

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

Giovanna Ricarte Granja Gomes

**MEDIDAS DE ANEURISMA DA AORTA ABDOMINAL: MODELOS 3D
IMPRESSOS E VIRTUAIS**

Santa Maria, RS, Brasil

2019

Giovanna Ricarte Granja Gomes

**MEDIDAS DE ANEURISMA DA AORTA ABDOMINAL: MODELOS 3D
IMPRESSOS E VIRTUAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ciências da Saúde, Área de Concentração: Promoção e Tecnologia em Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências da Saúde**.

Orientador: Dr. Marcos Cordeiro d'Ornellas
Co-Orientador: Dr. Gustavo Nogara Dotto

Santa Maria, RS, Brasil

2019

Gomes, Giovanna
MEDIDAS DE ANEURISMA DA AORTA ABDOMINAL: MODELOS 3D
IMPRESSOS E VIRTUAIS / Giovanna Gomes.- 2019.
65 p.; 30 cm

Orientador: Marcos d'Ornellas
Coorientador: Gustavo Dotto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós
Graduação em Ciências da Saúde, RS, 2019

1. Aneurisma da aorta abdominal 2. Impressão
tridimensional 3. Procedimentos Cirúrgicos Vasculares 4.
Doenças da Aorta I. d'Ornellas, Marcos II. Dotto, Gustavo
III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a Giovanna Ricarte Granja Gomes. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Avenida Roraima, nº 1000, Santa Maria, RS. CEP: 97105-900.

Fone (0xx)55 3214-1400; E-mail: gi.ricartes@hotmail.com

Giovanna Ricarte Granja Gomes

**MEDIDAS DE ANEURISMA DA AORTA ABDOMINAL: MODELOS 3D
IMPRESSOS E VIRTUAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ciências da Saúde, Área de Concentração: Promoção e Tecnologia em Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências da Saúde**.

Aprovado em 19 de agosto de 2019:

Marcos Cordeiro d’Ornellas, Dr.(UFSM)

(Presidente /Orientador)

Gustavo Nogara Dotto, Dr. (UFSM)

Co-orientador

Ewerton Nunes Moraes, Dr. (UFSM)

Carlos Jesus Pereira Haygert, Dr. (UFN)

Santa Maria, RS

2019

DEDICATÓRIA

*À minha irmã Nathália, pelo apoio, carinho e cumplicidade, mesmo que a distância.
Ao meu pai Geraldo pelo incentivo e confiança. À minha mãe Lúcia Marly, in memoriam, pelo exemplo de força, dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora do Perpétuo Socorro por todas as coisas, em especial pela oportunidade de realizar esse trabalho.

Ao meu Prof. orientador, Dr. Marcos Cordeiro d'Ornellas, pela orientação e auxílio que me concedeu durante o curso.

Ao Prof. Dr. Gustavo Nogara Dotto pelas valiosas sugestões, correções e transmissão dos seus conhecimentos.

A Prof. Stela Braun pela paciência, incentivo e por toda disponibilidade em ajudar.

Aos meus avós pelo exemplo de vida, carinho e amor, Liberato Gomes, in memoriam, Yolanda Donato Gomes, in memoriam, Benedito Targino Granja e Maria Aparecida Ricarte Granja.

Ao Grupo de Computação Aplicada em Saúde (CA+SA) e ao GEP/HUSM pelas instalações e apoio que possibilitaram a realização das impressões em 3D.

À aquelas pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

MEDIDAS DE ANEURISMA DA AORTA ABDOMINAL: MODELOS 3D IMPRESSOS E VIRTUAIS

AUTORA: Giovanna Ricarte Granja Gomes

ORIENTADOR: Dr. Marcos Cordeiro d'Ornellas

CO-ORIENTADOR: Dr. Gustavo Nogara Dotto

Introdução: O tratamento eletivo do aneurisma de aorta abdominal pode ser realizado através de duas técnicas distintas: cirurgia convencional aberta ou reparo endovascular. Para ambas técnicas dentro do contexto do planejamento cirúrgico, a primeira etapa é a realização de angiotomografia de aorta abdominal para detecção do tipo, localização, tamanho, extensão do aneurisma e acometimento dos ramos da aorta. Para o tratamento endovascular é realizada uma segunda etapa, onde se utiliza um *software* de processamento de imagens digitais para mensurar os segmentos da doença em um modelo bidimensional (2D) ou tridimensional (3D), com objetivo de selecionar antes do ato cirúrgico qual a prótese que melhor se adaptará à morfologia do paciente. Este processo demanda treinamento prévio, sendo operador dependente. A impressão de um segmento da aorta é realizada através da prototipagem rápida, uma forma de tecnologia de fabricação aditiva onde o modelo 3D faz uso das mensurações obtidas da angiotomografia de aorta abdominal. A ferramenta para medições lineares e angulares entre pontos de referência em imagens médicas, encontrada nos sistemas PACS (*Picture archiving and communication system*), através de um DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) Viewer produz mensurações de alta precisão para a reconstrução. O processo de impressão é considerado de baixo custo, porém a qualidade da impressão é diretamente proporcional ao tempo de produção do modelo. Até o presente momento há poucos relatos na literatura referentes a experiência na utilização de biomodelos como planejamento pré-operatório em cirurgia de correção de aneurisma de aorta abdominal. O desenvolvimento de um dispositivo com métodos fidedignos de aferição proporciona melhor visualização anatômica de cada caso, o que poderia reduzir as doses de radiação, o tempo e custo cirúrgico. **Objetivo:** Validar a aplicação do método de impressão 3D de biomodelos para aferição métrica e volumétrica de segmentos do aneurisma de aorta abdominal. Neste contexto pretende-se comparar as medidas obtidas através da tomografia computadorizada dos biomodelos 3D com as realizadas no *software* Horos DICOM Viewer¹ de pacientes submetidos a correção endovascular de aneurisma de aorta abdominal, através dos *softwares* VRMesh² e NetFabb³. **Método:** Os biomodelos foram confeccionados através de processo de impressão de imagens oriundas de arquivos DICOM de angiotomografias abdominais de pacientes submetidos a cirurgia endovascular no Hospital Universitário de Santa Maria, no período de 2016 e 2017. **Conclusões:** A tomografia dos biomodelos impressos são compatíveis nas aferições métricas e volumétricas com as imagens tridimensionais da angiotomografia do paciente, porém não poderão ainda ser utilizados como método de planejamento pré-operatório de aneurismectomia de aorta abdominal devido a necessidade de aferição dos trombos murais.

Palavras-chave: Aneurisma da aorta abdominal; Impressão tridimensional; Procedimentos Cirúrgicos Vasculares; Doenças da aorta; Materiais Biocompatíveis; Procedimentos endovasculares; Prótese Vascular.

¹ <https://horosproject.org>

² <https://www.vrmesh.com>

³ <https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview>

ABSTRACT

ABDOMINAL AORTA ANEURISM MEASURES: 3D PRINTED AND VIRTUAL MODELS

AUTHOR: Giovanna Ricarte Granja Gomes

ADVISOR: Marcos Cordeiro d'Ornellas

CO-ADVISOR: Dr. Gustavo Nogara Dotto

Introduction: Two different methods can be used for elective treatment of abdominal aortic aneurysm: standard open surgery or endovascular repair. The first step of preoperative planning for both techniques is abdominal aortic angiotomography, to identify the type, location, size, magnitude of the aneurysm and involvement of the aortic branches. For endovascular treatment a second step is performed with a digital image processing software to obtain a two-dimensional (2D) or three-dimensional (3D) measurement of the parts of the disease and determine appropriate stent type according to the patient. This method is operator dependent therefore needs adequate training beforehand. A part of the aorta is printed by fast prototyping, a type of additive production technology where the 3D model uses the measurements acquired from abdominal angiotomography. For reconstruction, the instrument used for linear and angular measurements between reference points in medical images obtained through a DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) Viewer in PACS systems (*Picture archiving and communication system*) generates high accuracy measurements. The printing process is considered low cost, but the quality of the print is directly proportional to the model's production time. To date, few literature reports on the experience of using biomodels as preoperative planning in abdominal aortic aneurysm repair surgery have been published. Developing a device with accurate measurement techniques offers better anatomical visualization of each case, which may decrease radiation doses, time and surgical costs. **Objective:** To validate the implementation of 3D printed biomodels for metric and volumetric measurement of parts of the abdominal aortic aneurysm. In this context, we intend to compare the measurements obtained through computed tomography of the 3D biomodels with those performed in the Horos DICOM Viewer® software of patients submitted to endovascular correction of abdominal aortic aneurysms through VRMesh® and NetFabb® software. **Methods:** The biomodels were produced by printing images from the DICOM archives of abdominal angiotomographies of patients submitted to endovascular surgery at the University Hospital of Santa Maria, in the period of 2016 to 2017. **Conclusions:** In metric and volumetric measurements, the tomography of the 3D printed biomodels is compatible with the three-dimensional images of the patient's angiotomography but cannot be used as a preoperative planning technique for abdominal aortic aneurysmectomy due to the need for mural thrombus measurement.

KEYWORDS: Aortic Aneurysm, Abdominal; Printing, Three-Dimensional; Vascular Surgical Procedures; Aortic Diseases; Biocompatible Materials; Endovascular Procedure; Blood Vessel Prosthesis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Adaptação do modelo de relatório de tomografia computadorizada para aneurisma de aorta abdominal.....	22
Figura 2 – Etapas da técnica cirúrgica aberta de correção de aneurisma de aorta abdominal: (a) incisão mediana xifo-púbica; (b) incisão do aneurisma, clampeamento aórtico proximal e das ilíacas comuns e ligadura da artéria mesentérica inferior; (c) retirada manual do trombo mural; (d) ligadura das artérias lombares; (e) inserção e sutura do enxerto na parede aórtica e ilíaca; (f) sutura da parede do aneurisma sob o enxerto.....	24
Figura 3 – Técnica cirúrgica endovascular (EVAR).....	25
Figura 4 – Funcionamento da tecnologia SLA.....	28
Figura 5 – Funcionamento da tecnologia SLS.....	28
Figura 6 – Funcionamento da tecnologia MJS.....	29
Figura 7 – Funcionamento da tecnologia FDM.....	30
Figura 8 – Delineamento da pesquisa.....	31
Figura 9 – Angiotomografia de aorta abdominal através do <i>Software</i> Horos®, em corte axial e em 3D, respectivamente.....	34
Figura 10 – Seleção da área de interesse para impressão.....	34
Figura 11 – Modelo em nuvem de pontos e em malhas triangulares, respectivamente, no software VRMesh.....	35
Figura 12 – Modelo inteiro em <i>wireframe</i> e com zoom, respectivamente, no software VRMesh.....	36
Figura 13 – Segmentação do modelo utilizando o <i>software</i> Netfabb®.....	37
Figura 14 – Modelo dividido em 4 segmentos para o processo de impressão; <i>Software</i> Cliever Studio versão 5.1Pro®.....	38
Figura 15 – Biomodelo após a colocação de suportes; <i>Software</i> Cliever Studio versão 5.1 Pro®.....	38
Figura 16 – Relatório fornecido <i>Software</i> Cliever Studio versão 5.1 Pro® com informações de altura, largura e comprimento do modelo, tamanho e custo de filamento e tempo estimado de impressão.....	39
Figura 17 – Impressora Cliever CL2 Pro Plus®.....	40
Figura 18 – Impressora Cliever CL2 Pro®.....	40
Figura 19 – Impressão dos biomodelos através da Cliever CL2 Pro®.....	41
Figura 20 – Término da Impressão do biomodelos.....	41
Figura 21 – Biomodelo após retirada dos suportes e colagem.....	42
Figura 22 – Antes e depois de eliminar a imagem da caixa de papelão através do <i>software</i> MeshMixer®.....	43
Figura 23 – Arquivos TC_Paciente e TC_PLA_Paciente e mudança de cor para melhor visualização, respectivamente, utilizando o <i>software</i> VRMesh ®.....	44
Figura 24 – Fusão dos modelos em posição anterior e posterior, respectivamente, utilizando o <i>software</i> VRMesh ®.....	44
Figura 25 – Exclusão dos segmentos fora de interesse para a pesquisa, utilizando o <i>software</i> VRMesh®.....	45
Figura 26 – Visão anterior e posterior do modelo, respectivamente, e análise das diferenças entre as distâncias representada em intervalo de cores, utilizando o <i>software</i> VRMesh ®.....	46
Figura 27 – Análise das diferenças volumétricas dos modelos, utilizando o <i>software</i> NetFabb®.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferença nas medidas de superfície do biomodelo e da angiotomografia, por meio do <i>software</i> VRMesh®.....	50
Tabela 2 – Diferença volumétrica entre TC dos biomodelos e angiotomografia, utilizado <i>software</i> NetFabb®.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAA:	Aneurisma de Aorta Abdominal
CAD:	Computer Aided Design
CID:	Código Internacional de Doenças
DACRON:	Polietilenoteraftalato
DICOM:	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
EVAR:	Reparo Endovascular
FDM:	<i>Fused Deposition Modeling</i>
HUSM:	Hospital Universitário de Santa Maria
MJS:	<i>Multi Jet Modeling</i>
MRP:	Prototipagem Rápida Médica
PACS:	Picture archiving and communication system
PLA:	Ácido Polilático
PTFE:	Politetrafluoroetileno expandido
REMIT:	Resposta Endócrino Metabólica Imunológica ao Trauma
RP:	Prototipagem Rápida
SLA:	Estereolitografia
SLS:	Sinterização Seletiva a Laser
STL:	<i>Stereolithography</i>
TC:	Tomografia Computadorizada
2D:	Dois dimensões
3D:	Três dimensões

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A: Termo de confidencialidade e sigilo.....	63
Apêndice B: Solicitação de Isenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
1.3	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	ASPECTOS RELACIONADOS AO ANEURISMA DE AORTA ABDOMINAL.....	18
2.2	AFERIÇÃO DAS MEDIDAS PRÉ OPERATÓRIAS.....	20
2.3	ASPECTOS RELACIONADOS AOS TIPOS DE CIRURGIA DE CORREÇÃO DE ANEURISMA DE AORTA ABDOMINAL.....	23
2.4	A IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E OS BIOMODELOS.....	26
3	METODOLOGIA	31
3.1	DELINEAMENTO.....	32
3.2	LOCAL E POPULAÇÃO-ALVO.....	32
3.3	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO.....	32
3.4	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO.....	32
3.5	COLETA DE DADOS.....	33
3.6	ETAPAS DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E A IMPRESSÃO DOS BIOMODELOS.....	33
3.7	MEDIDAS DOS SEGMENTOS DO ANEURISMA DE AORTA ABDOMINAL.....	42
3.8	ASPECTOS ÉTICOS.....	47
4	RESULTADOS	47
4.1	ANÁLISE DE DADOS E SUA APLICABILIDADE.....	47
4.2	AValiação DOS RESULTADOS FINAIS.....	49
5	DISCUSSÃO	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6.1	CONCLUSÃO.....	54
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	APÊNDICE A - TERMO DE CONFIDENCIALIDADE	63
	APÊNDICE B - SOLICITAÇÃO DE DISPENSA DE TERMO DE CONSENTIMENTO	65

1 INTRODUÇÃO

O aneurisma é definido como uma dilatação focal e permanente da artéria de no mínimo 50% do diâmetro normal do vaso (MIRANDA, 2015). Os aneurismas de aorta abdominal (AAA) são os mais comuns, sendo considerados como aneurisma quando o maior diâmetro for igual ou superior a 3 cm (MIRANDA, 2015).

O elevado risco de ruptura e potencial letalidade é intimamente relacionado ao tamanho e crescimento do aneurisma (PARVATSU, 2014). No Brasil é indicado tratamento cirúrgico quando o diâmetro do aneurisma atinge 5 cm ou aumento maior que 1 cm em um ano (MIRANDA, 2015). No nosso país a indicação cirúrgica baseada no aparecimento de sintomas ainda é considerado controverso (MIRANDA, 2015). A Sociedade Europeia de Cirurgia Vasculare (2011) recomenda a correção cirúrgica se ocorre o aparecimento dos sintomas, crescimento maior que 1cm ao ano ou em aneurismas maiores que 5,5cm em homens e 5,2cm em mulheres.

O tratamento eletivo dos AAA pode ser realizado com duas técnicas distintas: cirurgia convencional aberta ou reparo endovascular (EVAR) (MIRANDA, 2015). A angiotomografia de aorta abdominal é utilizada como planejamento cirúrgico de ambas técnicas, para detecção do tipo, localização, tamanho, extensão do aneurisma, acometimento dos ramos da aorta e a presença de trombos no interior do aneurisma (MIRANDA, 2015). Posteriormente avalia-se a prótese que melhor se adapta ao paciente.

Os avanços tecnológicos vão ao encontro das técnicas cirúrgicas, cada vez menos invasivas, visando melhor e mais rápida recuperação do paciente. Dentre as novas tecnologias, a impressão tridimensional (3D) vem ganhando espaço principalmente no planejamento pré-operatório, por produzir modelos análogos a anatomia do paciente, o que facilita a visualização das estruturas e pode auxiliar de maneira significativa em cirurgias complexas (ZHENG, 2016). Esta tecnologia também já foi utilizada para criação de implantes, próteses e instrumentos cirúrgicos (HOANG, 2016)

O planejamento pré-operatório utilizando a prototipagem rápida pode reduzir o tempo cirúrgico e de perda de sangue (HOANG, 2016), assim como auxiliar na melhor comunicação com o paciente (MEHRA, 2011; HOANG, 2016). As especialidades cirúrgicas pioneiras a aderir essa tecnologia foram a traumatologia e a bucomaxilofacial, uma vez que as primeiras

impressoras utilizavam apenas com materiais rígidos (HOANG, 2016). Atualmente os biomodelos são mais utilizados em cirurgias pélvicas e crânio faciais (HAKANSSON, 2011). Contudo, um número considerável de especialidades cirúrgicas encontrou aplicabilidade para a impressão 3D (HOANG, 2016).

A cirurgia para correção do aneurisma de aorta abdominal requer planejamento minucioso em três dimensões (HAKANSSON, 2011) devido a necessidade de se avaliar as ramificações da aorta, proximidade de órgãos e estruturas vitais. O estudo da anatomia de um paciente com um biomodelo tridimensional físico demonstrou ser mais vantajoso em relação a imagem 3D digital (ZHENG, 2016).

O presente trabalho compara as medidas obtidas através da tomografia computadorizada dos biomodelos 3D com as medidas realizadas no *software* Horos DICOM Viewer® de pacientes submetidos a correção endovascular de aneurisma de aorta abdominal, através dos *softwares* VRMesh® e NetFabb®. Os biomodelos foram confeccionados através de processo de impressão de imagens oriundas de arquivos DICOM de angiotomografias abdominais de pacientes submetidos a cirurgia endovascular no Hospital Universitário de Santa Maria, no período de 2016 e 2017.

1.1 JUSTIFICATIVA

A incidência do aneurisma de aorta abdominal vem aumentando nas últimas décadas, causada pelo acréscimo na expectativa de vida global e também devido a maior disponibilidade dos exames diagnósticos de imagem, principalmente a TC (TORLAI, 2006). A prevalência dessa doença é intimamente relacionada com o avançar da idade, relatada nos países desenvolvidos em aproximadamente 2% dos indivíduos aos 60 anos e em 5% em pacientes com idade maior que 70 anos (GOMES, 2004).

O aneurisma de aorta abdominal se tornou um problema de saúde pública devido a mortalidade de cerca de 90-95% caso ocorra ruptura fora do ambiente hospitalar (KANTONEN, 1999; PARVATSU, 2014), porém no tratamento eletivo esse índice cai para 5% (PARVATSU, 2014). As tendências epidemiológicas adversas observadas nos leva a tentar elevar esforços para um tratamento eletivo eficaz.

O tratamento cirúrgico eletivo necessita de planejamento pré-operatório minucioso devido a alta complexidade do procedimento (HAKANSSON, 2011). Nesse contexto, a elaboração de um método de descrição fidedigno da anatomia do paciente representa uma diminuição do tempo cirúrgico (HOANG, 2016; MEHRA, 2011) e de anestesia (MEHRA,

2011), menor perda de sangue (HOANG, 2016) e de exposição da ferida operatória a temperatura ambiente (MEHRA, 2011), resultando em diminuição dos custos e da permanência hospitalar.

A impressão de biomodelos em três dimensões já obteve eficácia comprovada em estudos recentes, que comparou a utilidade de modelos impressos em 3D para imagens 3D renderizadas para planejamento pré-operatório (ZHENG, 2016). Os médicos residentes de cirurgia foram convidados a analisar modelos de computador 3D ou modelos impressos em 3D e posteriormente formular um plano pré-operatório (ZHENG, 2016). Os residentes que analisaram os modelos impressos em 3D obtiveram resultados significativamente maiores na qualidade de seu plano cirúrgico (HOANG, 2016; ZHENG, 2016).

Este trabalho também pode servir de base em estudos posteriores para utilização das réplicas anatômicas com objetivo de selecionar as estratégias mais benéficas para o procedimento, respeitando a individualidade de cada caso. A utilização dos biomodelos é uma solução inovadora com fins didáticos (AbouHashem, 2015) e também para facilitar a relação médico paciente, obtendo melhor entendimento do paciente do procedimento que irá ser realizado (MEHRA, 2011; HOANG, 2016).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo validar o uso dos biomodelos 3D como método de aferição métrica e volumétrica de segmentos do aneurisma de aorta abdominal. Neste contexto pretende-se comparar as medidas obtidas através da tomografia computadorizada dos biomodelos 3D com as medidas realizadas da angiotomografia no *software* Horos DICOM Viewer⁴ de pacientes submetidos a correção endovascular de aneurisma de aorta abdominal no período de janeiro de 2016 à novembro de 2017, através dos *softwares* VRMEsh® e NetFabb®.

⁴ <https://horosproject.org>

1.2.2 Objetivos Específicos

- Confeccionar biomodelos tridimensionais de pacientes submetidos a cirurgia endovascular de correção de aneurisma de aorta abdominal;
- Avaliar a capacidade de reprodutibilidade das técnicas de aferição de medidas digitais bidimensionais e tridimensionais;
- Comparar a diferença métrica e volumétrica de segmentos do aneurisma de aorta abdominal entre o arquivo 3D gerado pelo Horos DICOM Viewer, com a tomografia computadorizada do biomodelo 3D impresso, por meio dos *softwares* de computador VRMesh ® e NetFabb ®.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Inicialmente a proposta do trabalho era criar biomodelos em 3D para realização de planejamento pré-operatório para cirurgia de aneurisma de aorta abdominal, porém essa doença culmina com trombos ao redor da dilatação aneurismática. O diâmetro máximo do aneurisma deve ser medido de parede a parede, o que inclui o trombo mural, porém os trombos não foram impressos pois possuem a mesma densidade na escala de cinza da tomografia computadorizada, quando comparados aos tecidos que o envolvem, inviabilizando a correta separação dos órgãos adjacentes.

A cirurgia endovascular de aneurisma de aorta abdominal no Hospital Universitário de Santa Maria iniciou seus trabalhos em 2016, fato que culminou com o número reduzido da amostra. Durante o procedimento de pesquisa que trata dos critérios de inclusão e exclusão posteriormente citados (Capítulo 3.3: Critérios de inclusão), obteve-se apenas quatro pacientes aptos para o trabalho.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação encontra-se estruturada 6 capítulos, mas pode ser percebida em dois componentes principais. O primeiro abrange os capítulos 1 e 2 introduz e teoriza os principais aspectos relevantes sobre o tema. A segunda parte, descrita nos capítulos 3 ao 6, baseia-se no desenvolvimento do trabalho, os resultados alcançados, as conclusões como também sugestões

para trabalhos futuros no sentido de dar continuidade, melhorar e aprofundar a pesquisa efetuado.

No Capítulo 2 foi realizado uma descrição geral da doença aneurisma de aorta abdominal, desde fatores de risco a diferentes técnicas cirúrgicas, conforme diversos autores apresentaram em publicações prévias. Neste capítulo também se observa as características específicas das tecnologias de impressão 3D, os tipos de confecção assim como os principais usos na medicina.

A metodologia descrita no Capítulo 3 se descreve o delineamento da pesquisa, detalhamento das etapas do processamento de imagem, a produção dos biomodelos e também os métodos de aferição métrica e volumétrica tridimensional virtual, na tomografia do paciente e da tomografia dos biomodelos tridimensionais impressos.

Os resultados obtidos na pesquisa foram descritos no Capítulo 4 e a sua relevância foi avaliada com a literatura atual no Capítulo 5. O capítulo 6 concluiu os resultados, bem como sua contribuição científica, destacando pontos a serem observados e a sugestão de trabalhos futuros.

Por fim, no apêndice A encontra-se o termo de confidencialidade e no apêndice B a solicitação de dispensa do termo de consentimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ASPECTOS RELACIONADOS AO ANEURISMA DE AORTA ABDOMINAL

Os fatores de risco mais comuns para desenvolvimento de AAA são sexo masculino, idade maior que 50 anos (LEDERLE,1997, 2000; PLEUMEEKRS,1995), tabagistas (LEDERLE,1997, 2000; SINGH, 2001; PLEUMEEKRS,1995), histórico familiar positivo para AAA, principalmente diagnóstico em familiares de primeiro grau (LEDERLE,1997, 2000; SINGH, 2001; PLEUMEEKRS,1995; JOHANSEN, 1986).

A principal causa da formação do aneurisma é a degeneração da camada média arterial, levando a uma dilatação lenta e contínua da luz do vaso (MIRANDA, 2015). O que gera esse

processo ainda não está claro, mas é usualmente atribuído a doença aterosclerótica (MIRANDA, 2015; PEARCE,2014). Entre as outras causas citam-se trauma, infecção, artrite, necrose cística da túnica média, doenças congênitas do tecido conjuntivo como a Síndrome de Marfan e ruptura anastomótica (MIRANDA, 2015; PEARCE,2014).

Os aneurismas podem ser classificados de acordo com o acometimento das camadas da parede arterial em verdadeiro ou falso; pelo seu formato em fusiforme, sacular; e pelo local acometido em torácico, abdominal, tóraco-abdominal, visceral ou periférico (PEREIRA, 2004).

A maioria dos pacientes com AAA é assintomático, diagnosticados em exames de imagem realizados com outros objetivos (MIRANDA, 2015; PEARCE, 2014). Entre os pacientes que apresentam sintomas, geralmente são inespecíficos como dor abdominal atípica ou dor lombar (MIRANDA, 2015).

Ao exame físico pode ser encontrado palpação da massa abdominal pulsátil (DESJARDINS, 2013), porém não deve ser utilizado como método de rastreio devido a baixa sensibilidade diagnóstica (GUIRGUIS-BLAKE, 2014; LEDERLE, 1999).

O rastreamento anual é indicado para homens fumantes entre 65 e 75 anos com histórico familiar de AAA (LEFEVRE, 2014). O exame de imagem aconselhado para rastreamento é a Ultrassonografia (US), por não utilizar radiação ionizante, ter baixo custo, ser menos invasivo, ter alta sensibilidade e especificidade. O diâmetro dos aneurismas diagnosticados pela tomografia computadorizada (TC) é geralmente 2mm maior que o medido pela USG (GUIRGUIS-BLAKE, 2014). A TC é o exame de escolha para planejamento pré-cirúrgico por demonstrar as principais características do aneurisma (MIRANDA, 2015) objetivando a melhor endoprótese para o tratamento.

Enquanto estão sendo acompanhados, os pacientes devem ser aconselhados a cessar o tabagismo (MACSWEENEY, 1993) e tratar a hipertensão arterial sistêmica, dislipidemia, diabetes e outros fatores de risco da aterosclerose (CHAIKOF, 2009).

É indicado tratamento cirúrgico de urgência em casos de ruptura e eletivo se paciente sintomático, independente do diâmetro. Sintomas como dor abdominal ou lombar, sintomas relacionados a compressão de estruturas vizinhas e embolização distal já se indica a intervenção (GOMES,2004). Nos pacientes assintomáticos deve-se considerar o risco de ruptura, risco operatório e a expectativa de vida (GOMES,2004), então indica-se em pacientes com aneurismas maiores que 5cm ou aumento do diâmetro maior que 1cm ao ano (MIRANDA, 2015; MOLL, 2011).

Os aneurismas da aorta abdominal possuem um aumento do risco de ruptura em um ano proporcional ao tamanho do aneurisma (MIRANDA, 2015). O risco de ruptura em 12 meses é de 0% para aneurismas menores que 4cm, de 10-22% para aneurismas entre 6-6,9cm e de 30-33% para aneurismas maiores que 7cm (CONWAY,2001; REED 1997; SCOTT, 1998).

A mortalidade no primeiro mês da correção do aneurisma eletivo e o roto na urgência é expressivo (MIRANDA, 2015) No Reino Unido o reparo em indivíduos que realizaram planejamento cirúrgico foi de 5,8%, enquanto no roto a mortalidade varia de 40 a 80% intra-hospitalar (PARAVASTU, 2014). Estima-se que a mortalidade geral possa chegar a 95% pois muitos pacientes morrem antes de dar entrada no hospital (KANTONEN, 1999; PARAVASTU, 2014). Pode-se concluir que as intervenções precoces representam diminuição significativa na morbimortalidade do paciente.

2.2 AFERIÇÃO DAS MEDIDAS PRÉ-OPERATÓRIAS

Em 1997 Comitê Ad Hoc para Práticas Padronizadas de Relatórios em Cirurgia Vascul ar da Sociedade de Cirurgia Vascul ar/Sociedade Internacional para Cirurgia Cardiovascular criou o primeiro modelo de relatório para aneurismas de aorta abdominal infra-renal, os fatores clínicos e anatômicos eram baseados em TC, ressonância magnética e angiografia (CHAIKOF, 2002b; TORLAI, 2006).

Em 2002 foi publicado uma atualização pelo Comitê de Padronização de Relatórios em Cirurgia Vascul ar determinando os critérios para análise dos resultados pós reparo endovascular do aneurisma de aorta (CHAIKOF, 2002a; TORLAI, 2006). Esse consenso recomenda que a classificação do aneurisma de acordo com o local, etiologia e manifestações clínicas (CHAIKOF, 2002b; TORLAI, 2006).

No mesmo jornal de cirurgia vascul ar outros autores propuseram um escore de gravidade das comorbidades que influenciam na morbimortalidade do paciente submetido a tratamento endovascular e um escore de gravidade dos fatores anatômicos que afetam o sucesso dessa técnica baseados nas imagens da TC (CHAIKOF, 2002a; TORLAI, 2006). Estes autores evidenciaram que as características anatômicas determinam o potencial de dificuldade e complicações do EVAR, levando em consideração parâmetros como: diâmetro, extensão e tortuosidade dos colos proximal e distal; tortuosidade, porcentagem de área ocupada pelos

trombos, assim como os ramos que se originam do saco aneurismático; perfusão pélvica; diâmetro, tortuosidade e calcificação das artérias ilíacas, entre outros (CHAIKOF, 2002a; TORLAI, 2006).

Atualmente os parâmetros analisados são, conforme Figura 1 (TORLAI, 2006):

- 1- Forma (reto/tortuoso) e diâmetro máximo do colo proximal;
- 2- Extensão do colo proximal até a artéria renal mais baixa;
- 3- Diâmetro máximo do aneurisma;
- 4- Extensão do aneurisma no maior eixo;
- 5 - Trombos e calcificações na aorta;
- 6 - Diâmetro, extensão e perviedade das artérias ilíacas comuns;
- 7 - Diâmetro das artérias ilíacas externas;
- 8 - Presença e diâmetro máximo do colo distal e diâmetro da luz da aorta.

Alguns conceitos anatômicos devem ser definidos para análise padronizada do aneurisma de aorta abdominal infra-renal. O colo é onde a prótese deve ser fixada e pode ser classificado em proximal e distal. O colo proximal é definido como região da aorta de diâmetro normal que se estende da artéria renal mais caudal até o início do aneurisma, enquanto o colo distal é o segmento da aorta entre a porção mais caudal do aneurisma e a bifurcação aórtica (CHAIKOF, 2002b; TORLAI, 2006). O colo distal pode estar ausente se o aneurisma se estender para as artérias ilíacas, quando presente determina a escolha da endoprótese que será utilizada, se bifurcada ou mono-ilíaca (TORLAI, 2006).

O diâmetro máximo do aneurisma deve ser medido de parede a parede (TORLAI, 2006) perpendicularmente à linha de fluxo sanguíneo do vaso, com reconstrução 3D de imagens de TC (CHAIKOF, 2002b; TORLAI, 2006). Como a tomografia mostra imagens axiais, mas muitas vezes parece elíptica, o eixo menor geralmente é a aproximação mais apropriada do diâmetro verdadeiro (CHAIKOF, 2002b; TORLAI, 2006). A diferença nas medidas de diâmetro intra-observador e inter-observador de imagens da TC variam de 2 a 5mm ou 5 a 15%, portanto é considerada alteração significativa variações maiores que 5mm (CHAIKOF, 2002b).

A tortuosidade do aneurisma, angulação e a área ocupada pelos trombos indicam o risco de embolização, sendo necessário informar o diâmetro da luz do aneurisma. Importante medir o tamanho do colo aórtico, a zona de selagem da artéria ilíaca e os ramos aórticos, pois são os principais fatores de risco para formação de *endoleaks* (TORLAI, 2006).

O volume total do aneurisma é definido como o volume dentro das paredes da aorta entre a artéria renal mais caudal até um marco distal reprodutível como bifurcação aórtica. Pode ser dividido em volume lumínico, e não-lúmen, geralmente preenchido pelos trombos e

endoleaks (CHAIKOF, 2002b). A diferença nas medidas de volume intra-observador e inter-observador variou entre 3 e 5%, portanto é considerada alteração significativa alteração de volume iguais ou maiores de 5% (CHAIKOF, 2002b) .

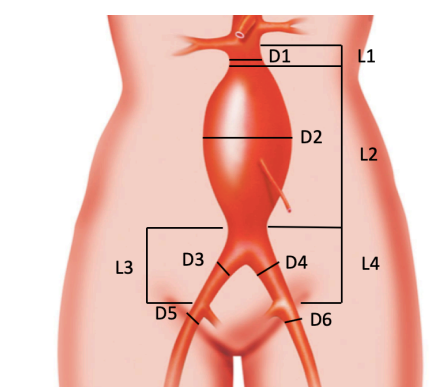
O comprimento da aorta deve ser medido a partir da artéria renal mais caudal até a bifurcação aórtica, através do eixo da linha de fluxo nas reconstruções tridimensionais. Se a medida for feita a partir de imagens da TC axial o comprimento do aneurisma é subestimado (CHAIKOF, 2002b).

A anatomia das artérias ilíacas é de suma importância para obtenção do acesso à aorta, zona de selamento da endoprótese e também para a manutenção da perfusão pélvica e órgãos adjacentes (HENRETTA, 1999; TORLAI, 2006). A depender dos critérios: calcificação, diâmetro, estenose, extensão e tortuosidade dos segmentos ilíacos (HENRETTA, 1999; TORLAI, 2006), o tempo de cirurgia pode se estender por dificuldade técnica ou ocorrer trauma vascular iatrogênico (HENRETTA, 1999).

Torlai et al. (2006) criaram um padrão de relatório de tomografia computadorizada para aneurisma de aorta abdominal infra-renal, através de entrevistas com cirurgiões vasculares. O modelo se encontra de acordo com a literatura atual das medidas necessárias para planejamento pré-operatório, conforme Figura 1.

Figura 1 - Modelo de relatório de tomografia computadorizada para análise do aneurisma de aorta abdominal.

<p>D1: diâmetro do colo proximal D2: diâmetro do aneurisma D3 e D4: diâmetro das artérias ilíacas comuns D5 e D6: diâmetro das artérias ilíacas externas L1 extensão do colo proximal L2: extensão do aneurisma L3: extensão do fim do aneurisma a bifurcação ilíaca direita L4: extensão do fim do aneurisma a bifurcação ilíaca esquerda</p>



Fonte: Adaptado TORLAI (2006) e <https://www.pennmedicine.org>.

2.3 ASPECTOS RELACIONADOS AOS TIPOS DE CIRURGIA DE CORREÇÃO DE ANEURISMA DE AORTA ABDOMINAL

O aneurisma de aorta abdominal pode ser corrigido através da técnica aberta ou endovascular. Ambos tratamentos utilizam uma prótese intra-arterial, excluindo o aneurisma da pressão arterial e redirecionando o fluxo (PARAVASTU, 2014), eliminando o risco de ruptura e morte (TORLAI, 2006).

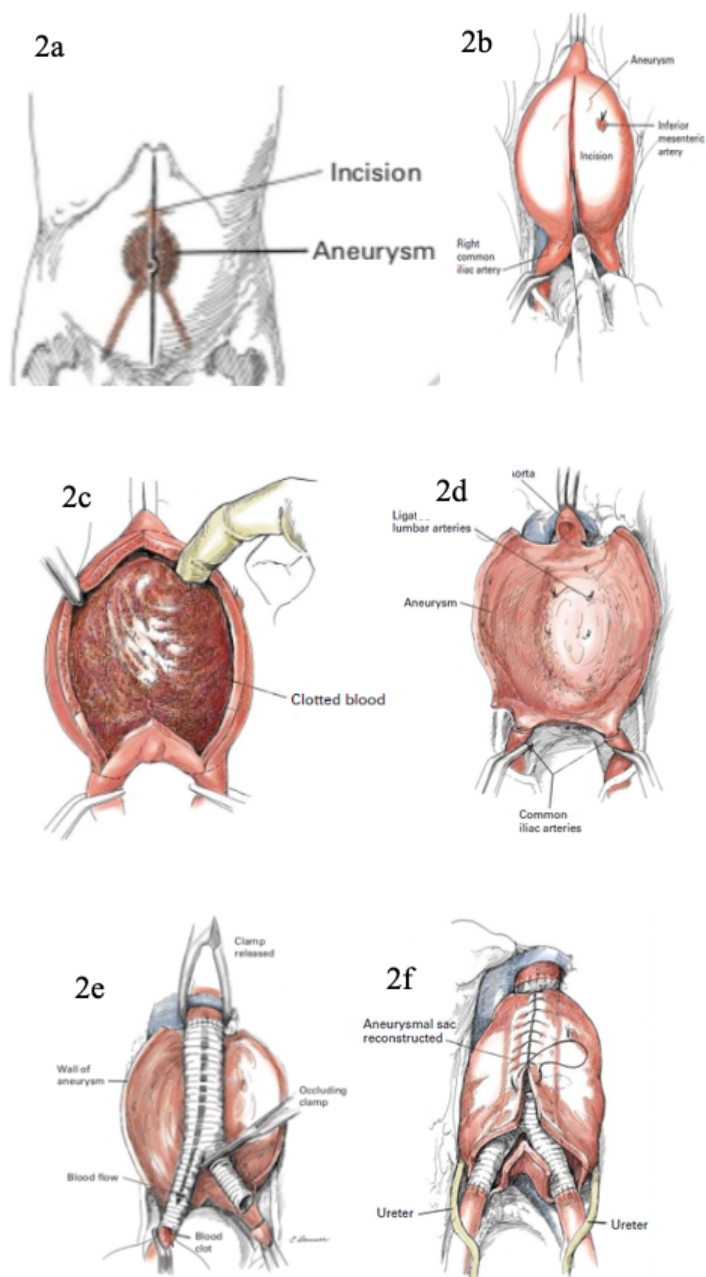
A técnica aberta inicia-se com uma incisão mediana xifo-pubiana (Figura 2a), logo após, a maior parte do intestino delgado pode ser rebatido para a direita e inserido em um saco plástico com solução salina e o restante do delgado assim como o intestino grosso podem ser rebatidos superior ou lateralmente, para melhor exposição da área de abordagem cirúrgica (ZOLLINGER, 2013).

Realiza-se dissecação do peritônio sobre a superfície anterior do aneurisma para liberar e proteger a veia renal esquerda, com objetivo de aumentar o espaço para clampeamento aórtico acima do aneurisma.

A artéria mesentérica inferior geralmente é ligada (Figura 2b), porém em alguns casos ela faz importante suprimento sanguíneo do cólon esquerdo e o reimplante deste vaso no enxerto aórtico faz-se necessário. As artérias ilíacas comuns são clampeadas após identificação dos ureteres, só então o cirurgião solicita ao anestesista para injetar heparina endovenosa, para proteção da formação de coágulos e oclusão das extremidades durante o pinçamento aórtico proximal (abaixo das renais) e ilíaco (CHAIKOF, 2002).

O aneurisma é incisado (Figura 2b), o trombo mural extraído (Figura 2c) e as artérias lombares são ligadas (Figura 2d). Inserido enxerto e suturado na parede da aorta e das ilíacas (Figura 2e). Imediatamente antes da conclusão da sutura o clampeamento aórtico é liberado para retirar coágulos que possam ter acumulado. O fluxo sanguíneo é reestabelecido de maneira gradual juntamente com maior administração de fluidos ou hemocomponentes, para evitar a hipotensão. Para finalizar, a parede do aneurisma é fechada sobre a anastomose do enxerto (Figura 2f) e o fechamento abdominal de rotina é realizado (ZOLLINGER, 2013).

Figura 2 – Etapas da técnica cirúrgica aberta de correção de aneurisma de aorta abdominal: (a) incisão mediana xifo-púbica; (b) incisão do aneurisma, clampeamento aórtico proximal e das ilíacas comuns e ligadura da artéria mesentérica inferior; (c) retirada manual do trombo mural; (d) ligadura das artérias lombares; (e) inserção e sutura do enxerto na parede aórtica e ilíaca; (f) sutura da parede do aneurisma sob o enxerto.

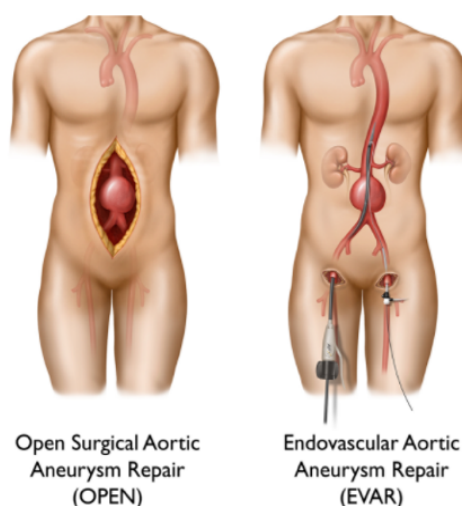


Fonte: Zollinger's Atlas of Surgical Operations, Ninth Edition.

A cirurgia aberta necessita de grande incisão abdominal e maior tempo cirúrgico, o que expõe o paciente a alto risco de complicações (PARAVASTU, 2014). Essa técnica necessita de interrupção temporária do fluxo arterial do segmento afetado (ZOLLINGER, 2013), o que pode ocasionar vários graus de isquemia e conseqüentemente diminuição da função de órgãos relacionados a este aporte vascular.

O reparo endovascular é menos invasivo (KUMAR, 2018), realizado através de arteriotomia femoral, conforme Figura 3, a endoprótese é então inserida por um cateter até o aneurisma e se fixa no interior da artéria através de sua força radial, reforçando a parede aneurismática e prevenindo a ruptura do aneurisma (HOANG, 2016; PARAVASTU, 2014).

Figura 3 - Técnica cirúrgica endovascular (EVAR) para correção de aneurisma de aorta abdominal.



Fonte: Angiogyn Inc. (angiogyn.com.br, 2019).

A endoprótese é feita de um *stent* metálico, utilizado para sustentação, recoberto com tecido que objetiva a exclusão do aneurisma da pressão arterial através do redirecionamento do fluxo sanguíneo. Os metais mais utilizados para a produção dessas próteses endoluminais são o níquel titânio, cromo cobalto e aço inoxidável, e as coberturas de tecido são fabricadas a partir do polietilenoteraftalato (DACRON) e o PTFE (politetrafluoroetileno expandido). Essas próteses podem ter um segmento proximal não recoberto, chamado free-flo, utilizado para fixar a prótese na parede sem impedir o fluxo sanguíneo para as ramificações locais (SAAD, 2009).

Com o avanço tecnológicos, diversos materiais foram utilizados, assim como tamanhos, resistência e maleabilidade estão disponíveis. Os cirurgiões devem conhecer essas diferentes características para escolha do enxerto que melhor se adapte a anatomia do paciente (SAAD, 2009).

Não há consenso quanto a melhor abordagem para o tratamento do aneurisma de aorta abdominal (PARAVASTU, 2014). O reparo endovascular (EVAR) tem menor tempo cirúrgico, menor perda de sangue e mortalidade em 30 dias, menos complicações cardíacas e respiratórias, resultando diminuição do período de internação e de permanência em unidade de cuidados intensivos, porém a mortalidade a médio e longo prazo é semelhante a cirurgia aberta (PARAVASTU, 2014).

Dentre as principais complicações, as pulmonares foram mais frequentes na cirurgia aberta, a reintervenção foi mais frequente no EVAR e não foram observadas diferenças em relação a infarto do miocárdio, AVC fatal ou não fatal ou complicações renais (PARAVASTU, 2014).

2.4 A IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E OS BIOMODELOS

O termo prototipagem rápida médica (MRP) é utilizado para descrever a capacidade de replicar imagens médicas da anatomia humana em modelos físicos com dimensões precisas (WINDER, 2005). Essa técnica vem sendo utilizada em diversas áreas da saúde (D'URSO, 1999; MCGURK, 1997; WINDER, 2005), aplicados como planejamento pré-operatório, simulação cirúrgica (MCGURK, 1997; PETZOLD, 1999) ou para testar ferramentas cirúrgicas (HOANG, 2016). Em alguns estudos essa tecnologia culminou com menor tempo cirúrgico e de anestesia geral com resultados cirúrgicos mais previsíveis e precisos (CARVALHO, 2015; MEHRA, 2011; TAM, 2013).

O processo para criação de biomodelos consiste uma série de etapas (HOANG, 2016, WINDER, 2005), inicia-se com a aquisição de imagem de alta qualidade da anatomia que será modelada, geralmente obtido por meio da tomografia computadorizada (TC) (WINDER, 2005) em formato bidimensional DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) (HOANG, 2016).

O arquivo 2D é convertido em 3D e posteriormente convertido no padrão STL (STereoLithography) (CHEN, 1999; HOANG, 2016), formato que a máquina de impressão tridimensional consegue interpretar e produzir biomodelos (D'URSO,1999; HOANG, 2016). No formato STL o documento é importado para outro *software* a fim de processar os dados para extrair os tecidos circundantes da região de interesse de impressão (HOANG, 2016; WINDER, 2005).

No presente trabalho utilizamos o *software* Horos DICOM Viewer® para aquisição das imagens em DICOM e para conversão em STL. A exclusão dos artefatos foi realizada por meio do *software* Meshmixer®.

Em seguida, a depender do modelo e da região de interesse é possível segmentar e também criar uma base de apoio para sustentar o modelo que será impresso (D'URSO,1999; WINDER, 2005). Os pilares de sustentação são retirados manualmente após todo o processo ser concluído (D'URSO,1999; WINDER, 2005).

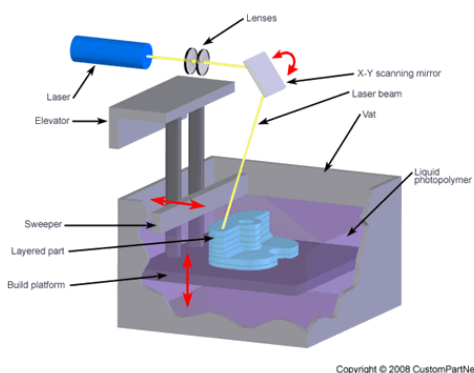
Os biomodelos podem ser produzidos por meio de adição ou subtração de material. O material é depositado camada por camada na manufatura aditiva (HOANG, 2016; PETZOLD, 1999), em contraste com a subtrativa onde é removido material de um bloco pré-existente (HOANG, 2016).

As principais técnicas da manufatura aditiva variam de acordo com o estado físico do material inicial utilizado para fabricação, que pode ser líquido, pó ou sólido (VOLPATO, 2007). Os processos são divididos em: estereolitografia, sinterização seletiva a laser, modelagem por múltiplos jatos e modelagem por deposição por fusão (PETZOLD, 1999). Esta última foi a utilizada para realizar esse trabalho.

A estereolitografia (SLA) cria modelos através da polimerização de resina ultravioleta fotossensível (D'URSO, 1999; HOANG, 2016; MCGURK, 1997; MEHRA, 2011; PETZOLD, 1999; WINDER, 2005). O modelo é curado pelo laser transformando o líquido em sólido (D'URSO, 1999; MCGURK, 1997) , primeiro a parte externa do objeto e depois o interior (PETZOLD, 1999). Quando esse processo finaliza a impressora banha o modelo em nova resina líquida, desenhando camada por camada (PETZOLD, 1999; WINDER, 2005), conforme Figura 4. As vantagens dessa técnica são a alta precisão (MCGURK, 1997; PETZOLD, 1999; MEHRA, 2011; WINDER, 2005), a transparência do material (PETZOLD, 1999) e capacidade

de produzir uma região de outra coloração (MCGURK, 1997; PETZOLD, 1999). A principal desvantagem é o pós-processamento devido a complexidade para remoção do suporte e o demorado processo de limpeza (PETZOLD, 1999; WINDER, 2005).

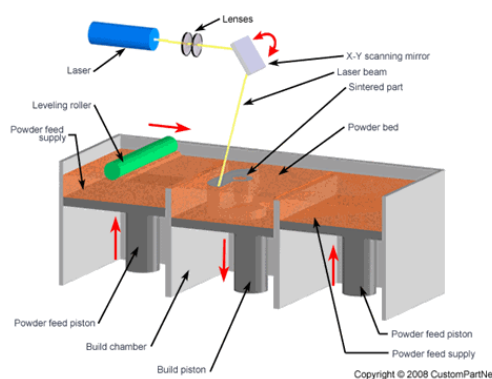
Figura 4 - Funcionamento da tecnologia SLA.



Fonte: CustomPartNet Inc. (CUSTOMPART.NET, 2019).

A Sinterização seletiva a Laser (SLS) usa um laser de dióxido de carbono (CO_2) (HOANG, 2016) para sintetizar uma camada de pó termoplástico e construir um modelo (HOANG, 2016; MCGURK, 1997; PETZOLD, 1999), conforme demonstrado na Figura 5. A vantagem é a quantidade de pós termoplásticos diferentes disponíveis, porém a desvantagem é o custo elevado (PETZOLD, 1999).

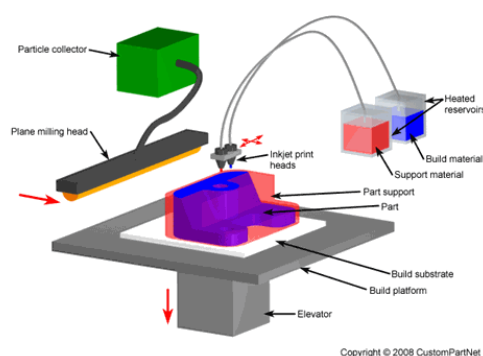
Figura 5 - Funcionamento da tecnologia SLS.



Fonte: CustomPartNet Inc. (CUSTOMPART.NET, 2019).

A *Multi Jet Modeling* (MJS) pressiona material termoplástico líquido em bicos de jato de tinta sob um pó de metal ou cerâmica, esses materiais se solidificam e constroem uma camada sólida fina (Figura 6). Essa tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento no ambiente médico (HOANG, 2016; MCGURK, 1997; PETZOLD, 1999).

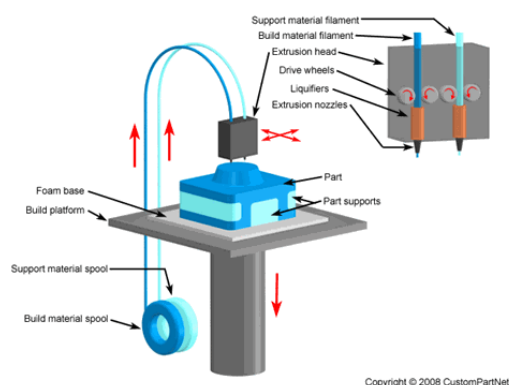
Figura 6 - Funcionamento da tecnologia MJS.



Fonte: CustomPartNet Inc. (CUSTOMPART.NET, 2019).

A FDM (*Fused Deposition Modeling*) deposita material termoplástico aquecido em camadas (HOANG, 2016), através de processos de extrusão e solidificação (MCGURK, 1997; PETZOLD, 1999) demonstrado na Figura 7. Utilizar diversos materiais de diferentes colorações, boa precisão e a possibilidade de esterilizar, são as principais vantagens. Entre as desvantagens estão o longo tempo de criação e qualidade de detalhes inferior a da SLA (PETZOLD, 1999).

Figura 7 - Funcionamento da tecnologia FDM.



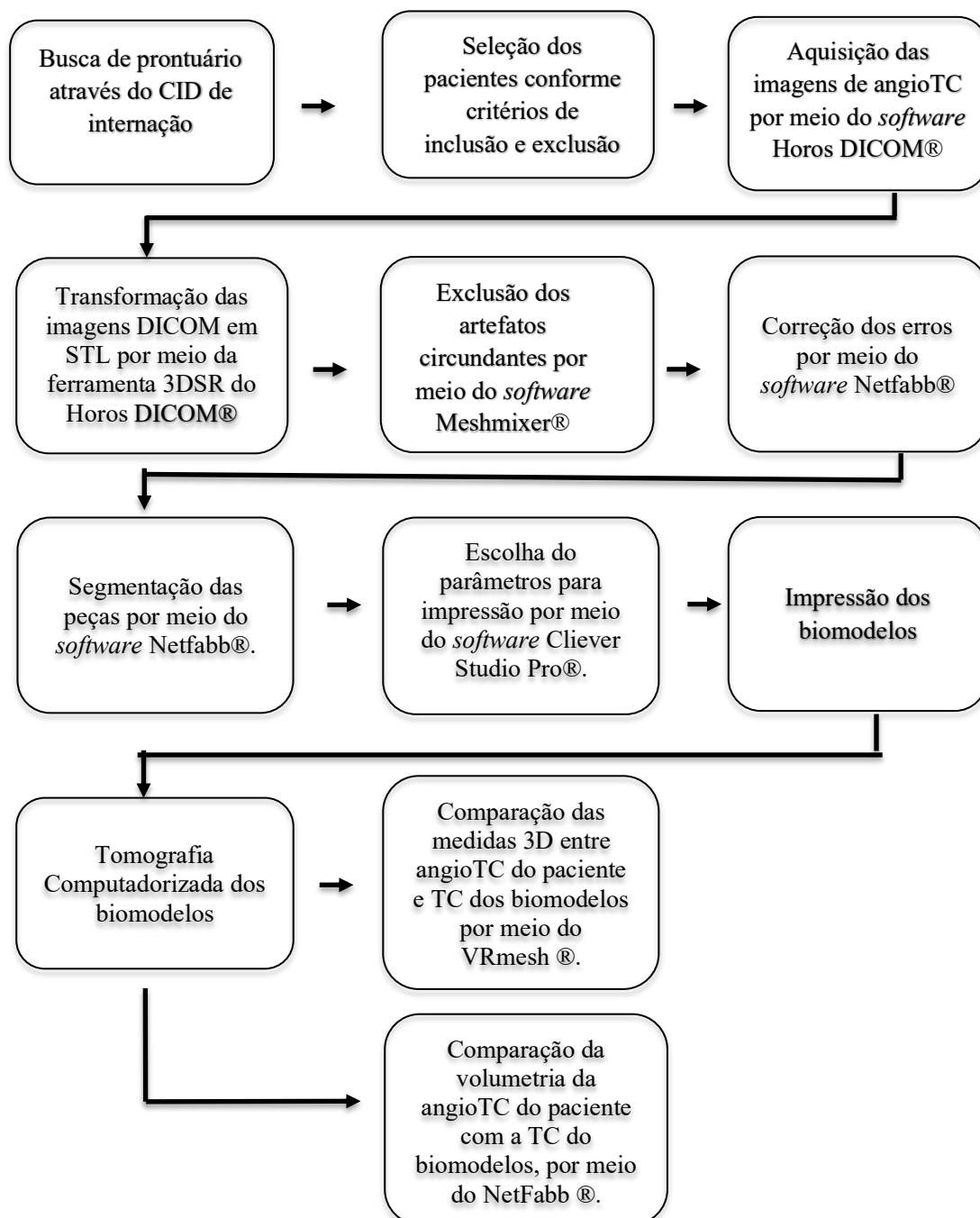
Fonte: CustomPartNet Inc. (CUSTOMPART.NET, 2019).

Neste trabalho foi utilizado a tecnologia FDM, através das impressoras Cliever CL2 Pro® e Cliever CL2 Pro Plus®, propriedades do HUSM. Impresso com ácido polilático (PLA), um material biodegradável, reciclável (PEREIRA, 2014) e produzido a partir de fontes renováveis como o milho, mandioca e cana de açúcar. Apresenta ponto de fusão elevado (250° C), então pode ser submetido a esterilização a vapor e por imersão em glutaraldeído (HOANG, 2016).

Atualmente há pouca experiência na utilização de biomodelos como planejamento pré-operatório em cirurgia de correção de aneurisma de aorta abdominal. O desenvolvimento de um dispositivo com métodos fidedignos de aferição proporciona melhor visualização anatômica de cada caso, o que poderia aprimorar as estratégias cirúrgicas e resultar em redução das doses de radiação, do tempo do procedimento e custo cirúrgico, influenciando em melhor resultado para o paciente.

3 METODOLOGIA

Figura 8 - Metodologia da pesquisa.



Fonte: Elaborada pelo autora (2019).

3.1 DELINEAMENTO

O estudo teve uma abordagem retrospectiva, quantitativa e transversal.

3.2 POPULAÇÃO- ALVO

O grupo amostral do presente trabalho é de pacientes submetidos a correção de aneurisma de aorta abdominal através de cirurgia endovascular realizada no Hospital Universitário de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de janeiro de 2016 a novembro de 2017.

3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

- Pacientes com diagnóstico de aneurisma de aorta abdominal realizado por angiotomografia realizada no HUSM no período de janeiro de 2016 a novembro de 2017 com realização de tratamento cirúrgico endovascular eletivo.

3.4 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

- Pacientes com diagnóstico de aneurisma de outras artérias que não a aorta abdominal;
- Pacientes com diagnóstico de aneurisma de aorta abdominal através de exames de imagem que não no HUSM;
- Pacientes com diagnóstico de aneurisma de aorta abdominal com indicação de cirurgia aberta;
- Pacientes com diagnóstico de aneurisma de aorta abdominal sem indicação cirúrgica;
- Pacientes com diagnóstico de aneurisma de aorta abdominal com indicação cirúrgica de urgência;
- Pacientes com diagnóstico de dissecção de aneurisma de aorta associado ao aneurisma;
- Pacientes com diagnóstico de aneurisma de aorta abdominal aguardando procedimento cirúrgico.

3.5 COLETA DE DADOS

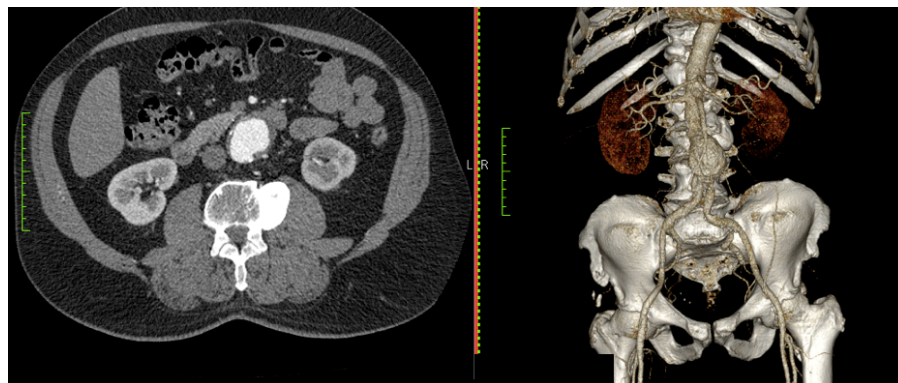
O presente trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo retrospectivo observacional. Foram pesquisados através do setor de estatística, todos os prontuários de pacientes internados no Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) entre janeiro de 2016 e novembro de 2017 e que possuíam algum tipo de aneurisma de aorta. Essa busca foi realizada através do Código Internacional de Doenças (CID), que pode ser encontrado no site da Organização Mundial de Saúde (OMS), por meio do site www.who.int/classification/icd/en/. Os CIDs selecionados foram: aneurisma dissecante da aorta [qualquer porção] (I71.0), aneurisma da aorta abdominal, sem menção de ruptura (I71.4), aneurisma da aorta toraco-abdominal, sem menção de ruptura (I71.6), aneurisma da aorta abdominal, roto (I71.3) e aneurisma de outras artérias especificadas (I72.8).

Os prontuários foram analisados individualmente e excluídos os que realizaram cirurgia aberta, tratamento conservador, aneurisma de aorta abdominal roto, aneurisma de aorta torácica, dissecação de aorta abdominal ou torácica, internados por complicações de cirurgia de correção de aneurisma de aorta prévio e os que ainda estão aguardando cirurgia. Foram considerados elegíveis para a pesquisa apenas os prontuários dos pacientes que realizaram angiotomografia no HUSM e cirurgia endovascular no período de janeiro de 2016 a novembro de 2017.

3.6 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E A IMPRESSÃO DOS BIOMODELOS

O processo para criação dos biomodelos iniciou com a aquisição de imagens seccionais da angiotomografia computadorizada dos pacientes selecionados em formato DICOM do *software* Horos DICOM®, os arquivos foram transformados em arquivo tridimensional em formato STL por meio da ferramenta 3DSR do mesmo *software*, conforme Figura 9.

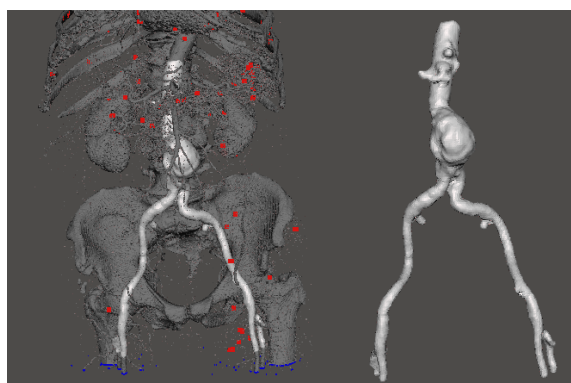
Figura 9 - Angiotomografia de aorta abdominal através do *Software* Horos®, em corte axial e em 3D, respectivamente.



Fonte: Acervo pessoal da autora.

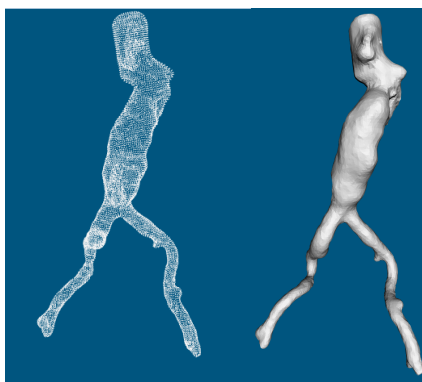
Os dados foram processados manualmente utilizando o *software* Meshmixer® para segmentar o modelo em questão, excluir todos os artefatos circundantes à região do aneurisma, como demonstrado na Figura 10. Esse *software* importa os dados do Horos® e produz imagens através de nuvens de pontos esparsas (Figura 11), que são processadas a fim de se obter nuvens de pontos densas, também conhecidas como malhas triangulares (Figura 11).

Figura 10: Utilizado o *software* Meshmixer® para selecionar somente a região de interesse.



Fonte: Acervo pessoal da autora.

Figura 11 - Modelo em nuvem de pontos e em malhas triangulares, respectivamente, no software VRMesh®.



Fonte: Acervo pessoal da autora.

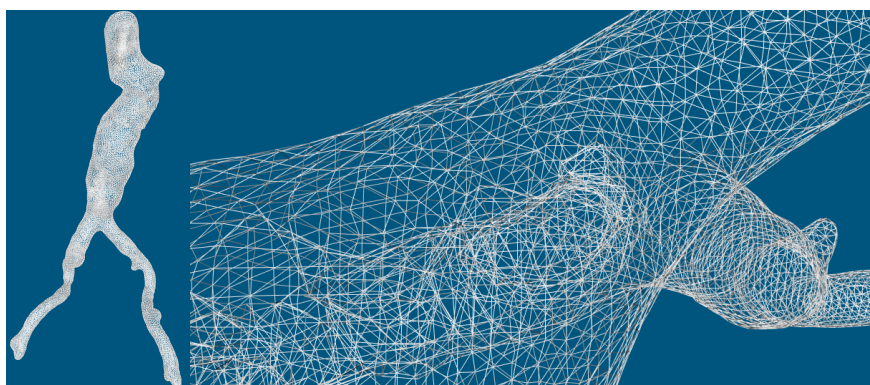
As nuvens de pontos esparsas são modelos de associação de fotografias formadas por um conjunto de pontos de coordenadas tridimensionais (X, Y e Z), através da triangulação, objetivando criar representações 3D de imagens existentes. Após a criação da nuvem de pontos, são utilizados diversos algoritmos para *dense matching*, a fim de associar todos os pixels de uma imagem com os correspondentes nas outras, obtendo as coordenadas tridimensionais necessárias e gerando as malhas triangulares, geradas a partir de cinco etapas (GROETELAARS, 2011):

- 1- Escolher a imagem que se deseja reproduzir;
- 2- Correlacionar as imagens através da associação automática de feições;
- 3- Geração de nuvem de pontos;
- 4- Associação densa de pixels homólogos;
- 5- Criação do modelo geométrico na forma de malhas triangulares.

As malhas triangulares são formadas de vértices, arestas e triângulos (Autodesk Inc, 2019). Vértices são os pontos de encontro de duas arestas, a linha que une dois vértices forma uma aresta e um triângulo conecta três vértices (Autodesk Inc, 2019). O agrupamento dos triângulos forma uma malha e a superfície produzida possibilita a impressão.

As “estruturas de arame” ou “*wireframe*” podem ser obtidos através da nuvem de pontos ou pela malha triangular (Figura 12). Esses modelos utilizam arestas para definir seus limites e permitem a visualização do interior e exterior do objeto. É geralmente utilizado para observar a representação de objetos ocultos aos panoramas anteriormente descritos, podendo servir como referência para a modelagem geométrica do objeto (Groetelaars, 2011).

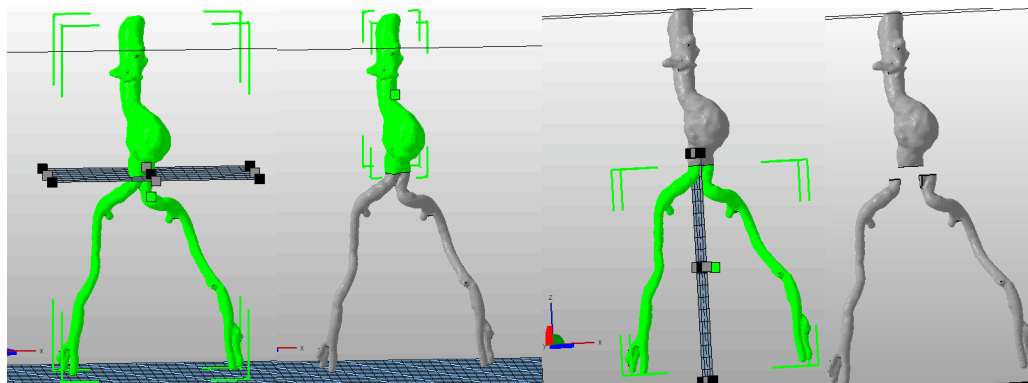
Figura 12 - Modelo inteiro em *wireframe* e com zoom, respectivamente, no software VRMesh®.



Fonte: Acervo pessoal da autora.

O modelo foi segmentado e os eventuais erros de preenchimento na malha foram corrigidos por meio do *software* Netfabb® (Figura 13). Após a execução dessa etapa o arquivo foi exportado para o *software* Cliever Studio 5.1 Pro® (Figura 14).

Figura 13: Segmentação do modelo utilizando o *software* Netfabb®.



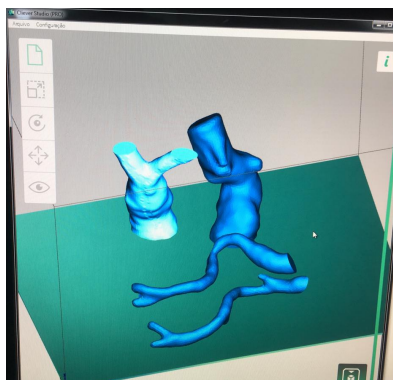
Fonte: Acervo pessoal da autora.

O *software* Cliever Studio versão 5.1 Pro®, foi desenvolvido para gerenciar as impressões nas máquinas da própria marca (CLIEVER INC, 2019). É possível escolher:

- 1- Preenchimento interno, que definirá a densidade da peça;
- 2- Espessura das bordas, que determina o número de camadas depositadas uma ao lado da outra para engrossar as paredes;
- 3- Altura entre as camadas, ou seja, quantas camadas na vertical deverão ser impressas antes de preencher internamente;
- 4- Ângulo de ativação do suporte, para o material não ser depositado no ar (CLIEVER INC, 2019) é necessária a inclusão de um pilar de sustentação para criação de peças com angulação menor que 45° em relação a mesa de impressão (CUSTOMPART.NET, 2019).

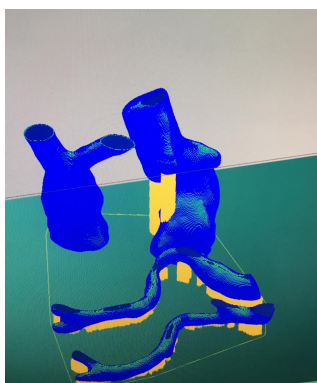
No presente trabalho a impressão foi realizada através da segmentação de cada modelo em 4 partes (Figura 14). Entre as ferramentas disponíveis no Cliever Studio Pro® foi utilizado preenchimento interno de 5%, espaçamento entre as camadas (espessura) de duas unidades, altura entre as camadas de 0,25mm e um ângulo de ativação do suporte entre $30-45^\circ$ (Figura 15), dependendo do modelo. Essas medidas foram escolhidas com objetivo de diminuir o tempo de impressão, reduzir o tamanho do suporte visando economia de material e de tempo para retirada dos pilares.

Figura 14 - Modelo dividido em 4 segmentos para o processo de impressão; *Software Cliever Studio versão 5.1Pro®*.



Fonte: Acervo pessoal da autora.

Figura 15 - Biomodelo após a colocação de suportes; *Software Cliever Studio versão 5.1 Pro®*.

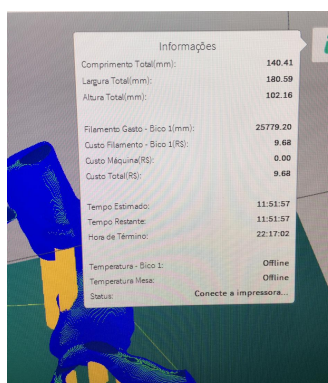


Fonte: Acervo pessoal da autora.

As espessuras dos modelos foram ampliadas em 1mm para atender as exigências técnicas de impressão 3D. Esta condição se faz necessária para obter espessura mínima para

impressão e assim posicionar as partes dos modelos sobre a base, evitando imprecisões e eventuais perdas de material para a sustentação das partes. Conforme o processo de manufatura aditiva empregado na impressão das partes, a escolha da posição e orientação das mesmas influencia significativamente os custos e o tempo de impressão (Figura 16).

Figura 16 - Relatório fornecido *Software* Cliever Studio versão 5.1 Pro® com informações de altura, largura e comprimento do modelo, tamanho e custo de filamento e tempo estimado de impressão.



Informações	
Comprimento Total(mm):	140.41
Largura Total(mm):	180.59
Altura Total(mm):	102.16
Filamento Gasto - Bico 1(mm):	25779.20
Custo Filamento - Bico 1(R\$):	9.68
Custo Máquina(R\$):	0.00
Custo Total(R\$):	9.68
Tempo Estimado:	11:51:57
Tempo Restante:	11:51:57
Hora de Término:	22:17:02
Temperatura - Bico 1:	Offline
Temperatura Mesa:	Offline
Status:	Conecte a impressora...

Fonte: Acervo pessoal da autora.

As impressoras 3D utilizadas para a fabricação das amostras foram Cliever CL2 Pro Plus ® (Figura 17) e Cliever CL2 Pro® (Figura 18), disponíveis no HUSM, que imprimem os modelos em PLA através da tecnologia FDM. O tempo médio de impressão foi de 14 horas e o custo de filamento de aproximadamente 13 reais por biomodelo. A impressora Cliever CL2 Pro Plus de dimensões 510mm (laterolateral) x 440mm (anteroposterior) x 790mm (altura), 34kg, possui um bico extrusor e área de impressão: 300mm (laterolateral) x 230mm (anteroposterior) x 450mm (altura) (CLIEVER, 2017).

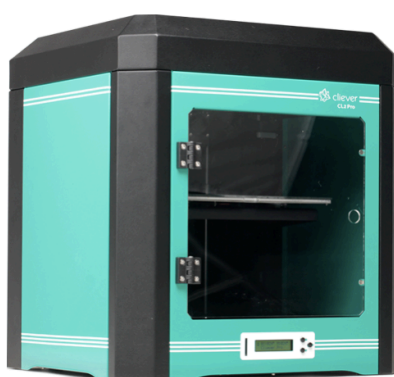
Figura 17 - Impressora Cliever CL2 Pro Plus®.



Fonte: CLIEVER, 2019.

A impressora Cliever CL2 Pro® (Figura 18) de dimensões 510mm (laterolateral) x 440mm (póstero-anterior) x 540mm (altura) permite impressões grandes de até 300x230x200mm quando com 1 extrusor e 230x230x200 quando com 2 extrusores. A impressora disponível no hospital possuía 1 extrusor, peso 29kg (CLIEVER INC, 2019) . A temperatura adequada para impressão em PLA, independente da impressora é de 180 a 200° C e a temperatura da mesa entre 50 a 60° C (CUSTOMPART, 2019).

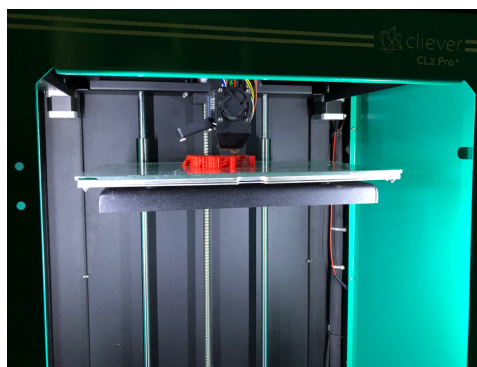
Figura 18 - Impressora Cliever CL2 Pro®.



Fonte: CLIEVER Inc., 2019.

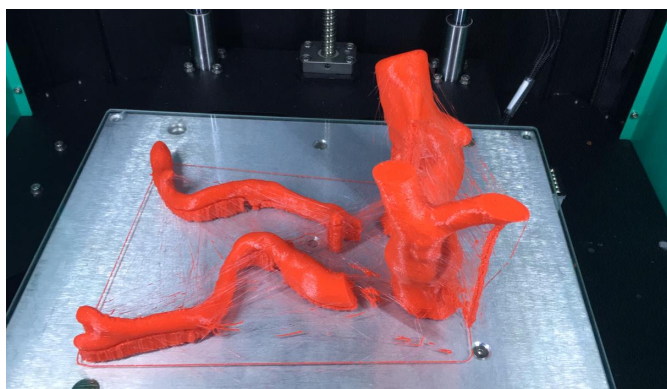
A Figura 19 mostra a impressora Cliever CL2 Pro ® iniciando a produção dos biomodelos, enquanto a Figura 20 demonstra o término da impressão. Após finalizado o processo, os pilares de sustentação foram retirados manualmente e as quatro partes dos biomodelos foram colados com acetona e/ou Super Bonder® para formar o modelo PLA em tamanho real de cada um dos pacientes envolvidos, conforme Figura 21.

Figura 19 - Impressão dos biomodelos através da Cliever CL2 Pro®.



Fonte: Acervo pessoal da própria autora (2019).

Figura 20 -Término da Impressão do biomodelos.



Fonte: Acervo pessoal da autora (2019).

Figura 21 - Biomodelos após retirada dos suportes e colagem.



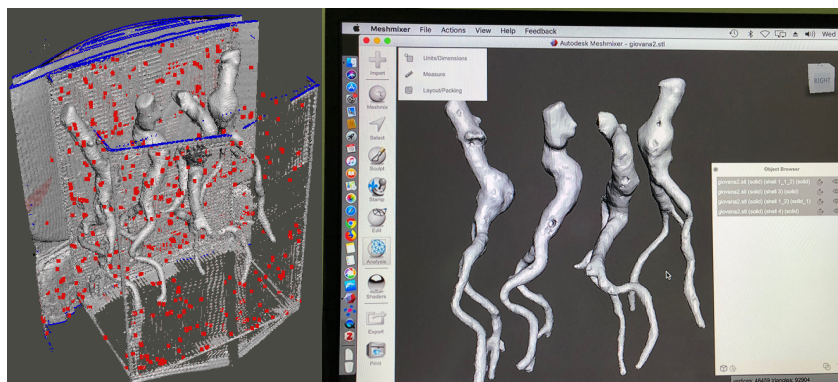
Fonte: Acervo pessoal da autora (2019).

3.7 MEDIDAS DOS SEGMENTOS DO ANEURISMA DE AORTA ABDOMINAL

Finalizado todo o processo de impressão, os biomodelos foram colocados em uma caixa de papelão, separados com isopor. O isopor foi utilizado para não haver sobreposição das imagens dos biomodelos e a caixa de papelão com fins de redução dos custos, realizando assim somente uma TC ao invés de uma TC para cada paciente. Os artefatos não essenciais para o estudo foram eliminados de maneira manual por meio do *software* MeshMixer® (Figura 22).

As medidas de pontos da aorta abdominal de pacientes submetidos a correção endovascular de aneurisma de aorta abdominal no HUSM, no período de janeiro de 2016 a novembro de 2017, obtidas da tomografia computadorizada dos biomodelos 3D, foram comparadas as medidas 3D realizadas no Horos DICOM Viewer ®. As aferições métricas foram sobrepostas e comparadas por meio dos *softwares* VRMesh®, enquanto que as análises volumétricas foram feitas por meio do *software* NetFabb®.

Figura 22 - Antes e depois de eliminar a imagem da caixa de papelão através do *software* MeshMixer®.

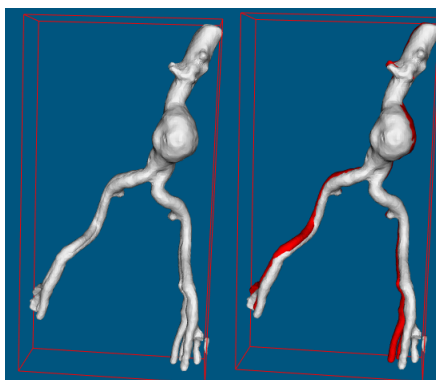


Fonte: Acervo pessoal da própria autora(2019).

Os arquivos STL TC_Paciente e TC_PLA_Paciente, referentes a angiotomografia pré-operatória e a tomografia dos biomodelos impressos em 3D respectivamente, foram exportados para o software VRMesh® - nuvem de pontos 3D e software de processamento de malhas .

O modelo de superfície do TC_Paciente foi tornado visível e sobreposto ao modelo TC_PLA_Paciente, usando um registro rígido. Como os arquivos foram provenientes do mesmo paciente, os dados compartilhados em cada varredura possuem uma referência comum e, portanto, podem ser automaticamente alinhados uns aos outros. A cor de um dos modelos pode ser mudada, para melhorar a identificação, selecionando no arquivo a ferramenta “color”, conforme Figura 23.

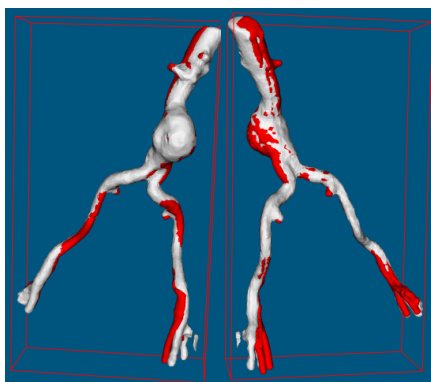
Figura 23 - Arquivos TC_Paciente e TC_PLA_Paciente e mudança de cor para melhor visualização, respectivamente, utilizando o *software* VRMesh ®.



Fonte: Acervo pessoal da própria autora(2019).

Para cada paciente, as malhas do modelo (TC_PACIENTE) e (TC_PLA_Paciente) foram agrupadas através da função “registration”, “global registration” e “apply”, conforme Figura 24.

Figura 24 - Fusão dos modelos em posição anterior e posterior, respectivamente, utilizando o *software* VRMesh ®.

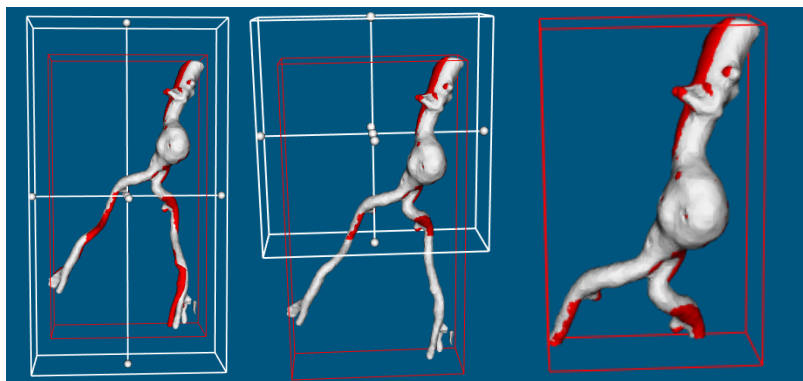


Fonte: Acervo pessoal da própria autora(2019).

Tanto o (TC_Paciente) quanto o (TC_PLA_Paciente) foram seccionados no modelo 3D para remover as áreas pouco relevantes para o estudo em questão, tais como ramificações de

artérias abaixo da bifurcação ilíaca. A segmentação do modelo foi realizada através da utilização do “Mesh Editing”, “clip by Widget box”, selecionando somente o segmento de interesse, conforme Figura 25.

Figura 25 - Exclusão dos segmentos fora de interesse para a pesquisa, utilizando o *software* VRMesh®.

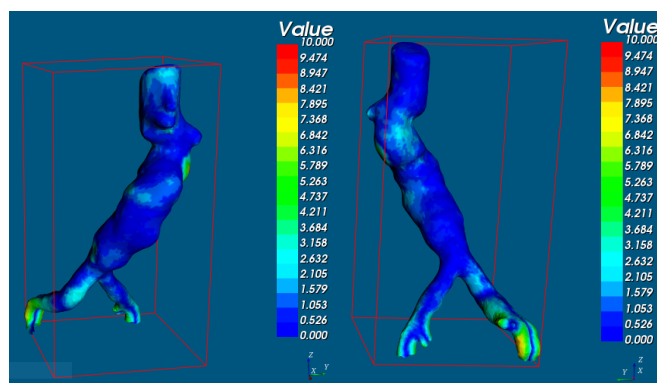


Fonte: Acervo pessoal da própria autora (2019).

A distância entre as nuvens de pontos do TC_Paciente com o TC_PLA_Paciente foi representada como um intervalo de distâncias em cores (Figura 26). Uma tolerância aceitável entre as malhas foi ajustada para ± 10 mm. A sobreposição das superfícies das malhas foi verificada quanto à precisão usando a ferramenta de análise de comparação no VRMesh®, “Analyze” e “Inspection”. Isto foi repetido até a precisão do registro das duas malhas sobrepostas não poder ser melhorada. A superposição das malhas foi novamente verificada usando a função “comparar objetos” no VRMesh®.

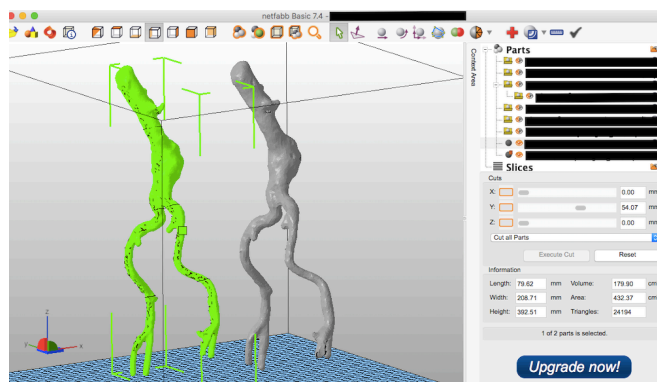
Após o término do processo o documento foi exportado para o Netfabb®, que realiza as aferições de volume, área e altura de maneira automática para cada modelo inserido no sistema (Figura 27).

Figura 26 -Visão anterior e posterior do modelo, respectivamente, e análise das diferenças entre as distâncias representada em intervalo de cores, utilizando o *software* VRMesh®.



Fonte: Acervo pessoal da própria autora (2019).

Figura 27 - Análise das diferenças volumétricas dos modelos, utilizando o *software* NetFabb®.



Fonte: Acervo pessoal da própria autora (2019).

3.8 ASPECTOS ÉTICOS

Este trabalho foi conduzido de acordo com os preceitos éticos das Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Resolução do Conselho Nacional de Saúde de nº 466/2012. Submetido à Gerência de Ensino, Pesquisa e Extensão do HUSM e ao Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Santa Maria (CEP/UFSM) e em 13/08/2018 obteve aprovação sob o número 049.425. Registrado na Plataforma Brasil sob o número do CAAE 98232718.6.0000.5346, parecer 2.958.823 e não necessitou apreciação da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (Conep).

Todas as pessoas envolvidas no estudo, pesquisador e colaboradores, firmaram compromisso com a confidencialidade dos dados de identificação, preservando integralmente o anonimato dos pacientes. Todos os coordenadores responsáveis dos locais da instituição onde foram realizadas as coletas dos dados, aquisição das imagens e criação das impressões tridimensionais dos aneurismas assinaram autorização da realização da pesquisa.

Os dados obtidos foram tabulados, analisados e permanecerão mantidos sob a guarda do pesquisador Marcos Cordeiro d'Ornellas no Hospital Universitário de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, nº 1000, Unidade e-saúde, Laboratório de Computação Aplicada à Saúde (CA+SA), CEP 97105-900, Santa Maria – RS e serão destruídos após cinco anos.

Ao fim desse trabalho, consta o Termo de Confidencialidade e a Solicitação de Dispensa de Termo de Consentimento, como Apêndice A e B, respectivamente.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DE DADOS E SUA APLICABILIDADE

Em razão do número reduzido de pacientes elencados neste trabalho, escolhemos a amostragem por conveniência. Esta técnica é muito comum e consiste em selecionar uma amostra da população que seja acessível: os indivíduos empregados nessa pesquisa são selecionados porque eles estão prontamente disponíveis, não porque eles foram selecionados por meio de um critério estatístico. Geralmente essa conveniência representa uma maior

facilidade operacional e baixo custo de amostragem, porém tem como consequência a incapacidade de fazer afirmações gerais com rigor estatístico sobre a população.

A amostra por conveniência é um tipo de amostragem não probabilística, ou seja, não é possível extrapolar com precisão estatística e calcular a margem de erro e nível de confiança. Esse tipo de amostra é muito utilizado principalmente em etapas iniciais de projeto de pesquisa e em casos em que a população não pode ser enumerada ⁵. As amostras probabilísticas tem custo elevado e demandam maior tempo de estudo. Por exemplo, supondo que este trabalho de pesquisa tivesse acesso a uma população de 50 indivíduos com aneurisma de aorta, usando um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%, necessitaríamos de uma amostra de 45 indivíduos⁶.

Esse tipo de amostragem foi utilizado pelo fato de não dispormos do acesso a todos os pacientes diagnosticados com aneurisma de aorta abdominal na região central do Rio Grande do Sul, devido a quantidade de hospitais e serviços que atendem a patologia em questão. O serviço de cirurgia endovascular no Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) iniciou as atividades desta modalidade cirúrgica somente em janeiro de 2016, não sendo possível, para este trabalho, selecionar um número maior de pacientes.

A principal vantagem da amostra por conveniência é, de fato, sua conveniência. Esta abordagem é simples, de baixo custo e não necessita de muito tempo para a execução, além de produzir informações valiosas em inúmeras circunstâncias, especialmente quando não existem razões fundamentais que diferenciem os indivíduos envolvidos na coleta de dados que formam o total da população. Na amostragem não probabilística a principal limitação é a ausência de garantia de representatividade, porque nesse tipo de amostra os elementos analisados não tem a mesma probabilidade de serem selecionados, impossibilitando a realização de declaração estatística generalizada sobre os resultados para toda a população.

⁵REIS, 2008

⁶ <https://pt.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>

4.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS FINAIS

Um total de 60 pacientes foram inicialmente selecionados através do CID do setor de estatística do HUSM, porém, destes, somente 4 fizeram parte desta pesquisa. Não foram selecionados 56 pacientes do presente trabalho, conforme os critérios de exclusão já previamente mencionados no Capítulo 3.4. Dentre os motivos da exclusão, 13 foram devido a cirurgia de urgência por aneurisma roto, 4 submetidos a procedimento de urgência por outros motivos, 19 por se tratar de aneurisma de aorta torácica, 2 por infecção de prótese aórtica, 5 cirurgia contra indicada devido comorbidades ou os próprios pacientes optaram pelo tratamento conservador e os outros 13 pacientes o aneurisma foi corrigido através da cirurgia aberta. Os 4 pacientes analisados são do sexo masculino e com idade superior a 60 anos.

Foram analisadas as angioTC por meio do *software* Horos DICOM ® dos pacientes selecionados, as imagens foram transformadas em STL pelo mesmo *software*. Os dados foram processados a fim de excluir os artefatos, o biomodelo foi segmentado e exportado para impressão.

Os biomodelos 3D dos pacientes submetidos à cirurgia endovascular de correção de aneurisma de aorta abdominal foram produzidos pelo Grupo de Computação Aplicada em Saúde (CASA) da UFSM, sob a supervisão de um engenheiro e de um dentista radiologista suficientemente treinados nas técnicas de modelagem 3D.

Foi observado que, para efeitos de reprodutibilidade e repetibilidade, a geração do modelo obtido pela angiotomografia pré-operatória, através do *software* Horos DICOM Viewer®, opera através de um sistema semiautomático, no qual a interferência do especialista é relegada a definição de parâmetros para a aquisição das imagens. Os operadores utilizaram o mesmo equipamento de aquisição e método de medição (Tomografia MultiSlice) para a produção do modelo de reconstrução 3D. Para efeitos de reprodutibilidade e repetibilidade dos biomodelos 3D impressos, foi necessário considerar a variabilidade dos parâmetros da impressora utilizada tais como: preenchimento interno, espessura das bordas, altura entre camadas e ângulo de ativação do suporte. Neste caso, a repetitividade é assegurada, o que não ocorre com a reprodutibilidade em razão dos parâmetros anteriormente citados.

Para analisar a diferença métrica e volumétrica entre os modelos 3D, a técnica empregada foi a nuvem de pontos. A nuvem de pontos é um modelo geométrico adquirido por scanners 3D a laser ou outras tecnologias para criar representações 3D de estruturas existentes, neste trabalho utilizamos a Tomografia Computadorizada. Estas modalidades de aquisição de imagem medem um grande número de diferentes pontos na superfície de um objeto com textura não uniforme, para diferenciar os aspectos, possibilitando a obtenção das coordenadas tridimensionais (X, Y e Z), gerando um arquivo de dados da nuvem de pontos (GROETELAARS, 2011). Nesta pesquisa, a nuvem de pontos foi utilizada para a metrologia/inspeção.

Apesar das nuvens de pontos serem diretamente renderizadas e inspecionadas, as mesmas não são diretamente utilizáveis pela maioria dos aplicativos 3D, sendo convertidas em modelos de malha de polígonos ou malhas de triângulos, através de um processo conhecido como reconstrução de superfície, como descrito no Capítulo 3.6.

Para avaliar os resultados obtidos, foram utilizadas algumas técnicas para mensurar a qualidade da malha de polígonos baseada na nuvem de pontos do modelo e das distâncias mínimas entre a nuvem de pontos do modelo obtido pela angiotomografia pré-operatória com o modelo 3D impresso. O resultado das diferenças entre as medidas da superfície de segmento da aorta abdominal dos pacientes selecionados foi realizado através do VRMesh® e podem ser visualizados na Tabela 1. As diferenças volumétricas utilizando o *software* NetFabb® estão representadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Diferença nas medidas de superfície do biomodelo e da angiotomografia, por meio do *software* VRMesh®.

Paciente	Distância(mm)/ Point Clouds
A	0,000 - 4,737
B	0,000 -10,000
C	0,000 - 3,158
D	0,000 - 10,000

Tabela 2 - Diferença volumétrica entre TC dos biomodelos e angiotomografia, utilizado *software* NetFabb®.

Paciente	Volume(mm³)	Volume PLA(mm³)	Volume PLA/Vol	Área(mm²)	Área PLA(mm²)	Área PLA/Área
A	164,89	184,92	1,12	327,10	377,11	1,15
B	197,09	202,48	1,03	366,12	420,56	1,15
C	179,90	199,56	1,11	432,37	474,47	1,10
D	213,19	220,11	1,03	442,49	514,63	1,16

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Na avaliação das aferições das medidas entre o arquivo 3D do Horos® e a tomografia computadorizada dos biomodelos procedemos com a análise no VRMesh®, encontrando uma discordância de até 10mm em alguns pontos da região distal e das regiões de colagem do biomodelo, enquanto em outros segmentos a discordância variou de 0,000 a 4,737mm, conforme Tabela 1. Tais valores não consideraram a necessidade da ampliação de 1mm na espessura dos modelos em razão de restrições técnicas de impressão 3D disponíveis (Cliever®).

O intervalo da distância entre o mesmo segmento da nuvem de pontos nos dois modelos analisados foi definido entre 0 a 10mm, sendo representado no *software* VRMesh® como um mapa de cores entre azul e vermelho. Valores abaixo de 5,7mm em média são representados pelas cores que vão do azul escuro ao verde claro. Valores acima do 5,8mm são representados pelas cores que vão do verde escuro ao vermelho, conforme a Figura 26. Diante dos quatro modelos obtidos, observa-se que ao excluir as extremidades distais dos biomodelos, os valores das distâncias entre modelos são inferiores a 5,7mm, conforme demonstrado na Tabela 1.

A avaliação da volumetria demonstrou discrepância entre 3-12% e a diferença entre as áreas foi de 10-16%. As diferenças de área e volume entre os modelos estão representadas na Tabela 2.

5 DISCUSSÃO

A última década assistiu a um crescimento notável no uso da impressão 3D na medicina. O crescimento foi impulsionado pelo desenvolvimento de estudos de imagem de alta resolução, unindo-se ao rápido desenvolvimento das tecnologias de impressão 3D e ao desenvolvimento de novos materiais de impressão. Esses avanços resultaram em reduções nos custos associados à criação de modelos médicos de alta resolução. A evolução desta tecnologia disruptiva tem revolucionado a prática médica.

Embora muita atenção tenha sido dada à aplicação da impressão 3D na medicina, menor atenção foi dada para garantir que o modelo impresso em 3D seja uma representação verdadeira e precisa do objeto físico em estudo. Para que essa tecnologia seja amplamente integrada às práticas médicas avançadas, é essencial garantir a precisão física, a repetibilidade e reprodutibilidade dos modelos 3D através da avaliação qualitativa.

Entre as três principais etapas da impressão 3D: geração de imagens, segmentação e impressão; a etapa de segmentação é a mais desafiadora no que diz respeito ao controle de qualidade. A precisão da segmentação depende muito da qualidade da imagem, como a resolução espacial e a relação entre contraste e ruído.

Para modelos digitalizados, a segmentação torna-se muito mais desafiadora para casos em que se faz necessário a diferenciação entre tipos de tecidos moles com baixo contraste. A proposta inicial dessa pesquisa era validar os biomodelos produzidos por meio da impressão tridimensional e utilizar como planejamento pré-operatório de aneurisma de aorta abdominal, porém os trombos intramurais fazem parte da avaliação métrica pré-cirúrgica. A segmentação entre órgãos adjacentes e o trombo foi impossibilitada pela representação na mesma escala de cinza da Tomografia Computadorizada, o que difere totalmente da luz do vaso onde foi injetado contraste, possibilitando a seleção desse segmento, então somente a luz da aorta abdominal foi impressa.

O conhecimento médico sobre anatomia e patologia é fundamental para avaliar a precisão da segmentação e da autenticidade dos modelos gerados, devido a necessidade de verificação das sobreposições entre os arquivos STL da angiotomografia do paciente e da TC dos biomodelos. O trabalho desta dissertação representa abordagens preliminares dentro do

contexto da impressão de modelos 3D de estruturas anatômicas de tecidos moles com baixo contraste e no âmbito do HUSM.

O alinhamento do modelo em STL de origem (angiotomografia pré-operatória) com o resultante da varredura do modelo impresso 3D pode ser difícil de se obter em determinados cenários. Embora existam ferramentas de alinhamento automático em alguns *softwares* tais como o VRMesh® e CloudCompare®, a precisão do alinhamento deve ser cuidadosamente avaliada e o ajuste manual pode ser necessário. O desalinhamento resultará em erros no processo de avaliação qualitativa. Além disso, a modalidade da imagem apropriada e os protocolos de imagem devem ser usados. Esse método também apresenta desafios para modelos construídos com materiais flexíveis. Como esses modelos podem se deformar após serem impressos, não é uma tarefa fácil garantir que o modelo mantenha sua forma original durante a digitalização. Para este cenário, é útil construir algumas estruturas de apoio durante a construção do modelo para suportar o modelo, a fim de que ele retenha a forma original que possui no paciente.

Atualmente os biomodelos possuem diversas aplicações na prática médica. Desta forma, espera-se que as réplicas tenham mensuração métrica e volumétrica fidedignas a anatomia do paciente. O uso do biomodelo torna-se importante principalmente em doenças com alterações anatômicas que variam de indivíduo a indivíduo, como no aneurisma de aorta. As imagens da angiotomografia permitem visualização tridimensional virtual da patologia em questão, porém com o biomodelo impresso o cirurgião pode realizar planejamento pré-operatório mais minucioso analisando os detalhes de maneira visual e tátil e, através do manuseio, auxiliar na simulação dos casos complexos. Estudos recentes demonstram que dentre os principais benefícios do modelo tridimensional impresso estão a superioridade no planejamento pré-operatório, melhor entendimento do paciente sobre o procedimento e menor tempo cirúrgico (HOANG, 2016; ZHENG, 2016).

A utilização de diferentes métodos de imagem pode resultar em divergências no resultado dos valores aferidos. Como por exemplo aneurismas diagnosticados pela tomografia computadorizada (TC) têm diâmetro geralmente 2mm maior que o medido pela Ultrassonografia (USG) (GUIRGUIS-BLAKE, 2014). Nota-se que nesta pesquisa a utilização dos biomodelos para mensuração de segmento de aneurisma de aorta abdominal produziu resultados semelhantes, exceto na extremidade distal. Isso provavelmente se deve ao fato de que surgiram eventuais erros de retirada manual dos pilares de sustentação, colagem manual e

encaixe no momento da composição do modelo final. Essa discrepância observada em alguns biomodelos nada influenciariam no planejamento pré-operatório de aneurisma de aorta abdominal (conforme descrito no Capítulo 3.8), podendo ser descartadas, pois localizam-se abaixo da bifurcação ilíaca.

Constata-se que, apesar do reduzido número de pacientes envolvidos neste trabalho e existirem diversas etapas manuais, as diferenças de área e volume obtidas através do *software* Netfabb® não ultrapassam 12% e 16% respectivamente. Isso pode ser considerado como uma evidência significativa de que os modelos 3D são equivalentes.

Algumas literaturas consideram dentro do limite de normalidade uma variação nas medidas de diâmetro intra-observador e inter-observador de imagens da TC de 2 a 5mm e alteração significativa diferenças maiores que 5mm (CHAIKOF, 2002b). Não há na literatura estudos relacionados a impressão tridimensional de biomodelos, com objetivo de determinar a discrepância mínima, média e máxima entre dois objetos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram apresentadas algumas aplicações médicas da impressão tridimensional, considerações sobre os diversos tipos de impressão e os materiais utilizados. Nota-se que para a produção dos biomodelos é necessária uma equipe multidisciplinar, tendo em vista que os profissionais precisam de conhecimento anatômico, domínio em softwares de processamento de imagem e também em construção de modelos tridimensionais.

A implementação de novas tecnologias faz-se necessária principalmente na área médica, que tem crescimento em velocidade exponencial e a impressão tridimensional vem se mostrando eficaz em diversos estudos da atualidade. O avanço tecnológico, com técnicas minimamente invasivas atrelado a maior benefício para o paciente é um caminho sem volta, por isso a importância de delimitar os méritos e fraquezas da impressão 3D.

Nesta pesquisa concluiu-se que embora os biomodelos sejam compatíveis nas medidas métricas e volumétricas com as imagens tridimensionais da angiotomografia do paciente, não

poderão ainda ser utilizados como método de planejamento pré-operatório de aneurismectomia de aorta abdominal devido a necessidade de aferição dos trombos murais.

Um dos principais desafios científicos da técnica de manufatura aditiva para representação de aneurisma de aorta é viabilização da impressão dos trombos murais, separando-os dos órgãos adjacentes de mesma densidade na escala de cinza da TC. A partir disto, será possível avaliar se o biomodelo se apresenta como réplica real da anatomia humana, podendo ser utilizado como planejamento cirúrgico, além da educação de médicos e residentes em formação.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos futuros devem focar em validar os biomodelos para as diversas áreas clínicas e cirúrgicas objetivando utilizá-las para selecionar as melhores estratégias para o tratamento do paciente, respeitando a individualidade de cada caso para minimizar a morbimortalidade pós-operatória. Além disso, observa-se outras oportunidades e alternativas para a continuidade deste trabalho:

- A impressão 3D tem sido reconhecida como uma ferramenta poderosa para educação médica. Espécimes anatômicos e vasos sanguíneos foram digitalizados e impressos em 3D para formar réplicas altamente realistas e precisas. Essas réplicas podem ser usadas para ensinar, reduzir custos e dificuldades associados com amostras de cadáveres baseados em formalina. Tais réplicas já têm sido utilizadas com sucesso na educação anatômica, porém entre as desvantagens das impressoras 3D atualmente disponíveis são as suas dimensões limitadas, o que significa que pode não ser possível replicar grandes amostras anatômicas, a menos que o modelo seja redimensionado ou seguíntado e montado usando várias partes. Além disso, enquanto os materiais de impressão 3D exibem propriedades variadas, eles não imitam a verdadeira natureza dos tecidos humanos como nos espécimes de cadáveres;
- A principal aplicação clínica da impressão 3D até hoje tem sido no planejamento cirúrgico. Dado que as características do tecido podem ser replicadas em

modelos 3D usando materiais flexíveis ou rígidos, é possível simular intervenções até mesmo de estruturas anatômicas complexas, determinando a abordagem cirúrgica mais adequada e prevendo resultados potenciais.

- Médicos e pacientes podem se beneficiar do uso de modelos impressos em 3D. Através do treinamento de simulação usando esses modelos, as habilidades dos cirurgiões podem ser melhoradas e sua confiança ampliada. O uso de modelos de treinamento impressos em 3D para este propósito pode reduzir o risco de complicações cirúrgicas durante o período inicial da curva de aprendizado e reduzir a necessidade para modelos convencionais. A ilustração de patologias cirúrgicas, procedimentos e opções de tratamento para os pacientes também podem ser facilitada pelo uso de modelos impressos em 3D, aprimorando interações médico-paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUHASHEM, Y. et al. The application of 3D printing in anatomy education. **Medical education online**, v. 20, p.29847, out. 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4609651/>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

AUTODESK, Inc. **Autodesk MeshMixer**, 2017. Disponível em: <<http://www.meshmixer.com>>. Acesso em 10 jul. 2019.

CARVALHO, I. S. **Diferenças nas medidas da raiz da aorta: avaliação através da impressão anatômica em 3D e das imagens virtuais em 2D e 3D**. 2015. 50 f. Monografia (Especialização em Medicina) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

CHAIKOF, E.L. et al. Identifying and grading factors that modify the outcome of endovascular aortic aneurysm repair. **J Vasc Surg.**, v.35, n. 5, p. 1061-6, maio 2002a. Disponível em: <[https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214\(02\)10255-2/fulltext](https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214(02)10255-2/fulltext)>. Acesso em: 2 jun. 2018.

CHAIKOF, E.L. et al. Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. **J Vasc Surg.**, v.35, n. 5, p. 1048-60, maio 2002b. Disponível em: <[https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214\(02\)92386-4/fulltext](https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214(02)92386-4/fulltext)>. Acesso em: 2 jun. 2018.

CHAIKOF, E.L. et al. The care of patients with an abdominal aortic aneurysm: the Society for Vascular Surgery practice guidelines. **J Vasc Surg**, v. 50, n.4, p. S2–49, out. 2009. Disponível em : <[https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214\(09\)01368-8/fulltext](https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214(09)01368-8/fulltext)>. Acesso em: 1 mar. 2019.

CHEN, Y. H.; NG, C. T.; WANG, Y. Z. Data reduction in integrated reverse engineering and rapid prototyping. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 12, n. 2, p. 97–103, mar. 1999.

CLIEVER TECNOLOGIA. **Impressoras**, 2017. Disponível em: <www.cliever.com>. Acesso em: 21 jun. 2019.

CONWAY, K. P. et al. Prognosis of patients turned down for conventional abdominal aortic aneurysm repair in the endovascular and sonographic era: Szilagyi revisited? **J Vasc Surg.**, v.

33, n. 4, p. 752–7, abr. 2001. Disponível em: <[https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214\(01\)59697-4/fulltext](https://www.jvascsurg.org/article/S0741-5214(01)59697-4/fulltext)>. Acesso em: 14 fev. 2018

CUSTOMPART. **Additive Fabrication**, 2008. Disponível em: <<http://www.custompartnet.com/>> Acesso em: 21 jun. 2019.

D'URSO, P.S. et al. Cerebrovascular biomodeling: a technical note, **Surgical Neurology**, vol. 52, n.5, p. 490-500, nov. 1999. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10595770>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

DESJARDINS, B. et al. ACR Appropriateness Criteria® pulsatile abdominal mass, suspected abdominal aortic aneurysm. **Int J Cardiovasc Imaging**, v.29, n. 1, p.177–83, jan. 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22644671>>. Acesso em: 10 jan.2018.

GOMES, W. Diretrizes para a cirurgia das doenças da aorta. **Arq. Bras. Cardiol.**, São Paulo, v. 82, supl. 5, p. 35-50, mar. 2004 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X2004001100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 Abr. 2018.

GUIRGUIS-BLAKE, J.M. et al. Primary Care Screening for Abdominal Aortic Aneurysm: A Systematic Evidence Review for the U.S. Preventive Services Task Force. **Agency for Healthcare Research and Quality**, jan. 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK184793/>>. Acesso em: 19 out. 2018.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Nuvem de pontos na criação de modelos BIM: aplicações em documentação arquitetônica. In: TIC 2011 - ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL DA FAUFBA, 5., 2011, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: FAUFBA, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/20220>>. Acesso em: 19 out. 2018.

HÅKANSSON, A. et al. Patient specific biomodel of the whole aorta: the importance of calcified plaque removal. **Vasa.**, v. 40, n. 6, p. 453-9, 2011. Disponível em: <<https://econtent.hogrefe.com/doi/abs/10.1024/0301-1526/a000148>>. Acesso em 25 mar. 2019.

HENRETTA, J. P. et al. (1999). Special iliac artery considerations during aneurysm endografting. **The American Journal of Surgery**, v.178, n.3, p. 212-8, set. 1999. Disponível em: <[https://www.americanjournalofsurgery.com/article/S0002-9610\(99\)00156-7/fulltext](https://www.americanjournalofsurgery.com/article/S0002-9610(99)00156-7/fulltext)>. Acesso em 25 mar. 2019.

HOANG, D. et al. Surgical applications of three-dimensional printing: a review of the current literature e how to get started. **Annals of translational medicine**, Los Angeles, v. 4, n. 23, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5220021/>>. Acesso em: 27 jan. 2018.

JOHANSEN, K.; KOEPESELL, T. Familial tendency for abdominal aortic aneurysms. **JAMA**, v. 256, n. 14, p 1934-6, out. 1986. Disponível em: <<http://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/362558>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

KANTONEN, I. et al. Mortality in ruptured abdominal aortic aneurysms. **European journal of vascular and endovascular surgery**, v. 17, n. 3, p. 208-12, mar. 1999. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10092892>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

KUMAR, V.; ABBAS, A.K.; FAUSTO, N. **Robbins e Cotran Patologia** – bases patológicas das doenças. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LEDERLE ,F.A. et al. Prevalence and associations of abdominal aortic aneurysm detected through screening. Aneurysm Detection and Management (ADAM) Veterans Affairs Cooperative Study Group. **Ann Intern Med.**, v.126, n.6, p. 441–9, mar. 1997. Disponível em <<https://www.annals.org/article.aspx?volume=126&issue=6&page=441>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

LEDERLE, F.A. et al. The aneurysm detection and management study screening program: validation cohort and final results. Aneurysm Detection and Management (ADAM) Veterans Affairs Cooperative Study Investigators. **Archives of internal medicine**, v.160, n.10, p. 1425–30, maio 2000. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10826454>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

LEDERLE, F.A.; SIMEL, D.L. Does this patient have abdominal aortic aneurysm? **JAMA**, v. 281, n. 1, p. 77-82, jan. 1999. Disponível em: <<https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/768300>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

LEFEVRE, M.L. Screening for Abdominal Aortic Aneurysm: U.S. Preventive Services Task Force Recommendation Statement. **Ann Intern Med**, v.161, n.4, p. 281-90, ago. 2014. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24957320>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

MACSWEENEY, S.T.R. et al. High prevalence of unsuspected abdominal aortic aneurysm in patients with confirmed symptomatic peripheral or cerebral arterial disease. **British Journal of Surgery**, v.80, n.5, p. 582-4, maio 1993. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bjs.1800800510?sid=nlm%3Apubmed>>.

Acesso em: 22 dez. 2018.

MCGURK, M. et al. Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine.

Annals of the Royal College of Surgeons of England, Londres, v. 79, n. 3, p 169-174, maio

1997. Disponível em < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2502901/>>. Acesso

em: 7 jan. 2019.

MEHRA, P. et al. Use of 3-d stereolithographic models in oral and maxillofacial surgery.

Journal of Maxillofacial and oral Surgery, v. 10., n. 1, p. 6-13, mar 2011.

Disponível em:< <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177510/>>. Acesso em: 20 maio 2019.

MIRANDA, J.R. (Coord.) **Aneurismas da aorta abdominal**: diagnóstico e tratamento.

Projeto Diretrizes SBACV, dez.2015. Disponível em: <<https://sbacvsp.com.br/wp-content/uploads/2016/05/aneurismas-da-aorta-abdominal.pdf>>.

Acesso em: 03 fev. 2018.

MOLL, F.L. et al. Management of Abdominal Aortic Aneurysms Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery. **Eur J Vasc Endovasc Surg.**, v. 41, n. 1, p.

S1-S58, jan. 2011. Disponível em: < [https://www.ejves.com/article/S1078-5884\(10\)00560-5/abstract](https://www.ejves.com/article/S1078-5884(10)00560-5/abstract)>. Acesso em 10 abr. 2019.

PARAVASTU, S.C.V. et al. Endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. **Cochrane database of Systematic Reviews**, v.1, n. CD004178, p. 1465-1858, jan. 2014. Disponível

em: <<https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD004178.pub2/full>>.

Acesso em: 20 dez. 2018.

PEARCE, W. H. Abdominal Aortic Aneurysm. **Medscape**. 2014. Disponível em:

<<http://emedicine.medscape.com/article/1979501-overview#a0101>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

PEREIRA, A. H.; PEREIRA, A.A. Correção endovascular dos aneurismas da aorta. **Revista da Sociedade de Cardiologia do Rio Grande do Sul**, n.2, maio/ago. 2004.

PEREIRA, R. B.; MORALES, A. R. Estudo do comportamento térmico e mecânico do PLA modificado com aditivo nucleante e modificador de impacto. **Polímeros**, São Carlos , v. 24, n.

2, p. 198-202, abr. 2014. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282014000200010&lng=en&nrm=is>. Acesso em: 19 jun. 2019.

PETZOLD, R.; ZEILHOFER; H.F.; KALENDER, W. A. Rapid prototyping technology in medicine—basics and applications. **Computerized Medical Imaging and Graphics**, v.23, n. 5, p. 277-84, out. 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895611199000257>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

PLEUMEEKERS, H.J. et al. Aneurysms of the abdominal aorta in older adults. The Rotterdam Study. **Am J Epidemiol.**, v.142, n.12, p. 1291-9, dez. 1995.

REED, W.W. et al. Learning from the last ultrasound. A population-based study of patients with abdominal aortic aneurysm. **Arch Intern Med.**, v. 157, n. 18, p. 2064-8. out.1997. Disponível em <<https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/fullarticle/623872>>. Acesso em: 17 nov.2018.

REIS, M. M. Departamento de Ciências da Administração da Universidade Federal de Santa Catarina. **Estatísticas aplicada à administração**. Florianópolis, p. 52-60, 2008. Disponível em <<http://www.lyfreitas.com.br/ant/pdf/FE%20Administracao.pdf>>. Acesso em: 7 jan. 2019.

SAADI, Eduardo Keller. Correção endovascular do AAA. **Rev Bras Cir Cardiovasc**, São José do Rio Preto , v. 24, n. 2, supl. 1, p. 49-52, 2009 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-76382009000300009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 25 Maio 2019.

SCOTT, R.A.P. et al. Abdominal aortic aneurysm rupture rates: A 7- year follow-up of the entire abdominal aortic aneurysm population detected by screening. **J Vasc Surg.**, vol. 28, n. 1, p. 124-8, jul. 1998. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9685138>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

SINGH, K. et al. Prevalence of and risk factors for abdominal aortic aneurysms in a population-based study : The Tromsø Study. **Am J Epidemiol.**, vol. 154, n. 3, p. 236–44, ago. 2001. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11479188>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

TAM, M.D. et al. 3D printing of an aortic aneurysm to facilitate decision making and device selection for endovascular aneurysm repair in complex neck anatomy. **Journal of Endovascular Therapy**, v. 20, n. 6, p. 863-7, dez. 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24325705>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

TORLAI, F. G. et al. Proposta para padronização do relatório de tomografia computadorizada nos aneurismas da aorta abdominal. **Radiol Bras.**, São Paulo, v.39, n.4, p.259-62, ago. 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-39842006000400006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 fev. 2019.

VOLPATO, N. (Ed.). **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**, São Paulo: Blucher, 2007.

WHO. World Health Organization. **International Classification of Diseases**, 2019. Disponível em: <<http://www.who.int/classification/icd/en/>>. Acesso em: 01 maio 2019.

WINDER, J.; BIBB, R. Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery. **J Oral Maxillofac Surg.**, v. 63, n. 7, p1006–15, jul. 2005. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16003630>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

ZHENG, Y. et al. 3D printout models vs. 3D-rendered images: which is better for preoperative planning?. **Journal of surgical education**, v. 73, n.3, p. 518-23, maio/jun. 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26861582>>. Acesso em: 2 jun. 2019

ZOLLINGER, R. M. Jr.; ELISSON, E. Mildred Coddling. **Atlas of surgical operations**. 9 ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2011.

APÊNDICE A - TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E SIGILO

O abaixo assinado, compromete-se a manter sigilo em relação às informações consideradas confidenciais a que poderá ter acesso na qualidade de avaliador (receptor da informação) na defesa da qualificação de mestrado, intitulada “Medidas de Aneurisma da Aorta Abdominal: Modelos 3D Impressos e Virtuais”, desenvolvida pela acadêmica Giovanna Ricarte Granja Gomes, do Programa de mestrado profissional em Ciências da Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Telefone: (55) 3220-8206

Por este termo, compromete-se:

1. Preservar o sigilo e a privacidade dos sujeitos cujos dados (informações e/ou materiais biológicos) serão estudados;
2. A não utilizar as informações confidenciais a que tiver acesso, para gerar benefício próprio exclusivo e/ou unilateral, presente ou futuro, ou para uso de terceiros e a não repassar o conhecimento das informações confidenciais, responsabilizando-se por todas as pessoas que vierem a ter acesso às informações, por seu intermédio;
3. Assegurar que os resultados da pesquisa somente serão divulgados de forma anônima, não sendo usadas iniciais ou quaisquer outras indicações que possam identificar o sujeito da pesquisa.

Neste termo, as seguintes expressões serão assim definidas:

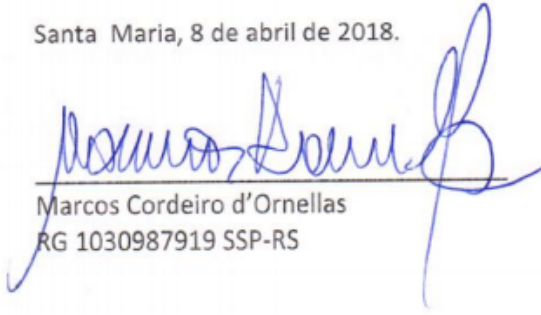
1. “Informação confidencial” significará toda informação revelada relacionada à tecnologia apresentada associada com a avaliação sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios;
2. “Informação confidencial” inclui, mas não se limita às informações relativas às operações, processos, planos ou intenções, informações sobre produção, instalações, equipamentos, segredos de negócio, segredos de fábrica, dados, habilidades especializadas, projetos, métodos, metodologia, fluxogramas, especificações, componentes, fórmulas, produtos, amostras, diagramas, desenhos, desenhos de esquema industrial, patentes, oportunidades de mercado e questões relativas a negócios revelados durante a defesa acima mencionada;

3. “Avaliação” significará todas e quaisquer discussões, conversações ou negociações entre, ou com as partes, de alguma forma relacionada ou associada com a defesa acima mencionada.

Caso o receptor da informação descumpra quaisquer obrigações previstas no presente documento estará sujeito as implicações e sanções de cunho civil e criminal cabíveis.

As informações somente serão divulgadas de forma anônima e serão mantidas na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, nº 1000, Hospital Universitário de Santa Maria, Unidade e-saúde, Laboratório CA+SA, CEP 97105-900, Santa Maria - RS, por um período de cinco anos, sob a responsabilidade de Marcos D’Ornellas, pesquisador responsável. Após este período os dados serão destruídos.

Santa Maria, 8 de abril de 2018.



Marcos Cordeiro d’Ornellas
RG 1030987919 SSP-RS

APÊNDICE B - SOLICITAÇÃO DE ISENÇÃO DO TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Referência: Medidas de Aneurisma da Aorta Abdominal: Modelos 3D Impressos e Virtuais
Pesquisador Responsável: Marcos Cordeiro D'Ornellas

Ao Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM):

Vimos por meio deste documento solicitar a dispensa de obtenção de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para o estudo intitulado Medidas de Aneurisma da Aorta Abdominal: Modelos 3d Impressos e Virtuais, proposto por Giovanna Ricarte Granja Gomes.

A dispensa do uso de TCLE se fundamenta: **i)** por ser um estudo observacional, retrospectivo, que empregará apenas informações de prontuários médicos, sistemas de informação institucionais e/ou demais fontes de dados e informações clínicas disponíveis na instituição sem previsão de utilização de material biológico; **ii)** porque todos os dados serão manejados e analisados de forma anônima, sem identificação nominal dos participantes de pesquisa; **iii)** porque os resultados decorrentes do estudo serão apresentados de forma agregada, não permitindo a identificação individual dos participantes, e **iv)** porque se trata de um estudo não intervencionista (sem intervenções clínicas) e sem alterações/influências na rotina/tratamento do participante de pesquisa, e conseqüentemente sem adição de riscos ou prejuízos ao bem-estar dos mesmos.

O investigador principal e demais colaboradores envolvidos no estudo acima se comprometem, individual e coletivamente, a utilizar os dados provenientes deste, apenas para os fins descritos e a cumprir todas as diretrizes e normas regulamentadoras descritas na Res. CNS Nº 466/12, e suas complementares, no que diz respeito ao sigilo e confidencialidade dos dados coletados.

Santa Maria, 8 de abril de 2018.



Marcos Cordeiro d'Ornellas
RG 1030987919 SSP-RS