, aplicam-se as máscaras nas imagens coloridas, no formato PNG, conforme o mesmo Experimento.

**Algoritmo 8:** Experimento 2 - Extração do gelo em 3D com *bwconncomp*

```

1 Início
2   pinicial ← [500, 900]
3   i ← 0
4   Para Cada (foto) faça
5     Se (fun_imagem_processamento(foto) == 0) então
6       Entrada: imbin
7       i ← i + 1
8       Imvol(:, :, i) ← imbin
9     FimSe
10    FimParaCada
11    Imvol ← imfill(Imvol, 6, 'holes')
12    eeS ← strel('sphere', 2)
13    Imvol ← imerode(Imvol, eeS)
14    Imvol ← imdilate(Imvol, eeS)
15    CC ← bwconncomp(Imvol)
16    numPixels ← cellfun(@numel, CC.PixelIdxList)
17    [biggest, idx] ← max(numPixels)
18    Md(CC.PixelIdxListidx) ← 1
19    i ← 0
20    Para Cada (foto) faça
21      Se (fun_imagem_processamento(foto) == 0) então
22        Entrada: foto
23        i ← i + 1
24        imbin ← Md(:, :, i)
25        alpha(imbin == 0) ← 255
26        foto(imbin == 0) ← 0
27        Resultado: foto, alpha
28      FimSe
29    FimParaCada
30  Fim

```

### 3.4.2 Segunda Fase do PMDV - Extração dos Sistemas

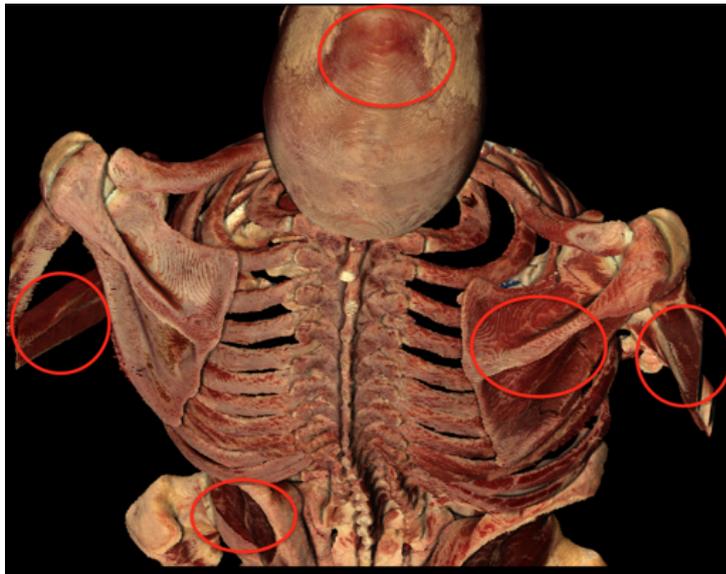
Nesta fase, para extração dos sistemas, foi necessário a preparação das máscaras, composta por máscaras obtidas pelo SVM (Algoritmo 3) e pela técnica de registro (Algoritmo 4), aplicado aos sistemas obtidos da segmentação do VM.

Para esse projeto, optou-se por descrever o processo de segmentação dos ossos, que contou com mais uma máscara gerada pela segmentação das imagens TC (Algoritmo 5). O pós-processamento descrito no Experimento 3, trouxe a necessidade de restaurar alguns ossos e esse processo é descrito no Experimento 4.

A Figura 3.5 representa a reconstrução obtida pelas máscaras do registro do VM, sem nenhum pós-processamento, e ela será utilizada com uma das máscaras.

Figura 3.5 – Registro das imagens VM no VHP

(a) Reconstrução Posterior



(b) Imagem 1100



(c) Imagem 1300



Fonte: Autoria Própria

## 3.4.2.1 Experimento 3 – Segmentação dos ossos

Para a segmentação dos ossos, houve a necessidade em dividi-la em duas partes, a primeira utilizando as imagens do VM, para a cabeça, tronco e braços, imagens de 1001 à 2029 e a segunda para as pernas, da imagem 2030 até a 2878, com a segmentação dos ossos a partir das imagens TC. As imagens do VM separou-se em duas partes, por causa da cabeça, mais especificamente do crânio e o restante do corpo, gerando dois algoritmos, por causa da restrição ao uso da função *imfill* que incluiria o cérebro.

Para a parte da cabeça da imagem 1012 à 1169, observa-se na [Figura 3.5a](#) e [3.5b](#) que é necessário apenas uma suavização nas bordas na parte externa e o preenchimento dos ossos, para isso desenvolveu-se o [Algoritmo 9](#).

**Algoritmo 9:** Experimento 3a - Segmentação dos ossos da cabeça

```

1 Início
2    $i \leftarrow 0$ 
3   Para ( $foto \leftarrow 1012$  até 1169) faça
4     Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
5       Entrada:  $imbin\_VM$ 
6       Entrada:  $imbin\_SVM$ 
7        $imbin(imbin\_VM == 1 \text{ E } imbin\_SVM == 1) \leftarrow 1$ 
8        $i \leftarrow i + 1$ 
9        $Imvol(:, :, i) \leftarrow imbin$ 
10    FimSe
11  FimPara
12   $eeS \leftarrow strel('sphere', 2)$ 
13   $Imvol \leftarrow imdilate(Imvol, eeS)$ 
14   $Imvol \leftarrow imerode(Imvol, eeS)$ 
15   $CC \leftarrow bwconncomp(Imvol)$ 
16   $numPixels \leftarrow cellfun(@numel, CC.PixelIdxList)$ 
17   $[biggest, idx] \leftarrow \max(numPixels)$ 
18   $Md(CC.PixelIdxList{idx}) \leftarrow 1$ 
19   $i \leftarrow 0$ 
20  Para ( $foto \leftarrow 1012$  até 1169) faça
21    Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
22      Entrada:  $foto$ 
23       $i \leftarrow i + 1$ 
24       $imbin \leftarrow Md(:, :, i)$ 
25       $imbin \leftarrow 1 - bwareaopen(1 - imbin, 1100)$ 
26       $alpha(imbin == 0) \leftarrow 255$ 
27       $foto(imbin == 0) \leftarrow 0$ 
28      Resultado:  $foto, alpha$ 
29    FimSe
30  FimPara
31 Fim

```

O [Algoritmo 9](#) utilizou a interseção entre a máscara do SVM da pele com ossos e o do registro (na linha 5), depois foram empilhadas gerando uma máscara 3D. Foi realizada a morfologia matemática com dilatação e erosão e a extração dos componentes conectados, descrito nas linhas 10 à 16. Antes de aplicar a máscara nas imagens coloridas, foi realizado um processo para fechar pequenos buracos de tamanho 1100 (na linha 22).

Para o restante das imagens, até 2029, analisando a [Figura 3.5a](#) e [3.5c](#) além de tirar o vermelho dos músculos de várias regiões, há a necessidade de completar a parte branca dos ossos principalmente das costelas. O [Algoritmo 10](#) faz uma correção da parte interna dos ossos na máscara da pele com a dilatação, visando a função de completar pequenos buracos e erosão (linhas 4 à 7).

**Algoritmo 10:** Experimento 3b - Segmentação dos ossos do tronco

```

1 Início
2   Para (foto ← 1170 até 2029) faça
3     Se (fun_imagem_processamento(foto) == 0) então
4       Entrada: imbin_VM
5       Entrada: imbin_SVM
6       seD ← strel('diamond', 4)
7       imbin_SVM_aux ← imdilate(imbin_SVM, seD)
8       imbin_SVM_aux ← 1 - bwareaopen(1 - imbin_SVM_aux, 1100)
9       imbin_SVM_aux ← imerode(imbin_SVM_aux, seD)
10      seD ← strel('diamond', 2)
11      imbin_VM_aux ← imdilate(imbin_f, seD)
12      imbin_VM_aux ← 1 - bwareaopen(1 - imbin_VM, 500)
13      imbin_VM_int ← imerode(imbin_VM_aux, seD)
14      imbin_VM_int ← imerode(imbin_VM_int, seD)
15      imbin_VM_int ← imerode(imbin_VM_int, seD)
16      imbin_VM_int ← imerode(imbin_VM_int, seD)
17      imbin_VM ← imfill(imbin_VM, 'holes')
18      imbin((imbin_SVM_aux == 1 E imbin_VM == 1) OU
19        imbin_VM_int == 1) ← 1
20      imbin ← 1 - bwareaopen(1 - imbin, 1100)
21      Entrada: foto
22      alpha(imbin == 0) ← 255
23      foto(imbin == 0) ← 0
24      Resultado: foto, alpha
25   FimSe
26 FimPara
27 Fim

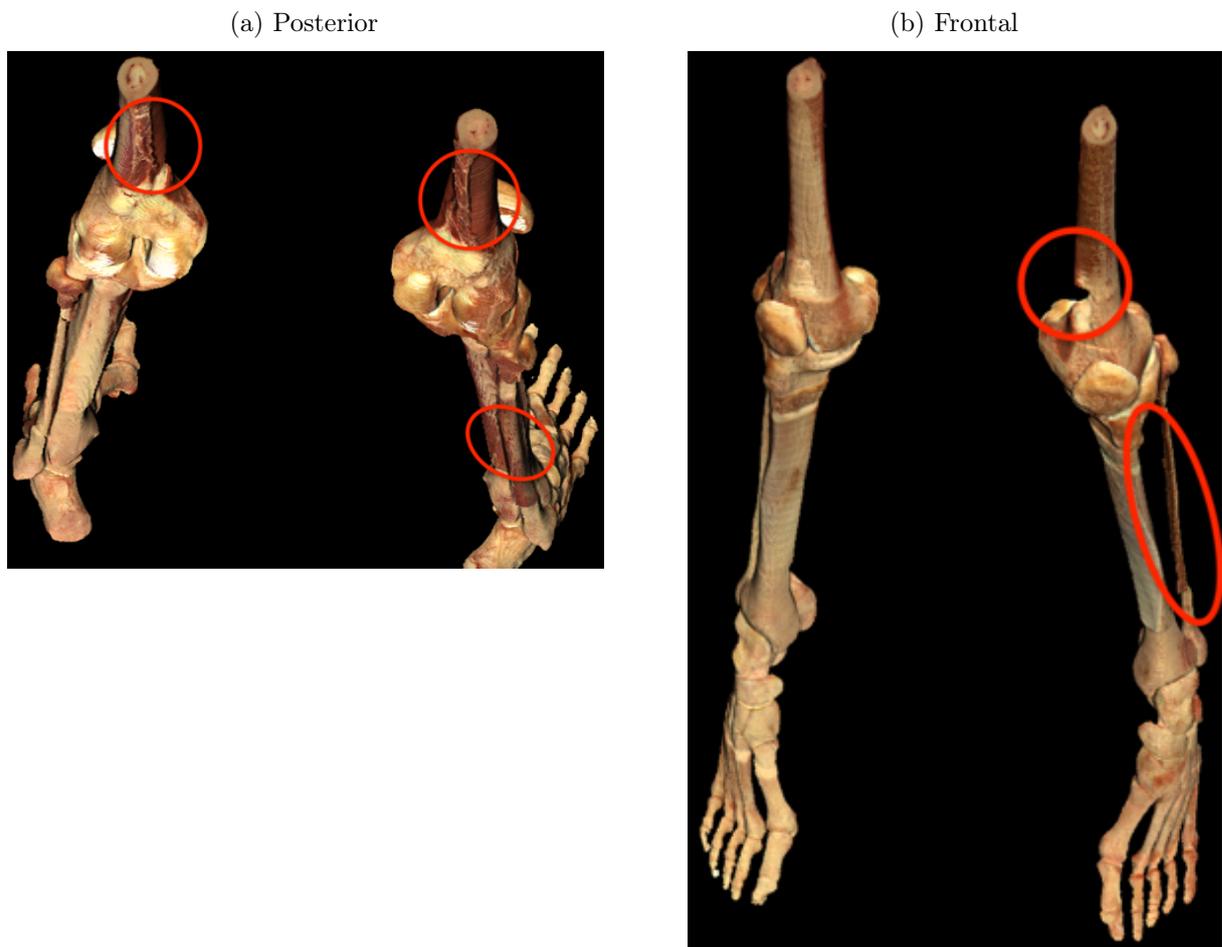
```

Para a máscara do VM foram realizados dois procedimentos: um para extração da parte interna da região de interesse com dilatação, preenchimento de pequenos buracos e sucessivas erosões (da linha 9 à 14) e outro com a reconstituição de todos os buracos (linhas 9 e 15). A máscara resultante foi encontrada a partir da intercessão das máscaras da

pele com a VM, unindo com a parte interior (na linha 16). Na linha 17, foram preenchidos os pequenos espaços, antes de aplicar nas imagens coloridas.

Para reconstrução das pernas foi utilizado o [Algoritmo 5](#), que gerou uma das máscaras, obtida da segmentação da imagens TC com as Deep Learning, conforme descrito na [Subseção 3.3.4](#) (visão geral), no terceiro item. O resultado é apresentado na [Figura 3.6](#), onde em [3.6a](#) , verifica-se a recorrência da região avermelhada e [3.6b](#) a descontinuidade dos ossos, conforme destacado em ambas imagens.

Figura 3.6 – Reconstrução dos ossos da perna



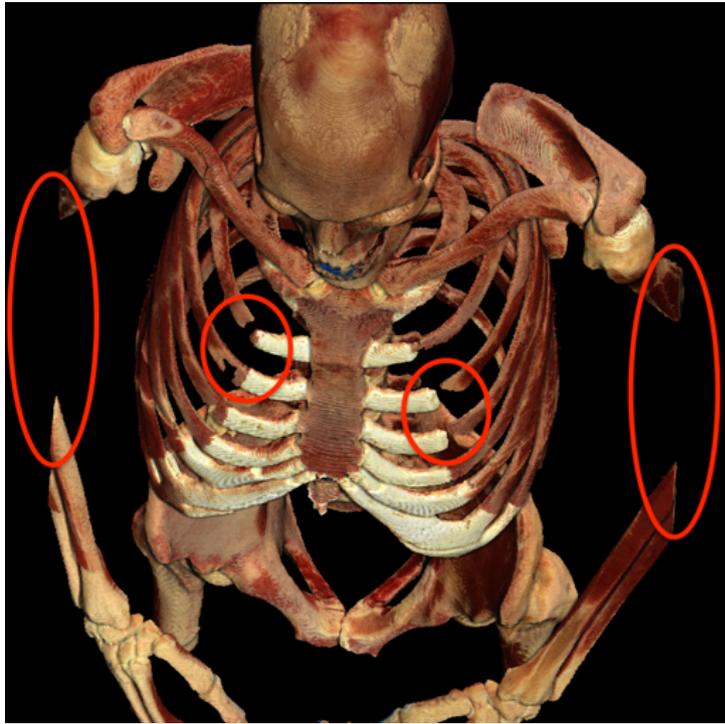
Fonte: Autoria Própria

Para corrigir essa máscara, foram utilizadas as máscaras da pele e ossos, as operações de morfologia matemática e extração dos componentes conectados, parecidos com [Algoritmo 11](#) aplicado aos braços, descrito no Experimento 4.

#### 3.4.2.2 Experimento 4 – Reconstrução

Na [Figura 3.7](#) observa-se que os braços e as costelas precisam de um processamento mais específico, por esse motivo foram estabelecidos os algoritmos de reconstrução.

Figura 3.7 – Reconstrução frontal dos ossos do VM



Fonte: Autorial Própria

Para os braços foram mapeadas as regiões com problemas que variam das imagens 1420 à 1712 para o braço direito e da 1397 à 1738 do esquerdo. Foram geradas 5 versões para cada braço, totalizando 10 programas.

O [Algoritmo 11](#) é um exemplo que foi aplicado às imagens iniciais do braço direito, sendo cortada a imagem para a região de interesse com uma limpeza dos elementos conectados as bordas, o qual é gerado a máscara tridimensional. Depois, é aplicada a dilatação, o preenchimento de buracos, a erosão e a extração dos componentes conectados. Por fim, é empregado a intercessão entre as imagens da máscara gerada com a máscara da pele, atualizando a imagem e o alfa do formato da imagem PNG.

A [Tabela 3.1](#) apresenta as imagens com problemas para a reconstrução das costelas.

Tabela 3.1 – Número das imagens com problemas na geração da costela

<b>direita</b>	<b>esquerda</b>
1381-1386	1373-1383
1413-1427	1411-1420
1452-1467	1451-1459
1501-1504	1482-1498

Fonte: Autorial Própria

**Algoritmo 11:** Experimento 4a - Reconstrução dos ossos dos braços

```

1 Início
2    $pinicial \leftarrow [197, 170]$ 
3    $i \leftarrow 0$ 
4   Para ( $foto \leftarrow 1420$  até 1593) faça
5     Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
6       Entrada:  $imbin\_SVM$ 
7        $imbin\_braco \leftarrow imbin\_SVM(150 : 750, 25 : 500)$ 
8        $imbin\_braco \leftarrow imclearborder(imbin\_braco, 4)$ 
9        $i \leftarrow i + 1$ 
10       $Imvol(:, :, i) \leftarrow imbin\_braco$ 
11    FimSe
12  FimPara
13   $eeS \leftarrow strel('sphere', 2)$ 
14   $Imvol \leftarrow imdilate(Imvol, eeS)$ 
15   $Imvol \leftarrow imfill(Imvol, 6, 'holes')$ 
16   $Imvol \leftarrow imerode(Imvol, eeS)$ 
17   $[L, n1] \leftarrow bwlabeln(Imvol, 6)$ 
18   $Md(L == L(pinicial(1, 1), pinicial(1, 2), 1)) \leftarrow 1$ 
19   $i \leftarrow 0$ 
20  Para ( $foto \leftarrow 1420$  até 1593) faça
21    Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
22      Entrada:  $imbin\_SVM$ 
23       $imbin\_braco\_aux \leftarrow imbin\_SVM(150 : 750, 25 : 500)$ 
24       $i \leftarrow i + 1$ 
25       $imbin\_braco \leftarrow Md(:, :, i)$ 
26       $imbin\_braco(imbin\_braco\_aux == 0) \leftarrow 0$ 
27       $imbin\_aux(imbin\_braco == 1 \text{ E } imbin\_braco\_aux == 1) \leftarrow 255$ 
28       $imbin(150 : 750, 25 : 500) \leftarrow imbin\_aux$ 
29      Entrada:  $foto$ 
30       $alpha(imbin == 0) \leftarrow 255$ 
31       $foto(imbin == 0) \leftarrow 0$ 
32      Resultado:  $foto, alpha$ 
33    FimSe
34  FimPara
35 Fim

```

Para cada intervalo foi implementado um algoritmo, conforme o [Algoritmo 12](#), o qual faz uso da máscara binária dos músculos, onde é identificado o local da região interna do osso e gera a máscara tridimensional para extração dos componentes conectados, consiste em aplicar uma dilatação para reconstrução do osso.

**Algoritmo 12:** Experimento 4b - Reconstrução das costelas

```

1 Início
2    $pinicial \leftarrow [621, 1115]$ 
3    $i \leftarrow 0$ 
4   Para ( $foto \leftarrow 1373$  até 1383) faça
5     Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
6       Entrada:  $imbin\_SVM$ 
7        $i \leftarrow i + 1$ 
8        $Imvol(:, :, i) \leftarrow imbin\_SVM$ 
9     FimSe
10  FimPara
11   $[L, n1] \leftarrow bxlabeln(Imvol, 6)$ 
12   $Md(L == L(pinicial(1, 1), pinicial(1, 2), 1)) \leftarrow 1$ 
13   $i \leftarrow 0$ 
14  Para ( $foto \leftarrow 1373$  até 1383) faça
15    Se ( $fun\_imagem\_processamento(foto) == 0$ ) então
16      Entrada:  $imbin\_SVM$ 
17       $i \leftarrow i + 1$ 
18       $imbin \leftarrow Md(:, :, i)$ 
19       $eeD \leftarrow strel('diamond', 6)$ 
20       $imbin \leftarrow imdilate(imbin, eeD)$ 
21      Entrada:  $foto$ 
22       $alpha(imbin == 0) \leftarrow 255$ 
23       $foto(imbin == 0) \leftarrow 0$ 
24      Resultado:  $foto, alpha$ 
25    FimSe
26  FimPara
27 Fim

```

### 3.5 Considerações Finais

Este Capítulo apresentou as características das imagens que são utilizadas como resolução, o tamanho do pixel e a quantidade de bytes que as figuras ocupam. Também relatou alguns problemas na base e como foram solucionados.

Abordou o método proposto, que é um modelo para geração das máscara como o SVM, a técnica de registro e a geração por *Deep Learning* e o pós-processamento composto por operações morfológicas, componentes conectados e teoria de conjuntos.

Descreve também os Experimentos e os algoritmos referentes a extração do gelo, a segmentação do ossos e as suas correções.

## 4 Análise e Discussão dos Resultados

Neste Capítulo é apresentada uma discussão dos resultados obtidos com os Experimentos que contribuíram com o projeto mesa de dissecação virtual a partir da segmentação obtida do *The Visible Human Project*. A [Seção 4.1](#) mostra os resultados da extração do gelo, com aplicação do algoritmo nas imagens reduzidas do VM, como recursos de comparação e depois nas imagens em alta definição do VHP, referentes aos Experimentos 1 e 2.

A [Seção 4.2](#) aborda o resultado do Experimento 3, referente a extração dos ossos e é comparado com o modelo exibido por outros trabalhos, que aplicam a renderização e a reconstrução dos braços e das costelas do Experimento 4. Finalmente, a [Seção 4.3](#) é feita uma análise dos resultados.

### 4.1 Resultados dos Experimentos 1 e 2

Os resultados da primeira fase do PMDV foram obtidos com as máscaras do gelo interno e externo ([Algoritmo 3](#)), com pós-processamento o [Algoritmo 7](#) e o [Algoritmo 8](#), utilizados nos Experimentos 1 e 2, respectivamente

Foram divididas duas sub-seções, em ambas foram utilizadas a mesma base de treinamento:

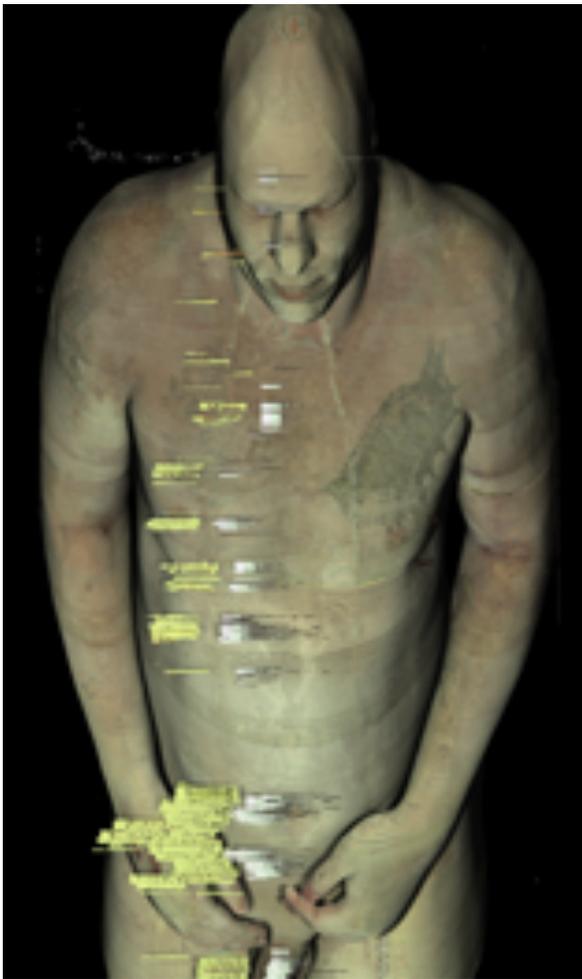
1. na [Subseção 4.1.1](#) nos Experimentos foram aplicados a base do VM, que é um banco de imagens do VHP reduzidas para 573x330, proporcionando a comparação entre o resultado fornecido pelo VM com os Experimentos realizados e
2. na [Subseção 4.1.2](#) foi aplicado a base VHP nas imagens 2k masculino, após serem alinhadas e cortadas.

#### 4.1.1 Resultado nas imagens do VM

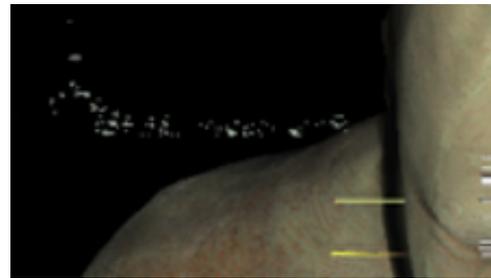
A [Figura 4.1a](#) é o resultado da segmentação do SVM utilizando elementos de bordas de algumas figuras para treinamento, observam-se vários ruídos visíveis, principalmente referente a paleta de cor (ruído cinza) e a numeração das fatias (ruído em amarelo), esses ruídos podem ser observados na [Figura 3.1](#), onde é apresentada a imagem da fatia completa. Porém, têm alguns ruídos mais complicados de serem visualizados, que prejudicam a geração do modelo 3D, como é mostrado na [Figura 4.1b](#), onde foi aplicado um zoom próximo à cabeça, o que tornou os ruídos mais visíveis.

Figura 4.1 – Reconstrução e ruídos após aplicação do SVM no formato VM

(a) Modelo 3D



(b) Zoom da imagem (4.1a)



Fonte: Autoria Própria

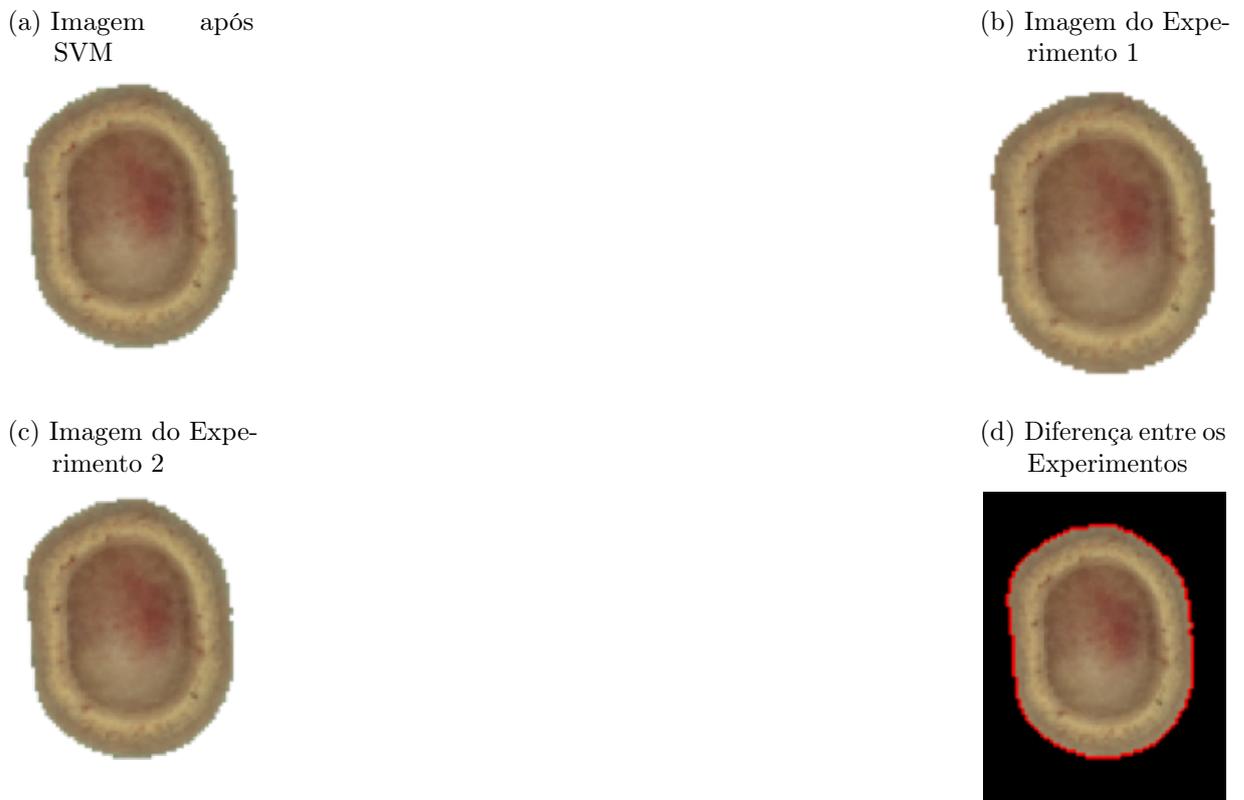
Para apresentar os resultados obtidos antes da reconstrução 3D, optou-se pela escolha de duas fatias, representadas pelas imagens 1010 (Fig. 4.2) e 1400 na Figura 4.3 e 4.4.

Na Figura 4.2 observa-se que em 4.2a, 4.2b e 4.2c os resultados parecem os mesmos, sendo difícil identificar a diferença entre eles. Porém os resultados do SVM (4.2a) e o Experimento 2 (4.2c) apresentaram os mesmos resultados. Contudo o Experimento 1 (4.2b) tem um pixel a menos exibindo a borda um pouco mais escura, isso fica evidenciado com a diferença entre as imagens, representadas na Figura 4.2d pela região vermelha.

Com isso, ponderaria a necessidade de um pós processamento, com suavização de bordas, extração da região de interesse, porém aplicando um zoom na imagem 1400 do VM após a aplicação do SVM, dos Experimentos 1 e 2 e estando de posse do resultado fornecido pelo VM, é possível perceber em destaque, Figura 4.3a, a presença de pixels isolados. Na imagem segmentada do VM, Figura 4.3d, percebe-se uma camada um pouco

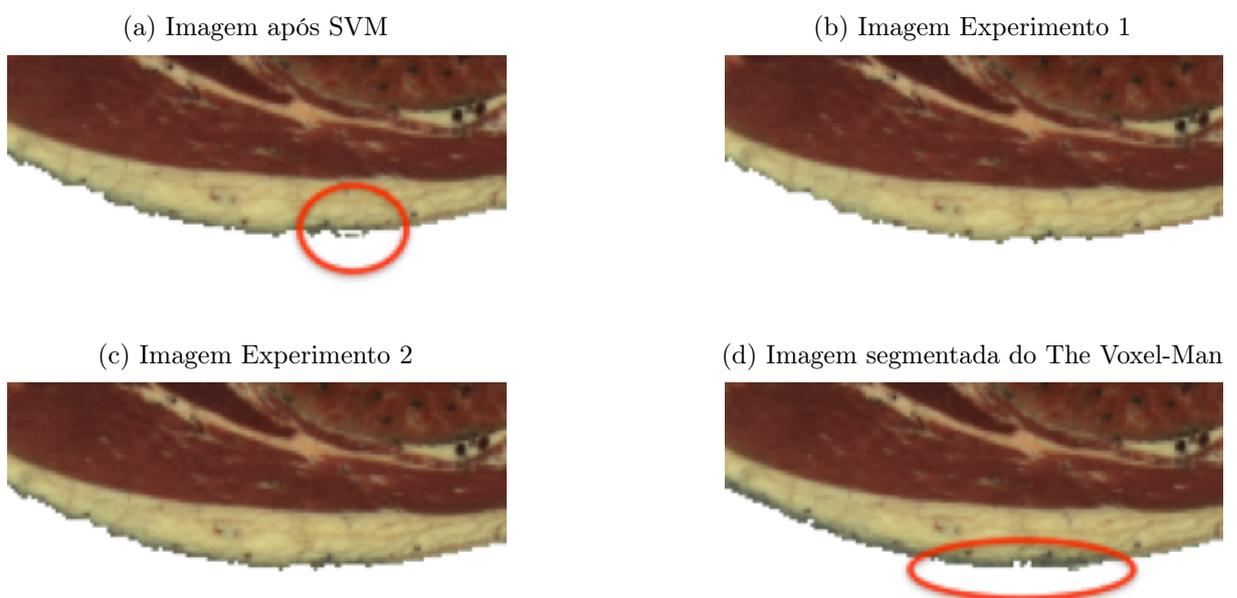
mais escura e nos Experimentos, [Figura 4.3b](#) e [4.3c](#) uma camada mais fina.

Figura 4.2 – Resultados obtidos na imagem 1010 no formato VM



Fonte: Autoria Própria

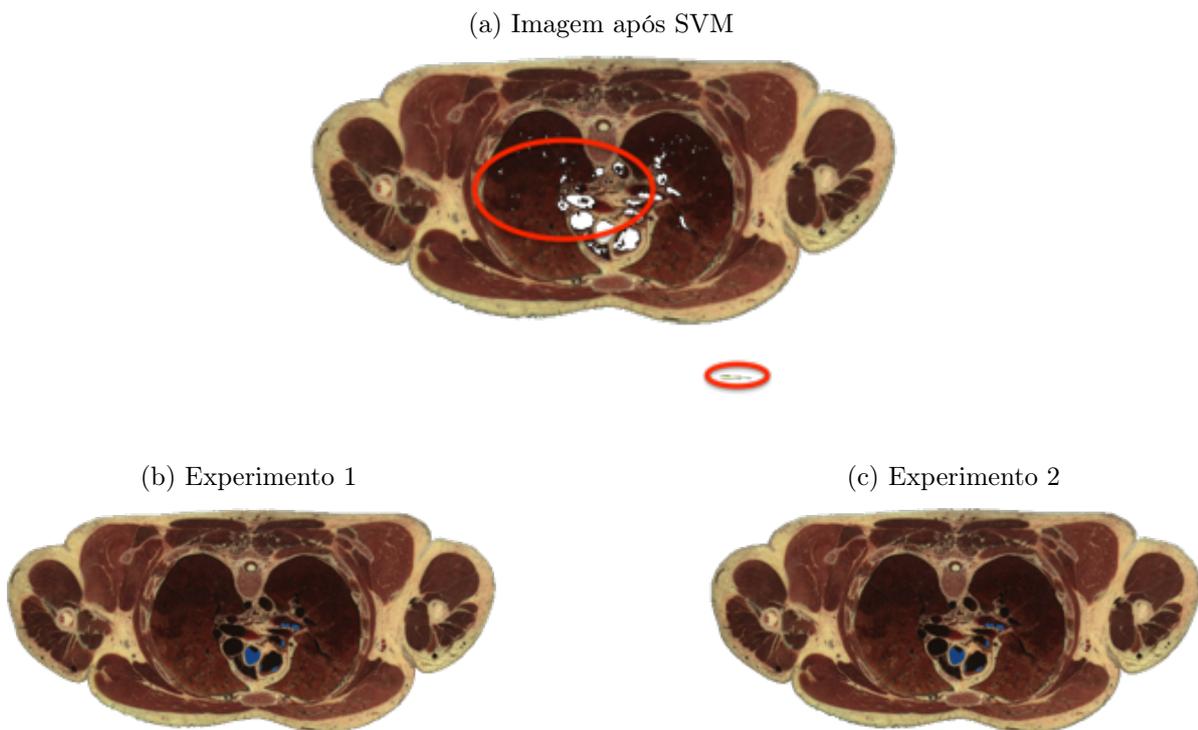
Figura 4.3 – Resultados obtidos na imagem 1400 no formato VM com zoom das bordas



Fonte: Autoria Própria

Na [Figura 4.4](#) referente a mesma imagem da [Figura 4.3](#), observa-se que os ruídos externos foram eliminados após o processamento. Porém na região de interesse, houve a extração não apenas do gelo interno, como também de áreas de interesse. Por isso, optou-se pelo preenchimento de região, o que acabou inserindo, novamente, o gelo interno. Para resolver esse problema, foi aplicado um novo SVM treinado para um tipo específico de azul, o resultado é apresentado nas imagens 2k , na [Subseção 4.1.2](#) na [Figura 4.7b](#) e [4.7c](#).

Figura 4.4 – Resultados obtidos na imagem 1400 no formato VM



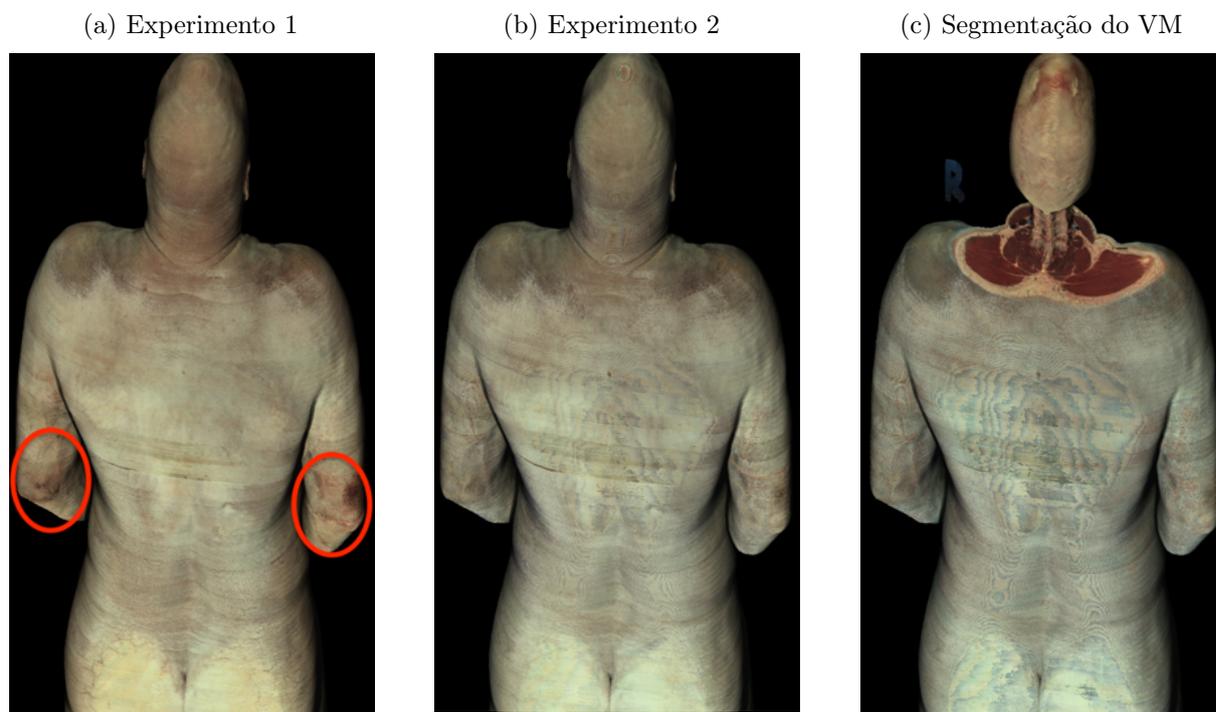
Fonte: Autoria Própria

O efeito obtido por meio do resultado de suavização de bordas pode ser melhor entendido na reconstrução 3D realizada e apresentada na [Figura 4.5](#) e [4.6](#). Na [Figura 4.5](#) tem-se a reconstrução 3D com as imagens das costas.

O Experimento 1, [Figura 4.5a](#) tem um resultado aparentemente mais suavizado, porém nos dois braços, na região mais próxima dos cotovelos, a segmentação aplicada avança um pouco abaixo da pele, apresentando tons mais próximos do vermelho.

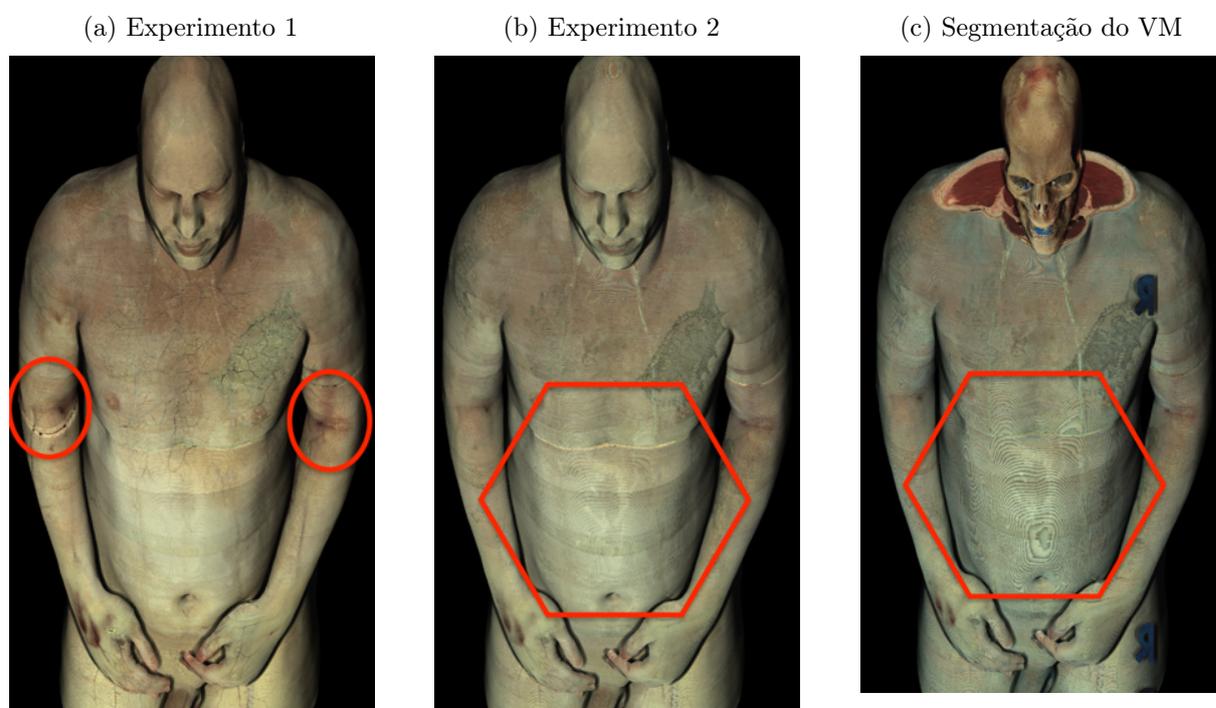
No Experimento 2, [Figura 4.5b](#) , tem-se um resultado um pouco menos suavizado, no entanto, na região dos cotovelos a melhoria da qualidade é perceptível. A reconstrução da segmentação do VM, [Figura 4.5c](#), se comparada com as anteriores, apresenta mais ranhuras na região das costas, o que inicialmente leva a considerar que o Experimento 2, [Figura 4.5b](#), apresenta um resultado um pouco melhor que as demais opções.

Figura 4.5 – Reconstrução posterior no formato VM



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.6 – Reconstrução frontal no formato VM



Fonte: Autoria Própria

Para uma melhor avaliação dessas constatações, foram observadas os resultados frontais da reconstrução 3D, [Figura 4.6](#).

Ao visualizar o Experimento 1, [Figura 4.6a](#), principalmente a região na altura dos cotovelos e nas mãos, identifica-se tons mais. Caracterizando que o processo de segmentação excluiu suavemente parte da pele. Esta constatação também justifica o fato de que na região do tórax algumas veias são perceptíveis, bem como, na região do braço direito do corpo, logo acima do bíceps, a tatuagem praticamente desaparece.

Já no Experimento 2, [Figura 4.6b](#), estão ausentes essas falhas, com exceção da mão direita que, apesar de suavizada, ainda tem parte do dorso um pouco avermelhada. A reconstrução 3D do VM, [Figura 4.6c](#), apresenta um resultado melhor, se comparada do Experimento 1, [Figura 4.6a](#). No entanto, na região abaixo do tórax até o umbigo, a imagem tem menor suavização do que no Experimento 2.

Concluindo que o Experimento 2 foi o que gerou o melhor resultado para essas imagens reduzidas.

#### 4.1.2 Resultado nas imagens 2k do VHP

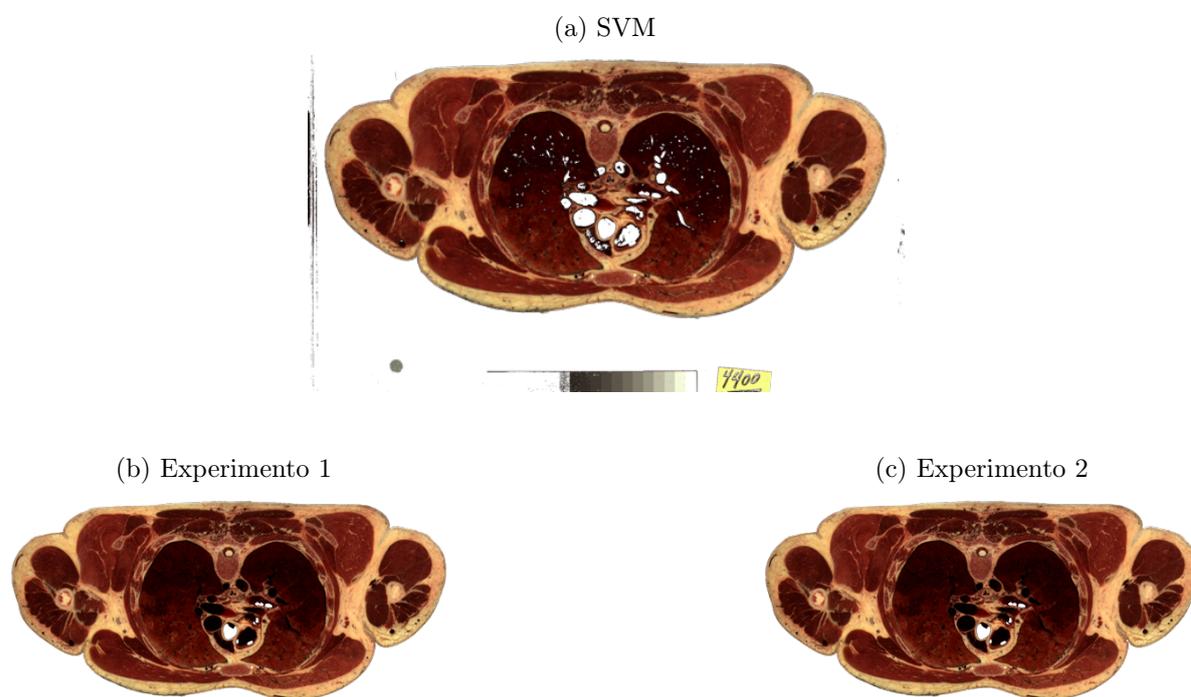
Em geral, as imagens 2k tiveram o mesmo comportamento que as imagens reduzidas do VM, observa-se nas figuras [4.4a](#) e [4.7a](#) que as bordas foram parecidas. Verifica-se também, uma quantidade maior de ruídos, seja interno, com estruturas perdidas, quanto externos.

Comparando a [Figura 4.4b](#) e [4.4c](#) com a [Figura 4.7b](#) e [4.7c](#), percebe-se que foi extraído o gelo interno e reconstruídas as partes perdidas, com o preenchimento e com um SVM de extração do gelo, específico para região interna.

Entretanto, as imagens 2k apresentaram outros problemas, identificados abaixo pela numeração das fatias:

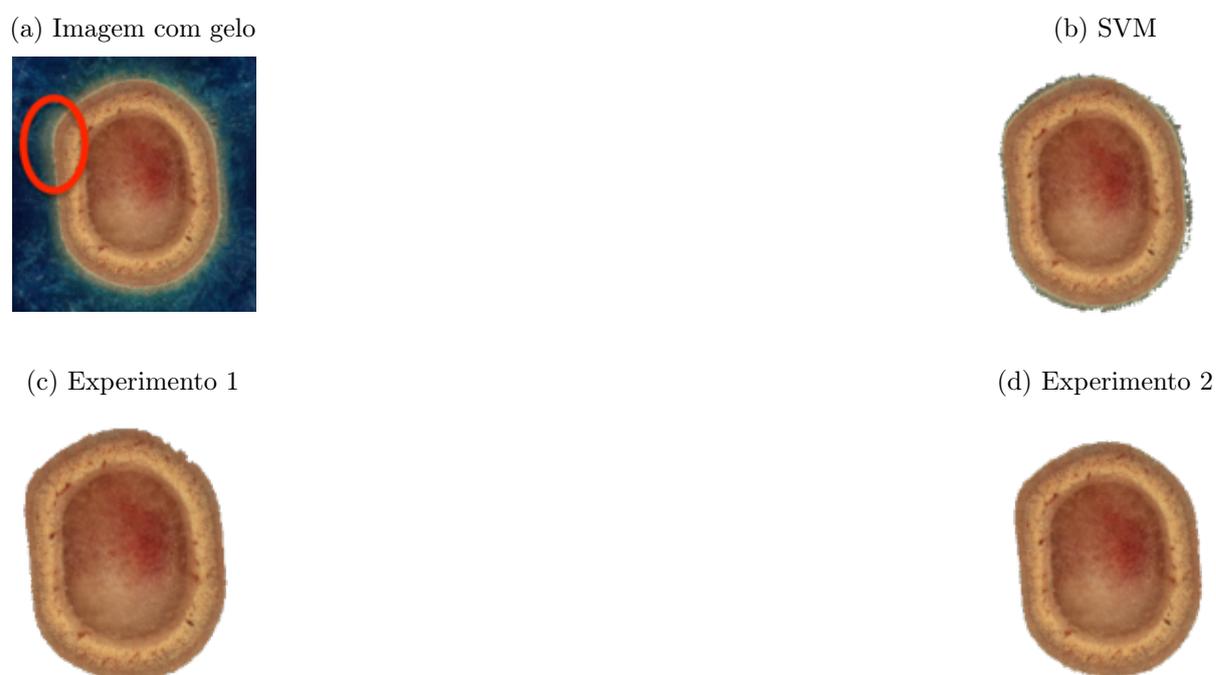
- de 1001 até 1040, referentes a cabeça, como na [Figura 4.8a](#), apresentam ruídos próximos a região de interesse, provavelmente é o reflexo do crescimento da cabeça e na [Figura 4.8b](#) mostra o comportamento do SVM com os ruídos e
- de 1508 até 1625, referentes ao braço, representada pela [Figura 4.9a](#); observa-se que do lado direito não há uma camada de gelo entre o corpo e a borda, [Figura 4.9c](#); o que provavelmente acabou ferindo a pele levemente como observado na [Figura 4.10](#); raspando o braço na colocação dentro do molde e no esquerdo, tem-se uma parte avermelhada, tudo indica que é o resquício de sangue congelado, devido à injeção letal; a [Figura 4.9d](#) evidencia esses ruídos, após o SVM.

Figura 4.7 – Resultados obtidos na imagem 1400



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.8 – Problema e resultados obtidos na Imagem 1010



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.9 – Problemas e resultado obtido na imagem 1550

(a) Imagem com gelo



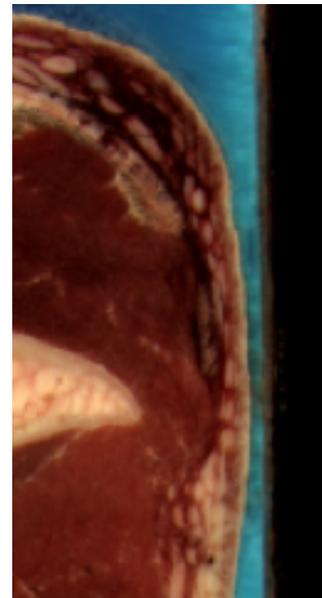
(b) Resultado do SVM



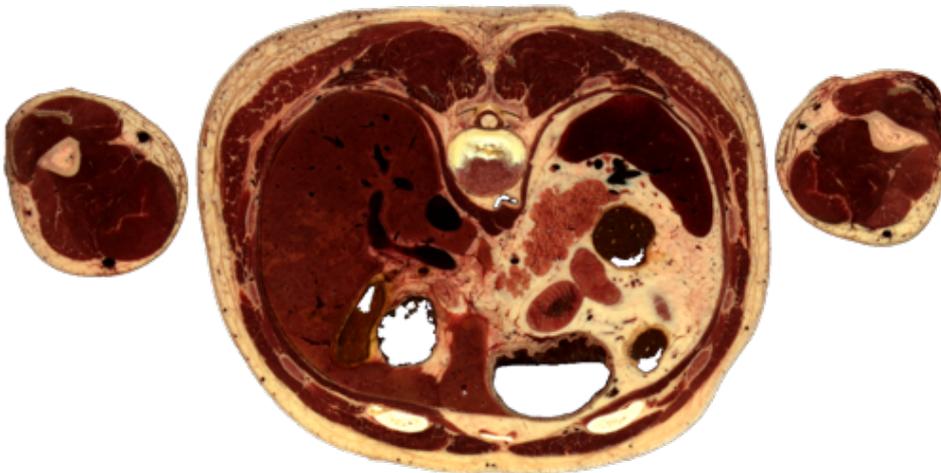
(c) Problema do Braço Direito



(d) Problema do Braço Esquerdo

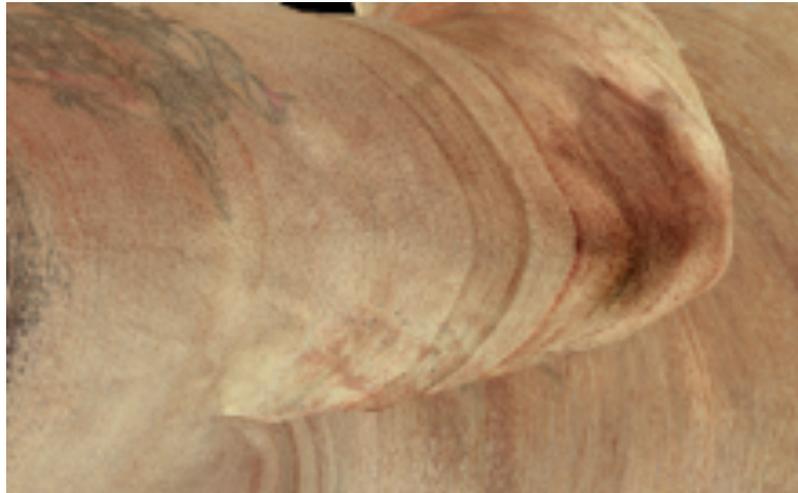


(e) Resultado do Experimento 2



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.10 – Escoriação no braço



Fonte: Autoria Própria

Para ambos os casos, foi necessária a utilização de um novo SVM, com pixel escolhido especialmente para cada caso. Porém, os braços apresentaram outros problemas, que foram resolvidos com uma máscara gerada da fatia anterior, com as bordas da imagem em uso. O resultado é apresentado na [Figura 4.9e](#), referente ao Experimento 2.

## 4.2 Resultados dos Experimentos 3 e 4

Os resultados da segunda fase do PMDV foram obtidos por meio da intercessão da máscara da pele ([Algoritmo 3](#)) com a máscara de registro, provenientes do VM ou da *Deep Learning* e junto a vários algoritmos de pós-processamento, apresentadas em duas sub-seções, para os Experimentos 3 e 4.

### 4.2.1 Resultados obtidos com o Experimento 3

Os resultados apresentados na [Figura 4.11](#) são referentes à intercessão das máscaras provenientes do SVM ([Algoritmo 3](#)) e do registro do VM ([Algoritmo 4](#)), para determinar a região de interesse, com pós-processamento realizado pelos [Algoritmo 9](#) e [Algoritmo 10](#), composto por morfologia matemática e extração de componentes conectados em 3D, para suavização de bordas e restauração da parte interna do osso, aplicados a cabeça, ao tronco e aos membros superiores, os efeitos foram comparados com a [Figura 3.5](#), observa-se:

- a) na [Figura 4.11a](#) e [3.5a](#) houve uma redução na região vermelha, principalmente na escápula, nas costelas, no crânio e nos braços;

- b) na [Figura 4.11b](#) referente a imagem 1100 do VHP, na região das bordas externas, evidenciada na [Figura 3.5b](#), o problema foi corrigido, como também no osso nasal;

Figura 4.11 – Resultados do Experimento 3 - cabeça, tronco e membros superiores

(a) Reconstrução Posterior



(b) Imagem 1100



(c) Imagem 1300



Fonte: Autoria Própria

- c) na [Figura 4.11c](#), referente a imagem, na qual o osso do braço foi corrigido, tendo sua região interna preenchida com o que faltava na [Figura 3.5c](#), a parte dos músculos

foram retiradas suavizando as bordas e foi corrigido também a parte de coluna vertebral.

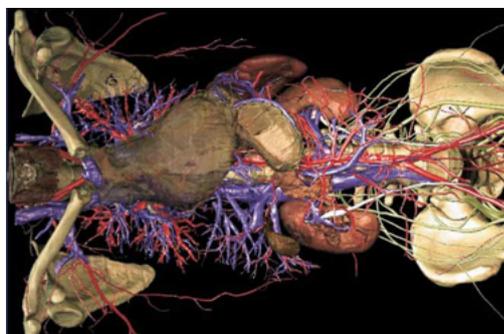
Essas melhorias são igualmente observadas na região frontal, principalmente na pelve óssea, na [Figura 4.12](#) e [3.7](#).

Figura 4.12 – Reconstrução frontal dos ossos



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.13 – Modelo renderizado do [Pommert et al. \(2006\)](#)



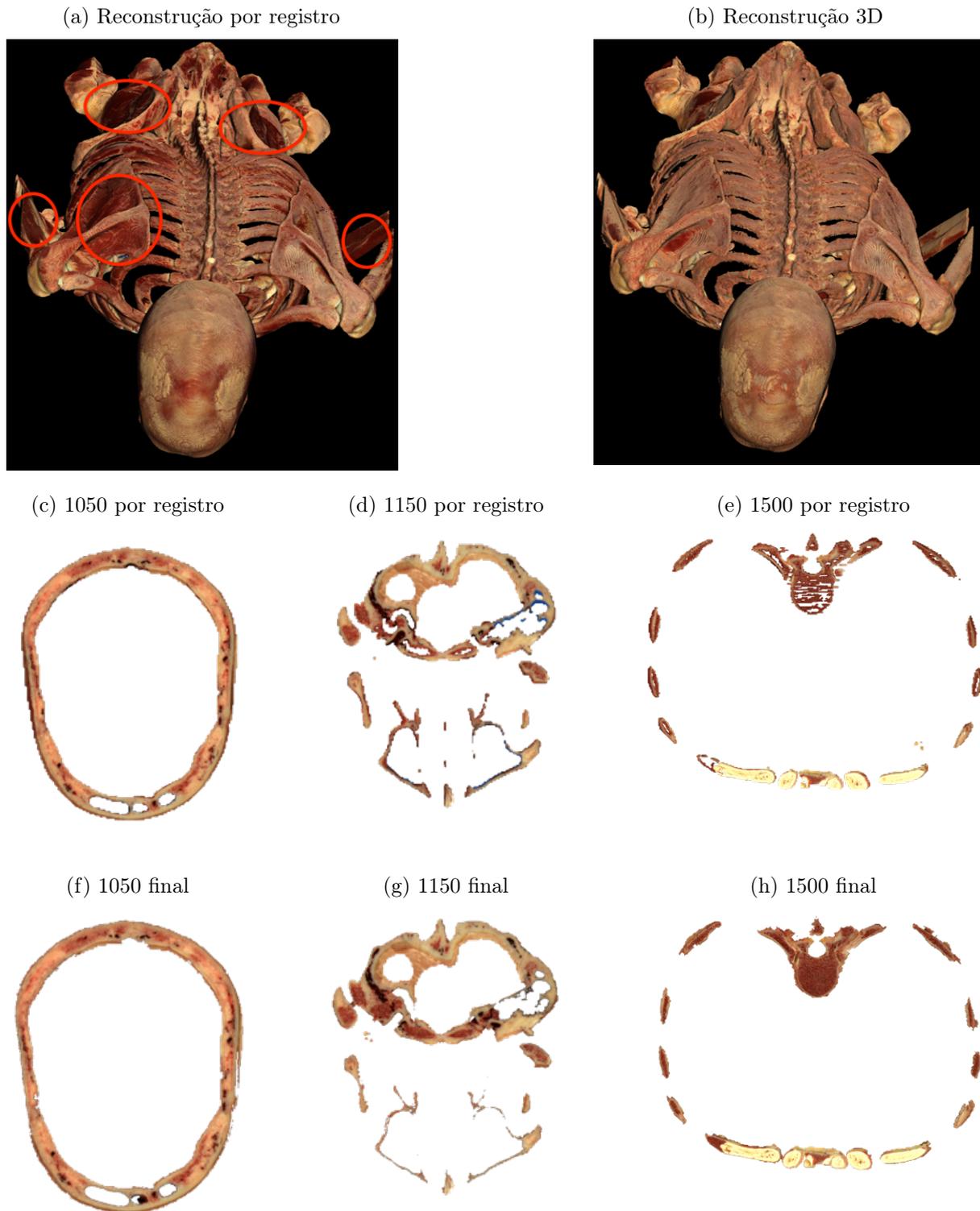
Fonte: [Pommert et al. \(2006\)](#)

Quando comparados os resultados obtidos (Fig [4.12](#)) com imagens renderizadas, [Figura 4.13](#), ou a [Figura 2.16d](#) exibida no *Anatomege*, ou ainda com as do VM, [Figura 2.14](#),

elas parecem mais reais, mais vivas, deixam de lado a sensação de plasticidade, corpo humano real, proporcionando mais realidade e detalhes.

As melhorias obtidas com o método podem ser verificadas também na [Figura 4.14](#).

Figura 4.14 – Comparação dos resultados da segmentação dos ossos



Fonte: Autoria Própria

Onde a [Figura 4.14a](#), [4.14c](#), [4.14d](#) e [4.14e](#) foram obtidas com a técnica de registro, já a [Figura 4.14b](#), [4.14f](#), [4.14g](#) e [4.14h](#) com o processo desenvolvido nesse trabalho. Observa-se a reconstrução dos ossos e a extração da parte avermelhada referente aos músculos.

Nota-se na [Figura 4.14d](#) e [4.14g](#), na região interna do crânio, a presença de resquícios do cérebro, para extração desse ruído foi necessário a implementação do [Algoritmo 13](#) que resultou na [Figura 4.15](#).

<b>Algoritmo 13:</b> Correção dos ossos da cabeça	
1	<b>Início</b>
2	<b>Para</b> ( <i>foto</i> $\leftarrow$ 1044 até 1150) <b>faça</b>
3	<b>Se</b> ( <i>fun_imagem_processamento</i> ( <i>foto</i> ) == 0) <b>então</b>
	<b>Entrada:</b> <i>imbin_esq</i>
4	<i>imbin_esq_aux</i> $\leftarrow$ <b>imfill</b> ( <i>imbin_esq</i> , 'holes')
5	<i>imbin_esq_aux</i> $\leftarrow$ <i>imbin_esq_aux</i> - <i>imbin_esq</i>
6	<i>eeD</i> $\leftarrow$ <b>strel</b> ('diamond', 8)
7	<i>imbin_esq_aux</i> $\leftarrow$ <b>imdilate</b> ( <i>imbin_esq_aux</i> , <i>eeD</i> )
8	<i>eeD</i> $\leftarrow$ <b>strel</b> ('diamond', 6)
9	<i>imbin_esq</i> $\leftarrow$ <b>imdilate</b> ( <i>imbin_esq</i> , <i>eeD</i> )
10	<i>imbin_esq</i> $\leftarrow$ 1 - <b>bwareaopen</b> (1 - <i>imbin_esq</i> , 5000)
11	<i>eeD</i> $\leftarrow$ <b>strel</b> ('diamond', 5)
12	<i>imbin_esq</i> $\leftarrow$ <b>imerode</b> ( <i>imbin</i> , <i>eeD</i> )
13	<i>imbin_esq</i> ( <i>imbin_esq_aux</i> == 1) $\leftarrow$ 0
	<b>Entrada:</b> <i>foto</i>
14	<i>alpha</i> ( <i>imbin_esq</i> == 0) $\leftarrow$ 255
15	<i>foto</i> ( <i>imbin_esq</i> == 0) $\leftarrow$ 0
	<b>Resultado:</b> <i>foto</i> , <i>alpha</i>
16	<b>FimSe</b>
17	<b>FimPara</b>
18	<b>Fim</b>

Figura 4.15 – Resultado final da imagem 1150



Fonte: Autoria Própria

Esse algoritmo nas linhas 4 e 5 une-se a região interna com processo de preenchimento de buracos e subtração, por meio da dilatação com elemento estruturante igual 8 e outro com 6 (nas linhas 6 à 9). Nas linhas 10 à 12 é feito o preenchimento de buracos menores de 5000 e de uma erosão de tamanho 5, implicando numa solução ideal (linha 13).

Ainda analisando a [Figura 4.14b](#), observa-se que permanecem algumas regiões vermelhas, como na escápula do braço direito e outras regiões, o que se fez necessário utilizar um algoritmo direcionado para essas regiões, composto de morfologia matemática e a intercessão com a máscara do SVM, para correção.

Continuando no Experimento, para a segmentação das pernas foram utilizados para geração das máscaras o SVM ([Algoritmo 3](#)) o registro obtido com a segmentação das imagens TC ([Algoritmo 5](#)) e como pós-processamento um algoritmo semelhante ao [Algoritmo 11](#), o resultados são apresentados na [Figura 4.16](#).

Observa-se na [Figura 4.16a](#) que os ossos do fêmur e da fíbula, ressaltados na [Figura 3.6a](#), corrigidos, sem evidências de imperfeições, como também, o processo como um todo, suavizou as bordas, retirando o excesso de músculos. O mesmo ocorre na [Figura 3.6b](#) e [4.16b](#), nas quais são expostas suas correções.

Figura 4.16 – Resultados do Experimento 3 - membros inferiores

(a) Posterior



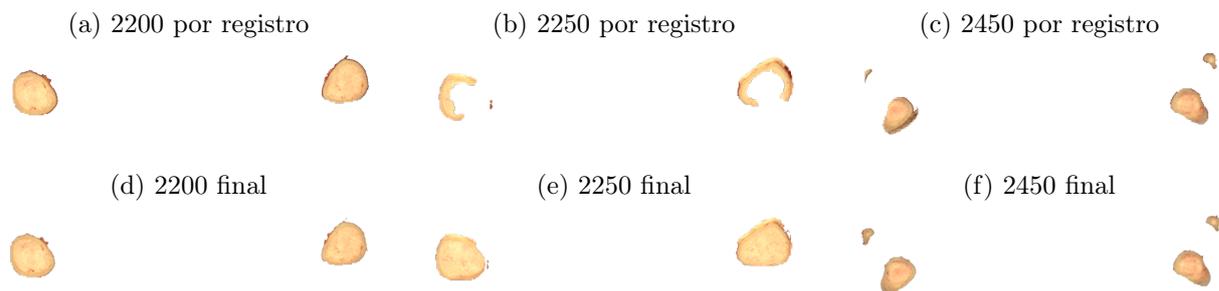
(b) Frontal



Fonte: Autoria Própria

Essas melhorias novamente podem ser visualizadas nas fatias, [Figura 4.17](#). A maioria das fatias foram iguais a 2200, segmentadas corretamente nos dois processos, tendo apenas uma suavização nas bordas, reduzindo o ruído, [Figura 4.17a e 4.17d](#). Porém, em algumas regiões como a do fêmur, identificadas na [Figura 3.6b e 4.17b](#), houve problemas na segmentação, corrigidos de forma semelhante aos braços. O mesmo ocorre com a fíbula da perna direita, [Figura 4.17c](#), suas correções são apresentadas na [Figura 4.17e e 4.17f](#), respectivamente.

Figura 4.17 – Comparação dos resultados para os ossos das pernas

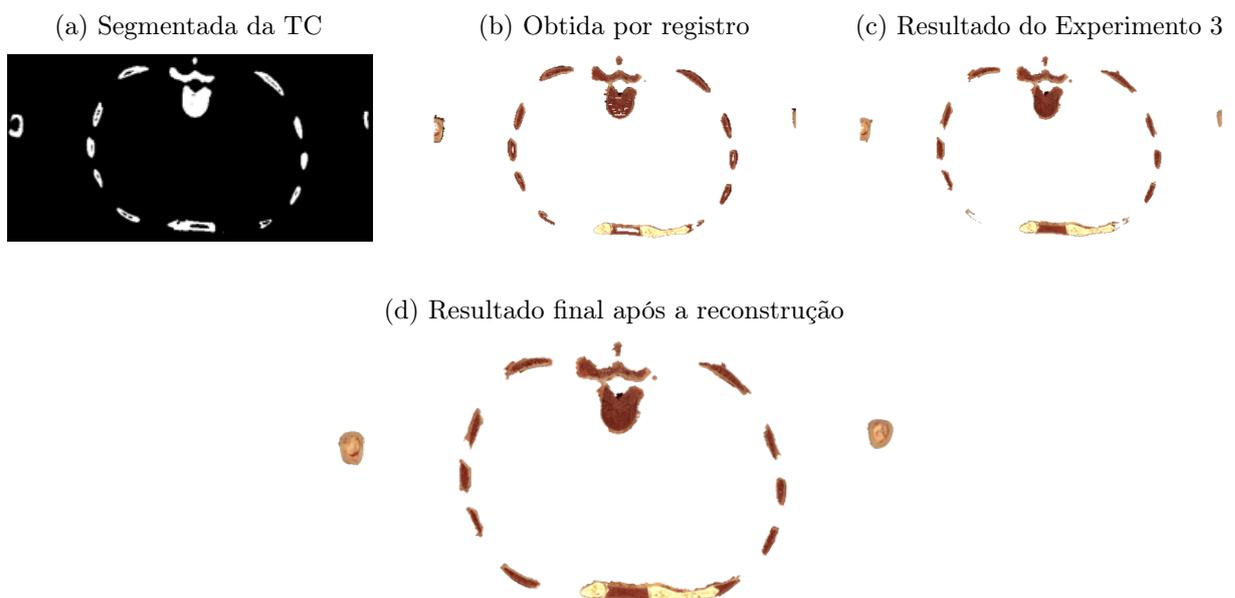


Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.2 Resultados obtidos com o Experimento 4

Algumas regiões de interesse dos ossos não estavam presentes nas máscaras, nem por registro, sequer no *Deep Learning*. Tais observações, são apresentadas na [Figura 4.18](#).

Figura 4.18 – Comparação dos resultados para imagem 1455



Fonte: Autoria Própria

Onde temos na [Figura 4.18a](#) o resultado da segmentação da imagens TC, local que a região do braço não aparece. Na [Figura 4.18b](#) vê-se o resultado obtido por registro e na [Figura 4.18c](#) o resultado obtido com o método desenvolvido. Porém a aplicação da máscara do SVM, que contém a pele e os ossos, com o [Algoritmo 11](#) aplicado na região dos braços resultou na [Figura 4.18c](#).

Na delimitação do osso da costelas, foi utilizado o [Algoritmo 12](#), parecido com o dos braços, porém a [Figura 4.19](#) mostra outro problema que surgiu nessa. Na [Figura 4.19a](#) é apresentado a imagem da base sem o gelo e na [Figura 4.19b](#) o resultado da segmentação do VM.

Na [Figura 4.19c](#) temos um zoom da região com problema, antes da segmentação e na [Figura 4.19d](#) o zoom do osso, obtido pelo VM. Na [Figura 4.19e](#) identificou-se que o osso não foi totalmente reconstituído, por causa da fina camada da sua parte rígida, mais dura.

Para resolver esse problema, optou-se por utilizar as *splines*, o [Algoritmo 14](#) é aplicado nas imagens 1411 à 1418, onde é identificada a região de interesse (linha 4) e é aplicada a função *splines\_osso*.

**Algoritmo 14:** Correção dos ossos por splines

```

1 Início
2   Para (foto ← 1411 até 1418) faça
3     Se (fun_imagem_processamento(foto) == 0) então
4       Entrada: imbin_esq
5       imbin_esq_aux ← imbin_esq(620 : 800, 970 : 1300)
6       imbin_esq_aux ← splines_osso(imbin_esq_aux)
7       imbin_esq(620 : 800, 970 : 1300) ← imbin_esq_aux
8       Entrada: foto
9       alpha(imbin_esq == 0) ← 255
10      foto(imbin_esq == 0) ← 0
11     Resultado: foto, alpha
12   FimSe
13 FimPara
14 Fim

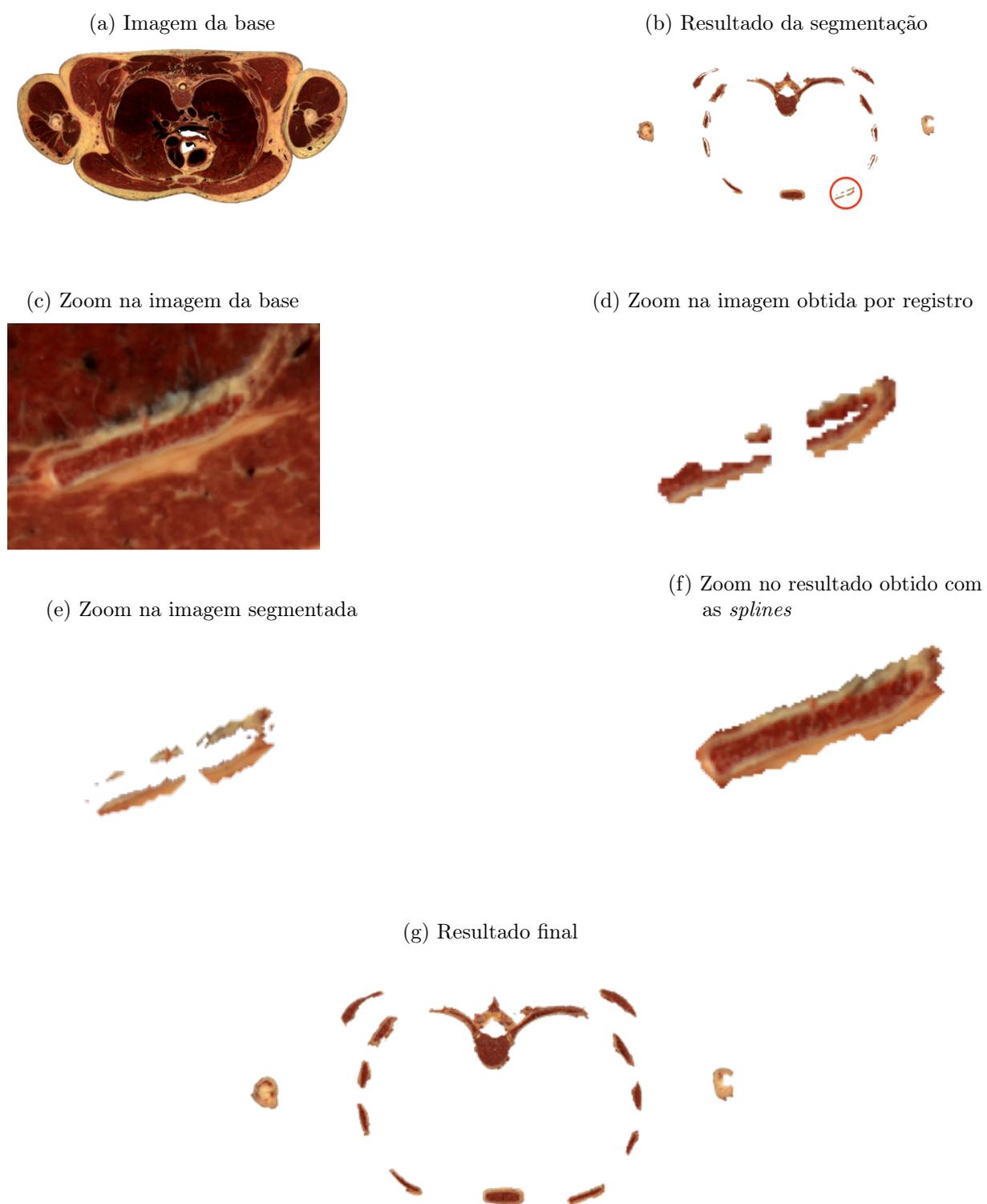
```

O [Algoritmo 15](#), que identifica os pontos por cima e por baixo nas linhas 4 e 5, com espaçamento de 4 pixels. Após encontrar os pontos procura-se a região convexa da região por cima, com as linhas 5 à 11 e por baixo, com as linhas 12 à 17.

Aplica-se as *splines* cúbicas do Matlab a esse ponto, nas linhas 19 à 28, com espaçamento de um pixel (linha 19 e 24), retornando o contorno da imagem. Após isso é aplicado uma dilatação com elemento estruturante de tamanho 2 e o fechamento dos buracos nas linhas 29 à 31 é empregado a imagem original.

A aplicação ocorreu na [Figura 4.19e](#) e o resultado obtido é apresentado na [Figura 4.19f](#). Observa-se a restituição completa do osso e o resultado final na [Figura 4.19g](#).

Figura 4.19 – Problema na segmentação da costela e resultado obtido pelas Splines na imagem 1411



**Algoritmo 15:** Função para aplicação das splines

```

1 funcao imagem=splines_osso(imbin)
2   imbin ← imfill(imbin,'holes')
3   pfigj ← identifica_ponto_cima(imbin)
4   pfigib ← identifica_ponto_baixo(imbin)
5   Para (kk ← 2 até n - 1) faça
6     Se (((pfigi(kk)-pfigif(t1))-(pfigi(kk+1)-pfigif(t1)))/((pfigj(kk+1)-pfigjf(t1))-
7       (pfigj(kk)-pfigjf(t1))) <= 0)
8       então
9         t1 ← t1 + 1
10        pfigjf(t1) ← pfigj(kk)
11        pfigif(t1) ← pfigi(kk)
12      FimSe
13    FimPara
14  Para (kk ← 2 até m - 1) faça
15    Se (((pfigib(kk)-pfigifb(t2))-(pfigib(kk+1)-pfigifb(t2)))/((pfigj(kk+1)-
16      pfigjfb(t2))-(pfigj(kk)-pfigjfb(t2)))) >= 0)
17      então
18        t2 ← t2 + 1
19        pfigjfb(t2) ← pfigj(kk)
20        pfigifb(t2) ← pfigib(kk)
21      FimSe
22    FimPara
23  xx ← [min(pfigjf) : 1 : max(pfigjf)]
24  yy ← spline(pfigjf,pfigif,(min(pfigjf) : 1 : max(pfigjf)))
25  Para (pit ← 1 até tt1) faça
26    | figura(yy(pit),xx(pit)) ← 1
27  FimPara
28  xxx ← [min(pfigjfb) : 1 : max(pfigjfb)]
29  yyy ← spline(pfigjfb,pfigifb,(min(pfigjfb) : 1 : max(pfigjfb)))
30  Para (pit ← 1 até tt1) faça
31    | figura(yy(pit),xxx(pit)) ← 1
32  FimPara
33  seD ← strel('diamond',2)
34  figura ← imdilate(figura,seD)
35  figura ← imfill(figura,'holes')
36  imagem ← figura
37 fim

```

## 4.3 Análise Crítica dos Resultados

Este trabalho teve como propósito segmentar as imagens coloridas do VHP, proporcionando um banco de imagens, separado por sistemas do corpo humano para a reconstrução 3D, sem renderização, sem diminuir a resolução, mantendo a qualidade das imagens. [Gonzalez e Woods \(2010\)](#) deixam claro que a segmentação pode determinar o futuro de um projeto, conduzindo-o ao fracasso ou tornando-o um sucesso. Seguindo essa premissa, vê-se a grande importância do processo de segmentação no PDMV.

A análise dos resultados que serão expostos nas próximas duas seções, são provenientes do estudo feito juntamente com os professores Carlos José Gomes, Geraldo Alberto Sebben e Lara Guerios da Escola da Ciências da Vida e da Medicina da PUCPR, em conjunto com o técnico do laboratório de anatomia, Paulo Henrique Zink. Eles supervisionaram e contribuíram no processo de segmentação.

O professor Carlos José Gomes teve relevância especial na exposição das aulas de anatomia, expondo e explicando as estruturas de um cadáver *in loco*, acompanhou todo o processo e validou os resultados obtidos de acordo com as necessidade para o ensino de anatomia.

### 4.3.1 Resultados da primeira fase do PMDV

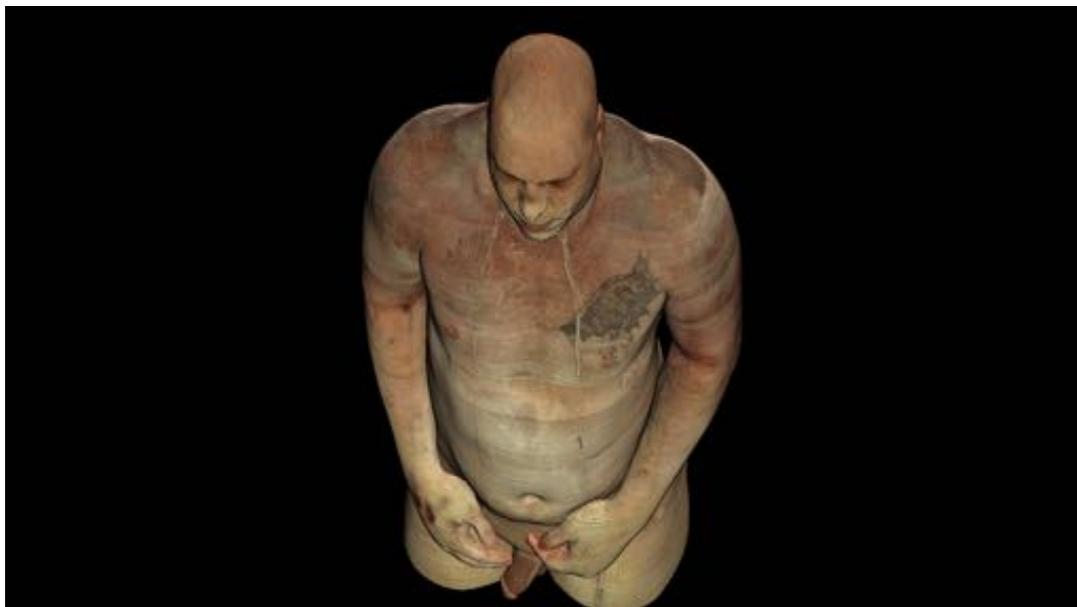
Pode se observar que a extração do gelo interno e externo pelo SVM, com bordas suavizadas, realizada pela morfologia matemática. A extração dos componentes conectados com conectividade espacial, Experimento 2, atingiu o resultado esperado, sendo possível a reconstrução 3D.

Vale ressaltar que até mesmo as tatuagens anteriormente presentes no corpo passaram a ser visíveis (Fig. 4.20), conforme mencionado acima, [Gonzalez e Woods \(2010\)](#) observam a importância da segmentação proporcionando um alto nível de detalhes. As tatuagens encontradas foram:

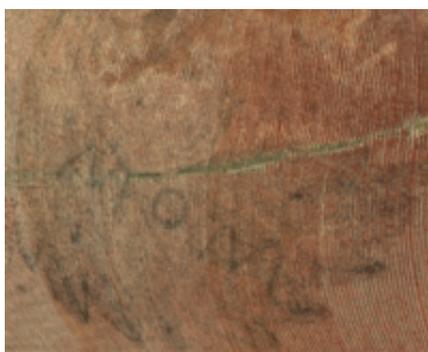
1. no peito do lado esquerdo, [Figura 4.20a](#), um dragão, que foi visualizado no modelo de *Voxel-Man*;
2. no peito do lado direito, [Figura 4.20b](#), uma homenagem a sua mãe com o texto (*MOM*);
3. no ombro, acima do braço direito, [Figura 4.20c](#), a bandeira dos EUA;
4. no ombro, acima do braço esquerdo, [Figura 4.20d](#), um dragão chinês e
5. na parte interna do braço esquerdo, [Figura 4.20e](#), uma serpente.

Figura 4.20 – Detalhes obtidos com a segmentação das imagens 2k

(a) Reconstrução e Tatuagem 1 no peito



(b) Tatuagem 2 no peito



(c) Tatuagem 3 no braço direito



(d) Tatuagem 4 no braço esquerdo



(e) Tatuagem 5 no braço esquerdo



Fonte: Autoria Própria

Outro destaque é o resultado do tempo de processamento das imagens apresentados na [Tabela 4.1](#) para tanto foi utilizado um Notebook Profissional Avell, i7-4910 MQ com 2,90 GHz, com placa NVIDIA Quadro K3100M e com 32GB RAM e HD 2TB (2x1).

Tabela 4.1 – Comparação dos tempos de processamento para a primeira fase do PMDV

Projeto	SVM	Experimento 1	Experimento 2
VHP (masculino)	30m52s7	31m17s4	31m18s5
VHP (feminino 2k)	3h27m3s3	2h37m26s3	2h38m46s4
VHP (feminino 4k)	12h10m10s1	8h30m41s3	8h32m49s6
VM	2m8s4	1m57s6	1m58s4

Fonte: Autoria Própria

Observa-se que para o VHP (masculino) foram 1878 imagens que foram redimensionadas para 1751x996, totalizando pouco mais de uma hora para o processamento da primeira fase do projeto, enquanto as imagens do VM não ultrapassou 5 minutos.

As imagens do VHP (feminino) com 5189 imagens permaneceram inalteradas e o SVM levou aproximadamente 3h27min para as imagens 2k - com resolução de 2048x1530 e 12h10min para as imagens 4k-com resolução de 4096x3061.

Vale notar que nos Experimentos fez-se necessário dividir as imagens em grupos, as com 2k foram distribuídas em 4 grupos com aproximadamente 1300 imagens em cada grupo, o tempo foi próximo de 3h40min para ambos os Experimentos. O mesmo ocorreu para imagens 4k em 8 grupos com 650 imagens, com tempo chegando perto de 8h30min.

#### 4.3.2 Resultados da segunda fase do PMDV

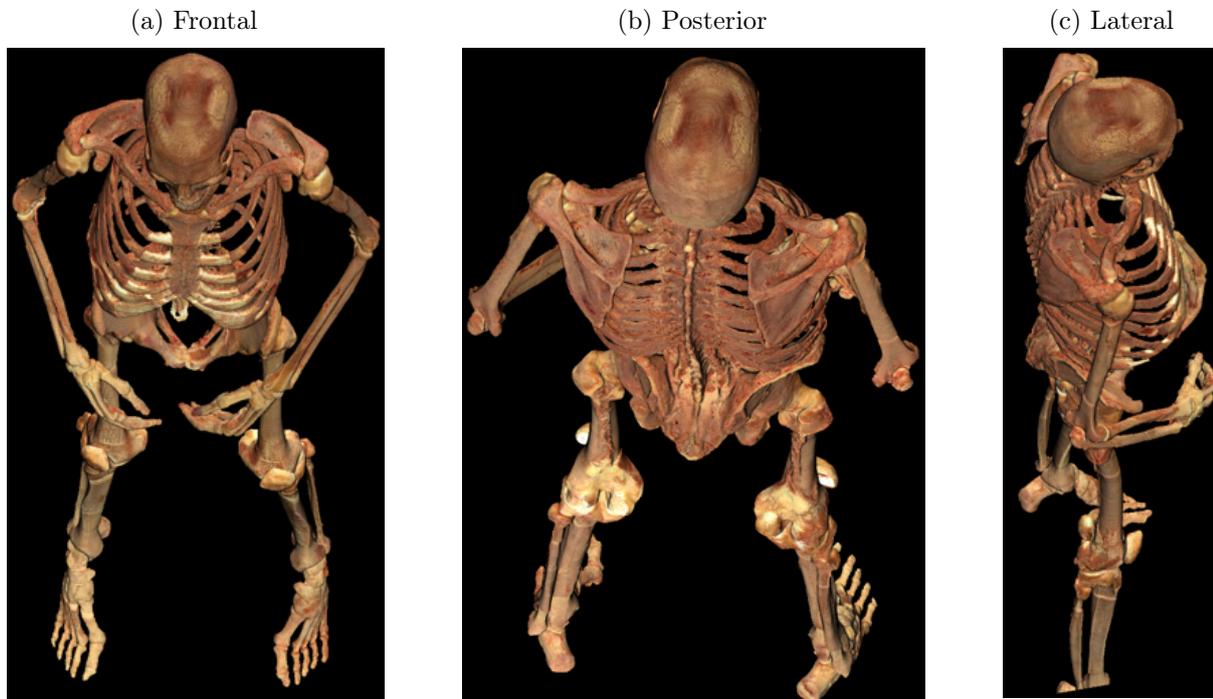
Nesta fase o importante foi a extração dos sistemas, em que os resultados podem ser rotacionados e assim vistos em várias posições e ângulos diferentes. Na [Figura 4.21](#) é apresentada a reconstrução obtida da segmentação final dos ossos em três posições diferentes. Observa-se nessas imagens que:

1. ausência de resquícios de músculos, pois carece de uma região avermelhada;
2. houve uma boa reconstrução dos braços e das costelas;
3. as pernas foram corrigidas e
4. a coloração é a própria do osso, desnecessário aplicar processos de renderização, tornando-o mais realista.

Na [Figura 4.22](#) e [4.23](#) é apresentado os sistemas que foram segmentados: respiratório (Fig. [4.22a](#)), urinário (Fig. [4.22b](#)), circulatório (Fig. [4.23a](#)), digestório (Fig. [4.23b](#)), muscular

(Fig. 4.23c) e nervoso (Fig. 4.23d), que não foram descritos, porém foi utilizado o mesmo modelo proposto, apresentado na Seção 3.3:

Figura 4.21 – Reconstrução final dos ossos em três vistas diferentes



Fonte: Autoria Própria

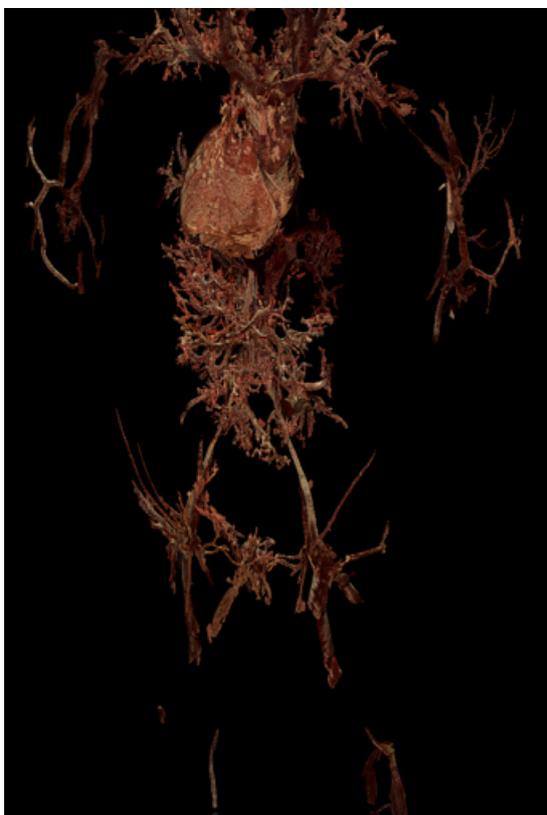
Figura 4.22 – Reconstrução dos Sistemas segmentados - parte 1



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.23 – Reconstrução dos Sistemas segmentados - parte 2

(a) Circulatório



(b) Digestório



(c) Muscular



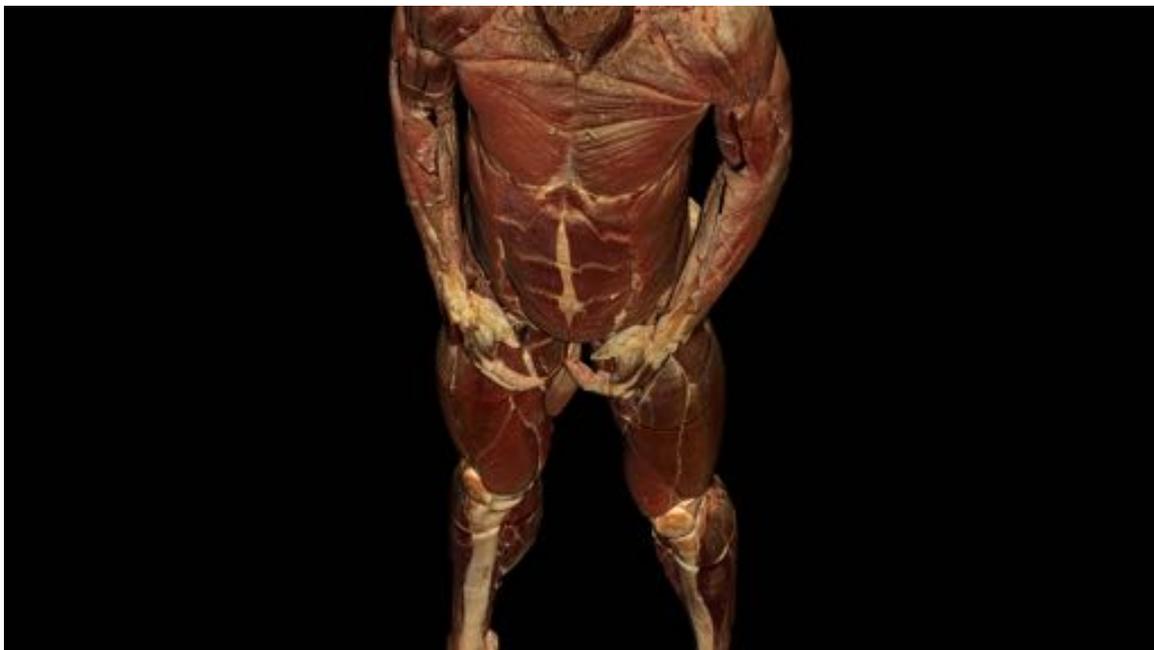
(d) Nervoso



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 4.24 foi feita a união do sistema esquelético com o muscular adicionado a fáscia.

Figura 4.24 – Reconstrução da composição dos ossos com os músculos e a fáscia



Fonte: Autoria Própria

São inúmeras as possibilidades do uso da mesa de dissecação virtual, além de reconstruir em 3D os sistemas de forma individual. Permite também a combinação dos sistemas segmentados e ao mesmo tempo permite cortes nos planos axial, coronal e sagital, proporcionando mais um recurso para um estudo detalhado da anatomia humana.

Para alcançar o objetivo geral proposto, foi preciso realizar um estudo de mapeamento sistemático, focado em determinar as técnicas de segmentação já aplicadas as imagens coloridas em alta-definição do corpo humano, no projeto VHP ou similares. A pesquisa não identificou o SVM como aplicação, apenas, como forma de comparação no trabalho de Qi et al. (2007). Por ser um classificador com margens suaves que procura um mínimo global, optou-se por esse método com *Kernel* linear, na geração das máscaras.

Diante do exposto, é possível afirmar que a segmentação foi um sucesso e a geração da mesa de dissecação virtual, que até então era um sonho, passou a ser uma realidade, devido a composição *hardware*, *software* e a base de imagens que estão integrados, proporcionando uma ferramenta surpreendente, com recursos que vão além dos esperados. Esses resultados foram validados pelo professor Carlos José Gomes, juntamente com outros professores das Escolas que participaram da validação do método proposto.

## 4.4 Considerações Finais

Neste Capítulo foram apresentados os resultados dos Experimentos que tornaram possível o desenvolvimento da *The Visible Human Table*. Para a primeira fase do PMDV, foram comparados os resultados obtidos com o *The Voxel-Man*, nos Experimentos 1 e 2, foram estendidas às imagens coloridas em Ultra-Alta-Definição, bem como, detalhados alguns problemas encontrados e as soluções aplicadas.

Outro resultado interessante foi o tempo computacional entre as imagens do VHP do corpo masculino (aproximadamente uma hora) com as do VM (próximo aos 5 minutos).

Para a segunda fase na segmentação dos órgãos, optou-se por descrever o processo nos ossos, expresso por diversos algoritmos e contou com uma máscara obtida por *Deep Learning*, que se destaca dos demais órgãos (Experimento 3) e o processo de reconstrução (Experimento 4).

Para concluir, foi feita uma análise apresentando as tatuagens e os resultados finais de todos os sistemas segmentados. Todo o processo foi acompanhado pelo professor Carlos, que validou os resultados obtidos, bem como o método proposto. A partir dessas imagens o PMDV tornou-se realidade.



## 5 Conclusões

A base de imagens coloridas do VHP e a evolução tecnológica têm contribuído para o aperfeiçoamento do estudo de anatomia, com a geração de modelos 3D, sendo que no processo de renderização perde-se qualidades como cor e textura.

Razões que justificam o objetivo do trabalho de propor um método de segmentação para essa base, que proporciona as imagens para o desenvolvimento do Projeto Mesa de Dissecção Virtual, com as características verídicas de um corpo real para contribuir no ensino de anatomia, como uma ferramenta de estudo para aplicação das metodologias ativas, o que coopera para uma aprendizagem significativa.

Para tanto, foram necessárias algumas etapas estabelecidas nos objetivos específicos. A Revisão Sistemática da Literatura proporcionou a escolha da base, identificando 13 bases de corpos congelados, sendo o *The Visible Human Project* a base mais acessível, fornecendo imagens para estudos e distribuição da base completa mediante uma licença de uso.

O Estudo de Mapeamento identificou as principais técnicas de segmentação aplicado as bases selecionadas a região de crescimento a mais utilizada, seguida pelo *RGB-Ellipsoid* e técnicas aplicadas as imagens monocromáticas com alteração do espaço de cor.

Após diversos estudos observou-se que o SVM, treinada com elementos da borda apresenta os melhores resultados. Os Experimentos foram divididos em duas fases, conforme o PMDV.

Para a primeira fase do projeto, na extração do gelo externo e interno, foi proposto um método que utiliza o SVM como processamento, gerando duas máscaras, o pós-processamento composto por morfologia matemática 3D, para uma melhoria nas bordas e extração dos componentes conectados, para a região de interesse.

Os resultados apresentam uma melhoria na visualização 3D quando comparados com o modelo gerado pelo *The Voxel-Man* e um ganho de qualidade, quando aplicados às imagens de Ultra-Alta-Definição. O método proposto foi, também, aplicado ao corpo feminino, adaptado ao scanner S2F2 e utilizado na primeira versão do *The Visible Human Table*, que é fruto da geração dessas imagens segmentadas pelo projeto.

Para a segunda etapa, referente a segmentação dos órgãos, optou-se principiar pelo sistema ósseo, pois foi o que mais utilizou Algoritmos diferentes. Porém, vale ressaltar que foram também segmentados os sistemas respiratório, digestório, circulatório, nervoso, muscular e urinário do corpo masculino. Os resultados estão disponíveis na segunda versão do PMDV.

Para os ossos foram necessárias três máscaras, uma proveniente do SVM, uma do registro do VM e uma outra do registro da TC e como pós-processamento utilizou-se dessas máscaras com operações de conjuntos, com morfologia matemática em 3D e extração dos componentes conectados.

O resultado trouxe a reconstrução completa dos ossos, sem regiões avermelhadas e, como as imagens são em alta definição, possibilitou ver detalhes que ficam ocultos, mesmo em um cadáver, por causa dos procedimentos de conservação.

Todo o processo de segmentação contou com a supervisão do Prof Carlos José Gomes da escola de medicina, que auxiliou na identificação das estruturas e validou os resultados obtidos.

É possível afirmar que a segmentação é uma ferramenta importante na separação das regiões de interesses e na geração de modelos 3D, contribuindo no ensino e tornando a aprendizagem mais significativa com objetos mais próximos da realidade.

## 5.1 Trabalhos Futuros

Dada à importância do PMDV e seu sucesso tecnológico, novos Ambientes Imersivos de Aprendizagem estão sendo propostos e projetos inovadores estão sendo apresentados, como na veterinária, na entomologia, nos circuitos elétricos, entre outros.

Para isso, torna-se necessário o desenvolvimento de novos projetos de segmentação, visem a conclusão do PMDV com a separação por órgãos no corpo masculino e a segmentação total do corpo feminino.

Outra questão importante é analisar os resultados com outro tipo de *Kernel*, será que os resultados seriam melhores?

## Referências

ACKERMAN, Michael J. Build for future technology when building for the future: A lesson from the visible human project. *Journal of the American Medical Informatics Association*, BMJ Group BMA House, Tavistock Square, London, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 41.

ACKERMAN, Michael J. The visible human project. *Proceedings of the IEEE*, v. 86, n. 3, p. 504–511, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

AL-GAILANI, Salim. The “Ice Age” of anatomy and obstetrics: hand and eye in the promotion of frozen sections around 1900. *Bulletin of the History of Medicine*, The Johns Hopkins University Press, v. 90, n. 4, p. 611–642, 2016. ISSN 1086-3176. Disponível em: <<https://muse.jhu.edu/article/642727>>. Citado na página 34.

Anatomage Inc. *Anatomage 3D Anatomy | Anatomage Medical Home*. 2018. Disponível em: <<https://www.anatomage.com/anatomage-medical/>>. Acesso em: 30 dez. 2019. Citado na página 55.

ARAGAKI, Bruno. *Para alunos de Medicina da USP, não há 'desrespeito' com cadáver*. 2017. Guia do estudante. Disponível em: <<https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/para-alunos-de-medicina-da-usp-nao-ha-desrespeito-com-cadaver/>>. Acesso em: 23 maio 2019. Citado na página 30.

ARMSTRONG, Christopher J; PRICE, Brian L; BARRETT, William A. Interactive segmentation of image volumes with live surface. *Computers & Graphics*, Elsevier, v. 31, n. 2, p. 212–229, 2007. Citado na página 49.

BAATZ, Simon. Medical Science and Medical Informatics: The Visible Human Project, 1986-2000. In: RAYWARD, W. B; BOWDEN, M. E (Ed.). *The History and Heritage of Scientific and Technological Information Systems: Proceedings of the 2002 Conference*. Medford, New Jersey: American Society of Information Science and Technology and the Chemical Heritage Foundation by Information Today, Inc., 2004. p. 110–117. Citado na página 34.

BEVERIDGE, Erin; REA, Paul; BALE, Kim; ANDERSON, Paul. 3D Visualisation for Education, Diagnosis and Treatment of Iliotibial Band Syndrome. In: *2013 International Conference on Computer Medical Applications (ICCMA)*. Sousse: IEEE, 2013. p. 1–6. ISBN 9781467352147. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 51.

BRONGEL., Andrei Rafael; BROBOUSKI., William John Pereira; PIERIN., Lucas Murbach; GOMES., Carlos; ALMEIDA., Manoel de Campos; JUSTINO., Edson José Rodrigues. An ultra-high definition and interactive simulator for human dissection in anatomic learning. In: INSTICC. *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Education - Volume 2: CSEDU*. [S.l.]: SciTePress, 2019. p. 284–291. ISBN 978-989-758-367-4. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 58.

CHENG, H.D.; JIANG, X.H.; SUN, Y.; WANG, Jingli. SG: Color image segmentation: advances and prospects. *Pattern Recognition*, v. 34, n. 12, p. 2259–2281, dec 2001.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320300001497>>. Citado na página 43.

CHUNG, Min Suk; PARK, Jin Seo; KIM, Jin Yong; HWANG, Woo Sup; KIM, Jae Keun; PARK, Hyung Seon. Trial for making other serially sectioned images (Visible Korean Human). In: LEMKE, H.U.; INAMURA, K.; DOI, K.; VANNIER, M.W.; FARMAN, A.G.; REIBER, J.H.C. (Ed.). *CARS 2002 Computer Assisted Radiology and Surgery*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. p. 435–438. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 38.

Coordenação de Comunicação Social. *Medicina lança campanha para doação de corpos*. 2015. Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <<http://ccs2.ufpel.edu.br/wp/2015/04/01/medicina-lanca-campanha-para-doacao-de-corpos>>. Acesso em: 10 maio 2019. Citado na página 29.

COSTA, Gilliene Batista Ferreira da; COSTA, Gilliane Batista Ferreira da; LINS, Carla Cabral dos Santos Accioly. O cadáver no ensino da anatomia humana: uma visão metodológica e bioética. *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 36, n. 3, p. 369–373, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

CRISTIANINI, Nello; SHAW-TAYLOR, John et al. *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. Citado na página 65.

DAI, Jing-Xing; CHUNG, Min Suk; QU, Rong-Mei; YUAN, Lin; LIU, Shu-Wei; SHIN, Dong Sun. The visible human projects in korea and china with improved images and diverse applications. *Surgical and radiologic anatomy*, Springer, v. 34, n. 6, p. 527–534, 2012. Citado na página 38.

FACON, Jacques. *Morfologia Matemática: teoria e exemplos*. Curitiba: Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 1996. Citado na página 66.

FANG, Binji; WU, Yi; CHU, Chun; LI, Ying; LUO, Na; LIU, Kaijun; TAN, Liwen; ZHANG, Shaoxiang. Creation of a virtual anatomy system based on chinese visible human data sets. *Surgical and Radiologic Anatomy*, Springer, v. 39, n. 4, p. 441–449, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 15, 49 e 51.

FYFE, Georgina; FYFE, Sue; DYE, Danielle; CRABB, Hannah. Use of anatomage tables in a large first year core unit. In: AUSTRALASIAN SOCIETY FOR COMPUTERS IN LEARNING IN TERTIARY EDUCATION. *ASCILITE-Australian Society for Computers in Learning in Tertiary Education Annual Conference*. [S.l.], 2013. p. 298–302. Citado na página 54.

GARCIA-LAMONT, Farid; CERVANTES, Jair; LÓPEZ, Asdrúbal; RODRIGUEZ, Lisbeth. Segmentation of images by color features: A survey. *Neurocomputing*, Elsevier B.V., v. 292, p. 1–27, 2018. Citado na página 43.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 220 p. Citado na página 61.

GONZALEZ, RC; WOODS, RE. *Processamento Digital de Imagens*. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 624 p. Citado 3 vezes nas páginas 43, 66 e 101.

GRANA, Costantino; BORGHESANI, Daniele; CUCCHIARA, Rita. Connected component labeling techniques on modern architectures. In: SPRINGER. *International Conference on Image Analysis and Processing*. [S.l.], 2009. p. 816–824. Citado na página 67.

GUPTA, Rishi; KHUNTETA, Ajay. Svm age classify based on the facial images. *International Journal of Computing, Communications and Networking*, v. 1, n. 2, 2012. Citado na página 65.

HUANG, Shiliang; SHEN, Qiang; DUONG, Timothy Q. Quantitative prediction of acute ischemic tissue fate using support vector machine. *Brain research*, Elsevier, v. 1405, p. 77–84, 2011. Citado na página 65.

JUSTINO, Edson JR; BORTOLOZZI, Flavio; SABOURIN, Robert. An off-line signature verification method based on svm classifier and graphometric features. Allied Publishers PVT. Limited, 2003. Citado na página 65.

JUSTINO, Edson José Rodrigues. *Relatório parcial de execução de projeto: Projetor horizontal digital para o ensino de anatomia*. Curitiba, 2017. 1–11 p. Citado na página 57.

JUSTINO, Edson José Rodrigues. *Relatório final de execução de projeto: Projetor horizontal digital para o ensino de anatomia*. Curitiba, 2018. 1–6 p. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.

KITCHENHAM, Barbara. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, p. 1–26, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 37, 41 e 46.

LIMA, Jônatas Dias. *Corpos reais para entender anatomia*. 2012. Gazeta do Povo. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/educacao/corpos-reais-para-entender-anatomia-1d2ydx72l3loudjii8ots1rv2>>. Acesso em: 26 abr. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

LIU, Bin; LI, Haojie; JIA, Xianyong; ZHAO, Xu; LIU, Zhaoliang; ZHAO, Qiaochu; ZHANG, Hanwei. A simple method of rapid and automatic color image segmentation for serialized visible human slices. *Computers & Electrical Engineering*, Elsevier, v. 40, n. 3, p. 870–883, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 15, 48, 49 e 50.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 310 p. Citado na página 61.

MAREELS, Guy; WACHTER, Dirk S De; VERDONCK, Pascal R. Computational fluid dynamics-analysis of the niagara hemodialysis catheter in a right heart model. *Artificial organs*, Wiley Online Library, v. 28, n. 7, p. 639–648, 2004. Citado na página 47.

MATHERON, Georges; SERRA, Jean. The birth of mathematical morphology. In: SYDNEY, AUSTRALIA. *Proc. 6th Intl. Symp. Mathematical Morphology*. [S.l.], 2002. p. 1–16. Citado na página 65.

National Library of Medicine (U.S.) Board of Regents. *Electronic imaging: report of the board of regents*. Bethesda, Md. : U.S. Dept. of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, 1990. 1–25 p. Citado na página 34.

OLSEN., Diogo Roberto; SILVA., Flávio de Almeida e; PIERIN., Lucas Murbach; MORAES., Aramis Hornung; JUSTINO., Edson José Rodrigues. Generation of stereoscopic interactive learning objects true to the original object. In: INSTICC. *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Education - Volume 1: CSEDU*. [S.l.]: SciTePress, 2018. p. 259–266. ISBN 978-989-758-291-2. Citado na página 28.

PARK, Jin Seo; CHUNG, Min Suk; HWANG, Sung Bae; LEE, Yong Sook; HAR, Dong-Hwan. Technical report on semiautomatic segmentation using the adobe photoshop. *Journal of digital imaging*, Springer, v. 18, n. 4, p. 333–343, 2005. Citado na página 49.

PARK, Jin Seo; CHUNG, Min Suk; HWANG, Sung Bae; LEE, Yong Sook; HAR, Dong-Hwan; PARK, Hyung Seon. Visible korean human: improved serially sectioned images of the entire body. *IEEE transactions on medical imaging*, IEEE, v. 24, n. 3, p. 352–360, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 38, 40 e 49.

PARK, Jin Seo; CHUNG, Min Suk; HWANG, Sung Bae; SHIN, Byeong-Seok; PARK, Hyung Seon. Visible korean human: its techniques and applications. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, Wiley Online Library, v. 19, n. 3, p. 216–224, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 49.

PARK, Jin Seo; SHIN, Dong Sun; CHUNG, Min Suk; HWANG, Sung Bae; CHUNG, Jinoh. Technique of semiautomatic surface reconstruction of the visible korean human data using commercial software. *Clinical Anatomy*, Wiley Online Library, v. 20, n. 8, p. 871–879, 2007. Citado na página 49.

PELTERET, J-PV; REDDY, BD. Computational model of soft tissues in the human upper airway. *International journal for numerical methods in biomedical engineering*, Wiley Online Library, v. 28, n. 1, p. 111–132, 2012. Citado na página 47.

POMMERT, Andreas; HÖHNE, Karl Heinz; BURMESTER, Eike; GEHRMANN, Sebastian; LEUWER, Rudolf; PETERSIK, Andreas; PFLESSER, Bernhard; TIEDE, Ulf. Computer-based anatomy: A prerequisite for computer-assisted radiology and surgery. *Academic radiology*, Elsevier, v. 13, n. 1, p. 104–112, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 16, 49, 52 e 93.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. *Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico] : métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p. Citado na página 61.

QI, Lina; ZHOU, Guohong; HAN, Xiaopeng; DU, Guangwei; CAO, Huizhi; CHAI, Huizhen; ZHONG, Qin; DONG, Shuo; LUO, Shuqian. Reconstruction of the Digital Chinese Human. In: *Complex Medical Engineering*. IEEE: ICME International Conference, 2007. p. 140–146. ISBN 1424410789. Citado 5 vezes nas páginas 27, 38, 48, 51 e 106.

ROBB, Richard A; HANSON, Dennis P. Biomedical image visualization research using the visible human datasets. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, Wiley Online Library, v. 19, n. 3, p. 240–253, 2006. Citado na página 62.

ROBINSON, Risa J; RUSSO, Jackie; DOOLITTLE, Richard L. 3d airway reconstruction using visible human data set and human casts with comparison to morphometric data. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, Wiley Online Library, v. 292, n. 7, p. 1028–1044, 2009. Citado na página 38.

SANTANA, Aldrin Vianna de. *Visualização de imagens em pós-alta-definição*. 253 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Goiás, 2017. Citado na página 33.

SCHIEMANN, Thomas; FREUDENBERG, Jan; PFLESSER, Bernhard; POMMERT, Andreas; PRIESMEYER, Kay; RIEMER, Martin; SCHUBERT, Rainer; TIEDE, Ulf; HÖHNE, Karl Heinz. Exploring the visible human using the voxel-man framework. *Computerized medical imaging and graphics*, Elsevier, v. 24, n. 3, p. 127–132, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 51.

SHAWE-TAYLOR, John; CRISTIANINI, Nello et al. *Kernel methods for pattern analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. Citado na página 65.

SHIN, Dong Sun; CHUNG, Min Suk; PARK, Jin Seo; PARK, Hyung Seon; LEE, Seung-Bock; LEE, Sang-Ho; CHOI, Ho-Nam; RIEMER, Martin; HANDELS, Heinz; LEE, Jong Eun et al. Three-dimensional surface models of detailed lumbosacral structures reconstructed from the visible korean. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, Elsevier, v. 193, n. 1, p. 64–70, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 51.

SILVA, Eduardo Pereira Duarte da; SANTOS, Klyvia Leuthier dos; BARROS, Priscila Danielly Santos de et al. Utilização de cadáveres no ensino de anatomia humana: Refletindo nossas práticas e buscando soluções. *XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, JEPEX, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

SILVA., Flávio de Almeida e; OLSEN., Diogo Roberto; PIERIN., Lucas Murbach; BORTOLOZZI., Flávio; JUSTINO., Edson José Rodrigues. Stereoscopic interactive objects: Acquisition, generation and evaluation. In: INSTICC. *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Education - Volume 2: CSEU*. [S.l.]: SciTePress, 2019. p. 165–176. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 69.

SPITZER, V; ACKERMAN, M J; SCHERZINGER, Ann L.; WHITLOCK, D. The Visible Human male: a technical report. *Journal of the American Medical Informatics Association*, v. 3, n. 2, p. 118–130, 1996. ISSN 1067-5027. Citado 3 vezes nas páginas 36, 38 e 62.

TANG, Lei; CHUNG, Min Suk; LIU, Qian; SHIN, Dong Sun. Advanced features of whole body sectioned images: Virtual chinese human. *Clinical Anatomy*, Wiley Online Library, v. 23, n. 5, p. 523–529, 2010. Citado 3 vezes nas páginas 38, 49 e 51.

The University of Texas at Austin. *AustinMan Assumptions Image Shifts*. 2020. Disponível em: <<http://sites.utexas.edu/austinmanaustinwomanmodels/am-shifts/>>. Acesso em: 30 dez. 2019. Citado na página 64.

TIEDE, Ulf; SCHIEMANN, Thomas; HOHNE, Karl Heinz. High quality rendering of attributed volume data. In: *Proceedings Visualization '98 (Cat. No.98CB36276)*. IEEE: Computer Society Press,, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 51.

UDUPA, Jayaram K; AJJANAGADDE, Venkatramana G. Boundary and object labelling in three-dimensional images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, v. 51, n. 3, p. 355 – 369, 1990. Citado na página 67.

U.S. National Library of Medicine. *The National Library of Medicines Visible Human Project*. 2019. U.S. National Library of Medicine. Disponível em: <[https://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible\\_human.h](https://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.h)>. Acesso em: 16 abr. 2018. Citado na página 27.

UTIYAMA, Fabiano. *Segmentação em ultra-alta definição dos sistemas do corpo humano da base VHD usando técnicas de registro de imagens*. 108 p. Tese (Doutorado) — Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 21, 68, 69 e 70.

VANTARAM, Sreenath Rao; SABER, Eli. Survey of contemporary trends in color image segmentation. *Journal of Electronic Imaging*, International Society for Optics and Photonics, v. 21, n. 4, p. 040901, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 44, 45 e 46.

WU, Yi; TAN, Li Wen; LI, Ying; FANG, Bin Ji; XIE, Bing; WU, Tong Ning; LI, Qi Yu; QIU, Ming Guo; LIU, Guang Jiu; LI, Kai; XU, Hao Tong; LUO, Na; ZHANG, Shao Xiang. Creation of a female and male segmentation dataset based on Chinese Visible Human (CVH). *Computerized Medical Imaging and Graphics*, v. 36, n. 4, p. 336–342, 2012. ISSN 08956111. Citado 3 vezes nas páginas 30, 49 e 51.

XU, Haotong; LI, Xiaoxiao; ZHANG, Zhengzhi; QIU, Mingguo; MU, Qiwen; WU, Yi; TAN, Liwen; ZHANG, Shaoxiang; ZHANG, Xiaoming. Visualization of the left extraperitoneal space and spatial relationships to its related spaces by the visible human project. *PloS one*, Public Library of Science, v. 6, n. 11, p. e27166, 2011. Citado na página 47.

YANG, Bo; FANG, Shi-bing; LI, Chang-shu; YIN, Biao; WANG, Le; WAN, Sheng-yu; XIE, Jing-kai; DING, Qiang; TANG, Lei; ZHONG, Shi-zhen. Digital three-dimensional model of lumbar region 4–5 and its adjacent structures based on a virtual chinese human. *Orthopaedic surgery*, Wiley Online Library, v. 5, n. 2, p. 130–134, 2013. Citado na página 47.

YANG, Bo; FANG, Shi-bing; LI, Chang-shu; YIN, Biao; WANG, Le; WAN, Sheng-yu; XIE, Jing-kai; DING, Qiang; TANG, Lei; ZHONG, Shi-zhen. Digital three-dimensional model of lumbar region 4–5 and its adjacent structures based on a virtual chinese human. *Orthopaedic surgery*, Wiley Online Library, v. 5, n. 2, p. 130–134, 2013. Citado na página 49.

YIN, Xia; XI-PING, Li; DE-MIN, Han; GUO-HONG, Zhou; YUAN-YUAN, Zhao. Virtual temporal bone anatomy. *Journal of Otology*, Elsevier, v. 2, n. 1, p. 56–59, 2007. Citado na página 49.

YUAN, Yuan; QI, Lina; LUO, Shuqian. The reconstruction and application of virtual chinese human female. *Computer methods and programs in biomedicine*, Elsevier, v. 92, n. 3, p. 249–256, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 38, 40, 49 e 51.

ZAITOUN, Nida M; AQEL, Musbah J. Survey on image segmentation techniques. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 65, p. 797–806, 2015. Citado na página 48.

ZHANG, Shao-Xiang; HENG, Pheng-Ann; LIU, Zheng-Jin. Chinese visible human project. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, Wiley Online Library, v. 19, n. 3, p. 204–215, 2006. Citado 3 vezes nas páginas [38](#), [39](#) e [40](#).

ZHANG, Shao-Xiang; HENG, Pheng-Ann; LIU, Zheng-Jin; TAN, Li-Wen; QIU, Ming-Guo; LI, Qi-Yu; LIAO, Rong-Xia; LI, Kai; CUI, Gao-Yu; GUO, Yan-Li et al. The chinese visible human (cvh) datasets incorporate technical and imaging advances on earlier digital humans. *Journal of Anatomy*, Wiley Online Library, v. 204, n. 3, p. 165–173, 2004. Citado 2 vezes nas páginas [27](#) e [38](#).

ZHANG, Tian Chi; YANG, Jing; ZHANG, Jian Pei. SVM Methods in Image Segmentation. *the Sixth Internation Conference on Advanced Collaborative Networks, Systems and Applications*, n. c, p. 62–65, 2016. Citado na página [64](#).

ZHANG, Yuanzhi; LI, Jianwei; LI, Yanbing; JIN, Dan; CHEN, Jionghao; ZHONG, Shizhen; PEI, Guoxian. Application of three-dimensional digitalized reconstruction of latissimus dorsi myocutaneous flap. *Frontiers of Medicine in China*, Springer, v. 2, n. 1, p. 45–50, 2008. Citado na página [49](#).