



Leonardo Frajhof

**Prospecção de Tecnologias 3D
para uso em Medicina**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio

Orientador: Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos
Co-Orientador: Prof. Hugo Fuks

Rio de Janeiro
Março de 2015



Leonardo Frajhof

**Prospecção de Tecnologias 3D
para uso em Medicina**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos

Orientador

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

Prof. Luiza Novaes

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

Prof. Cláudio Freitas Magalhães

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

Dr. Heron Werner Júnior

Alta Excelência Diagnóstica

Prof. Denise Berruezo Portinari

Coordenador Setorial do Centro de Teologia e
Ciências Humanas – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 03 de março de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Leonardo Frajhof

Formado em medicina pela Unirio, Professor Adjunto de Clínica Médica no Hospital Universitário Gaffrée e Guinle, Chefe do Núcleo de Telemedicina da Unirio

Ficha Catalográfica

Frajhof, Leonardo

Prospecção de Tecnologias 3D para uso em Medicina. Leonardo Frajhof; Orientador: Jorge Roberto Lopes Santos. – 2015.

87 f: Il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Artes e Design) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Inclui referências bibliográficas

1. Design - Representação Gráfica 2. Modelagem Computacional 3D. 3. Estruturas Anatômicas. 4. Educação na Saúde. I. Lopes dos Santos, Jorge Roberto. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. III. Título.

CDD: 700

Agradecimentos

Este trabalho é dedicado ao meu pai, Natan, como gostava de ser chamado, que entrou no fluxo do Tempo em agosto de 2014.

À minha família, Margot, Chris, Isabella, Nicolas e Chloé, por estarem sempre por perto.

Ao João, à Isabella e à Ana pela ajuda na formatação da dissertação.

Aos meus companheiros do NEXT, Gerson, Mariana, Simone, Natascha e Flávio, pela ajuda no laboratório e por manterem um clima de trabalho divertido e amistoso.

Ao Professor e orientador Jorge Lopes por me aceitar como aluno e me ensinar que maluco tem cola.

Ao Professor e co-orientador Hugo Fuks por aceitar esta tarefa.

E, finalmente, à torcida do Flamengo!

Resumo

Frajhof, Leonardo; Lopes dos Santos, Jorge Roberto. **Prospecção de Tecnologias 3D para uso em Medicina**. Rio de Janeiro, 2015. 87p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Com o objetivo de demonstrar as possibilidades oferecidas pelas tecnologias tridimensionais, no entendimento das doenças cardíacas e testar tratamentos inovadores, o presente estudo obteve imagens da região torácica de um paciente utilizando tomografia computadorizada multi-fatias. Essas imagens foram tratadas, para selecionar apenas a região de interesse, obtendo-se um modelo tridimensional digital da aorta torácica e tóraco-abdominal. A partir daí, foram confeccionados uma serie de modelos físicos, com a utilização da manufatura aditiva, e testados com diversos materiais para simular a estrutura elástica deste vaso. Após a construção dos modelos físicos, as imagens obtidas foram processadas e renderizadas e um modelo de simulação virtual foi criado para testar procedimentos minimamente invasivo. O uso de imagens da Tomografia Computadorizada, transformadas em modelos matemáticos virtuais e posteriormente em representação física, através da tecnologia aditiva, expande as possibilidades didáticas do ensino medico e possibilitam simular práticas e procedimentos cardiológicos minimamente invasivos.

Palavras-chave

Design; representação gráfica; modelagem computacional 3D; estruturas anatômicas; educação na saúde; aorta; tomografia computadorizada.

Abstract

Frajhof, Leonardo; Lopes dos Santos, Jorge Roberto (Advisor). **Prospection on 3D Technologies for the use in Medicine**. Rio de Janeiro, 2015. 87p. MSc. Dissertation – Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In order to demonstrate the possibilities provided by three-dimensional technologies, to understand disease states and test innovative treatments, this study obtained images of the thoracic region of a patient using multi-slice Computerized Tomography (CT). These images were handled to select only the region of interest, obtaining a three-dimensional digital model of thoraco-abdominal and thoracic aorta. Thereafter, a series of physical models were made using additive manufacturing and thoroughly tested on materials to simulate the elastic structure of the vessel. After building up physical models, the images were processed and rendered, and a virtual simulation model was created to test minimally invasive procedures. The CT's images transformed into virtual mathematical models and later in physical representation, by additive technology, expand educational opportunities and enable simulation of minimally invasive cardiological procedure.

Keywords

Design; graphical representation; 3D computational modeling; anatomical structures; health education; aorta; computed tomography.

Sumário

1. Tema da Pesquisa	8
1.1 Questão.....	9
1.2 Justificativa	9
1.3 Hipótese	10
1.4 Objetivo Geral.....	11
1.4.1 Objetivos Específicos	11
1.5 Métodos, procedimentos e técnicas	12
1.6 Quadro referencial	12
2. Uma breve história e contextualização das tecnologias de visualização e representação do corpo	14
2.1 Introdução	14
2.2 A Arte da Anatomia	18
3. Técnicas de imagens não invasivas	29
3.1 A radiografia	29
3.2 A Fotografia, criação das imagens pela exposição à luz.	31
3.3 O Projeto <i>Visible Human</i> e a exposição “O Fantástico Corpo Humano”	32
4. O corpo como objeto para visualização e representação	36
4.1 Desenho	36
4.2 Os estudos anatômicos de Leonardo da Vinci	37
4.3 Representação e Visualização.....	46
4.4. O Invisível se torna Visível: a simulação	49
5. Estudo de caso: Simulações tridimensionais em técnicas minimamente invasivas	55
5.1. Formulação do problema	55
5.2. Definição do caso e coleta de dados	56
5.3. Métodos	57
5.4 Avaliação e análise dos dados.....	60
6. Conclusão	74
6.1 Informação e Ciências da Computação	74
6.2 Reprodução, solução técnica para materializar imagens	75
6.3. Perspectivas futuras (Laboratório de <i>Biodesign</i>)	81
7. Referências bibliográficas	84

1. Tema da Pesquisa

Três gerações de reformas educacionais caracterizam o progresso do ensino médico durante o século passado (FRENK, 2010, p. 1923) . A primeira, lançada no início do século XX, se caracterizava pela integração da ciência moderna aos currículos das escolas de medicina nas universidades, onde profissionais de saúde incorporavam na sua formação os conhecimentos científicos que contribuíram para a duplicação do tempo de vida no século XX.

Por volta da metade do século, a segunda geração introduziu a inovação educativa da prática médica baseada no binômio problema/evidência, onde o uso de evidências científicas atualizadas orienta a tomada de decisão clínica. Esta concepção de medicina retira a ênfase da prática com base apenas na intuição, na experiência clínica não sistematizada e nas teorias fisiopatológicas para se concentrar na análise apurada dos métodos epidemiológicos de base populacional à pesquisa clínica (ATALIAH, 1997, p. 1381).

Uma terceira geração está em desenvolvimento desde o final do século passado, como uma perspectiva educacional global, sistêmica e multiprofissional, reforçando as conexões que existem entre educação, tecnologias e sistemas biológicos da doença e da saúde. Essa reforma acrescenta uma nova dimensão à prática médica, com uma abordagem holística, colaborativa e integradora, ao invés de abordagem reducionista, para compreender a complexidade das doenças. A realização desta visão de reforma deve ser guiada por um ensino transformador e interdisciplinar (FRENK, 2010, p. 1923).

O tema desta pesquisa tem como modelo a experimentação de tecnologias 3D não invasivas, rotineiramente utilizadas com a finalidade de auxílio diagnóstico e de tratamento, de forma a prospectar novas aplicações e métodos na didática, no aprendizado e tratamento de patologias complexas.

O Design, essencialmente uma práxis que se ocupa da configuração de objetos de uso e sistemas de informação, se encontra aqui representado como elemento de união da relação entre Educação e Medicina.

1.1 Questão

O uso de tecnologias tridimensionais virtuais e físicas possibilitam uma mudança fundamental no campo de conhecimento da medicina, com a introdução da visualização e simulação¹ como parte integrante do processo de análise e tomada de decisões na prática médica, incorporando estas tecnologias aos novos princípios e formas de diagnóstico e tratamento.

1.2 Justificativa

Meu interesse em modelagem tridimensional física e virtual ocorreu em 2012, após conhecer os estudos de modelos físicos em medicina fetal desenvolvidos pelo Dr. Heron Werner Jr. e o Professor Jorge Lopes (WERNER et. al., 2011, p. 113-115).

Como médico clínico geral, participei de projetos de caráter multidisciplinar financiados por órgãos de fomento: *Ubilife: Tecnologia móvel para monitoramento dinâmico de dados virtuais* (FAPERJ) e *Modelos computacionais para apoio a avaliação do ergodesign*² de interfaces para *Telemedicina: Usabilidade em informação móvel* (CNPq) com a participação do Departamento de Informática, através do Laboratório de Engenharia de *Software* (LES) e do Departamento de Artes e Design, através do Laboratório de Ergonomia e Usabilidade – LEUI ambos da PUC-Rio.

Estas experiências de trabalho em outras áreas do conhecimento, consequência da minha atividade de docência no Núcleo de Telemedicina da UNIRIO e como Coordenador da RUTE (Rede Universitária de Telemedicina), possibilitou um conhecimento complementar e transdisciplinar às pesquisas médicas desenvolvidas em minhas atividades, abrindo a possibilidade de criar

¹Existem muitas definições para simulação. Utilizamos aqui a definição de Pegden onde “simulação é processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégia para a sua operação (PEGDEN, 1990, p. 5).

² Ergodesign é um conceito novo. Significa a fusão dos focos teóricos e práticos das duas disciplinas: Ergonomia e Design. À medida que os sistemas se tornam mais complexos, torna-se cada vez mais difícil estabelecer as diferenças entre as duas disciplinas (MORAES, 2013, p. 2-3).

uma forma de ensino-aprendizado inovador, no qual a integração de diferentes áreas e saberes possibilita que ideias se traduzam em artefatos tangíveis.

Aplicações médicas são consideradas algumas das mais relevantes utilizações de tecnologias 3D de simulação física e virtual (TUKURU, 2008. p. 185-196). Com a evolução tecnológica dos *softwares* de modelagem tridimensional virtual e o pós-processamento de arquivos médicos, novas aplicações quanto a representação tridimensional estão sendo desenvolvidos, como por exemplo tecnologias não invasivas de diagnóstico por imagem e modelos físicos em cardiologia. Sua utilização em casos complexos, quando a simulação do caso clínico tem importância na forma que o diagnóstico e tratamento são feitos, transforma a prática, o ensino e o aprendizado quando incorpora a simulação e a modelagem 3D na lógica do raciocínio médico.

1.3 Hipótese

A visualização e representação 3D do corpo humano aprimora a abordagem didática na aprendizagem.

A Autópsia Virtual (Figura 1) é um exemplo deste novo conceito tecnológico. Trata-se de uma varredura total do corpo humano de um indivíduo morto em ação utilizando a Tomografia Computadorizada para auxiliar o patologista durante a autópsia real (LEVY, 2006, p. 522).



Figura 1 – Autópsia virtual³

³ Disponível em <<http://investigadoresforenses.blogspot.com.br/2013/03/autopsia-virtual.html>> Acesso em 16/10/2014.

A imagem disponibilizada a partir da autópsia virtual é reconstruída e otimizada, reduzindo o tempo do procedimento e aumentando a recuperação de provas forenses. É possível, por exemplo, em um caso de óbito devido a ferimento por arma de fogo, calcular e inferir muitos fatos importantes, como o caminho percorrido pelo projétil e a posição do seu fragmento, o que não seria viável através de uma tecnologia invasiva de autópsia.

Esse tipo de análise tem sido comum há décadas em setores como engenharia, geologia, aeronáutica e design e de forma tardia na área da saúde. Diversas áreas do saber aplicam a simulação antes mesmo de construir ou administrar o seu produto. Com a aplicação e desenvolvimento da visualização e representação 3D, a área da saúde tem a oportunidade de construir modelos didáticos para simulação e treinamento dos profissionais da saúde no tratamento de patologias complexas.

1.4 Objetivo Geral

O objetivo dessa dissertação é demonstrar que a representação 3D aprimora os meios e métodos de pesquisa na Medicina através da experimentação de tecnologias 3D utilizadas em Design.

1.4.1 Objetivos Específicos

Analisar o desenvolvimento de pesquisa e aplicações que demonstrem a funcionalidade da tecnologia de simulação tridimensional virtual e física, como

- i. Analisar a aplicação experimental modelo digital 3D para o diagnóstico e treinamento em medicina; e
- ii. Estudar a transição 2D para 3D na didática médica.

1.5 Métodos, procedimentos e técnicas

Para esta dissertação são utilizados materiais computacionais, equipamentos para a captura de superfícies tridimensionais e impressão tridimensional física também conhecidos como manufatura aditiva ou impressão 3D.

Imagens radiológicas do sistema cardiovascular geradas por Tomografia Computadorizada (TC), capturadas e segmentadas, serão utilizadas como base para preparação de imagens 3D e posterior criação de modelos virtuais e físicos.

As imagens de TC requerem um tratamento preparatório para a impressão por um *software* de interação, especializado em imagens médicas, para visualização e segmentação a partir da seleção da área desejada, utilizando um monitor de intervenção direta na tela de computador (Wacom Cintiq).

A etapa de materialização física será feita através de sistemas automatizados, por deposições de matérias primas diversas – tecnologias conhecidas como manufatura aditiva.

O processo de simulação virtual é feito a partir dos arquivos 3D gerados pela segmentação. Estes arquivos são importados para um *software* de animação, e um modelo virtual é criado para simular o procedimento médico selecionado com o objetivo de analisar, visualizar e planejar com segurança no mundo virtual antes de ser testada no mundo real, a utilização dos dispositivos médicos usados neste procedimento.

1.6 Quadro referencial

Na dissertação, o estudo das relações entre Arte, Ciência e Design, bem como entre pesquisa científica e tecnologias emergentes, teve como base autores como Vilém Flusser, em seu livro *Uma Filosofia do Design* (1999) e Stephen Wilson, em *Information Arts* (2002) entre outros.

As questões relativas a visualização e cognição, tiveram influência do autor Bruno Latour em seu texto *Visualization and Cognition: Drawing Things Together*. Ao tratar sobre questões de manufatura aditiva, de engenharia reversa e de *software* para aplicações médicas, foi utilizado como referência o autor Ian

Gibson, que trata do assunto em seu livro *Advanced Manufacturing Technology for Medical Application* (2005).

2. Uma breve história e contextualização das tecnologias de visualização e representação do corpo

A medicina nos parecia, e nos parece ainda, uma técnica ou uma arte situada na confluência de varias ciências, mais do que uma ciência propriamente dita
(CANGUILHEM, 1982, p. 19)

O corpo humano constitui, por direito de natureza, o espaço de origem e repartição da doença: espaço cujas linhas, volumes, superfícies e caminhos são fixados, segundo uma geografia agora familiar, pelo atlas anatômico
(FOUCAULT, 1977, p. 1)

Para agir, é preciso ao menos localizar
(CANGUILHEM, 1982, p. 19)

2.1 Introdução

A Anatomia Humana, o estudo morfológico da arquitetura do corpo humano baseado na dissecação, deu origem à publicação de alguns livros ilustrados marcantes na história da Medicina. Estes livros são, no conteúdo, ciência, e, no contexto, ilustrações artísticas, representação gráfica do humano, do saber e sua cultura; o que somos e como somos representados no mundo.

O Atlas Anatômico é um campo livre para a criação artística e profissional, a união da arte com a medicina, através das técnicas de representação gráfica disponíveis em determinada época. Médicos e artistas sempre compartilharam uma fascinação pelo corpo humano. No mundo antigo, Aristóteles e Galeno dissecaram corpos de animais na sua busca do segredo da vida e Fidas esculpiu a imortalidade dos deuses em formas humanas no Parthenon. No início da Renascença o anatomista italiano Mondino da Luzzi, voltou a abrir os corpos dos mortos enquanto o artista Giotto pintava figuras humanas realistas (RIFKIN, 2006, p. 13-14) (Figuras 1 e 2).



Figura 1 – Crucifixo (1304-1306) - Giotto di Bondone.
Fonte: *The Art Museum*. Phaidon, 2011.



Figura 2 – Metope nas cenas de mármore do Partenon (442-438 a.C)
Fonte: *The Art Museum*. Phaidon, 2011.

De acordo com Stephen Wilson⁴, Arte e Ciência tiveram uma grande variedade de relacionamentos ao longo da História, enriquecendo uma à outra e experimentando integração.

Na era Paleolítica, iniciada em 30.000 a.C (Figura 3) e estendendo-se por milhares de anos, pinturas e entalhes foram criados com imagens que invocavam animais e caçadores nas paredes e tetos de cavernas espalhados pela Europa. As pinturas, registros de estados mentais, retratam símbolos abstratos e humanos com uma qualidade da representação visual extraordinária. Estes pintores da caverna também prestavam atenção à anatomia com as cenas de caça mostrando animais atravessados por flechas, que tinham como alvo órgãos vitais (FABRIS, 2007, p. 489).



Figura 3 – Pintura Rupestre em Caverna.

Fonte: *The Heart of Leonardo* Spriger-Verlag London 2013

No Renascimento o conhecimento integrava Ciência e Arte com a visão de que deveria se buscar o conhecimento amplo, no qual artistas, engenheiros e cientistas estariam todos interessados nas atividades de uns e dos outros. Leonardo da Vinci (1452-1519) exemplifica o artista/cientista integrador. Ele incorporou abordagens e teorias científicas no cerne de seus processos artísticos. Seus interesses se estendiam à Anatomia, Zoologia, Botânica e Medicina. O tema *sapere videre* (saber ver) dominava seu trabalho e ele via a pintura como uma

⁴ Stephen Wilson é artista, autor, e professor que explora as implicações culturais das novas tecnologias. Suas obras investigam questões como a interação com as formas invisíveis de vida, visualização de informação, inteligência artificial, robótica, etc. Seu interesse principal está em explorar o papel dos artistas na pesquisa. Ele é o responsável pelo *programa Informations Arts* na San Francisco State University.

parte crítica de um processo científico, na qual a observação aproximava a pessoa dos fenômenos (Figura 4).



Figura 4 – Estudos Anatômicos de Leonardo da Vinci
Fonte: Leonardo da Vinci: *The Complete Painting and Drawings*.
Taschen, 2012.

Os artistas renascentistas desempenharam um papel importante no desenvolvimento de técnicas e tendências de representações do espaço e na ordenação da experiência artísticas, preparando o terreno para os grandes avanços científicos que se sucederam.

O período entre 1870 a 1920 foi extraordinário em diversas áreas da cultura. Nesta época, a Ciência e a Arte haviam se diferenciado claramente. Cientistas haviam desenvolvido novos paradigmas, como a Evolução e a Relatividade, e criados programas de pesquisa que ainda inspiram estudos contemporâneos. De modo semelhante, os artistas foram pioneiros em abordagens que romperam convenções sobre perspectiva e representação, a natureza de materiais artísticos, dando início a movimentos que ainda influenciam os artistas contemporâneos.

A Física e a Arte passaram por mudanças paralelas de paradigma quase ao mesmo tempo. Por um lado, a Relatividade e a Física quântica desafiaram a visão do tempo/espaço, a materialidade dos objetos e as possibilidades de uma observação objetiva. Ao mesmo tempo, a Arte moderna desafiava as regras da perspectiva e da composição, abandonando a perspectiva e o pensamento

convencional sobre o espaço. A arte se distanciava cada vez mais da dependência de teorias abstratas para entender e representar a essência da realidade (WILSON, 2007, p. 201).

Havia uma influência de um *ethos* comum nesta época.

2.2 A Arte da Anatomia

As ilustrações dos livros de Anatomia se desenvolveram como uma categoria especial do imaginário de médicos e artistas desde a Idade Média, prolongando-se até o século XIX, representando graficamente a natureza da anatomia e o cadáver.

O conhecimento anatômico foi por um longo período limitado aos dados recolhidos a partir da dissecação de animais por Galeno (130-200 AC), médico grego exercendo a profissão em Roma, cuja influência foi considerável até o século XVI.

Na Idade Média, o único trabalho sobre anatomia verdadeiramente digno desse nome foi o de Mondino Luzzi (1275-1326), escrito em 1319, com o título *Anathomia*, onde levou em conta os dados de Galeno, porém baseado em dissecação de cadáveres humanos. Seu tratado era mais um livro de instruções de técnicas de dissecação do que um estudo próprio de anatomia humana.

Junto com o desenvolvimento da cirurgia no período medieval, houve uma maior atenção à anatomia. Apesar da influência da principal escola médica da época em Salerno, no Golfo de Paestum, perto de Nápoles, estar restrita a estudos de anatomia em dissecação animal, baseada nas aulas de anatomia, a partir dos trabalhos de Galeno, houve um ressurgimento da dissecação em cadáveres humanos no século XIV. Estes trabalhos foram divulgados na forma de cópias manuscritas e foram muito pouco ilustrados.

Com a invenção da impressão por Johannes Genfleisch (1397-1468), apelidado como Gutenberg, por volta de 1450 a disseminação do conhecimento foi aumentando de uma forma gradual, porém desorganizada. Por exemplo, os desenhos anatômicos de Leonardo da Vinci (1452-1519), desenhados à mão e de qualidade científica extraordinária, ocuparam um lugar muito marginal na história

da anatomia, pois nunca foram editados, e foram ignorados pelos estudiosos da época. Publicados pela primeira vez em 1898, não tiveram nenhum impacto sobre o desenvolvimento do conhecimento anatômico.

Em 1514 foi publicada uma coletânea de trabalhos de Galeno, traduzidos diretamente do grego. Antes desta data, os textos anatômicos eram, em sua maioria, derivados dos escritos árabes, tradicionais do período medieval, cultura hegemônica deste período. O contato com as obras de Galeno e de Hipócrates, assim como o contato com as obras clássicas da Idade de Ouro do período Clássico, mudou a essência do conhecimento médico e anatômico (VESALIUS, 2002, p. 17).

Em 1538, Andreas Vesalius (1514-1564), professor de anatomia na Universidade de Pádua, encomendou a pintura de uma série de grandes xilogravuras anatômicas conhecidas como *Tabulae sex*. e cinco anos após publicou sua grande obra *De Humani corporis fabrica* (Figuras 5 e 6). Este livro suplantou todos os trabalhos anteriores na ciência e arte da anatomia. Nesta obra encontramos o melhor da xilogravura renascentista do século XVI, onde o homem descobre a estrutura do próprio corpo e sua representação é empregada para o desenvolvimento do conhecimento humano; a arte do professor difunde os resultados de sua pesquisa. (VESALIUS, 2002, p. 17).



Figura 5 – Frontispício do *De Humana corporis fabrica*. Vesalius

Fonte: *The Heart of Leonardo*. Springer-Verlag London 2013

Até a publicação da obra de Vesalius, poucas obras anatômicas haviam sido ilustradas até então. Muitos dos principais médicos da época opunham-se à ilustração da palavra impressa devido à incapacidade técnica e a falta de evolução dos padrões de reprodução. Seu sucesso deve-se pela conscientização dos alunos de medicina e impressores, do valor e do poder da demonstração anatômica gráfica da obra. Na realidade, estas xilogravuras estabeleceram um novo critério para o uso da ilustração na medicina e artes gráficas (VESALIUS, 2002, p. 35).

Até Vesalius não havia um sistema de referências entre texto e ilustração, o que transformou as xilogravuras em veículo de difusão de uma ciência até então apenas descritiva.

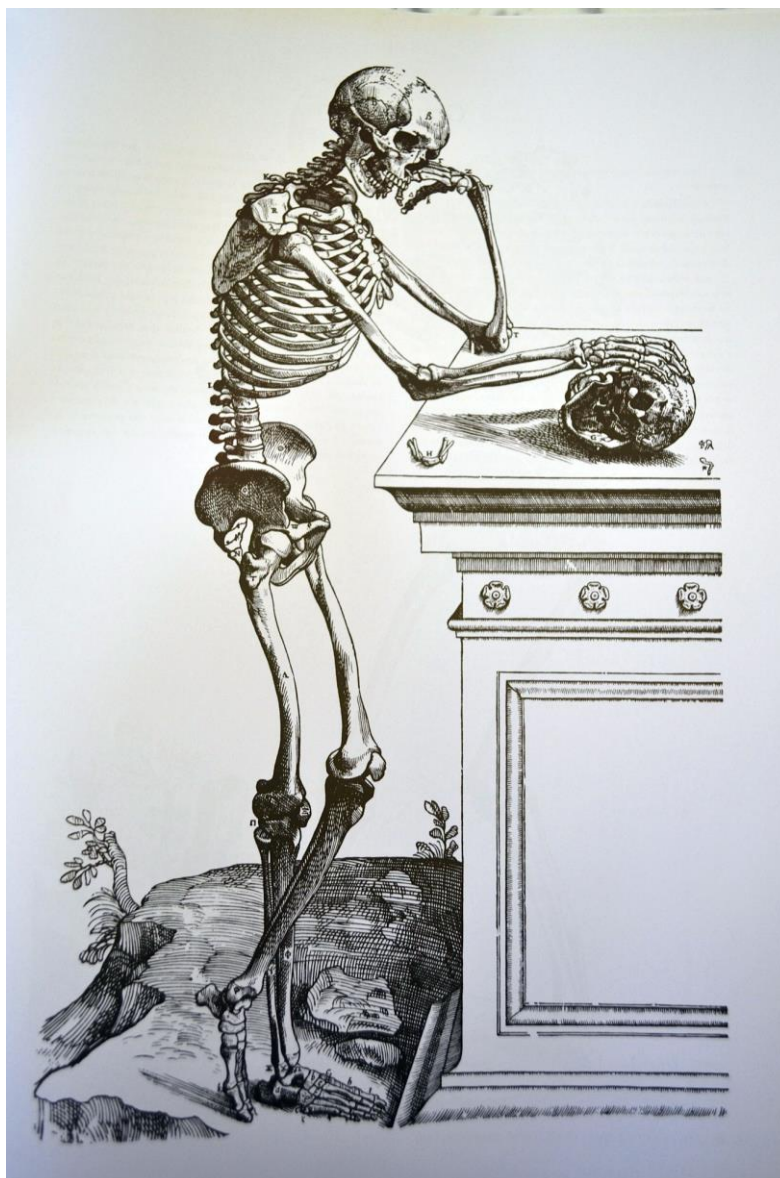


Figura 6 – *De Humana corporis fabrica*.
Fonte: Vesalius, 2002.

Na Renascença a obra de arte era a representação direta e fiel dos fenômenos naturais. Desta forma, o artista para retratá-las deveria conhecer as regras da perspectiva e da matemática a fim de obter sua obra exatamente representativa. A arte tornou-se científica. Os médicos renascentistas devem mais a estes artistas do que aos comentários sobre médicos gregos e a influência médica da cultura islâmica medieval (LYONS, 1978, p. 369).

Explicações teóricas do que faz o corpo e como ele funciona, na doença e na saúde, foram escritas pelos gregos e transmitidas (através do Islã) ao Ocidente até a Idade Média de uma forma não científica, autoral e dogmática. Antes destes

saberes serem consolidados, foram desafiadas por dissecações no Renascimento e investigações fisiológicas de William Harvey (1578-1657).

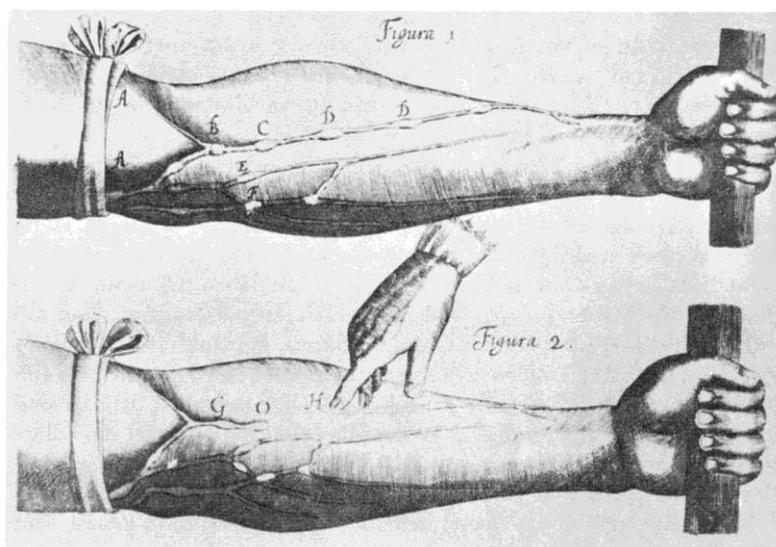


Figura 7 – Imagem das veias em *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*. William Harvey.
Fonte: William Harvey e a descoberta da circulação do sangue.
(Rebollo)

William Harvey foi um médico britânico que pela primeira vez descreveu corretamente os detalhes do sistema circulatório do sangue, ao ser bombeado por todo o corpo, pelo coração, provando que a circulação era contínua e o sangue estava dentro de um sistema fechado (Figura 7). Além de dissecações anatômicas e observação fisiológicas dos seres humanos e experimentos diretos sobre animais, ele também fez uso de dados quantitativos.

Apesar de suas contribuições terem enorme importância na anatomia e fisiologia, seu impacto sobre a prática da medicina em sua época foi limitada, uma vez que os conceitos e entendimentos da doença tiveram pouco avanço com as suas demonstrações. Neste contexto, William Harvey provou ser uma figura crucial, mas transitória e ambígua, pois suas descobertas foram deixadas para uma geração posterior como prova em favor da mecânica clássica (PORTER, 2003, p. 44). Harvey é, portanto, um intermediário entre o velho e o novo, chamado para um repensar da anatomia como uma representação dinâmica do corpo.

O século XVII representa um importante ponto na história da ciência com a mudança da especulação para a experimentação. A interpretação tornou-se mecanicista e a linguagem da ciência tornou-se matemática.

Já no século XVII modelos de cera eram usados para fins científicos. Gaetano Giulio Zumbo, trabalhando em Bolonha, aonde havia uma famosa escola de anatomia, foi o primeiro a fazer modelos anatômicos usando cera colorida.

O museu florentino *La Specola* (“O Observatório”, em italiano) apresentava um acervo único, que corresponde a uma das maiores coleções em cera do mundo. As obras incorporam a tradição filosófica europeia, revelando o conhecimento e a compreensão sobre a anatomia humana do fim do século XVIII. A ideia de construir o museu surgiu em 1771, e partiu do grão-duque Leopoldo de Pietro, um estudante entusiasta das ciências naturais que decidiu reunir as coleções “científicas” de várias galerias da região. Quatro anos depois, abria ao público o *Regio Museo di Fisica e Storia Naturale*. As primeiras coleções de história natural foram adquiridas dos Médici, influente família florentina entre os séculos XIII e XVII, patronos da arte e das ciências no país (POGESSI, 1999, p. 07). O museu apresenta, hoje, mais de 1.400 modelos anatômicos, fabricados entre o fim do século XVIII e meados do século XIX (Figura 8).



Figura 8 – *La Specola*

Fonte: *Encyclopedia Anatomica*. Taschen. 1999.

A ideia de produzir várias figuras anatômicas no *La Specola* tinha como objetivo a criação de uma fonte de recursos educacionais que no futuro iria evitar

a necessidade de exumação de cadáveres para o estudo da anatomia. O que era interessante e inovador na coleção de cera seria a disposição completa, tridimensional, das peças anatômicas, onde gavetas localizadas abaixo do santuário continham escritos descritivos e explanatórios de cada peça anatômica (Figura 9).

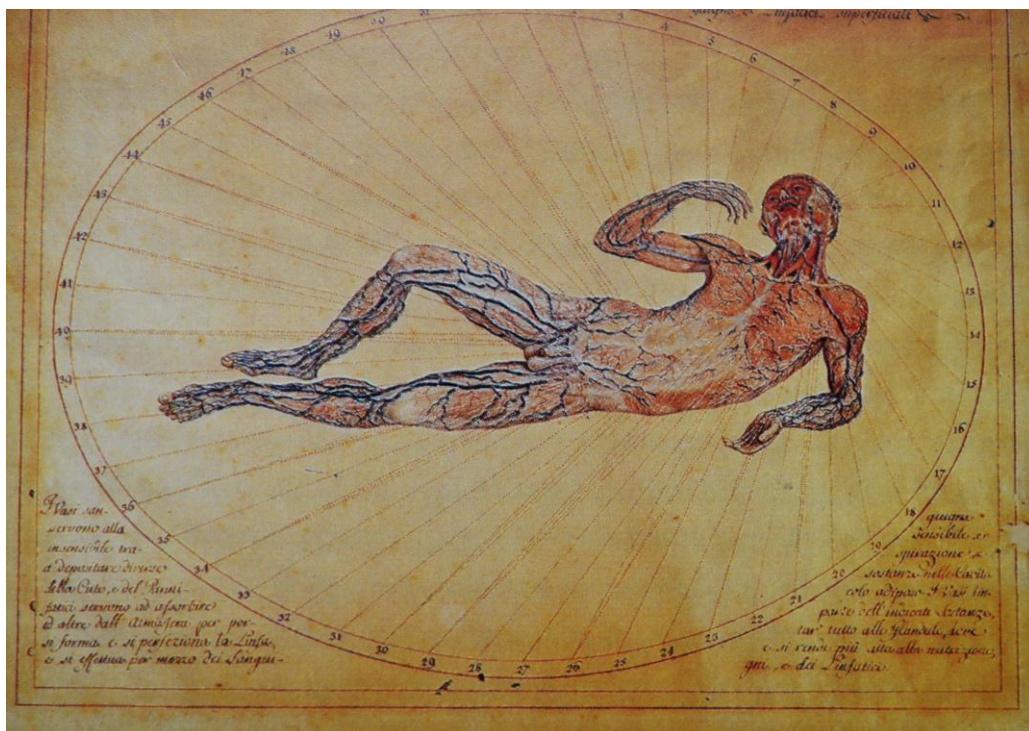


Figura 9 – *La Specola*

Fonte: *Encyclopedia Anatomica*. Taschen, 1999.

Uma oficina de cera plástica foi criada, funcionando desde sua inauguração até meados do século XIX, junto com outras oficinas essenciais para o funcionamento do museu. Também havia planos de se fazer diversas séries de modelos anatômicos em madeira pintada, que eram desmontados para fins de ensino, com o objetivo de demonstrar como órgãos, por exemplo, o útero na gravidez (Figura 10), se relacionavam um com os outros.

A coleção de modelos anatômicos de cera do museu *La Specola*, na sua forma tridimensional, representava o corpo humano de uma forma mais acurada que desenhos de gravuras planas e nos torna conscientes dos avanços que foram feitos com estas novas técnicas de exibição visual. As formas e contornos do corpo humano aparecem como uma unidade viva, uma viagem através dos

mistérios interiores do corpo humano, onde regiões profundas da anatomia se escondem tornando, assim, o homem transparente (POGGESI, 1999, p. 13).



Figura 10 – *La Specola*

Fonte: *Encyclopédia Anatomica*. Taschen, 1999.

O estudo da anatomia vinha avançando ordeiramente durante este período. Um dos grandes nomes deste século foi Giovanni Battista Morgagni (1682-1771) em Pádua, criador da anatomia patológica, que havia associando lesões de órgãos a grupos de sintomas estáveis – a teoria dos órgãos como o principal componente do corpo. A partir de Harvey, a anatomia se tornou dinâmica, e agora a patologia vinha naturalmente prolongar o estudo do corpo humano, a fisiologia (CANGUILHEM, 1982, p.19).

No século XVIII uma abordagem racional e científica para as questões históricas que confrontavam a humanidade conseguiu levar para longe a crença cega na autoridade, fazendo emergir uma nova fé no progresso e no triunfo inexorável do espírito racional humano. No entanto, a prática médica com o seu conservadorismo não foi capaz de acompanhar os avanços científicos contemporâneos, especialmente em outros campos, ou colocar tais avanços para um uso prático imediato (LYONS, 1978, p. 370).

Na introdução do seu livro, "O Nascimento da Clínica", Michel Foucault relata a mudança que operava o saber médico:

No início do século XIX, os médicos descreveram o que, durante séculos, permanecera abaixo do limiar do visível e do enunciável. Isto não significa que depois de especular durante muito tempo, eles tenham recomeçado a perceber ou a escutar mais a razão do que a imaginação: mas que a relação entre visível e o invisível, necessária a todo saber concreto, mudou de estrutura e fez aparecer sob o olhar e na linguagem o que se encontrava aquém e além de seu domínio. (FOUCAULT, 1977, p. 1)

A litografia, uma técnica de impressão inventada na Alemanha no final do século XIX, começou a ser usada intensamente para ilustração anatômica em Paris na década de 1820. O processo permitia um número quase infinito de impressões, prometendo reduzir o custo de impressão das ilustrações (RIFKIN, 2006, p. 271), tornando o invisível em visível, móvel e a cores.

The Complete treatise of human anatomy, de J. M. Bourguery e N. H. Jacob, publicado entre 1831 e 1854, representa uma das obras mais notáveis em toda a história da anatomia, e é a obra litográfica mais proeminente publicada no século XIX. Sua publicação ocorreu em uma época que a anatomia estava no seu ápice, e reafirmou a primazia da anatomia entre as especialidades médicas na evolução dos conceitos científicos (Figura 11).

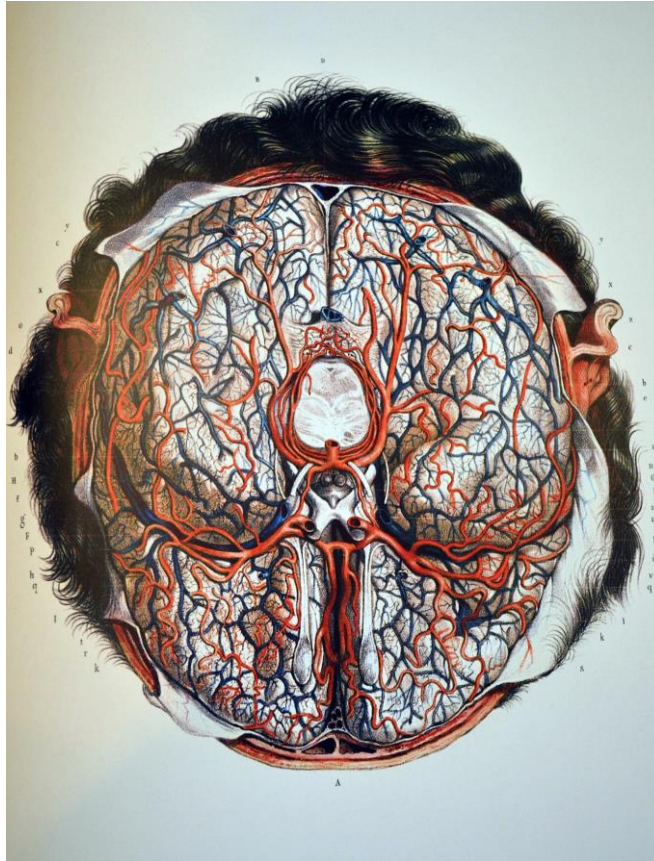
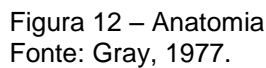


Figura 11 – *Atlas of Human Anatomy and Surgery*. Bourguery & Jacob.
Fonte: 2008, Taschen

Em 1858, Henry Gray publicou na Inglaterra a primeira edição da *Anatomia de Gray* (Figura 12). O livro era para ser usado tanto como um atlas quanto como um texto, seguindo a linha tradicional de explanação descritiva e analítica da matéria anatômica, precisa na descrição e contendo ilustrações em tons neutros e acinzentados. Este livro trata principalmente da anatomia sistêmica onde o corpo, como um todo, é composto por um número de sistemas, cujas partes estão relacionado umas com as outras por considerações tanto fisiológicas como anatômicas. Cada sistema é composto de partes, ou tecidos semelhantes, e participa na realização de funções particulares. Embora o estudo da anatomia seja principalmente relacionado com morfologia, o conhecimento da estrutura torna-se compreensível e de valor prático através da íntima associação entre estrutura e função (GRAY, 1977, p. 12).



Se a Ciência não pode se tornar Arte sem deixar de ser Ciência, e a Arte igualmente não pode se converter em Ciência sem deixar de ser Arte, os autores de uma ou outra área podem modificar seu *status* em algum momento, ganhando a flexibilidade para produzir representações ora artísticas, ora científicas. A identidade da ciência e da arte talvez não possa ser modificada, mas nada impede que cientistas se transformem ocasionalmente em artistas, e vice-versa.

3. Técnicas de imagens não invasivas

3.1 A radiografia

No final do século XIX, em 8 de novembro de 1895, o Prof. Wilhelm Conrad Röntgen descobriu os raios X, disponibilizando, assim, pela primeira vez, um dispositivo que permitia "ver" sem impedimento pela restrição do nosso aparelho visual, através de uma banda invisível do espectro eletromagnético. A evisceração da carne para ver o que está abaixo não será mais necessária (Figura 13).

Estas emissões peculiares não só passavam por muitos itens sólidos colocados em seu caminho, mas também ativavam materiais fosforescentes e imprimiam imagens em placas fotográficas (KEMP, 1998, p. 25). Röntgen ganhou o primeiro prêmio Nobel de física em 1901.



Figura 13 – Fotografia do primeiro R-X, 1896.

O salto conceitual foi tão grande quanto a técnica e desde então, cientistas têm trabalhado para desenvolver novas descobertas para o avanço da tecnologia da imagem de visualização médica. Nunca houve na história da ciência, um período tão curto transcorrido entre uma descoberta fundamental e sua primeira aplicação, particularmente na Medicina. Já em fevereiro de 1896, apenas três meses depois da descoberta de Röntgen, foram realizadas nos EUA as primeiras aplicações clínicas práticas, da radiologia, ao ser usada para identificar fraturas ósseas no Dartmouth Medical School. Em poucos meses, praticamente todos os centros urbanos de importância médica tinham adotado a nova tecnologia, com incontáveis variações (MOULD, 2011, p. 100).

Imagem de raios X ou radiografia, rapidamente se tornou uma importante ferramenta para os médicos. Durante décadas após sua descoberta e com o desenvolvimento de novas técnicas, tais como contrastes que proporcionam a visualização de imagem além do sistema esquelético, expandiram o âmbito da radiografia. Avanços mais recentes, como flúoroscopia e radiografia computadorizada, permitem o processamento digital de radiografias. Entretanto, a geometria da projeção 2D, inerente à imagem radiográfica visualizada através do convencional negastoscópio (aparelho dotado de iluminação especial para observação de chapas radiográficas), foi um obstáculo para o uso dessas imagens para o estudo de tratamentos médicos complexos.

Desde o seu desenvolvimento na década de 1970, a tomografia computadorizada (TC) evoluiu para uma ferramenta para a aquisição de imagens detalhadas da anatomia do corpo de forma rápida e em alta resolução. *Scans* rápidos com fatias muito finas, que retornam volumes de dados de imagem em 3D, estão possibilitando novas aplicações dentro da atividade médica, gerando novos conhecimento e práticas.

3.2 A Fotografia, criação das imagens pela exposição à luz.

Com estes mesmos raios X também foi possível revelar a estética oculta da natureza (Figura 14). Apenas um ano depois do anúncio de Röntgen, Josef Maria Eder, químico fotográfico vienense e autor de textos sobre a história técnica da fotografia, e Eduard Valenta, também um fotoquímico, publicaram um portfólio de 15 fotogravuras dos esqueletos de animais (KEMP, 1998. p. 25).

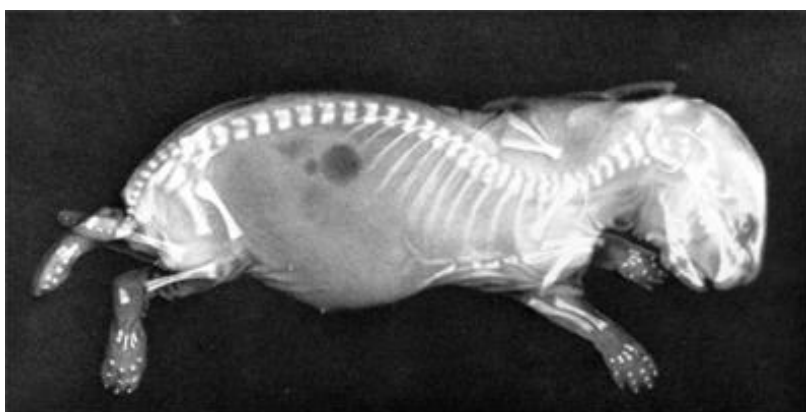
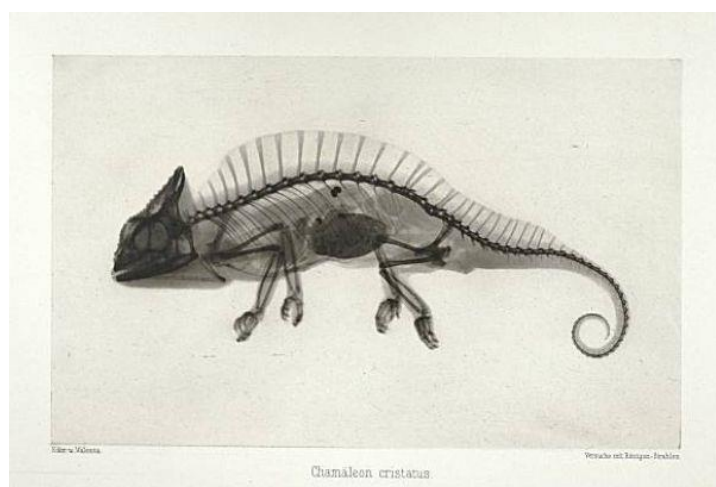
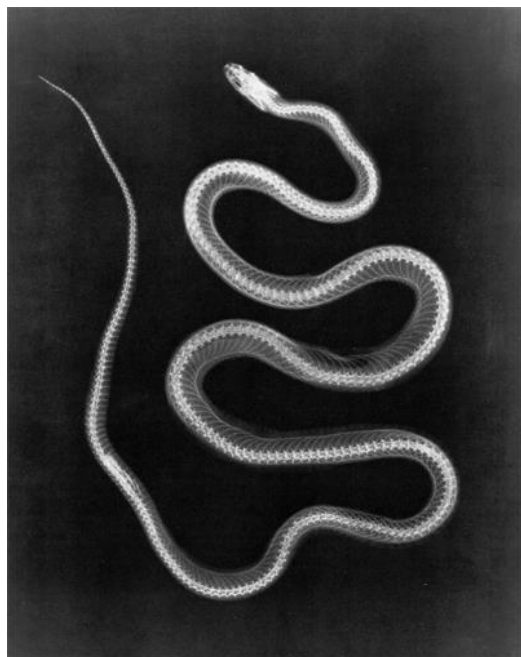


Figura 14 – Fotografias de Eder e Valenta.
Fonte: *Nature Magazine*.

Porém, as técnicas de gravação fotográfica começaram a ser desenvolvidas 70 anos antes.

Louis Jacques Mandé Daguerre foi um pintor, cenógrafo, físico, inventor francês, e o autor da primeira patente para um processo fotográfico em 1835.

Entretanto, a história da fotografia começa com Joseph Nicéphore Niépce, em 1826, quando pesquisava um método prático para copiar desenhos nas pedras de litografia. Ele recobriu uma placa de prata coberta por betume branco da Judéia, uma espécie de asfalto derivado do petróleo que endurece em contato com a luz, e a expôs durante oito horas em uma câmara escura.

Como resultado, Niépce encontrou uma imagem do quintal de sua casa, bastante contrastada, e em preto e branco, que não servia para litografia, mas foi considerada posteriormente como a primeira fotografia.

Três anos após, Niépce iniciou uma sociedade com Daguerre, mas a união não foi longa pois Niépce morreria quatro anos mais tarde, em 1833. Daguerre, melhorou o projeto ao substituir o betume da Judéia por prata polida sensibilizada por vapor de iodo, criando assim uma película de iodeto de prata sensível à luz que diminui para minutos o tempo necessário de exposição à luz para se conseguir uma imagem.

Daguerre chamou o seu invento de "Daguerreotipo" e em 1839 o apresentou para a Academia de Ciências de Paris, tornando o aparelho acessível ao público, e posteriormente um sucesso nas grandes cidades. O problema era que o aparelho produzia apenas um positivo, sendo impossível criar cópias da mesma imagem. Entretanto, em 1840 o inglês Fox Talbot, que estava realizando seus próprios estudos sobre fotografia, inventou o "Calótipo", que produzia um negativo que permitia diversas reproduções de uma única imagem. Esse invento se tornou a base para o desenvolvimento da fotografia e, a partir daí, o processo fotográfico evoluiu (CALDEIRA, 2012, p. 213).

3.3 O Projeto *Visible Human* e a exposição “O Fantástico Corpo Humano”

O Projeto *Visible Human* de 1986 é a criação de representações anatomicamente detalhadas, tridimensionais, de corpos humanos do sexo masculino e feminino, feitos a partir de aquisição transversal de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética em cadáveres.

The Visible Human Project criou um conjunto de dados do corpo humano, através de cadáveres, que foram cortadas em finas fatias transversais e crioconservados, fotografadas e digitalizadas, à fim de facilitar aplicações de visualização de anatomia. O projeto foi executado pela Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA (*National Library of Medicine* – NLM).

O objetivo do projeto foi produzir um sistema de estruturas de conhecimento que vinculasse imagens visuais à formatos de conhecimentos simbólicos, como os nomes das partes do corpo. Um atlas anatômico digital. Desta forma, o corpo se converte em um arquivo visual, uma cópia digital de uma série de imagens.

Como no passado, há uma abolição do interior do corpo como espaço privado ou sagrado, um processo iniciado com os primeiros estudos sistemáticos da anatomia no final do período medieval e estendido até 1895 com o uso do raios X. Porém, agora corpos vivos são tratados como dados visuais e a capacidade da computação em representar e manipular volume transforma o espaço do pensamento médico em si.

Em particular apresenta-se uma solução para o problema da migração do bidimensional (raios X e representação gráfica) para os corpos tridimensionais, um problema central na pedagogia médica: estudantes de medicina aprendem a difícil tarefa de encarar a complexidade da estrutura anatômica do corpo volumetricamente (WALDBY, 2000, p. 20).

Esta ruptura na representação visual realiza uma reorganização do conhecimento e das práticas sociais. O rápido desenvolvimento das técnicas de computação gráfica transformou a natureza da visualização de uma forma mais radical do que na época da ruptura entre a imagética medieval e a perspectiva renascentista (CRARY, 1990. p. 11).

O Fantástico Corpo Humano, uma exposição com nove galerias que levam os visitantes através do corpo humano, é um mergulho tridimensional para dentro dos sistemas respiratórios, circulatórios e nervoso (Figura 15).



Figura 15 – A exposição "O Fantástico Corpo Humano".

Dividida em galerias distribuídas por 1.200m², a mostra apresenta corpos reais de chineses que foram doados para a ciência. As peças naturais passam por um processo de preservação permanente desenvolvido por especialistas chineses, chamado de plastinação.

Os corpos e órgãos também recebem uma maquiagem especial, que permite a diferenciação de órgãos, músculos, veias e artérias. A exposição conta com corpos humanos e os cortes transversais do corpo, que apresentam de forma real como funcionam os órgãos e os sistemas.

Com 12 corpos completos, em poses confortáveis do dia-a-dia, todos com o objetivo de ajudar a tomar decisões sobre os cuidados com a saúde e estilo de vida, este projeto e exposição são exemplos da reconfigurações do Olhar, das relações entre o sujeito que observa e os modos de representação; um outro Observador.

Este sujeito médico, que observa a partir de agora o corpo, transforma o seu objeto de conhecimento graficamente e volumetricamente em um algoritmo matemático. O corpo se desmaterializa em um conjunto abstrato de imagens e

figuras, se descola do seu Ser e se transforma em representação visual. Ou, se materializa no mundo real como um corpo plastificado, inerte e sem vida.

O corpo sempre foi um objeto do conhecimento. O que o torna singular é sua capacidade de ser, ao mesmo tempo, a matéria do nosso conhecimento, e a construção histórica das narrativas do saber ao longo de existência do homem como ser social.

Agora o corpo, como projeto de visualização, se transforma apenas em um objeto do saber, a representação vazia de saber o que se é.

4. O corpo como objeto para visualização e representação

4.1 Desenho

O desenho é um suporte artístico ligado à produção de obras bidimensionais, podendo tanto ser um processo, quanto resultado artístico. Um desenho manifesta-se essencialmente como uma composição bidimensional formada por linhas, pontos e formas. No caso do desenho de perspectiva, ocorre a ilusão da tridimensionalidade.

Desde o Renascimento, o desenho deu forma ao nosso conhecimento da Natureza em diversas formas dinâmicas de representação. O ato de desenhar é um meio para este fim, sendo completamente diferente da forma verbal de representação ou da simples descrição. O desenho é uma forma de visualização, uma maneira de compreensão e representação do mundo, tendo como ponto de partida o cérebro.

A base cognitiva na construção da realidade é obtido por meio da experiência sensorial que chega ao sistema nervoso central na forma de estímulos sensoriais provenientes dos nossos cinco órgãos dos sentidos (visão, audição, tato, olfato e gustação). O córtex cerebral, a porção externa do sistema nervoso central, possui regiões que constroem um mapa do corpo para cada sensação, são as áreas sensoriais primárias. As funções mentais complexas requerem a integração da informação de várias áreas corticais interligadas entre si.

Estes mapas corticais são criados quando o olho humano foca em uma imagem e a camada sensível à luz de tecido neural, chamado de retina, é ativada. O conjunto de sinais luminosos capturados na retina por fotorreceptores, são o ponto de partida da visualização. Nenhuma linha, curva, regiões bidimensionais, formas tridimensionais ou quaisquer aspectos das formas visuais de objetos e seus ambientes são construído na retina. A percepção destas formas visuais é a consequência de um processo sofisticado de construção que envolve neurônios e conexões sinápticas entre neurônios no cérebro. Cada linha, curva, regiões 2D ou forma 3D que vemos é uma construção do nossa córtex visual, criadas a partir da capturas dos fótons pela retina (LIVINGSTONE, 2002, p. 12).

A visualização através do desenho é uma metodologia para construir e produzir uma ideia. Imaginar, desenhar e manipular são fases deste processo para construir a imagem em algum suporte.

4.2 Os estudos anatômicos de Leonardo da Vinci

O assunto principal da arte no final da Idade Média e do Renascimento foi a figura do corpo humano, com as imagens bíblicas, nas pinturas de narrativas mitológicas e, mais raramente, em paisagens.

Nesta época Leonardo da Vinci desenvolveu uma série de estudos do corpo humano, incluído seus estudos anatômicos. A investigação anatômica de Leonardo como desenhista vê a arte na fronteira com ciência. O fato da importância da imagem na ciência médica ter aumentado continuamente desde então, e continua a aumentar, testemunha a visão extraordinária de Leonardo sobre a importância da ilustração anatômica (Figura 16).

Leonardo da Vinci é o arquétipo do homem do Renascimento, mas desde sua época ele é visto principalmente como um pintor que se envolveu em ciências. Ele não teria se reconhecido nesta imagem, pois os estudos científicos eram tão importantes para ele quanto a sua arte. De todas as suas investigações – que incluíram a ótica, a geologia, a botânica e a hidrodinâmica – o campo que lhe deixou mais envolvido foi a anatomia humana (CLAYTON, 2012, p. 314). Sua ciência como desenhista, do inglês *draughtsmen*, que significa tanto projetista, quanto designer, é uma forma de compreensão visual como instrumento de pesquisa, onde o registro de informações é feito em formas pictóricas (ZOLLNER, 2011, p. 10).

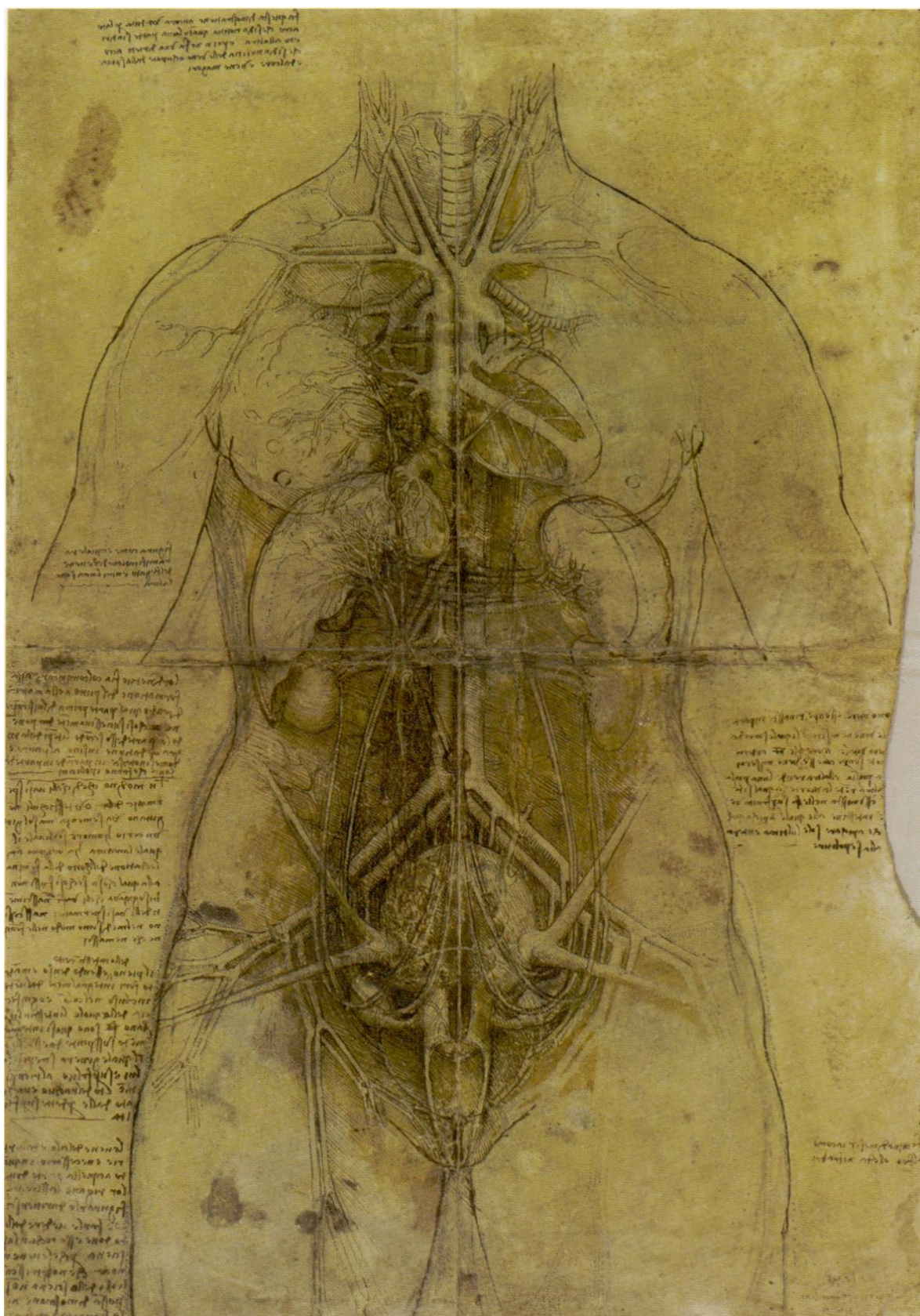


Figura 16 – O sistema cardiovascular e os principais órgãos de uma mulher.
Leonardo da Vinci.

Fonte: *The Heart of Leonardo*. Francis Well.

A data exata dos estudos anatômicos de Leonardo ainda não foi totalmente esclarecida, porém, a partir dos registros existentes, estima-se que houve períodos de atividade bastante intensa intercalada por períodos de trabalho em outras disciplinas muito diferentes. Os estudos anatômicos são divididos em três períodos distintos: iniciais (a partir de 1487), intermediário (1506-1510) e a fase tardia (1510) (ZOLLNER, 2011, p. 10).

São duas épocas de intenso trabalho de seus desenhos anatômicos, em torno de 1490 e entre 1507 e 1513, durante o qual dissecou cerca de 30 cadáveres humanos e objetivava publicar suas descobertas.

Por volta dos seus vinte anos, ele juntou-se a guilda dos pintores em Florença e trabalhou no ateliê do escultor e pintor inovador Andrea del Verrocchio, onde aprendeu os rudimentos da engenharia. Na década de 1480, mudou-se para Milão, onde sua gama de interesses ampliou-se em ritmo notável e nesta cidade começou a compilar material para um tratado sobre a teoria da pintura (CLAYTON, 2012, p. 314).

Ele tinha a pintura como uma atividade científica, em que todos os efeitos (luz e sombra, cor, perspectiva e forma) deveriam ser baseados em uma verdadeira compreensão da natureza. O corpo humano foi o principal tema do artista renascentista e logo percebeu que teria que dedicar um tratado separado para ele.

No inverno de 1507/1508, testemunhou a morte pacífica de um homem velho em um hospital em Florença, e escreveu em seu caderno que ele realizou uma dissecação "para ver a causa de tão doce morte". Ele atribuiu isso a um estreitamento dos vasos coronarianos, e escreveu a primeira descrição clara da aterosclerose na história da medicina (WELLS, 2013, p. 17).

A dissecação do velho marcou o início de cinco anos de intensa investigação anatômica, e em 1510-11 Leonardo parece ter iniciado uma colaboração com Marcantonio della Torre, professor de anatomia na Universidade de Pavia (WELLS, 2013, p. 17).

Marcantonio forneceu o acesso ao material humano (Figura 17). Leonardo concentrou-se nos ossos e músculos, analisando sua estrutura em termos puramente mecânicos. Talvez incentivados pelo anatomista profissional, ele ilustrou cada osso, exceto os do crânio, e a maioria dos principais grupos musculares. A conclusão de seu tratado estava ao seu alcance (CLAYTON, 2012,

p. 18), mas em 1511 Marcantonio morreu de peste, e como consequência desta perda, retirou-se para a casa de campo de seu assistente, Francesco Melzi, não concluindo a sua obra (WELLS, 2013, p. 18).

Com a perda de seu fornecimento de material humano, da Vinci voltou para o estudo da anatomia animal, o coração do boi, que difere pouco na estrutura de um ser humano, descrevendo os ventrículos e átrios com grande precisão, e analisou a estrutura e funcionamento das válvulas nos mínimos detalhes.

Suas pinturas de mudaram o curso da arte europeia; mas suas investigações anatômicas, o melhor da sua idade, foram essencialmente desconhecidas. Foi em 1900 que elas foram totalmente publicadas e compreendidas. Até então, o seu poder de afetar o progresso do conhecimento anatômico parecia já passado (WELLS, 2013, p. 22).

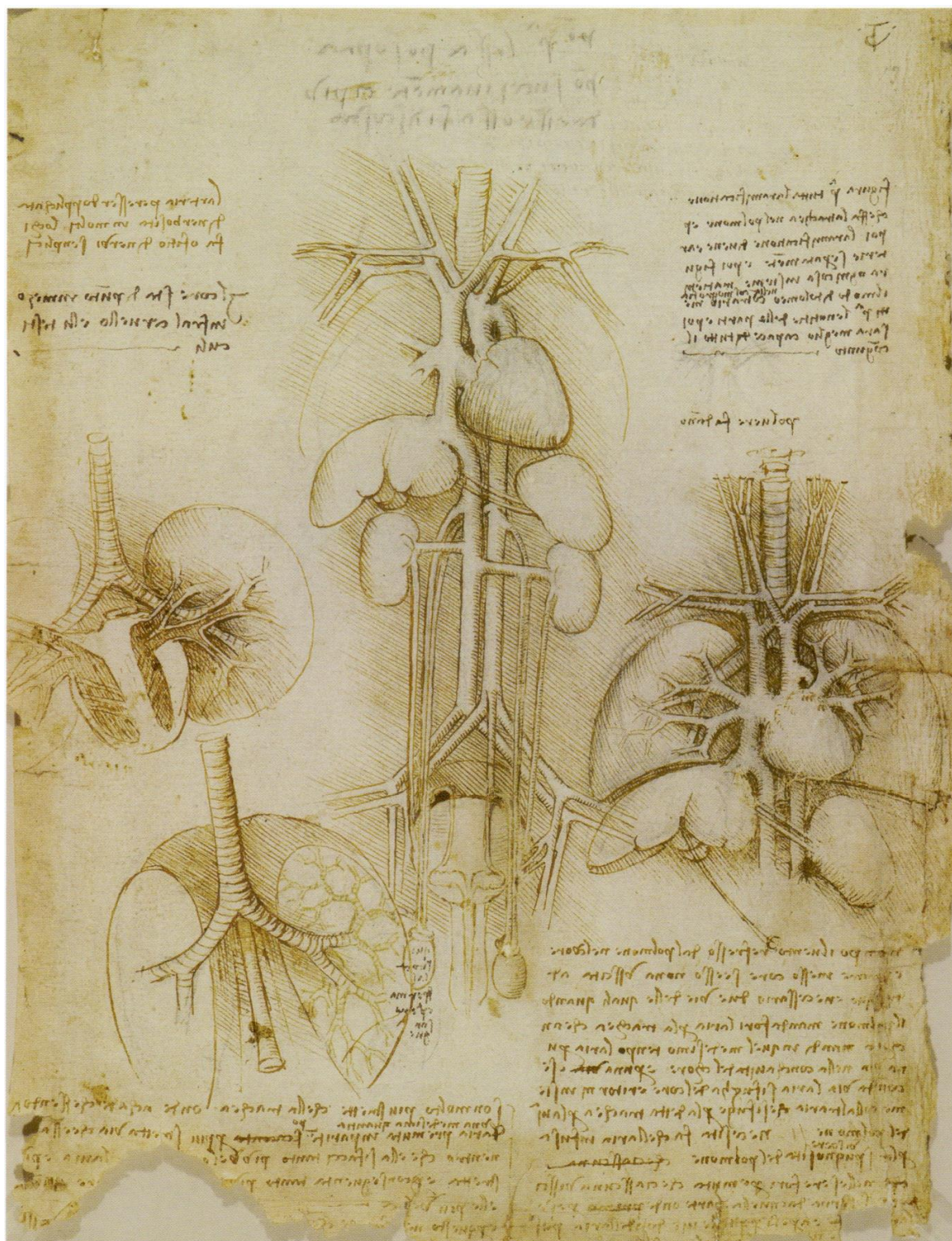


Figura 17 – O coração, pulmão e outros órgãos. Leonardo da Vinci.
Fonte: *The Heart of Leonardo*. Francis Well.

Seus estudos sobre o coração (figura 18), realizados por volta de 1513-1514, representam o ápice de seus esforços anatômicos. Eles integraram a estrutura e a função dinâmica do órgão de uma forma multidisciplinar devido a sua vasta experiência e conhecimento em hidrologia, engenharia, matemática e design arquitetônico, utilizando-se de leis dinâmicas e reconhecendo a importância da prova matemática sempre que possível (CLAYTON, 2012, p. 314).

A forma de abordagem no estudo do coração se assemelha a atual investigação científica, estudando de forma dinâmica a natureza da ação do coração e suas exigências em constante mudança, sua produção e potência como um órgão que só poderia ser compreendido através da integração de forma e função em todos os seus níveis. Isto é particularmente evidente em seus estudos sobre as válvulas do coração, quando utilizou seu vasto conhecimento de hidrodinâmica e seu fascínio com a geometria (WELLS, 2013, p. 22).

Dois dos exemplos mais interessantes são as suas descrições do fechamento da válvula aórtica e pulmonar e a dupla circulação para os pulmões. A precisão de seu trabalho só recentemente foi comprovada com o uso das modernas tecnologias de imagem. A relevância desses conceitos está sendo incorporada nas tecnologias empregadas na cirurgia cardíaca atual (WELLS, 2013, p. 23).

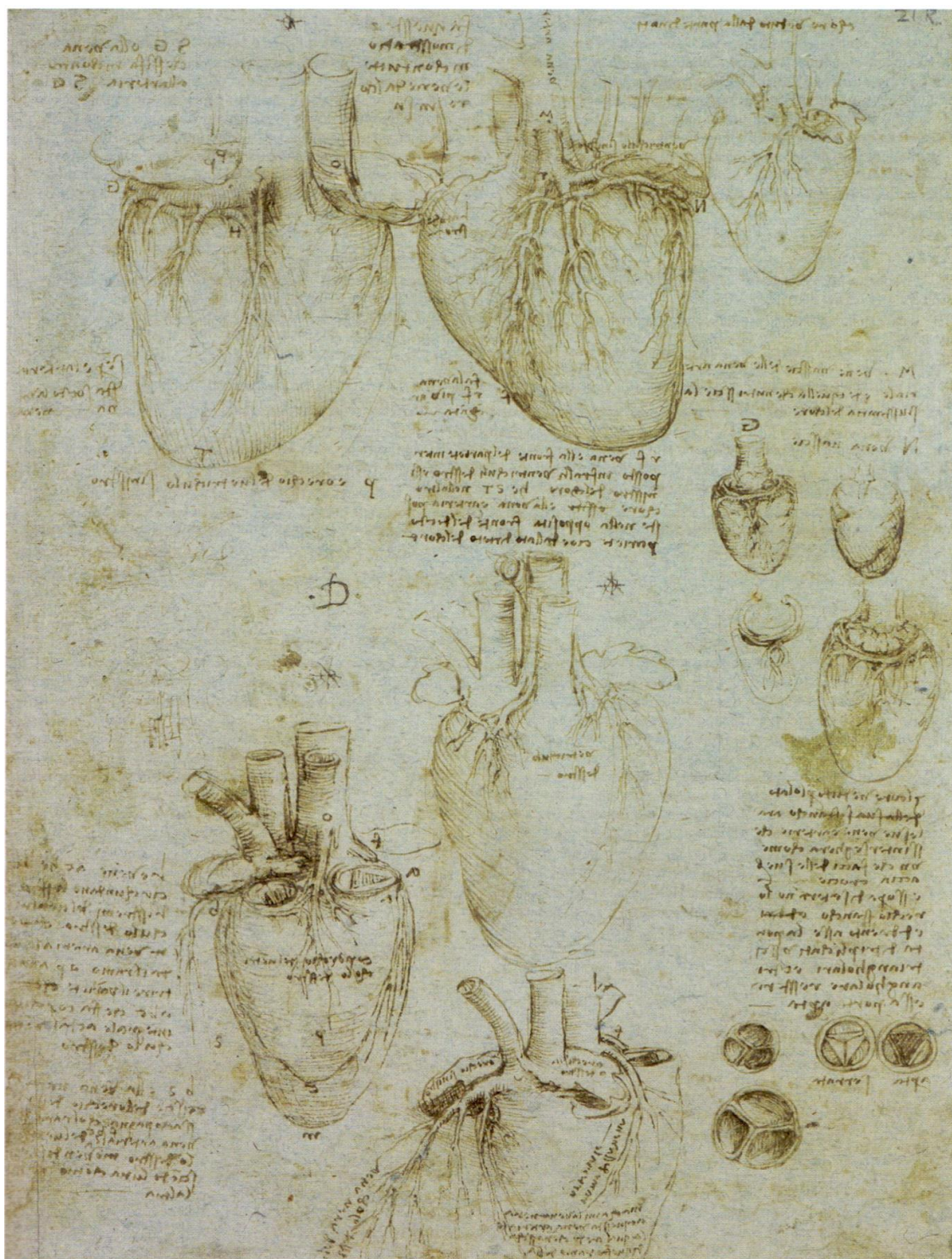


Figura 18 – O coração, vasos coronarianos e válvulas cardíacas Leonardo da Vinci.

Fonte: *The Heart of Leonardo*. Francis Well.

Embora as anotações feitas nos desenhos cardíacos sejam ricas em imagens, eles revelam muito do pensar nas palavras que acompanham os desenhos. Leonardo enfatizou a predominância da imagem visual para demonstrar estrutura, mas ele também aceitou a necessidade das palavras para explicar satisfatoriamente a função fisiológica do coração (Figura 19).

Ele foi capaz de transpor a definição de coração para a ideia mais abstrata de uma coluna de líquido que flui através de um canal deste formato, utilizando princípios hidrodinâmicos para alcançar a correta interpretação do mecanismo de fechamento da válvula. Usando seu conhecimento de hidrodinâmica (Figura 20), Leonardo desenvolveu a hipótese de que as protuberâncias da válvula aórtica, chamadas seios de Valsava, dão origem a formação de vórtices na coluna de sangue que saem do ventrículo, e que esses vórtices são fundamentais para iniciar o processo de fechamento da válvula, por deslizamento dos folhetos e empurrando estes folhetos um ao outro (WELLS, 2013, p. 23).

As descrições da natureza elástica da raiz da aorta têm importância recentemente reconhecida, com o desenvolvimento de próteses para a válvula da aorta. Estas novas próteses são capazes de se expandir de uma forma semelhante à raiz aórtica normal e podem absorver melhor o choque do fechamento da válvula, dissipando a energia dentro dos tecidos circundantes, precisamente como descritos nos seus estudos anatômicos (WELLS, 2013, p. 24).

Leonardo da Vinci foi um homem do seu tempo, na sua forma de se relacionar com sua época, porém, fora de um marco apenas cronológico, dissociado do seu tempo, e a uma distância que nos permite vê-lo e pensá-lo como nosso contemporâneo. Pertence a uma História Crítica do conhecimento (NIETZSCHE, 2003, p. 5), a história entendida como interpretação estética, da possibilidade de nos libertarmos do passado.

De acordo com Walter Benjamin:

(....) a história crítica é objeto de uma construção cujo lugar não é o tempo homogêneo e vazio, mas um tempo saturado de “agoras”. Quando o pensamento para bruscamente numa configuração saturada de tensões, ele lhes comunica um choque. Ele aproveita essa oportunidade para extrair uma época determinada do curso homogêneo da história; do mesmo modo, ele extrai da época uma vida determinada e, da obra composta durante essa vida, uma obra determinada. Seu método resulta em que na obra o conjunto da obra, no conjunto da obra a época e na época, a totalidade do processo histórico são preservados e transcendidos. (BENJAMIN, 1994, p. 222)

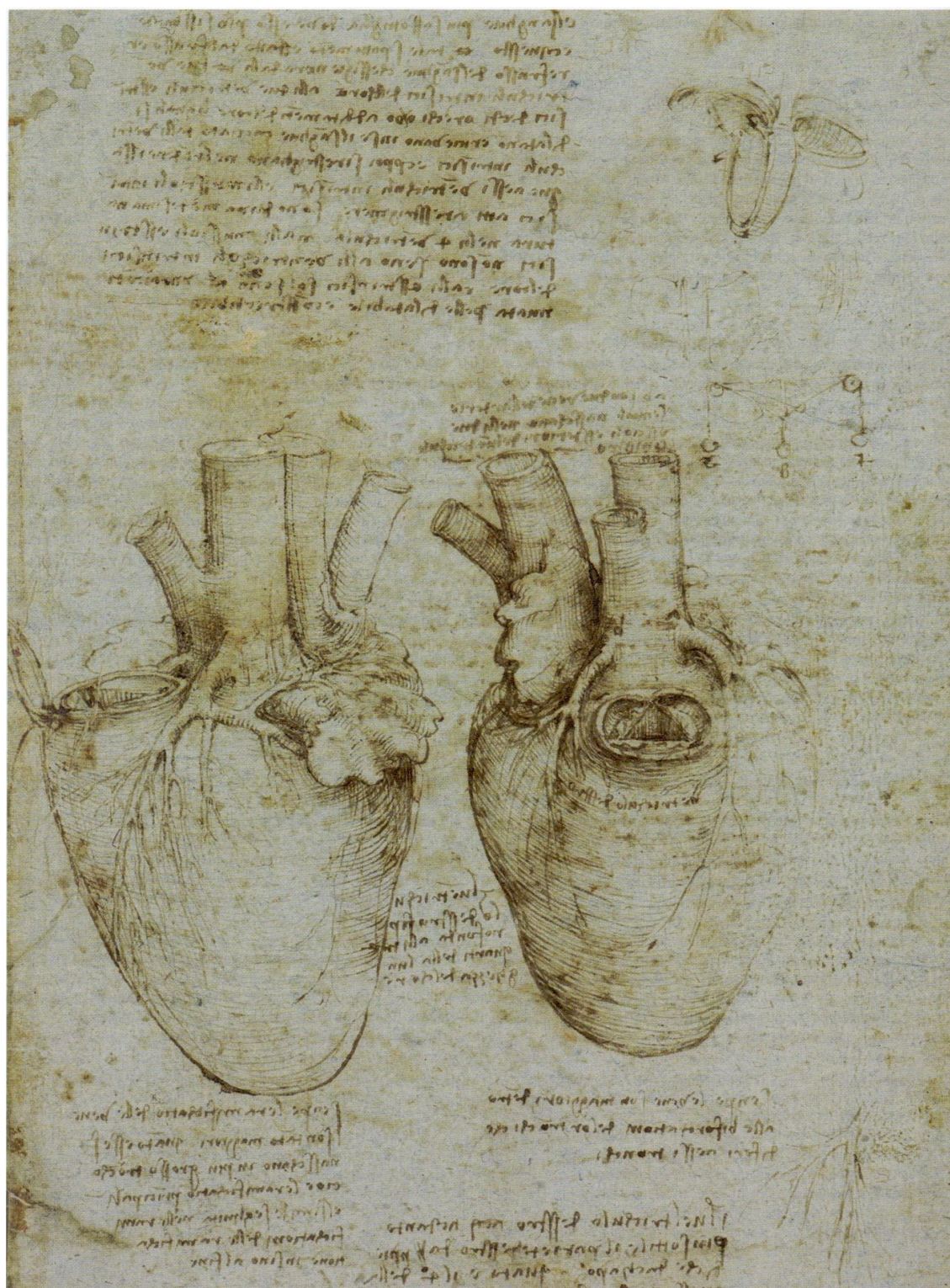


Figura 19 – O coração e os vasos coronários. Leonardo da Vinci.
 Fonte: *The Heart of Leonardo*. Francis Well.

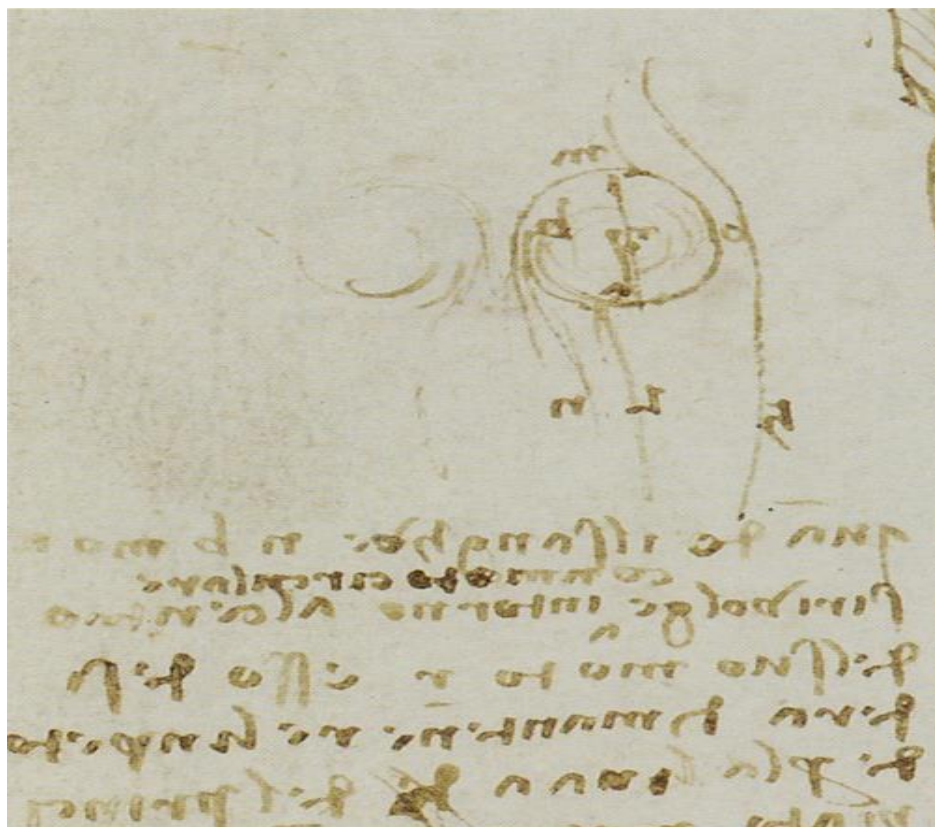


Figura 20 – Fluido (sangue) sendo forçado em direção ao vórtex através dos sinus curvos da aorta.

Fonte: *The Heart of Leonardo*. Francis Well

4.3 Representação e Visualização

A representação é sempre uma rua de mão dupla. Ela cria um elo, ensinando-nos a passar de uma representação para outra. (GOMBRICH, 1986, p. 304)

A visualização de uma imagem não é sua semelhança com o natural, mas sua eficácia dentro de um contexto do real. (GOMBRICH, 1986, p. 328)

A representação tem sido a forma de escolha para descrever, explicar e compreender a realidade.

O termo representação situa-se no centro de um conjunto de saberes com diferentes conceitos e noções. Para compreender como a palavra e seu significado podem induzir à reflexão, deve-se olhar e ver casos particulares (WITTGENSTEIN, 1968, p. 4).

De acordo com Hanna Fenichel Pitkin (PITKIN, 1989, p. 15) a palavra latina *repraesentare* significa “tornar presente ou manifesto; ou apresentar

novamente”, e, no latim clássico, seu uso é quase inteiramente reservado para objetos inanimados. Pode significar a substituição de um objeto por outro – em vez do outro –, ou a antecipação de um evento, trazendo-o para o presente.

Na língua inglesa, depois do aparecimento da palavra *represent*, provavelmente no final do século XIV, a palavra significa “trazer a própria pessoa, ou outra pessoa, à presença de alguém”; “trazer à mente”. O adjetivo “representativo” significa “que serve para representar, figurar, retratar ou simbolizar”. Durante o século XV, o verbo *represent* passa a significar também “retratar, figurar, ou delinear”. Ele passa a ser aplicado a objetos inanimados que “ocupam o lugar de ou correspondem a” algo ou alguém. Os seres humanos não estão completamente ausentes desses primeiros usos; eles aparecem de duas maneiras. Em primeiro lugar, a representação pode ser um objeto inanimado ou uma imagem substituindo um ser humano. Em segundo lugar, representar é uma atividade humana, mas não um agir para outros; é a atividade de apresentar, de figurar, de pintar um quadro ou encenar uma peça (PITKIN, 1989, p. 4).

Em português representação deriva também do latim *representatione* e como substantivo pode significar⁵:

1. Ato ou efeito de representar <verbo (do latim *representante*); 1. Ser a imagem ou a reprodução: 2. Estar em lugar de; substituir: 3. Figurar, aparentar: 4. Desempenhar o papel, as atribuições, a função de; figurar como: 6. Expor verbalmente ou por escrito: retratar, pintar: 7. Figurar como símbolo: 8. Reproduzir, descrever, pintar. >

2. Coisa que se representa

3. Reprodução daquilo que se pensa

A visualização na área da ciência, por outro lado, contribui para o desenvolvimento de certos aspectos da ciência. Tais imagens não são apenas um tipo importante de evidência visual, mas também uma forma de representação científica.

Heisenberg afirma que a redução da multiplicidade de fenômenos a um princípio geral e simples, significa estar de posse de representações e conceitos necessários para reconhecer que uma multidão de fenômenos diferentes faz parte de um todo coerente (HEISENBERG, 1996, p. 39).

⁵ Definição prevista no Novo Dicionário Aurélio. Ed. 1986. Pg. 1489.

Usar diagramas para representação de estruturas atômicas foi uma contribuição proporcionada pelas imagens, que são empregadas como evidência visual, para a construção das representações científicas.

A mais eficaz dessas representações foram os diagramas de Feynman – após seu inventor Richard Feynman, físico norte-americano, um dos pioneiros da eletrodinâmica quântica, e Nobel de Física de 1965 – em que as convenções gráficas, como flechas e ziguezagues, servindo para codificar de forma visual o padrão assumido pelos eventos físicos. O motivo para a sua invenção reside na modelagem física e figuração gráfica da força gravitacional na abordagem de Feynman para a Física. Ele sentia-se incomodado com a maneira que o comportamento físico poderia ser expresso em convenções algébricas sem visualização concreta, não entendendo como que podemos escrever a expressão matemática e calcular o que as coisas irão fazer, sem sermos capazes de imaginá-las (KEMP, 2006, p. 301).

Os diagramas refletem a convicção de Feynman de que 'há ... um ritmo e um padrão entre os fenômenos da natureza, que não é visível a olho nu, mas apenas para o olho da análise (KEMP, 2006, p. 323).

A Física e a Arte, frequentemente, trilham caminhos paralelos de mudanças conceituais nas formas de visualização, quase que ao mesmo tempo.

Na arte, a figuração dos elementos na pintura buscava uma identidade visual aproximada. O Renascimento, com a sua tradição naturalista, tinha como crença que os responsáveis pela representação visual possuiriam as técnicas que certificariam a objetividade. (KEMP, 2006, p. 305).

A pintura expressionista abstrata⁶, cria a oposição entre o que serve de figura e o que é a representação de uma coisa. Na via figurativa, a forma ainda representa alguém, um homem que grita, um homem que sorri, um homem sentado. No expressionismo abstrato, o espaço pictural perdeu todas as suas referências tácteis imaginárias que permitiam ver profundidades e contornos, formas e fundos na representação clássica tridimensional. Esses referentes tácteis

⁶ O expressionismo abstrato ganhou este nome por combinar a intensidade emocional do expressionismo alemão com a estética antifigurativa das Escolas abstratas da Europa, como o Futurismo, o Bauhaus e o Cubismo Sintético. O termo foi usado pela primeira vez para designar o movimento americano, em 1952, pelo crítico H. Rosenberg. Os pintores mais conhecidos do expressionismo abstrato são Arshile Gorky, Jackson Pollock, Philip Guston, Willem de Kooning, Clyfford Still e Wassily Kandinsky (FERREIRA, 2006, p. 16).

da representação clássica exprimiam uma subordinação relativa da mão ao olho, do manual ao visual. A pintura abstrata produz um espaço puramente ótico, suprime a tarefa que o olho ainda tinha na representação clássica, de comandar a mão (DELEUZE, 2007, p. 104).

Heisenberg escreve que:

Bohr sabe exatamente como se portam os átomos na emissão da luz, nos processos químicos e em muitos outros fenômenos. Isso o ajudou a criar uma imagem intuitiva da estrutura dos diferentes átomos, uma imagem que ele só consegue transmitir aos outros físicos por meios inadequados, como as órbitas dos elétrons e as condições quânticas. Não é certo que ele próprio acredite que os elétrons giram dentro do átomo. Mas está convencido da exatidão de sua linguagem. O fato de ele ainda não conseguir expressá-la por meios linguísticos ou técnicas matemáticas adequados não é um desastre. Ao contrário, aponta para uma tarefa extremamente sedutora (HEISENBERG, 1996, p. 39).

Estas transformações nas artes e nas ciências, que ocorreram na primeira metade do século XX, criaram uma série de requisitos e estratégias visando possibilitar a representação visual das imagens, ideais ou mesmo de conceitos abstratos. Da mesma forma que os dispositivos óticos tiveram uma importância capital na representação, com a descoberta do traçado da perspectiva matemática na época do Renascimento, a utilização da matemática na computação gráfica foi estratégica para as modernas formas de ver e representar na área da ciência.

Os computadores, dispositivos que necessitam de processamento computacional, e a computação gráfica, diferentemente da figuração gráfica dos diagramas, reúnem um conjunto de técnicas e ferramentas que permitem a geração de imagens a partir de modelos computacionais de objetos reais, ou de qualquer dado coletados por equipamentos na natureza e em laboratórios. A computação gráfica cria uma nova maneira de comunicar e compreender o mundo, possibilitando que as imagens se tornem representação científica.

4.4. O Invisível se torna Visível: a simulação

Simulação é a criação e utilização de modelos de um sistema ou processo real, para realizar experimentos e análises que levam a uma melhor compreensão do funcionamento do sistema ou processo modelado (PEGDEN, 1990, p. 91).

Quanto mais próximo da realidade a simulação está, maior a sua fidelidade. A tecnologia tem potencial para aumentar a fidelidade, mas não é necessária para uma simulação de alta fidelidade.

Neste estudo, a fotografia e a radiografia são utilizadas como meios para entendimento de técnicas não invasivas para o estudo do corpo e a palavra representação esta contextualizada no estudo do corpo humano, como meio de representação e visualização. No estudo de caso, modelos virtuais simulam órgãos anatômicos, sendo o modelo de simulação uma representação matemática de um processo real com o objetivo de simular o seu comportamento no corpo humano.

Afim de esclarecer o estudo de caso, faz-se necessária uma breve apresentação da evolução de técnicas não invasivas desenvolvidas para o conhecimento do homem e da natureza.

A fotografia é uma técnica essencialmente usada para dar forma duradoura ao que pode ser capturado no tempo pelo olhar, sem ajuda ou amplificado por dispositivos ópticos, sendo uma extensão natural da representação das coisas como elas são. No início do século passado foi utilizada como forma de representação das doenças e suas manifestações, porém não obteve sucesso como dispositivo para produção científica.

Muito mais radical, em termos conceituais, tem sido o uso de técnicas de representação visual para capturar itens ou fenômenos que simplesmente não estão disponíveis ao nosso conjunto óptico, como emissões em comprimentos de onda que se situam fora dos parâmetros do nosso aparelho visual (KEMP, 2006, p. 314).

A primeira técnica a ultrapassar a definição normal da visão foi a descoberta dos raios X. Esta foi apenas uma das séries de emissões descobertas no início do século passado e que transformaram a textura visual da Física.

A cristalografia por difração de raios X, técnica que proporciona a maior evidência visual da configuração atômica e molecular em sólidos, foi desenvolvida por Max von Laue, físico alemão, prêmio Nobel de Física de 1914, pela descoberta da difração dos raios X em cristais. Ele não só confirmou que os raios X eram ondas, mas descobriu como padrões de interferência podem fornecer informações sobre a estrutura interna dos cristais (KEMP, 2006, p. 323).

A fotografia de difração de raios X que obteve o papel mais relevante na ciência biológica moderna foi a do DNA feita por Ray Gosling e Rosalin Franklin.

Este trabalho contribuiu diretamente para o Prêmio Nobel 1962 em Fisiologia, ou Medicina, para Francis Crick, James D. Watson e Maurice Wilkins.

A transposição de imagens de difração de raios X em modelos tridimensionais é um dos muitos procedimentos que utilizam a percepção visual para analisar e representar o mundo físico, com por exemplo, a utilização de moléculas orgânicas complexas como modelo de visualização espacial, o que exige um nível extremamente elevado de visualização. A composição de fatores que fazem este estilo visual, incluem materiais, cores, texturas e escalas (Figura 23).

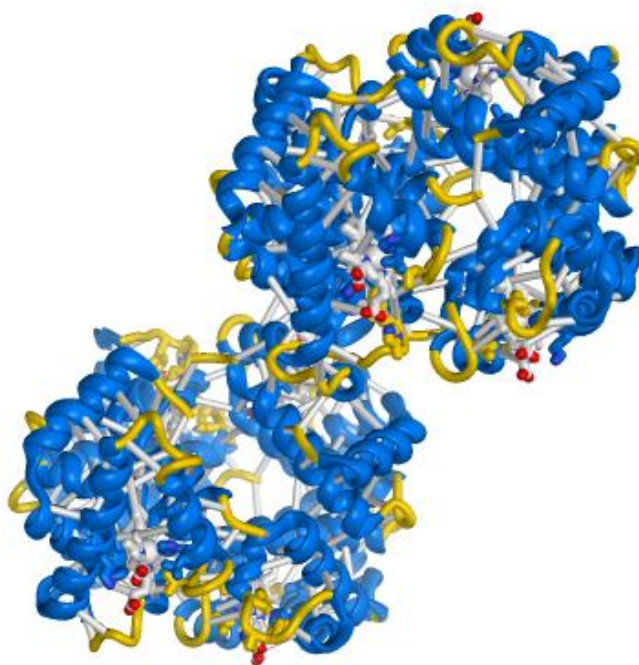


Figura 23 – Estrutura 3D da Hemoglobina; U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health.

Fonte: Disponível em <<http://3dprint.nih.gov/discover/3dpx-000211>> Acesso em 09/11/2014

Antes do século XX, a biologia e a física raramente cruzaram seus caminhos. Devido a sua complexidade, os sistemas biológicos foram considerados como impenetráveis aos métodos matemáticos. Afinal, como poderia um conjunto

de equações diferenciais ou princípios físicos lançar luz sobre algo tão complexo como um ser vivo? (LAMBERT, 2013, p. 10)

No seu ensaio *O que é vida* Schrödinger, físico teórico austríaco, conhecido por suas contribuições à mecânica quântica, pela qual recebeu o Nobel de Física em 1933, interpretou e conjecturou sobre a questão da vida em termos dos conhecimentos da química e física, com ênfase nos aspectos quânticos e termodinâmicos. Uma de suas questões foi o reconhecimento que a vida é demasiadamente complexa, tornando precária a redutibilidade dos fenômenos biológicos a fatos físico-químico, tendo em vista que as leis da Física e da Química são completamente estatísticas e matemáticas. (SCHRODINGER, 1977, p. 88).

Desde o início do século XX, com o advento dos microscópios e técnicas mais avançadas, pesquisadores começaram a aprofundar possíveis descrições físicas e matemáticas dos sistemas biológicos microscópicos. A partir daí, a biologia cada vez mais estimulou a criação de novos domínios de utilização da matemática na medida que, utilizada apropriadamente em sistemas biológicos, ajudou a interpretar qualquer tipo de dados (COHEN, 2004).

Desde a segunda metade do século passado, a união da matemática aos avanços tecnológicos nas áreas biológicas tornaram esta capacidade de ver dentro dos objetos macroscópicos uma realidade concreta, como por exemplo, nos estudos das imagens através da radiação. O problema da reconstrução das imagens geradas a partir de projeções, apareceu independentemente em diversas áreas de aplicação, entra elas a da radiologia⁷, como um problema matemático subjacente.

A reconstrução tridimensional das imagens radiológicas para visualização dos objetos só se tornou possível com o advento de sistemas de imagens tomográficos de alta resolução. Utilizando aspectos físicos e matemáticos, a TC utiliza algoritmos para, através do processamento das imagens de raios X, determinar a estrutura e a forma do objeto para inferir as densidades dos materiais em cada local, e simular a representação do corpo humano.

A TC mostra, em finas fatias, imagens dos tecidos e conteúdo do corpo humano como representações das reconstruções matemáticas auxiliadas por

⁷ Radiologia é a parte da ciência que estuda a visualização de ossos, órgãos ou estruturas através do uso de radiações (sonoras, eletromagnéticas ou corpusculares), gerando, desta maneira, uma imagem.

computador. Os seus princípios físicos são baseadas na quantidade de radiação absorvida por cada parte do corpo, o que significa que tecidos com composição diferente absorvem raios X de diferentes maneiras. Os recentes equipamento de TC são denominados *multi-slice*, devido à produção de múltiplas imagens. Esta nova tecnologia permite prontamente a reconstrução 3D de órgãos humano de forma rápida e precisa.

TC são os dispositivos para ver e representar o corpo humano, cortando em finas fatias a representação corpórea, rompendo o espaço da representação e possibilitando simulação de modelos reais.

Muitos outros sistemas visuais têm encontrado maneiras de operar com raios que se encontram imediatamente fora do espectro visível, tais como ultravioleta ou infravermelho, ou com emissão de diferentes tipos, tais como som, calor, ondas de rádio, e elétrons. (Figura 22). O raio X foi apenas o primeiro.



Figura 21⁸ – Tim Noble & Sue Webster. Wild Mood Swings. 2009–10. Fonte: Disponível em <http://www.timnobleandsuewebster.com/wild_mood_swings_2009-10.html> Acesso em 21/11/14.

⁸ Timothy "Tim" Nobre e Susan "Sue" Webster, são dois artistas britânicos que trabalham como um duo colaborativo, e estão associados com a geração pós-YBA de artistas (Young British Artists, artistas britânicos emergentes na década de 2000). A relação entre materialidade e forma é desconstruída através da visualização de suas esculturas. A visualização é o processo de recepção e interpretação da reflexão da luz nos objetos. A luz é apenas uma parte do espectro contínuo da radiação eletromagnética e não é qualitativamente distinguível do resto do espectro, compartilhando varias característica com os raios-X. O que faz a luz especial para nós é que

A simulação virtual e física a partir de imagens obtidas através da emissão de R-X é aqui apresentada como metodologia do estudo do corpo humano. A reconstrução das imagens geradas por TC em modelos 3D, como forma de representação simulada do corpo humano, libera a imagem de sua representação, condição fundamental para nos livrar da própria representação e deixar agir o espaço com suas propriedades puras e simples, suas propriedades materiais em si mesmas. (FOUCAULT, 2004, p. 283).

5. Estudo de caso: Simulações tridimensionais em técnicas minimamente invasivas

5.1. Formulação do problema

Esta dissertação propõe um estudo de caso exploratório como metodologia para investigar a potencialidade das simulações tridimensionais, físicas e virtuais, em técnicas minimamente invasivas. Através da criação de modelos 3D vasculares e de bioprótese, utilizando tecnologias tridimensionais e uma variedade de materiais, foram realizados experimentos para simular procedimentos endovasculares, técnica não invasiva que envolve colocar próteses em vasos, com o objetivo de aprimorar os meios e métodos do ensino-aprendizado na construção do conhecimento médico.

A disponibilidade imediata de imagens 3D em modernos equipamentos, como angiotomografia e angiorressonância mudou completamente a forma como cirurgias planejam seus procedimentos cardiovasculares nas últimas duas décadas. A indústria também acompanhou este desenvolvimento e tem sido capaz de fornecer materiais cirúrgicos mais precisos, com base nessas informações. No entanto, os modelos *ex vivo* utilizados para experimentar novos dispositivos e para planejar procedimentos cardiovasculares ainda consistem, em grande parte, em protótipos de origem animal ou artesanal, que não representam a verdadeira anatomia humana.⁹

O desenvolvimento de técnicas da manufatura aditiva, também chamada de prototipagem rápida em 3D, tornaram-se recentemente disponíveis para ampla gama de aplicações (PAL, 2001, p. 82). Na área médica algumas pesquisas têm sido feitas com o objetivo de reproduzir a anatomia humana com os padrões de alta fidelidade (McGURK et al., 2007, p. 169) e, na cirurgia endovascular, há uma grande possibilidade para o uso da prototipagem rápida para a criação de modelos

⁹ Angiotomografia e angiorressonância são exames de diagnóstico não invasivos que permitem a perfeita visualização das veias e artérias do corpo, utilizando modernos equipamentos gerando imagens em 3D. Os exames são mais rápidos e mais precisos, permitindo reconstruções que melhoram a capacidade diagnóstica. *Ex vivo* (Latim: "fora da vida") significa que o que ocorre fora do organismo. Na ciência, *ex vivo* refere-se à experimentação ou medições feito em tecido de um organismo, em um ambiente externo, com o mínimo de alteração das condições naturais. A principal vantagem do uso de tecidos *ex vivo* é a capacidade de realizar ensaios ou medições que de outra forma não seria possível nem ético em indivíduos vivos. Os tecidos podem ser removidos de muitos modos, como órgãos inteiros ou como sistemas de órgãos feitos artesanalmente.

vasculares de alta fidelidade, que pode ser usado para o planejamento cirúrgico, treinamento e para testes de novos dispositivos.

O objetivo deste estudo foi produzir um entendimento na utilização de modelos 3D no aprimoramento dos métodos e técnicas de ensino médico. O modelo escolhido foi o sistema vascular pois, dentro das várias possibilidades de órgãos do corpo humano, este sistema se mostra o mais adequado para criação de modelos físicos e virtuais de simulação.

5.2. Definição do caso e coleta de dados

Indicar os critérios de seleção dos casos de acordo com o propósito da pesquisa. Neste estudo há mais de um caso, pois por proporcionarem evidências em mais de um modelo, apesar de incluídos em um mesmo contexto, podem prover uma pesquisa de melhor qualidade.

A aorta, é a principal artéria do corpo, ela nasce no coração, atravessa o tórax e o abdome, dando origem a todas às artérias (ramos) que levam o sangue aos diversos os segmentos do corpo. A porção da aorta localizada dentro do tórax é chamada de aorta torácica; depois de atravessar o diafragma passa a ser chamada de aorta abdominal. O aneurisma da aorta é uma dilatação de um segmento desse vaso sanguíneo.

Inicialmente foi selecionado o caso de um paciente portador de aneurisma da aorta abdominal, classificada como complexo devido a razões anatômicas, em que o procedimento endovascular foi realizado com sucesso.

Com o objetivo de simular um procedimento endovascular, cirurgia minimamente invasiva, utilizando próteses que são introduzidas pela artéria femoral e guiado por raios X, uma série de modelos físicos e um modelo virtual foram estudados com o objetivo de simular este procedimento.

A tecnologia de digitalização das imagens utilizada no estudo de caso foi a Tomografia Computadorizada (TC) que, através de uma varredura do corpo humano, expõe finas imagens tomográficas que representam a reconstrução matemática, assistida por computação, dos tecidos e órgãos.

Os equipamentos de TC de última geração, denominados "*multi-slice*", devido à produção de múltiplas imagens, que permite resultados rápidos e acurados, possibilitando a reconstrução 3D.

Uma sequência do protocolo do *software* 3D foi desenvolvida para segmentar o aneurisma (Figura 24) e criar com alta fidelidade um protótipo aórtico 3D flexível.

A etapa de materialização física foi feita através da prototipagem rápida. O processo de construção do modelo físico 3D consiste basicamente na transferência do arquivo tridimensional obtido para o *software* da impressora, onde esse será “fatiado” em camadas visando à posterior sequência de deposição de materiais diversos por superposição milimétrica.

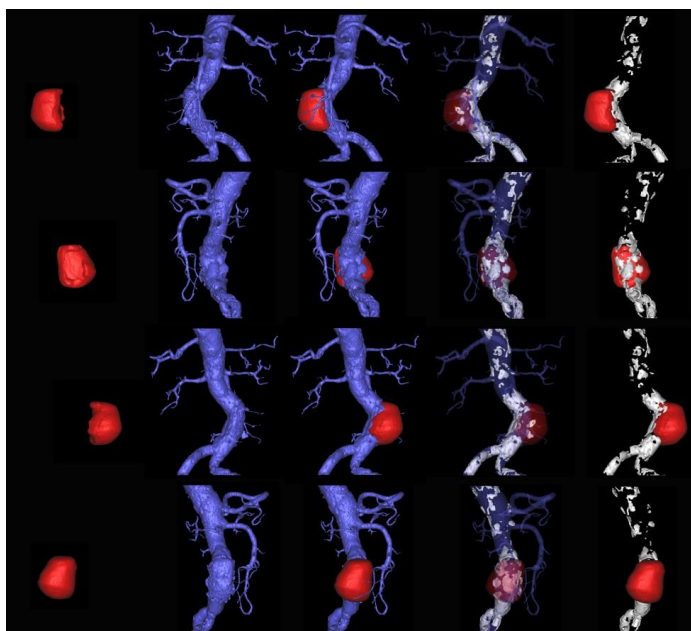


Figura 24 – Segmentação da aorta tóraco-abdominal e exclusão do aneurisma

5.3. Métodos

Os três estudos de casos apresentados nesta dissertação foram desenvolvidos durante o período de março de 2013 à outubro 2014 no Núcleo de Experimentação Tridimensional (NEXT) no Departamento de Artes e Design da PUC-Rio.

Os primeiros experimentos foram feitos com a colaboração do Dr. Luiz Lanziotti, cirurgião vascular, a fim de entender as dificuldades encontradas durante o procedimento endovascular e como a produção de modelos 3D físicos poderiam ser úteis em termos didáticos ou, em última análise, para fins diagnósticos.

O último experimento foi utilizando a técnica de *transcatheter aortic valve replacement* (TAVR), a substituição da válvula aórtica através de catéter. Esta é uma alternativa não cirúrgica para substituição da válvula aórtica em pacientes selecionados com estenose aórtica considerados inadequados para a cirurgia. A válvula transcatheter auto-expansível, bioprostética, *CoreValve* tem sido amplamente utilizada em todo o mundo (POPMA, 2014, p. 1972).

A Prototipagem Rápida (PR), impressão tridimensional, é caracterizada por ser um processo de manufatura aditiva que permite obter peças físicas a partir de modelos virtuais, podendo variar em modelos de formas geométricas, orgânicas, mantendo as dimensões reais do modelo virtual. Uma grande característica da capacidade das máquinas de Prototipagem Rápida está no fato de que em muitos casos alguns modelos não poderiam ser construídos por algum tipo de metodologia manual, impedido que fossem replicados com fidelidade, tanto em forma, como em dimensões, o que não ocorre com a PR.

A tecnologia de PR possibilita a construção de peças complexas em dimensões reais de modo automático e de rápida execução, podendo construir diversos protótipos de modo fidedigno de um mesmo arquivo.

O processo de construção do modelo físico utiliza basicamente o modelo digital (construído e salvo geralmente no formato “.stl ou stereolithography”). Esse é transferido para o *software* da impressora, onde o arquivo é “fatiado” virtualmente em camadas, que são enviadas em ordem à impressora visando a posterior sequência por deposição de materiais diversos (dependendo da tecnologia empregada em cada caso) por superposição milimétrica, tendo como resultado final um modelo 3D físico.

Com os resultados obtidos a partir do uso das tecnologias de PR, diversas possibilidades vêm sendo exploradas. Essas têm auxiliando as linhas de pesquisa em laboratório, a reconstrução de modelos e estruturas de forma rápida, eficiente e com alta qualidade, e ainda são usadas para estudos científicos, como também

contribuem didaticamente em aulas e simulações, possibilitando experimentos físicos em laboratórios.

A seguir serão listados os equipamentos com as tecnologias de Prototipagem Rápida utilizadas neste estudo, com breves comentários sobre o seu resultado.

1) Formiga:

- Impressora de sinterização a laser de pó;
- Máquina de prototipagem rápida, denominada como Formiga, que é capaz de gerar protótipos e peças finais em Nylon, ABS e outros plásticos;
- A Formiga constrói peças resistentes e bem detalhadas, com ótimo desempenho mecânico e funcional (em alguns casos o protótipo pode ser utilizado até mesmo como peça final).

2) Voxeljet

- Impressora de jato aglutinante de polímero em pó;
- As peças podem ser designadas diretamente para fundição em metal, substituindo o modelo em cera perdida.

3) Zcorp

- A máquina Zprinter 310 Plus (Zcorporation), utiliza o processo de adição de camadas de pó (compósito de gesso e outros materiais) com líquido aglutinante;
- Possui alto padrão de desempenho e alta definição de impressão em 3D (resolução de 300x450 dpi);
- Ao final do processo de impressão, para conferir resistência às peças, faz-se a infiltração por compostos como sulfato de magnésio e cianocrilato de baixa viscosidade, entre outros.

4) Objet 500 Connex

- Constrói modelos multi-materiais (Polyjet) de até $490 \times 390 \times 200$ mm;
- A máquina Object 500 Connex utiliza material acrílico com resinas de fotopolímero;

- Imprime vários modelos ao mesmo tempo, com aumento da produtividade;
- Trabalha com materiais do tipo borracha (família Tango) adequados para uma variedade de aplicações flexíveis.

Na Tabela 1 abaixo, há o sumário da tecnologia, equipamentos utilizados e procedimentos minimamente invasivos.

TECNOLOGIA DIGITALIZAÇÃO	EQUIPAMENTO	OBJETIVO	FIGURAS	PROCEDIMENTO
TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	OBJECT CONNEX 500	SIMULAÇÃO FÍSICA	25, 26, 27	PRÓTESE ENDOVASCULAR TORACO-ABDOMINAL
TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	ZCORP E VOXELJET	SIMULAÇÃO FÍSICA	28,29	PRÓTESE ENDOVASCULAR TORACO-ABDOMINAL
TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	FORMIGA	SIMULAÇÃO VIRTUAL	31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,44	PRÓTESE ENDOVASCULAR AORTICA (TAVR)

O processo de simulação virtual foi feito a partir dos arquivos 3D gerados pelo processo de segmentação. Estes arquivos são importados para o *software* de animação Autodesk 3Ds Max 2014

5.4 Avaliação e análise dos dados

A construção do primeiro modelo experimental (Figura 25) foi feita com a resina *Object Tango Plus FullCures* (Stratasys Ltda, Eden Prairie, MN, <http://www.stratasys.com/br>), que é moderadamente flexível, inicialmente impressa na cor preta (Figura 25) e posteriormente transparente (Figura 26). Ambos os modelos foram prototipados em uma impressora Object Connex 500.



Figura 25 – Protótipo flexível; na primeira figura o suporte criado e após o modelo impresso.



Figura 26 – Protótipo flexível transparente; à esquerda o suporte e à direita o modelo flexível.

Para testar a viabilidade do protótipo da aorta (Figura 27), simulamos o procedimento endovascular, posicionado o fio-guia (Figura 27.1, 2 e 3) e introduzindo a endoprótese até alcançar o nível desejado para sua liberação (Figura 27.4 e 5). Após a retirada do fio-guia, a prótese apresentava-se totalmente implantada e bem posicionada (Figura 27.6).

Tendo em vista o sucesso do procedimento, projetamos um circuito para a simulação de fluxo e medição de pressões dentro da aorta, antes e após o procedimento vascular. Uma nova sequência do protocolo do *software* 3D foi desenvolvida para segmentar a aorta, com conectores impressos diretamente nas ramificações de interesse da aorta tóraco-abdominal (Figura 28).

Como o material do protótipo usado no ensaio para simular o procedimento vascular apresentou pouca resistência ao calor ambiente e em altas temperaturas, em decorrência do material utilizado para impressão física, outros materiais foram testados. A primeira escolha para um novo ensaio foi a utilização do silicone para impressão física devido a sua flexibilidade, resistência e transparência.

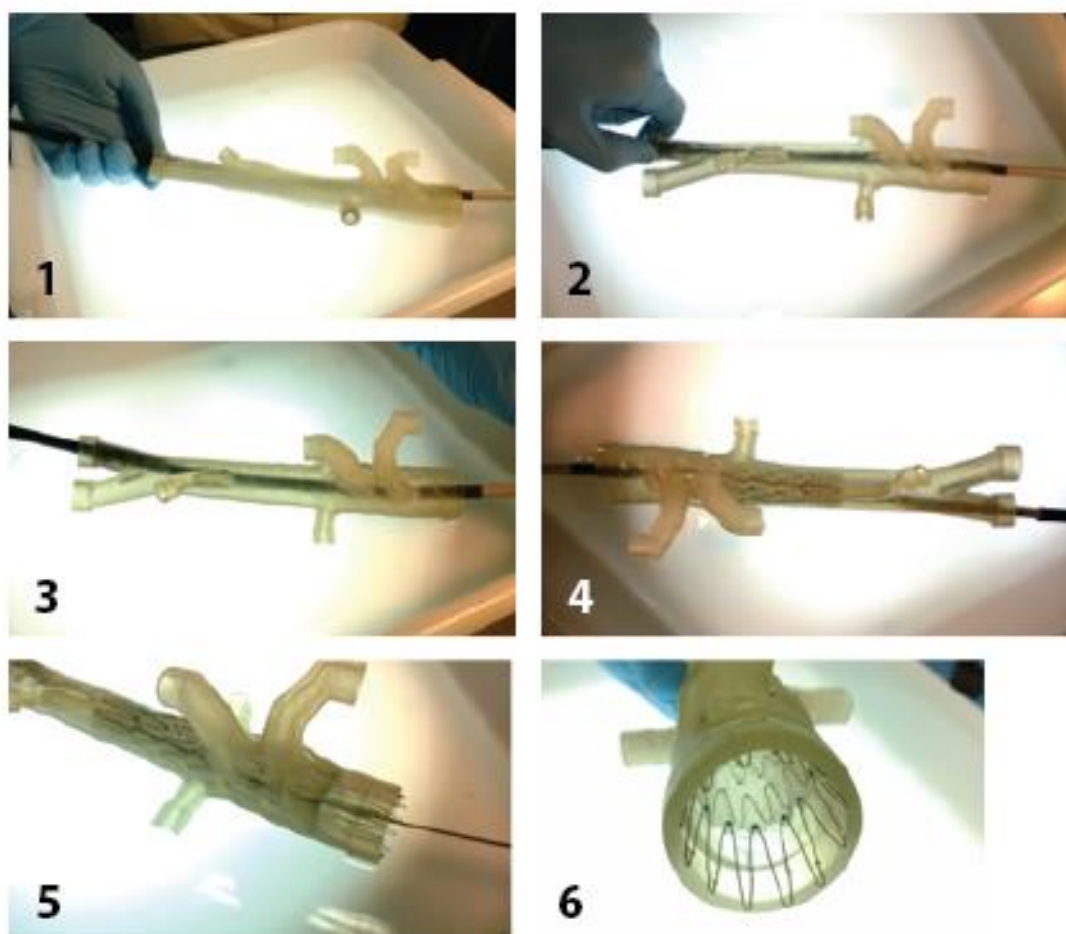


Figura 27 – Simulação do procedimento de inserção da endoprótese.

Com o arquivo da Figura 28, foi possível manipular e editar o modelo a fim de criar molde e modelo (Figura 29.1) para obtenção de um protótipo em silicone, usando para confeccionar o molde (Figura 29.2 e 29.3) a impressora Zcorp (<http://www.3dsystems.com/>) e posteriormente, para o modelo físico da aorta, (Figura 29.4) a impressora Voxeljet (<http://www.voxeljet.de/en/>).

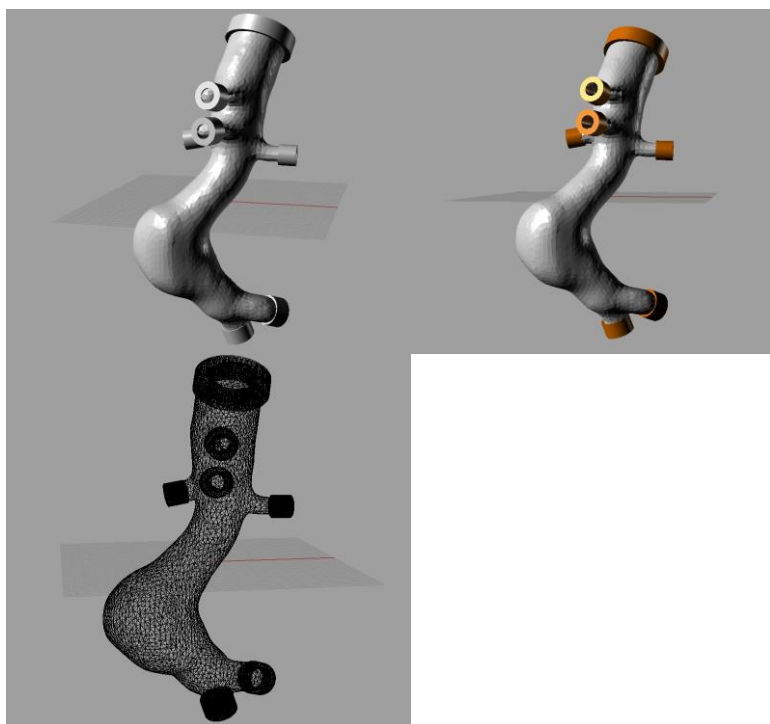


Figura 28 – Segmentação de protótipo da aorta tóraco-abdominal com os conectores.

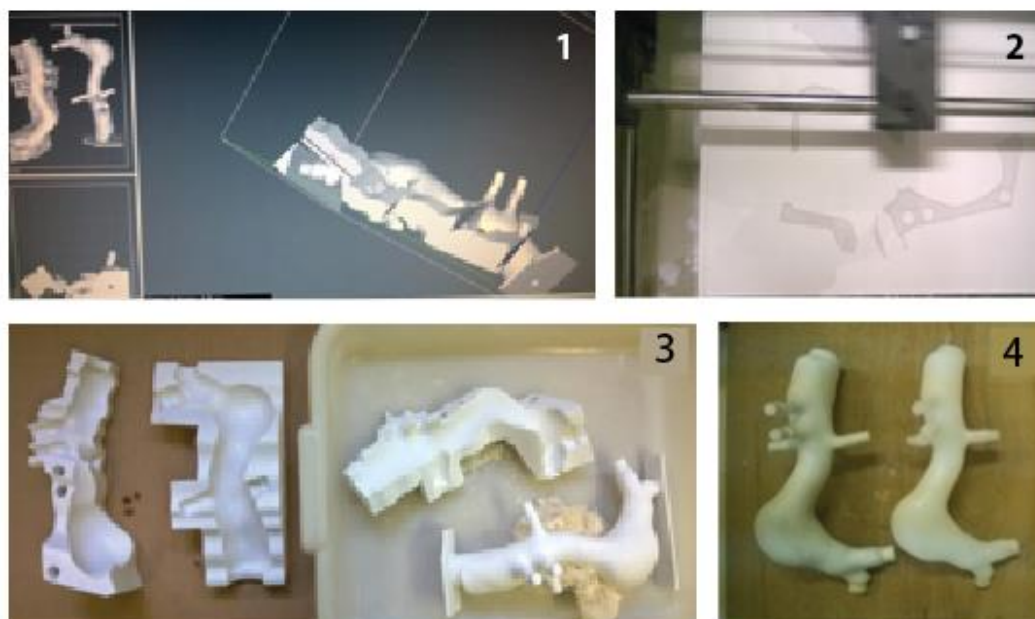


Figura 29 – 1. Segmentação; 2. Impressora criando o modelo; 3. Molde do modelo e modelo físico; 4. Modelo físico.

O projeto para a construção do modelo físico utilizando silicone foi planejado para que o espaço gerado entre o molde e modelo físico fosse de poucos milímetros, a fim de que o silicone, em sua forma líquida e aquecida, fosse introduzido no local para solidificar seguindo o trajeto criado.

O ensaio de simulação de fluxo foi programado, em colaboração com Dr. Bruno Azevedo, professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Engenharia de Fluidos da PUC-Rio, para ser feito em paralelo com a construção do circuito para simulação *in vitro* do fluxo de sangue, dentro do modelo vascular e com o protótipo da aorta em silicone. (Figura 30)

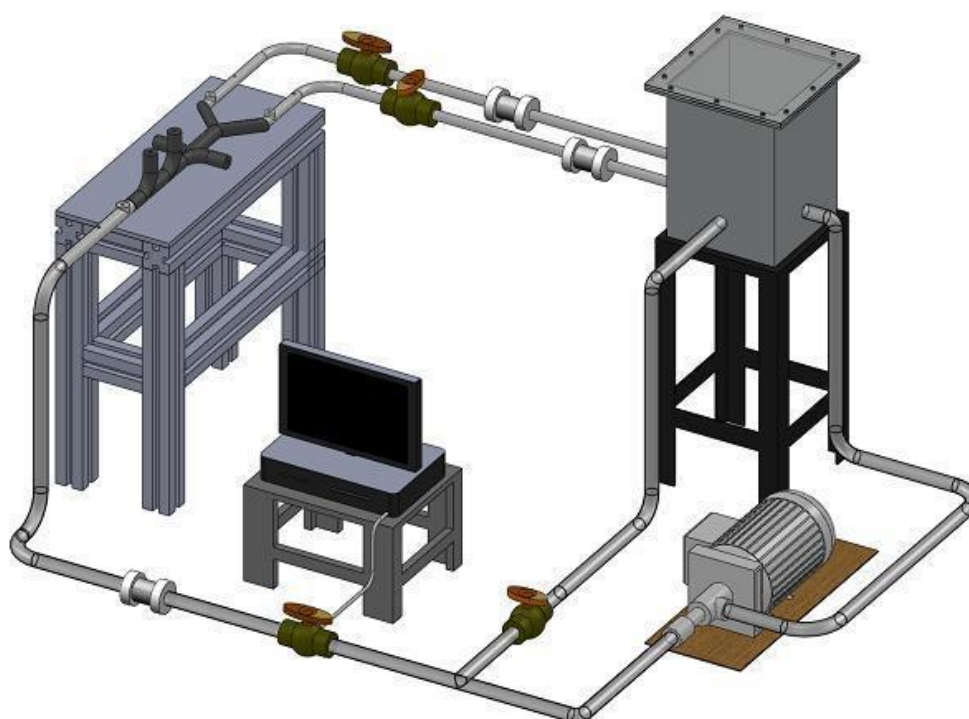


Figura 30 – Circuito para simulação.

A água foi o fluido de trabalho, que circula em circuito fechado, acionado por uma bomba de volume constante do tipo de cavidade progressiva. A taxa de volume de fluxo, através do circuito hidráulico, foi ajustado por controle da velocidade da rotação da bomba, por meio de um conversor de frequência ligado ao motor da bomba. Um procedimento de calibragem gravimétrico foi realizado antes das execuções de teste, para se relacionar bomba de velocidade de rotação e vazão.

Sensores de pressão foram instalados no circuito. Estes sensores permitiram a medição do nível de pressão, bem como a sua queda em todo o modelo vascular, com e sem a endoprótese inserida. O sinal dos sensores de fluxo e pressão necessitam ser registrados por um sistema de aquisição de dados.

O ensaio não obteve sucesso devido a dificuldades técnicas e operacionais na manipulação do silicone e do circuito para medição.

Inicialmente, o silicone líquido, para obtenção do protótipo físico, quando solidificado, apresentou como resultado um modelo totalmente inadequado para sua utilização, sendo, portanto, descartado. Ao mesmo tempo não foi possível produzir uma placa para registro dos sensores no circuito.

Tendo em vista estas dificuldades, a opção foi criar outro modelo de ensaio para simulação.

Outra forma de simulação de um procedimento endovascular, é criar uma navegação virtual da *Trans-Aortic Transcatheter Aortic Valve Replacement* TAVR a partir dos arquivos 3D gerados por Tomografia Computadorizada. Desta forma, utilizamos os arquivos da aorta torácica e arquivos da endoprótese *CoreValve*.

Os arquivos da *CoreValve* (Medtronic, Inc., Minneapolis, Minnesota, <http://www.corevalve.com/>) foram gerados a partir da tomografia de um exemplar original (Figura 31), gentilmente cedido pelo Dr. Luiz Antonio Carvalho, do Hospital Pró-Cardíaco, e foram segmentados (Figura 31 e 32) e posteriormente importados para um *software* de animação.

Utilizamos a máquina de prototipagem rápida Formiga, que é capaz de gerar protótipos e peças finais em Nylon para avaliação visual da *CoreValve* (Figura 44), tendo em vista a disponibilidade da máquina e da experiência anterior com este material.

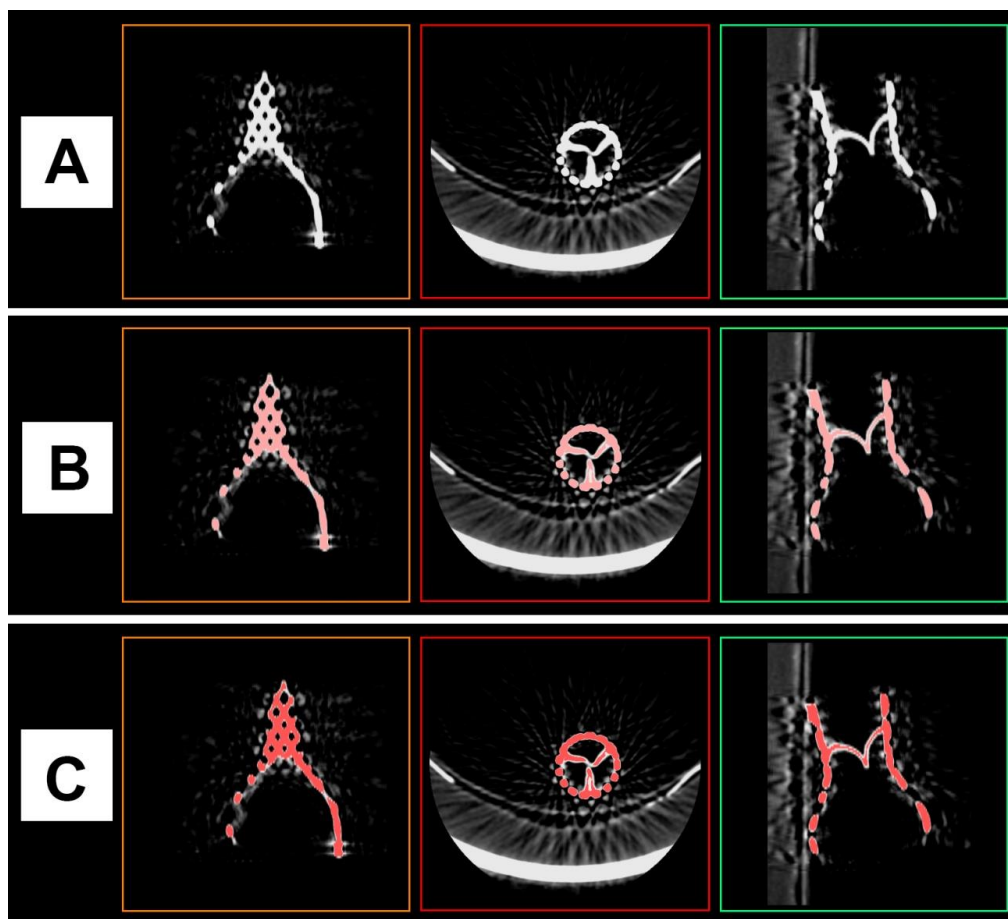


Figura 31 – Edição do arquivo da Válvula *CoreValve*. O quadro laranja representa a vista coronal, no quadro vermelho, vista Axial, no quadro verde, vista Sagital. Em A, o arquivo nas vistas 2D acabaram de ser inseridos no programa. Em B as imagens 2D receberam uma primeira máscara no método de segmentação automático, e em C a máscara foi editada manualmente, refinando o modelo.

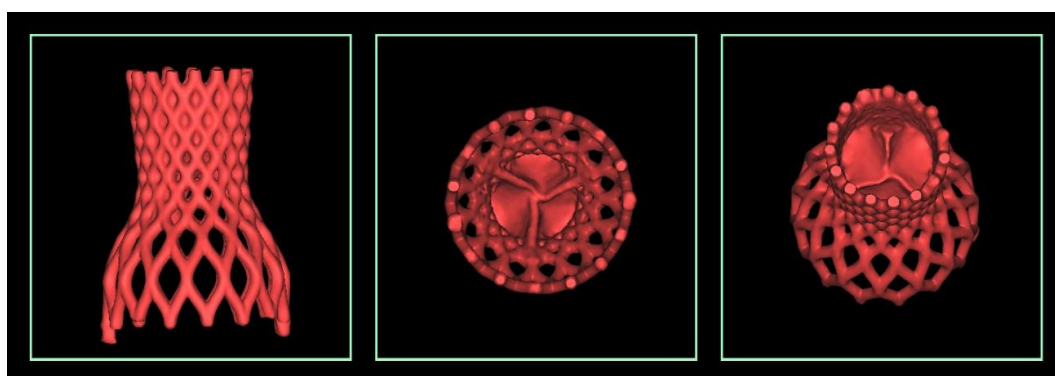


Figura 32 – Modelo tridimensional da válvula cardíaca *CoreValve*, construído a partir de imagens de TC, após edição por segmentação.

Para o emprego das técnicas de segmentação de imagens utilizou-se o resultado dos exames de TC, o qual obtém uma série de imagens sequenciais.

Inicialmente, as imagens de TC são salvas no formato de imagens DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), para sua posterior visualização e processamento. Na realização desse trabalho utilizou-se o programa para processamento de imagens médicas, Mimics 16.0 (*Materialise-Belgium*, <http://www.materialise.com/>).

O programa (Figura 33) apresenta um *layout* que divide a tela em quatro partes, sendo três delas repartições que contém imagens bidimensionais (2D), mostrando as vistas axial, sagital e coronal, e na quarta vista o modelo tridimensional (3D) é mostrado.

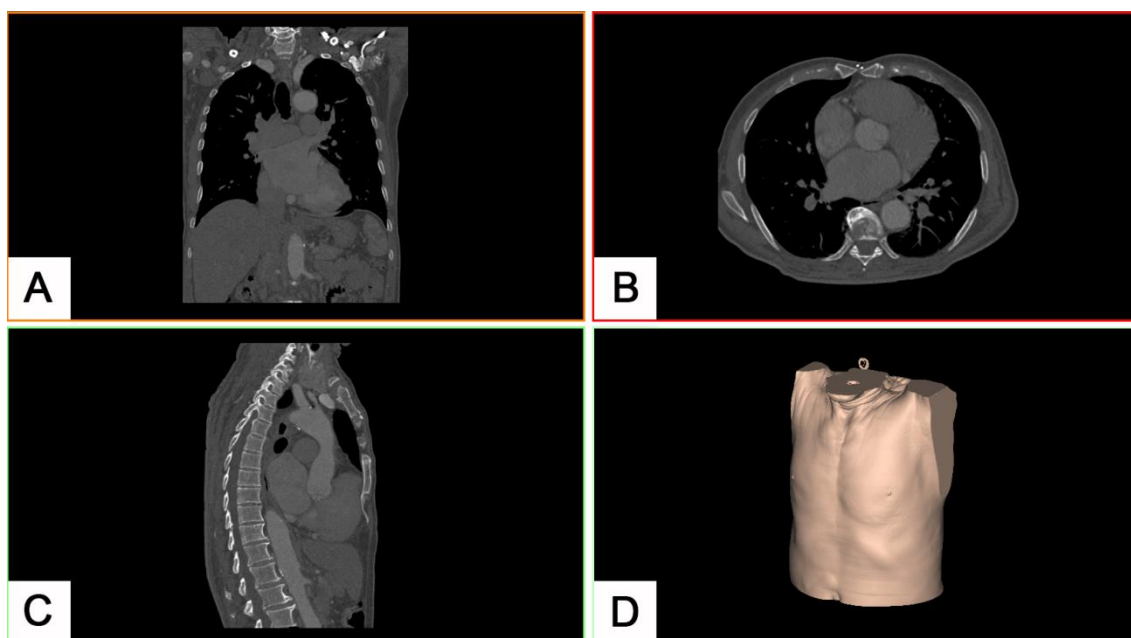


Figura 33 – Layout do *Software* segmentação, *Mimics*. Em A, vista coronal, em vista Axial, em C, vista sagital e em D vista do modelo tridimensional.

O método de segmentação envolve, principalmente, a edição das imagens, sendo possível trabalhar em qualquer uma das vistas 2D. Em todas as vistas pode-se editar toda a sequência de imagem, de modo que o trabalho pode ser realizado em cada uma das imagens, em qualquer uma das vistas 2D.

O *Mimics* oferece duas possibilidades de trabalho, com método automático e o manual.

Nesse processo de edição, primeiramente, foi utilizado o método automático, onde segundo uma série de protocolos do próprio programa, aplicou-se uma máscara adequada ao tipo de tecido ou órgão de interesse (em um primeiro

momento a aorta). Desta forma, após a aplicação da máscara foi possível gerar um modelo tridimensional da aorta. No entanto, para um modelo final é necessário, na maioria das vezes, usar outras ferramentas para dar maior acurácia ao modelo, descritas a seguir.

Desse modo, o segundo passo foi utilizar o processo de segmentação manual. Neste processo é usado uma tela e caneta digitalizadora, que permite trabalhar manual e diretamente sobre o exame, nas imagens 2D, editando camada por camada de todas as vistas bidimensionais, acrescentado máscara nas falhas presentes, e em alguns outros pontos limpando as partes que foram preenchidas inadequadamente. Ou seja, nesse passo, foi realizado o refinamento do arquivo.

Após a sequência de edição nas imagens bidimensionais, os arquivos tridimensionais foram gerados de modo bem fidedigno (Figura 34 e 35).



Figura 34 – Modelos tridimensionais gerados a partir de exames de TC. Imagem em vista anterior, refletindo a condição de relação da estrutura interna do paciente, mostrando desde o corpo até órgãos internos, como estrutura óssea, pulmões, aorta, rins e coração.

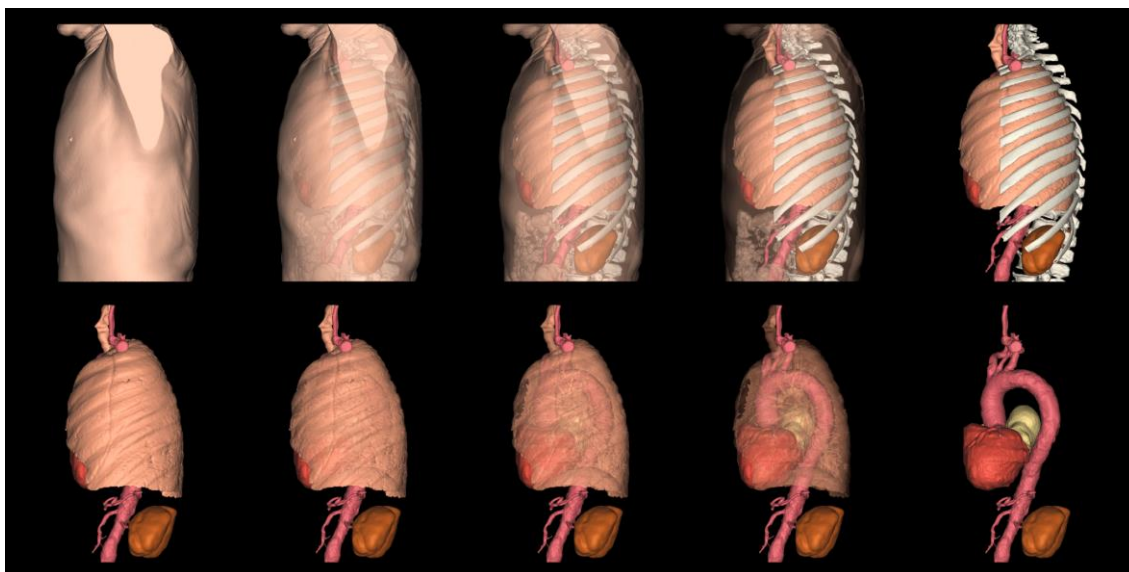


Figura 35 – Modelos tridimensionais gerados a partir de exames de TC. Imagem em vista lateral direita, refletindo a condição de relação da estrutura interna do paciente, mostrando desde o corpo até órgãos internos, como estrutura óssea, pulmões, aorta, rins e coração.

Uma das vantagens de trabalhar com a edição por segmentação é analisar imagem por imagem e editar de modo separado estruturas distintas contidas nos exames. Dessa forma, é possível reconstruir virtualmente diversos órgãos (Figura 36, 37, 38).

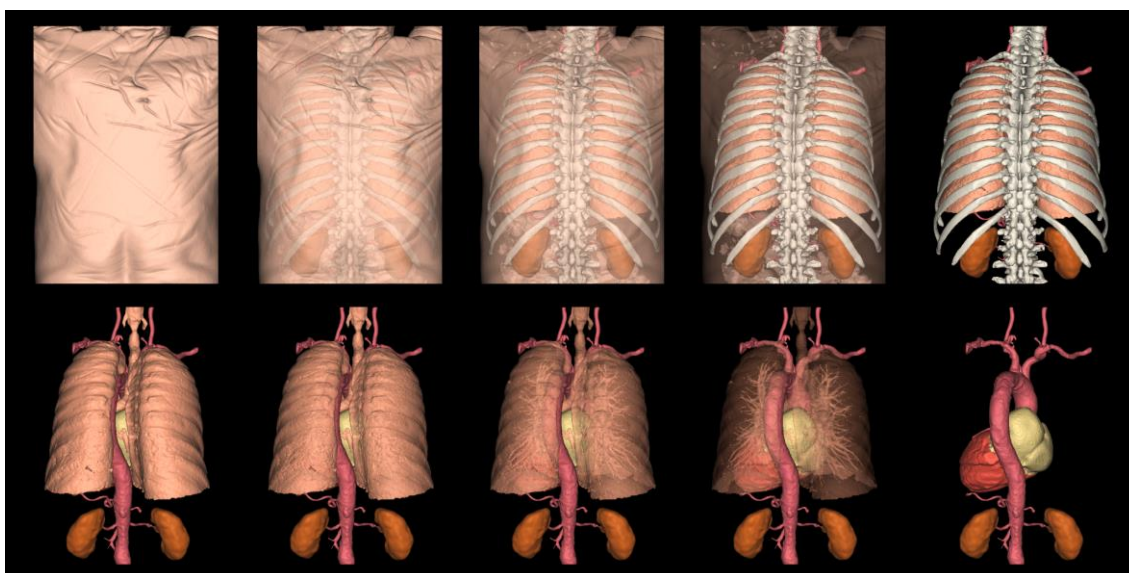


Figura 36 – Modelos tridimensionais gerados a partir de exames de TC. Imagem em vista posterior, refletindo a condição de relação da estrutura interna do paciente, mostrando desde o corpo até órgãos internos, como estrutura óssea, pulmões, aorta, rins e coração.

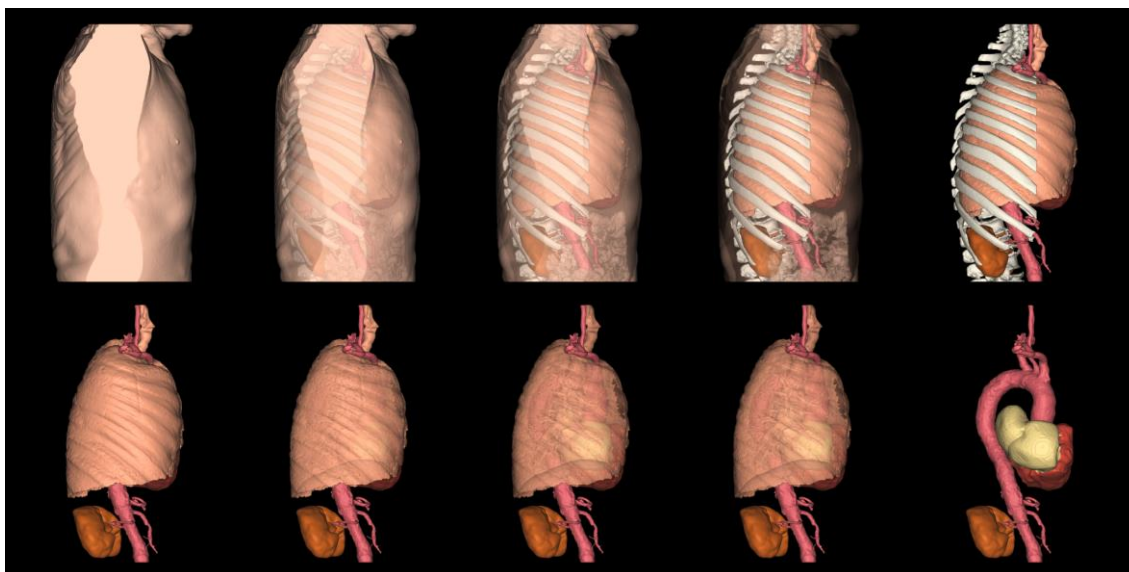


Figura 37 – Modelos tridimensionais gerados a partir de exames de TC. Imagem em vista lateral esquerda, refletindo a condição de relação da estrutura interna do paciente, mostrando desde o corpo até órgãos internos, como estrutura óssea, pulmões, aorta, rins e coração.

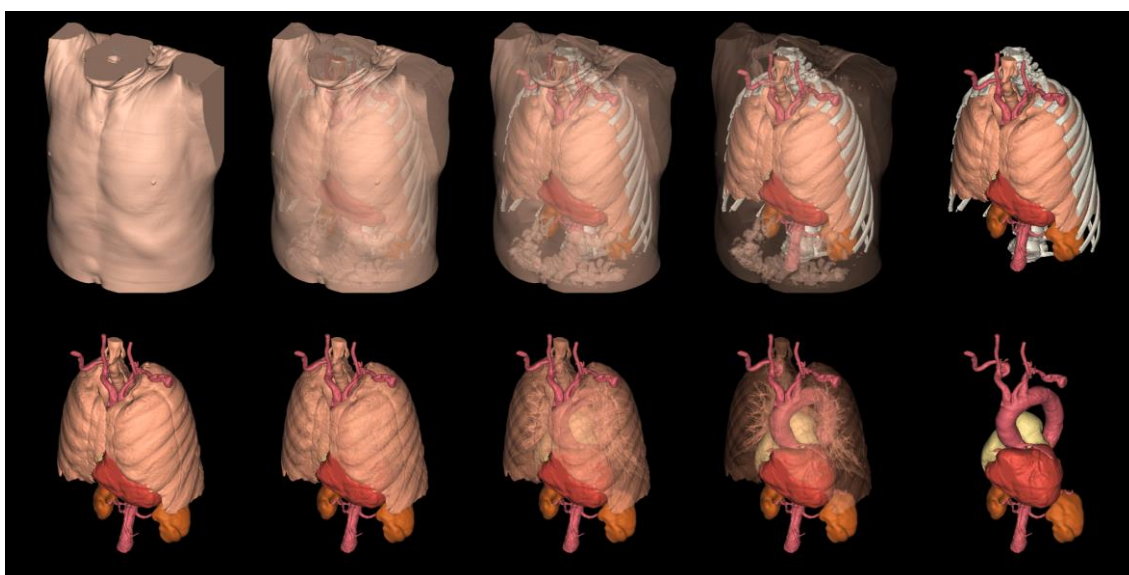


Figura 38: Modelos tridimensionais gerados a partir de exames de TC. Imagem em vista isométrica, refletindo a condição de relação da estrutura interna do paciente, mostrando desde o corpo até órgãos internos, como estrutura óssea, pulmões, aorta, rins e coração.

Com o arquivo final de cada órgão foi possível manipular e editar o modelo. Assim, tivemos a oportunidade de vê-lo em cores diferentes, isolados, agrupados ou mesmo em algum tipo de contexto geral, por exemplo, refletindo a condição de relação das estruturas, vasculares e cardíacas (Figura 39 e 40).

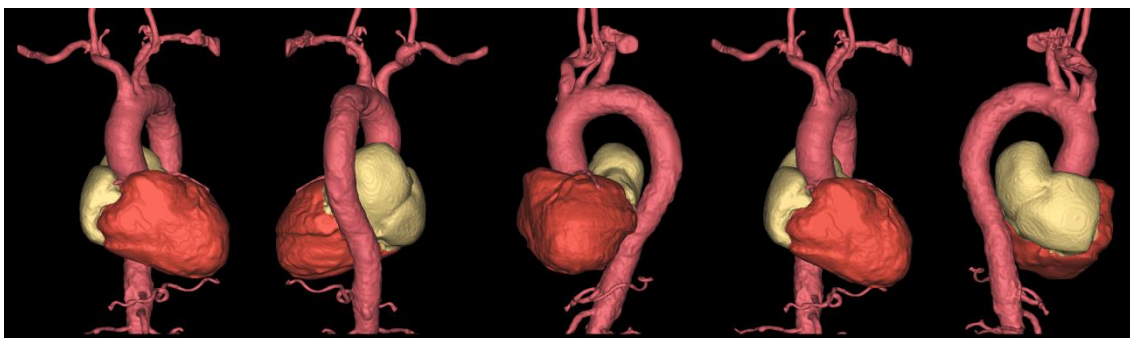


Figura 39 – Modelos tridimensionais gerados a partir de exames de TC da aorta e coração. Imagem em vistas anterior, posterior, lateral esquerda e lateral direita.

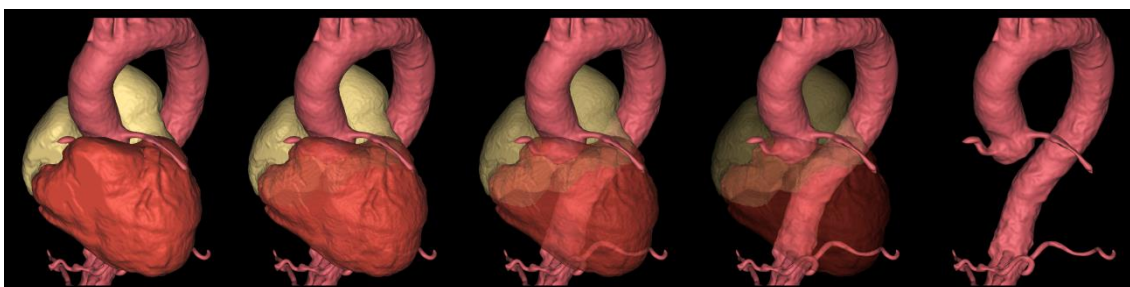


Figura 40 – Modelos tridimensionais gerados a partir de exames de TC da aorta e coração, refletindo a condição de relação das estruturas do coração e da aorta

Com esse mesmo arquivo também foi possível obter réplicas idênticas, ou seja, com as mesmas proporções. Além de oferecer a opção de impressão em diversos tipos de materiais, foi possível até mesmo simular algum tipo de textura específica dos tecidos. O estudo das imagens 3D propiciou uma identificação rápida e precisa dos órgãos, facilitando o aprendizado da anatomia humana.

O processo de simulação é feito a partir dos arquivos 3D gerados pelo processo de segmentação. Estes arquivos são importados para um outro *software*, de animação.

O *software* utilizado nesse processo foi o Autodesk 3Ds Max 2014 (<http://www.autodesk.com.br/products/3ds-max/overview>). Os modelos dos órgãos foram exportados separadamente no processo anterior em formato “.OBJ”. Ao serem importados eles não podem ser alterados e nem movidos de seu posicionamento original, para que se mantenham fidedignos ao exame e, consequentemente, ao paciente.

Em seguida foram criadas câmeras virtuais, e, por meio delas, foi possível ter controle do que seria visto na simulação. Para começar a simulação, primeiramente, escolheu-se o tempo de animação para calcular o número de

frames. Os *frames* são imagens que, exibidas em alta velocidade, nos dão ideia de movimento. Na simulação utilizou-se a velocidade de 24 *frames* por segundo para mostrar o filme com fluidez satisfatória. A simulação é criada selecionando “*frames* chaves” onde a câmera está em uma posição. No “*frame* chave” seguinte estará em outra posição; e os *frames* intermediários e as posições intermediárias são calculadas pelo *software*.

Por último foi criado o acabamento visual atribuindo a cada órgão uma textura. Cada textura tem uma cor e um acabamento, este pode ser brilhante, reflexivo ou ainda ser transparente. Foram adicionadas três luzes para iluminar a cena. Uma que acompanha a câmera na parte interna da artéria para tornar visível, e outras duas estão do lado de fora do modelo, uma oposta a outra. Esses acabamentos também são passíveis de animação sendo possível alterar a cor, intensidade da luz e posição.

Passando por todos esses parâmetros foi possível realizar a simulação do procedimento para implantação da válvula *CoreValve*, dando aos modelos gerados características bem mais dinâmicas do que anteriormente, com o uso apenas dos modelos tridimensionais sólidos virtuais e impressos (Figuras 41 e 42).

A visualização de estruturas anatômicas internas proporciona avanços substanciais na área médica, através de diagnóstico por imagem, reduzindo a subjetividade do diagnóstico e levando ao correto tratamento. Estes modelos gerados nos ensaios descritos ajudam a planejar intervenções minimamente invasivas e fornece um grande conhecimento das dimensões anatômicas, facilitando o aprendizado dos profissionais da saúde. Estes recursos, quando aliados a manufatura aditiva, cria novas oportunidades de pesquisas científicas e novas técnicas de ensino na área da saúde.

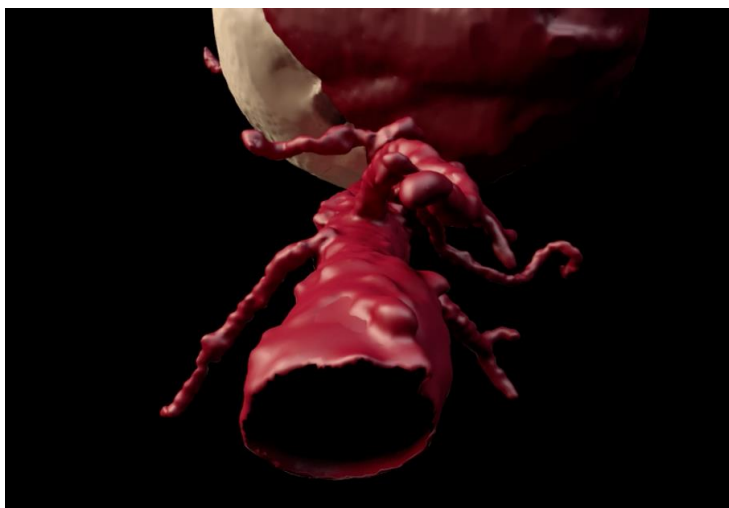


Figura 41 – Simulação virtual da aorta.

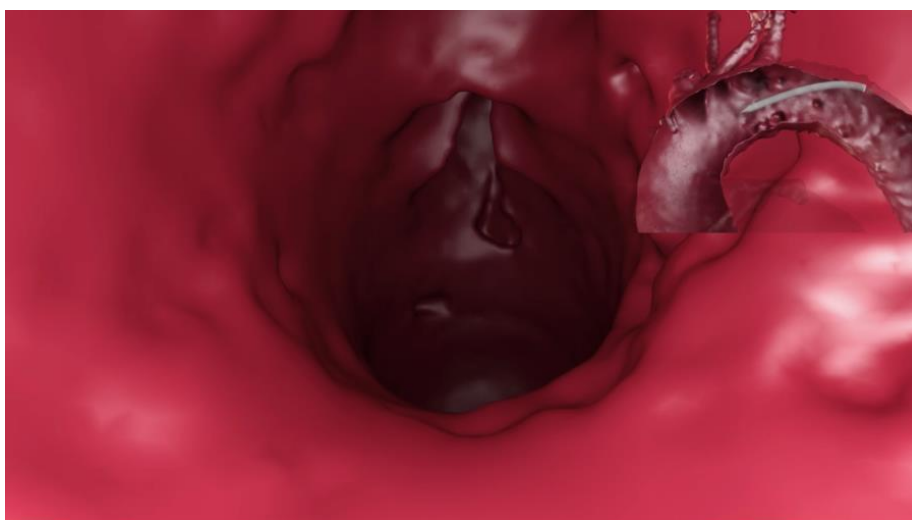


Figura 42 – Vista interna da simulação virtual da Aorta

6. Conclusão

6.1 Informação e Ciências da Computação

"It from bit", conjunto de perspectivas teóricas com a premissa de que o universo é representado por informações, e por isso é computável.

Desde os anos 1970, a tomografia computadorizada, ressonância magnética, e ultrasonografia têm estimulado a evolução da imagem na medicina. Os conjuntos de dados multimodais são frequentemente muito grandes, variando de alguns milhões de *bytes*, até um trilhão de *bytes*. A gestão eficaz, processamento, análise e visualização destes conjuntos de dados podem apenas ser realizados com a computação de alto desempenho.

Existem inúmeros exemplos de problemas interessantes em medicina, biologia e ciências associadas, que podem ser abordados pela matemática e ciência da computação, propiciando novas aplicações quanto a representação tridimensional, facilitado pela evolução tecnológica dos *softwares* de modelagem tridimensional virtual. Neste trabalho, as tecnologias de imagem, que são utilizadas rotineiramente para o diagnóstico, fornecem o formato bidimensional, em camadas, com programas de visualização 3D na tela do computador, sem dados volumétricos. Foi necessário transformar esses arquivos digitalizados em modelos matemáticos 3D, não apenas para o propósito de visualização na tela, mas também para adicionar coordenadas espaciais, de modo a tornar possível a transformação destes dados em uma representação virtual e física.

Da mesma forma que a descoberta do microscópio no final do século XVII causou uma revolução na biologia, revelando mundos de outra forma invisíveis e previamente insuspeitados, a matemática tornou-se um microscópio do século XXI (COHEN, 2004) Ela pode revelar mundos, de outra forma invisíveis, em todos tipos de dados, não apenas ópticos. Objetos reais têm a possibilidade de serem representados através de um computador, ou a um equivalente, de informação, como por exemplo, o corpo no mundo real e de uma tomografia computadorizada do corpo no mundo da informação.

Em seu ensaio 1989, John Archibald Wheeler, físico teórico americano, tentou responder à eterna questão da existência, através da busca por ligações entre informação, física e *quantum*. O principal conceito que emerge de seu ensaio é que "cada grandeza física, cada coisa, deriva seu significado final de bits, o sim-ou-não das indicações binárias". Este conceito tem sido resumido no slogan *it from bit* (WHEELER, 1989, p. 354).

It from bit simboliza a ideia que todo item do mundo físico tem no fundo uma fonte e uma explicação imaterial; que o que chamamos de realidade surge em última análise, a partir do lançamento da pergunta sim-não e o seu registro. A informação pode não ser exatamente o que "aprendemos" sobre o mundo. Ela pode ser o que "faz" o mundo (WHEELER, 1989. p. 354).

6.2 Reprodução, solução técnica para materializar imagens

A obra de arte na época de suas técnicas de reprodução

Na virada do século XIX para o XX, com o surgimento da reprodutibilidade técnica, a pintura e a escultura puderam se abster do dever de representar a realidade. Walter Benjamin escreveu que tudo o que os homens faziam sempre podia ser imitado por outros homens, praticada por discípulos, em seus exercícios, pelos mestres, para a difusão das obras, e finalmente por terceiros, meramente interessados no lucro. Em contraste, a reprodução técnica da obra de arte representa um processo novo, que vem se desenvolvendo na história intermitentemente, através de saltos separados por longos intervalos, mas com intensidade crescente. Com a xilogravura, o desenho tornou-se pela primeira vez tecnicamente reproduzível, muito antes que a imprensa prestasse o mesmo serviço para a palavra escrita. Conhecemos as gigantescas transformações provocadas pela imprensa – a reprodução técnica da escrita. À xilogravura, na Idade Média, segue-se a estampa em chapa de cobre e a água-forte, assim como a litografia, no início do século XIX (BENJAMIN, 2012, p. 182).

Com a litografia a técnica de reprodução atinge uma etapa essencialmente nova. Esse procedimento, muito mais preciso, que distingue a transcrição do desenho em uma pedra, de sua incisão sobre um bloco de madeira, em vez de

entalhá-lo na madeira ou de gravá-lo no metal, permitiu às artes gráficas, pela primeira vez, colocar no mercado suas produções não somente em massa, como já acontecia antes, mas também sob a forma de criações sempre novas. Dessa forma, as artes gráficas adquiriram os meios de ilustrar a vida cotidiana. Graças à litografia, elas começaram a situar-se no mesmo nível que a imprensa. Mas a litografia ainda estava em seus primórdios, quando foi ultrapassada pela fotografia. Pela primeira vez no processo de reprodução da imagem, a mão foi liberada das responsabilidades artísticas mais importantes, que agora cabiam unicamente ao olho. Como o olho apreende mais depressa do que a mão desenha, o processo de reprodução das imagens experimentou tal aceleração que começou a situar-se no mesmo nível que a palavra oral. Se o jornal ilustrado estava contido virtualmente na litografia, o cinema falado estava contido virtualmente na fotografia (BENJAMIN, 12012, p. 183-184).

Da mesma forma, a computação gráfica na sua forma de representação de dados e informação destinada à geração de imagens em geral (ou em forma de reprodução do mundo real), guarda a mesma relação constitutiva com a manufatura aditiva que a litografia e fotografia no século XIX.

A manufatura aditiva (MA) é um termo usado para representar um conjunto de tecnologias que fabricam objetos 3D em uma única etapa, diretamente de suas informações geradas pelo CAD¹⁰ (*Computer Aided Design*) (GIBSON, 2005, p. 5). Essencialmente, os dois processos tecnológicos, o de aquisição de imagens e as tecnologias de adição de materiais, são muito semelhantes em termos de procedimento lógico. As tecnologias de adição de materiais são baseadas na deposição sucessiva de camadas de materiais diversos, processo realizado conforme informações matemáticas de posicionamento espacial (coordenadas X,Y,Z), resultantes das camadas de imagens obtidas através da tecnologia selecionada de captura de imagem (WERNER, 2011, p. 20).

A manufatura aditiva possibilita uma forma de criar modelos fisicamente sólidos, de um indivíduo diretamente, e a partir da saída de dados 3D do sistema de imagens médicas. O processo de construção do modelo físico pode ser feito através da combinação das sequências de imagens obtidas, combinadas com

¹⁰ CAD ou Desenho Assistido por computador é o nome genérico de sistemas computacionais utilizados pela engenharia, geologia, geografia, arquitetura, e *design* para facilitar o projeto e desenho técnicos.

tecnologias de deposição por adição de matérias primas (GIBSON, 2005, p. 6) (Figura 43 e Figura 44)

Com a manufatura aditiva uma nova revolução digital está chegando. Ela baseia-se nos mesmos critérios que levaram às digitalizações anteriores da comunicação e computação, mas agora o que está sendo programado é o mundo físico ao invés do virtual. A manufatura aditiva, a partir do digital, permitirá que as pessoas possam projetar e produzir objetos tangíveis sobre a demanda, onde e quando eles precisarem. O amplo acesso a estas tecnologias vai desafiar os modelos tradicionais da educação (ANDERSON, 2013, p. 256)

No estudo do corpo humano, não há muito tempo, a única forma de ver o que estava acontecendo dentro do corpo envolvia uma incisão ou abertura deste corpo. Agora, podemos ter a imagem de órgãos do corpo sem uma única incisão. Ou mesmo reproduzir este órgão em tamanho natural.

Esta mudança de paradigma, é fundamental para a nossa compreensão da terceira dimensão, elevando nossas impressões, a partir de perspectivas de tela plana, para a exploração em tempo real da complexa arquitetura e textura da superfície do corpo humano, com o potencial para guiar para um atendimento personalizado e customizado.

Apesar das diferentes modalidades de imagem 3D atualmente disponíveis a maioria destas técnicas projetam uma estrutura 3D em um tela bidimensional (2D). A ultrassonografia tridimensional, por exemplo, permite criar um conjunto de dados volumétricos e, em seguida, manipular e recortá-lo a partir de diferentes perspectivas para se concentrar na área de interesse. Não se pode verdadeiramente considerar tal estrutura ser efetivamente em três dimensões. O exame de uma estrutura 3D num formato 3D real tem mais fidelidade na anatomia visualizada do que simplesmente a tentativa de compreender a estrutura de imagens 2D. Além disso, as imagens 2D se apresentados a um grupo de médicos não podem ser interpretadas da mesma forma por todos. O uso de modelos 3D impresso elimina essa possibilidade e não deixa nenhum aspecto das relações espaciais para a imaginação, fato que pode ser inestimável em pacientes com anatomia complexa.

Esta quebra de paradigma da tridimensionalidade ira fazer avançar o campo da medicina na direção de uma era de medicina verdadeiramente personalizado, evoluir para intervenções de simulação e planejamento cirúrgico e, também, a criação de modelos dinâmicos feitos com células vivas para criação de tecido implantável.

Este trabalho, descreve métodos e técnicas que foram desenvolvidos e testados tendo como objetivo aumentar a visibilidade e a reprodutibilidade dos objetos estudados, suas propriedades e características desejadas. A prospecção destas técnicas experimentais representa uma investigação da mudança da forma de pensar o conhecimento e aprendizado da medicina e sua possibilidade em criar novas formas inovadoras na educação na área da saúde.

A visualização e representação 3D propiciam uma nova abordagem didática na aprendizagem quando aplicados a Medicina. Representa uma oportunidade de estudar esta mudança do conhecimento que ocorre na transição do ensino médico do 2D para 3D, possibilitando o aprendizado de uma forma indutiva através da simulação como ferramenta de aprendizado na área da saúde.

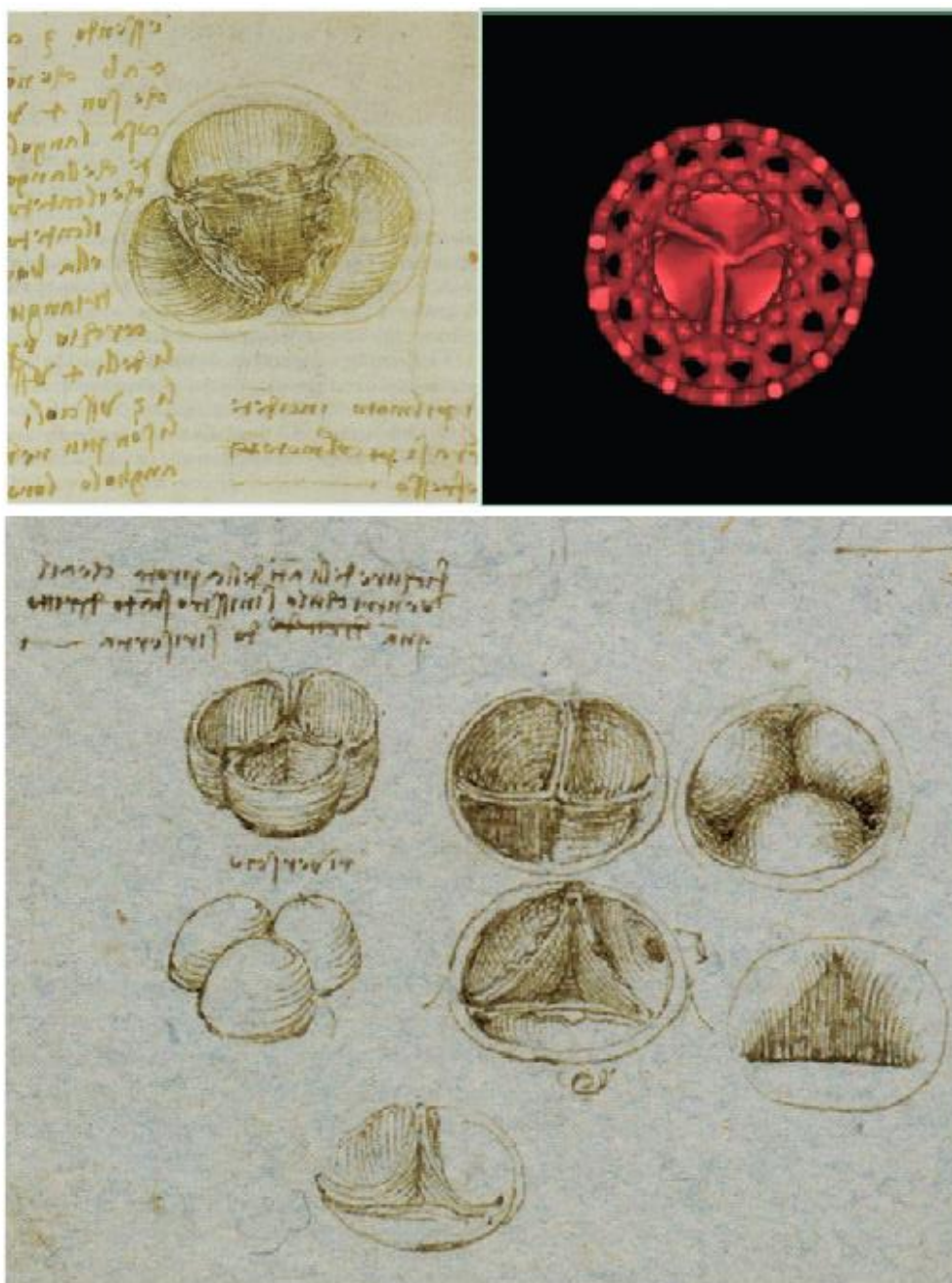


Figura 43 – Comparação entre modelo 3D em desenhos de Leonado da Vinci e CAD; detalhe da *CoreValve* evidenciando as cúspides aórticas.

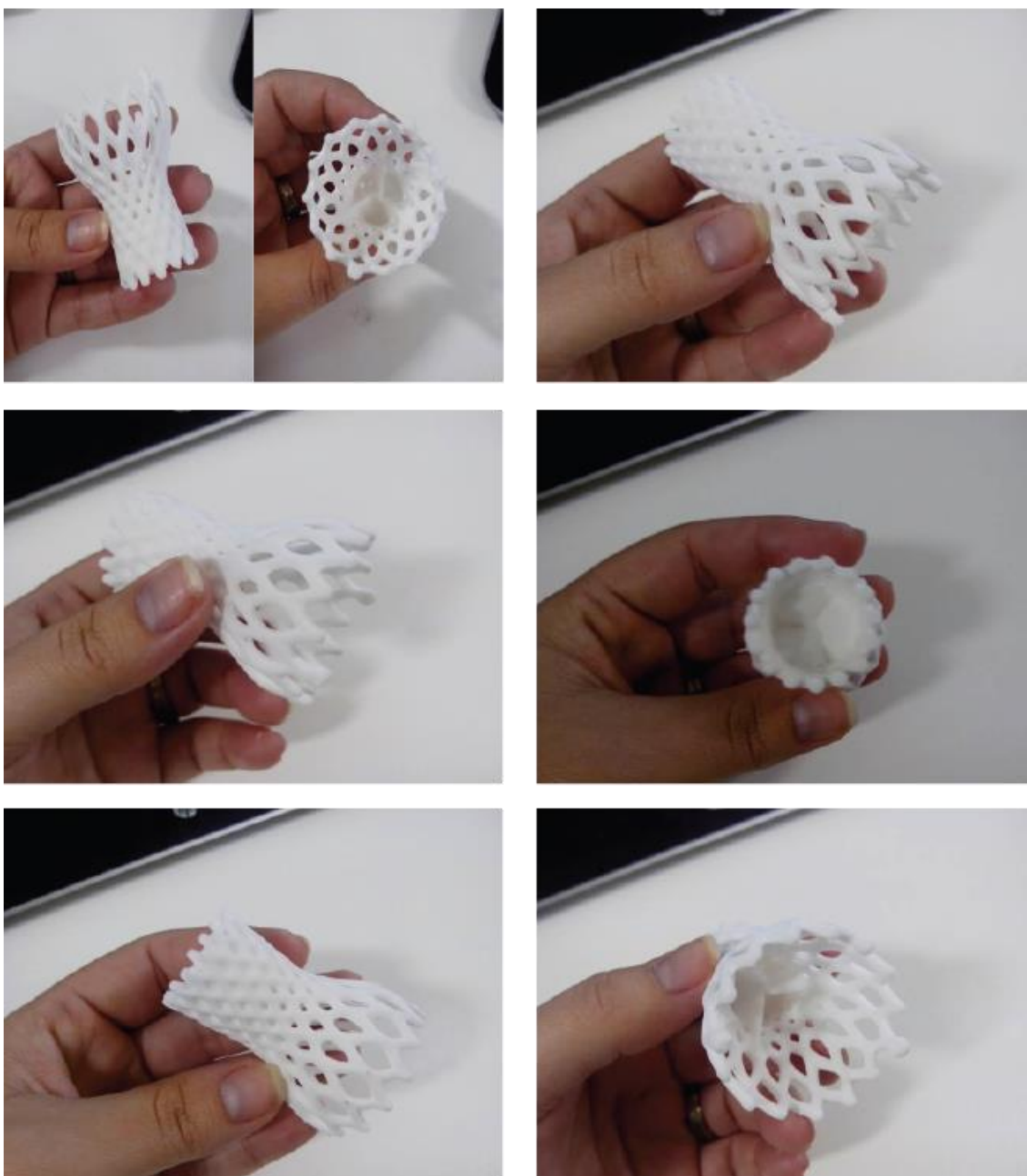


Figura 44 – Representação gráfica e física da *CoreValve*. A possibilidade de reprodução de uma imagem digital em algo físico, através da manufatura aditiva, faz agir na representação os elementos materiais fundamentais da imagem, criando uma reprodução da imagem-objeto, livrando a imagem da sua própria representação.

6.3. Perspectivas futuras (Laboratório de *Biodesign*)

Na primeira metade do século passado a biologia ocupou um lugar importante no campo de conhecimento médico. A descoberta da estrutura do DNA, a molécula responsável pela hereditariedade, é um bom exemplo de trabalho interdisciplinar. O biólogo James Watson foi estimulado a trabalhar com DNA a partir dos comentários do físico Erwin Schrödinger, que sustentava que o futuro da biologia estava na compreensão molecular do gene. Watson foi para Cambridge para trabalhar com o físico Francis Crick, para determinar a estrutura do DNA. Trabalhando juntos, eles deduziram a estrutura a partir dos dados de cristalográficos de raios X, usando as regras que regem as ligações químicas desenvolvidos pelo químico Linus Pauling, que tinha aproveitado os princípios da mecânica quântica.

A Medicina, atualmente, está passando por uma grande revolução que vai transformar a natureza dos cuidados da saúde.

Esta mudança está baseada na convergência dos sistemas de abordagens para a compreensão da doença, com a utilização das novas tecnologias para a medição e visualização do corpo humano e as novas ferramentas computacionais e matemáticas, para permitir que a atual forma que a prática médica é exercida, em grande parte reativa onde esperarmos que o paciente esteja doente para atuar, seja substituído por uma Medicina P4: personalizada, preditiva, preventiva e participativa (HOOD, 2012, p. 613).

O *Design* é, por natureza, interdisciplinar. Há nele implícito esta vocação, pois se trata de uma área propícia para o trabalho conjunto com outras áreas de conhecimento. Uma das características de uma atividade de *Design* é o envolvimento de inúmeros conhecimentos de domínios distintos.

Tendo em vista a experiência adquirida nestes dois anos de pesquisas no NEXT, Núcleo de Experimentação Tridimensional, fica claro para mim a necessidade de se avançar em um novo campo do conhecimento, que faça uma interface entre *Design*, Biologia e Informática, utilizando as tecnologias de modelação tridimensional, novos métodos de visualização e modelos computacionais.

Para desenvolvimento deste conceito de interdisciplinaridade, seria importante a criação de um Laboratório de *Biodesign*. Algumas iniciativas de laboratórios de *biodesign* já existem:

1. *The Healthcare Research Lab* – http://www.rca.ac.uk/research-innovation/helen-hamlyn-centre/research_lab/Healthcare_research_lab/;
2. *The Healthcare Innovation Exchange (HELIX) Center* – <http://www.rca.ac.uk/news-and-events/news/rca-architecture-healthcare-innovation-hub/>, e
3. *Biodesign* – <http://www.biodesignlab.polimi.it/eng/bd4.html>

Porém, o laboratório e conceito mais antigo e estruturado está localizado na Universidade de Stanford.¹¹

Um Laboratório de *Biodesign* reúne pesquisadores das comunidades médicas, de engenharia, de *design*, de informática e de biologia para que as tecnologias disponíveis possam se traduzir em produtos que atendam às necessidades do mundo real, através de uma abordagem multidisciplinar para inovação médica. O processo em *Biodesign* é uma abordagem verdadeiramente inovadora para gerar e acelerar novas ideias, e propiciar as ferramentas essenciais de que pesquisadores na área da saúde precisam para ter sucesso no objetivo essencial na Medicina: melhorar a saúde da população.

O Laboratório de *Biodesign* tem como missão:

- (i) Transformar a educação, induzindo a formação de profissionais inovadores no setor de saúde;
- (ii) Acelerar e impulsionar negócios para o setor da saúde;
- (iii) Desenvolver soluções para superar as reais necessidades não atendidas pelo setor da saúde, e
- (iv) Incorporar novos produtos e serviços aos sistemas de saúde;

¹¹ <http://biodesign.stanford.edu/bdn/about.jsp>.

- (v) Ser orientado para habilidades multidisciplinar e ser apoiado através de um trabalho colaborativo de equipe.

O Laboratório de *Biodesign* (LBD) é uma iniciativa interdisciplinar, explorando as fronteiras entre ciência da computação, medicina e *design*. O LBD estuda como transformar os dados em coisas, e as coisas em dados. Ele gerencia instalações, executa programas de pesquisa, supervisiona alunos, trabalha com patrocinadores e *startups*.

A criação do laboratório será um ambiente propício para a integração de alunos, criação de cursos interdisciplinares, oferta de disciplinas tanto nas áreas de *design*, tecnologia da informação, engenharia e medicina.

7. Referências bibliográficas

ANDERSON, C. **A nova revolução industrial: Makers**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2013.

ATALIAH, A. N. *Medical controversies and systematic reviews the heat and the light*. São Paulo: Medical Journal, 1997, 115(2): 1381.

BENJAMIN, W. **A Obra de Arte na Era de sua reprodutibilidade técnica**. (Obras escolhidas; v.1). Volume I – 8ª Ed. – São Paulo: Editora Brasiliense, 2012.

BENJAMIN, W. Sobre o conceito de história. *In: Magia e técnica, arte e política* (Obras escolhidas; v.1) São Paulo: Editora Brasiliense, 1994.

CALDEIRA, BM. et al. **História e fotografia, do protótipo daguerreotipo ao papel de fonte visual no planejamento didático**. Cordis. Comunicação, Modernidade e Arquitetura, n. 8, jan./jun, 2012. P. 213-242.

CANGUILHEM, G. **O Normal e o Patológico** – 2ª Ed –. São Paulo: Editora Forense Universitária, 1982.

CLAYTON, M. **Medicine; Leonardo's anatomy years**. Periódico Nature 484, 2012. P. 314-316.

COHEN, J. *Mathematics Is Biology's Next Microscope, Only Better; Biology Is Mathematics' Next Physics, Only Better*. PLoS Biol 2(12): e439. doi:10.1371/journal.pbio.0020439, 2004.

CRARY, J. **Técnicas do observador**. – 1ª Ed – Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 1990.

DELLEUZE, G. **Francis Bacon: Lógica da sensação**. Rio de Janeiro: Zahar. 2007.

FABRIS, A.T. A imagem hoje: entre passado e presente. *IN: Arte, Ciência e Tecnologia: passado, presente e desafios*. : DOMINGUES, D. (Ed.) São Paulo: Editora UNESP, 2007.

FERREIRA, G; COTRIM, C (Org). **Escritos de artistas: Ano 60/70**. Tradução de Pedro Sussekind...et. al. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

FLUSSER, V. **Uma filosofia do Design: a forma das coisas**. Portugal: Relógio D'agua Editora, 2010.

FOUCAULT, M. *Manet and the object of painting*. In SAISON, M (Dir). Seuil.

FOUCAULT, M. **O Nascimento da Clínica**. São Paulo: Editora Forense Universitária, 1977.

FRENK, J. et al. *Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world*. Periódico Lancet 2010;376, 2010. P. 1923-1958.

GIBSON, J. *Advanced manufacturing for medical applications: reverse engineering software conversion and rapid prototyping*. John Wiley & Sons Ltd, 2005.

GOMBRICH, H. *Arte e ilusão. Um estudo da psicologia da representação pictórica*. São Paulo: Martins Fontes, 1986.

GRAY, H. *Anatomia* – 29ª Ed – Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1977.

HEISENBERG, W. *A parte e o todo: encontros e conversas sobre física, filosofia e política*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

HOOD, L; FLORES, M. *A personal view on systems medicine and the emergence of proactive P4 medicine: predictive, preventive, personalized and participatory*. New Biotechnology. Vol 29. Issue 06, 15 sep. 2012. P. 613-624.

KEMP, M. *Seen unseen. Art, Science and Intuition from Leonardo to the Hubble Telescope*. Oxford: Oxford University Press, 2006. P. 301-323.

KEMPS, M. *Röntgen's rays*. Periódico *Nature*. vol. 394; 2 july 1998. P. 25.

KIM MS, et al. *Rapid prototyping: a new tool in understanding and treating structural heart disease*. Periódico *Circulation*, 2008; 117:2388–94.

LAGÔA, R B M. *O avesso do visível – poética de Paul Klee*. ALEA Volume 8 Número 1. Janeiro – Junho 2006. P. 127-135.

LAMBERT, N et al. *Quantum biology*. *Nature Physics*. VOL 9. January 2013 Disponível em <www.nature.com/naturephysics> Acesso em 21/11/2014. DOI: 10.1038/NPHYS2474.

LATOUR, B. *Visualisation and Cognition: drawing things together*. IN: *Knowledge and Society Studies in the Sociology of Culture Past and Present*. H. Kukick. Jai press. Vol. 06, 1985. P. 1-40.

LEVY AD, et al. *Virtual autopsy: preliminary experience in high-velocity gunshot wound victims*. Periódico *Radiology*, 2006 Aug; 240 (2):522-8.

LIVINGSTONE, M. *Vision and Art: the biology of seeing*. New York: Abrams, 2002.

LYONS, A S. *Medicine: an illutrated history*. Abrams, 1978.

McGURKG M, AMIS AA, POTAMIANOS P, GOODGER NM. **Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine**. Vol. 79. Periódico Ann R Coll Surg Engl, 1997. P. 169–174.

MEHAN A. **Robotic-Assisted Remote Telepresence Surgery**. Vol. 11. Periódico Surg Innov, 2004. P. 123.

MORAES, A. **Ergonomia, Ergodesign e Usabilidade: Algumas histórias, precursores: Divergências e convergências**. Disponível em < http://ergodesign-hci.com.br/artigos/artigo_01_v-1_n-1_ano_1.pdf.> Acesso em 21/04/2014

MOULD F.R. **X-rays in 1896-1897**. Vol. 61. In. NOWOTWORY, Journal of Oncology, 2011. P. 100–109.

NIETZSCHE, F. **Segunda consideração intempestiva: da utilidade e desvantagem da história para vida**. Rio de Janeiro: Relume Dumar, 2003.

PAL, P. **An easy rapid prototyping technique with point cloud data**", *RAP PROTO J*, 7(2), 2001, P. 82-89.

PEGDEN, C. D, SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN** – 2ª Ed – New York: McGraw-Hill, NY, 1990.

PITKIN, HANNA FENICHEL. **Representation**, publicado em *Terence Ball; Political innovation and conceptual change*. JAMES, Farr; RUSSELL, Hanson (Orgs.). Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

POGGESI, M. **Encyclopedia Anatomica**, Colônia, Alemanha: Taschen, 1999.

POPMA, J.J. et al. **Transcatheter Aortic Valve Replacement Using a Self-Expanding Bioprosthesis in Patients With Severe Aortic Stenosis at Extreme Risk for Surgery ACC**. Vol. 63, No. 19, 2014 May 20, 2014:1972–81.

PORTER, R. **Flesh in the Age of Reason**. – 1ª Ed – W.W. Norton & Company, 2003.

REBOLLO, AR. **William Harvey e a descoberta da circulação do sangue** – 1ª Ed – São Paulo: Editora UNESP, 2012.

RIFKIN, BA. **Human anatomy: five centuries of art and science**. Abrams, 2006.

SANTOS, J et al. **The Use of Rapid Prototyping didactic models in the study of fetal malformations. The Journal of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology**, Vol. 32, 2008. P. 955-956,

SCHRODINGER, E. **O que é vida?** São Paulo: Editora UNESP, 1977.

THE VISIBLE HUMAN PROJECT. Disponível em: <<http://www.nlm.nih.gov/research/visible/>> Acesso em: 06/04/2013.

TUKURU N.; et al. *Rapid Prototype technique in Medical Field*. Periódico Research J. Pharm. And Tech.; 1; 4; Oct-Dec, 2008.

VESALIUS, A. *De humani corporis fabrica. Tabulae sex/ Ilustrações e comentários dos trabalhos anatômicos*: Ateliê Editorial. São Paulo Imprensa Oficial do Estado: Editora Unicamp, 2002.

WALDBY, C. *The Visible Human Project: Informatic bodies and posthuman medicine*. Londres: Routledge, 2000.

WELLS, C.F. *The Heart of Leonardo*. London: Springer-Verlag, 2013.

WERNER, J H et al. *Additive manufacturing technologies applied in fetal medicine researches. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology (Print)*. Vol. 38, 2011. P. 20-20.

WERNER, J H et al. *Additive manufacturing models of fetuses built from three-dimensional ultrasound, magnetic resonance imaging and computed tomography scan data. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. Vol. 36, 2010. P. 355-361,

WERNER, J H et al. *The use of rapid prototyping didactic models. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. Vol. 32, 2008. P. 955-958

WHEELER, A.J. *Information, physics, quantum: The search for links*. Proc. 3rd Int. Symp. Foundations of Quantum Mechanics. Tokyo, 1989. P.354-368.

WILSON, S. *Information, arts: intersection of art, science and technology*. First MIT Press paperback edition, 2002.

WILSON, S. *Ciência e Arte: e olhando para trás, olhando para frente. IN Arte, Ciência e Tecnologia: passado, presente e desafios*. DOMINGUES, D. (Ed). São Paulo: Editora UNESP, 2007.

WITTGENSTEIN, Ludwig. *Philosophical Investigations*. Translated by G.E.M. Anscombe, 3rd edn. New York: Macmillan, 1968.

ZOLLNER, F. Leonardo da Vinci: *The Complete Paintings and Drawings*. Colônia, Alemanha: Taschen, 2011.