



**Vinícius Pontes Arcoverde**

**Design de ferramentas digitais com foco no  
auxílio à prática médica**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Design, do Departamento de Design da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos

Co-orientador: Prof. Heron Werner Junior

Rio de Janeiro  
Abril de 2023

**Vinícius Pontes Arcoverde**

**Design de ferramentas digitais com foco no  
auxílio à prática médica**

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

**Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos**

Orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio

**Prof. Heron Werner Junior**

UFRJ/Dasa

**Prof. Leonardo Frajhof**

UNIRIO

**Prof. João Victor Azevedo**

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de Abril de 2023

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

### **Vinícius Pontes Arcoverde**

Designer com habilitação em Mídia Digital, formado em Desenho Industrial pela PUC-Rio.

#### Ficha Catalográfica

Pontes Arcoverde, Vinícius

Design de ferramentas digitais com foco no auxílio à prática médica / Vinícius Pontes Arcoverde; orientador: Jorge Roberto Lopes dos Santos; co-orientador: Heron Werner Junior. – 2023.

99 f: il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Design, 2023.

Inclui bibliografia

1. Design – Teses. 2. Design. 3. Medicina. 4. Simulação 3D. 5. Realidade Virtual. I. Lopes dos Santos, Jorge Roberto. II. Werner Jr., Heron. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Design. IV. Título.

CDD: 004

Aos meus pais, avô(in memorian), amigos e família  
pela colaboração durante a jornada.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador Professor Jorge Lopes pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos Gerson, Alex, Nicholas, Tiago e à minha querida namorada Gabriela por todo apoio, paciência e compreensão.

Aos meus pais, Valéria e Paulo, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Aos professores Alberto Raposo, Carlos Eduardo, João Vitor e Luiz Velho.

Ao meu avô Levy que se foi. Mas, seguiu sendo um grande incentivador da minha jornada.

Aos meus colegas da PUC-Rio.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

## Resumo

Pontes Arcoverde, Vinícius; Lopes dos Santos, Jorge Roberto; Werner Jr., Heron. **Design de ferramentas digitais com foco no auxílio à prática médica**. Rio de Janeiro, 2023. 99p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

No contínuo caminho da sociedade para a digitalização de suas atividades, o meio médico evidencia uma dicotomia de realidades e possibilidades amplas. O contexto aqui apresentado, demonstra um papel preponderante para a viabilidade de digitalizar processos de apoio ao diagnóstico, didáticos e de planejamento. Utilizando o meio digital como plataforma, esse trabalho propõe meios e métodos de colaborar com as práticas do mercado de saúde para testar e compreender os limites do escopo, além da eficácia das tecnologias. Via experimentos em ambientes e situações reais de auxílio ao diagnóstico, planejamento e capacitação para a área médica.

## Palavras-chave

Design; Medicina; Simulação 3D; Realidade Virtual.

## Abstract

Pontes Arcoverde, Vinícius; Lopes dos Santos, Jorge Roberto (Advisor); Werner Jr., Heron (Co-Advisor). **Thesis and dissertation template PUC-Rio**. Rio de Janeiro, 2023. 99p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In society's continuous path toward digitalization of its activities, the medical environment shows a dichotomy of realities and broad possibilities. The context presented here demonstrates a preponderant role for the viability of digitalizing diagnostic support, didactic, and planning processes. Using the digital medium as a platform, this work proposes means and methods to collaborate with healthcare market practices to test and understand the limits of scope, and effectiveness of technologies. Via experiments in real environments and situations to aid diagnosis, planning and training for the medical field.

## Keywords

Design; physic; 3D simulation; Virtual Reality.

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
1.1	Exames de imagem como representação.	18
1.2	Objetivos, métodos e processos	20
1.3	Estrutura dos capítulos	21
<b>2</b>	<b>Processo de Biodesign aplicado</b>	<b>23</b>
2.1	Identificação de oportunidades	23
2.2	Objetivo de projeto	24
2.3	Filtragem de oportunidades	26
2.4	Prototipagem de alternativas	27
<b>3</b>	<b>Pesquisa de campo: Cirurgia</b>	<b>29</b>
3.1	<i>Tour</i> Guiada: conhecendo o centro cirúrgico	29
3.2	<i>Shadowing</i> : Acompanhamento de cirurgia aberta	31
3.3	Possibilidades de atuação encontradas	36
<b>4</b>	<b>Experimento I: Simulador de cirurgia (Treinamento)</b>	<b>42</b>
4.1	Descrição do experimento	42
4.2	Testes	46
4.3	Conclusões relacionadas ao experimento.	49
<b>5</b>	<b>Experimento II: Visualizador de exames (Auxílio ao diagnóstico)</b>	<b>51</b>
5.1	Oportunidade	51
5.2	Escopo e processo	52
5.3	Visualização e opacidade das estruturas	52
5.4	Controles de movimentação	55
5.5	Navegação	56
5.6	Adoção e conclusão	59
<b>6</b>	<b>Experimento III: Metaverso (Capacitação)</b>	<b>63</b>
6.1	O quê e por que o metaverso	63
6.2	Autoria: Criando espaços e modelos para o metaverso	64
6.3	Discussões de caso clínico	73
6.4	Três dimensões de colaboração	77
6.5	Ambiente sobre medicina fetal	86
6.6	Conclusões específicas	90
<b>7</b>	<b>Conclusões gerais</b>	<b>92</b>
7.1	Estrutura na área da saúde.	92
7.2	Sobre inovação médica.	93
7.3	Lidando com a dicotomia: Design x Desenvolvimento de Software.	94
7.4	Avanço da tecnologia.	94
7.5	Perspectivas Futuras	95



**8 Referências bibliográficas**

**97**

Anexo - Publicações

100

## Lista de figuras

Figura 1.1 Situação de consulta por telemedicina Fonte: < <a href="https://www.pixeon.com/blog/teleconsulta/">https://www.pixeon.com/blog/teleconsulta/</a> >, Acesso em: 16 mar. 2022	18
Figura 2.1 Fatores que conjuntamente colaboram para o impacto de um projeto Fonte: Imagem do autor inspirada em trecho do livro (ZENIOS et al., 2010), página 8	27
Figura 2.2 Esquema expondo o processo de interação relevante para o desenvolvimento de soluções digitais e físicas Fonte: Imagem do autor inspirada em trecho do livro (ZENIOS et al., 2010)	28
Figura 3.1 Exemplo de módulos que compõem o robô daVinci. Fonte: (KRAUS; KIBSGAARD, 2015).	31
Figura 3.2 Exemplo dos controles usados durante a cirurgia robótica Fonte: < <a href="http://www.centerforherniarepair.com/robotic-hernia-repair/">http://www.centerforherniarepair.com/robotic-hernia-repair/</a> >, Acesso em: 2 abr. 2022	32
Figura 3.3 Simulador do daVinci de cirurgia de hernia Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	33
Figura 3.4 Simulador do daVinci de cirurgia de hernia Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	34
Figura 3.9 Cirurgiões operando o paciente Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador	34
Figura 3.5 Simulador do daVinci de cirurgia de hernia atingindo o vaso e sangrando. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	35
Figura 3.10 Pesquisador, o cirurgião Ronaldo Andrade e os demais da equipe cirúrgica durante o procedimento Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador	35
Figura 3.6 Console do simulador Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	36
Figura 3.7 Limpando o fígado captado que irá ser transplantado. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador	37
Figura 3.8 Limpando o fígado captado que irá ser transplantado. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador	38
Figura 3.11 Formas de aprendizagem Fonte: < <a href="https://www.arlo.co/blog/overview-of-the-learning-pyramid-for-training-providers">https://www.arlo.co/blog/overview-of-the-learning-pyramid-for-training-providers</a> >, 2022	38
Figura 3.12 Captura da tela do software Invesalius. Fonte: (AMORIM et al., 2014). Invesalius: Software Livre de Imagens Médicas	39
Figura 3.13 Captura da tela do software 3DSlicer. Fonte: < <a href="https://www.slicer.org/wiki/Documentation/4.10/Training">https://www.slicer.org/wiki/Documentation/4.10/Training</a> >, 2021	39
Figura 3.14 Captura da tela do software Osirix. Fonte: < <a href="https://software.com.br/p/osirix">https://software.com.br/p/osirix</a> >, Acesso em: 18 Jun. 2022	40
Figura 3.15 Prateleira da sala multiuso no laboratório BioDesignLAB Fonte: Imagens obtidas pelo pesquisador	41
Figura 3.16 Prateleiras de impressões 3D no laboratório BioDesignLAB Fonte: Imagens obtidas pelo pesquisador	41

Figura 4.1	Fluxograma do funcionamento geral da experiência	Fonte: Imagem gerada pelo pesquisador	43
Figura 4.2	Imagens demonstrando os modelos do experimento.	Fonte: Imagem gerada pelo pesquisador	44
Figura 4.3	Corte “duro” durante a simulação.	Fonte: Imagem obtida do software pelo pesquisador	45
Figura 4.4	Corte após a malha se readaptar para não permanecer com uma quantidade de polígonos alta.	Fonte: Imagem obtida do software pelo pesquisador	45
Figura 4.5	Fluxograma do funcionamento da operação booleana.	Fonte: Imagem gerada pelo pesquisador	46
Figura 4.6	Inserindo modelo móvel(no momento já no estado móvel) no recipiente e concluindo a experiência.	Fonte: Imagem obtida do software pelo pesquisador	47
Figura 4.7	Médico utilizando o simulador	Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador	48
Figura 4.8	Médico utilizando o simulador	Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador	49
Figura 5.1	Interface da última versão do aplicativo com um modelo já carregado.	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	53
Figura 5.2	Fígado completamente opaco	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	54
Figura 5.3	Alguns segmentos do fígado semitransparentes	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	54
Figura 5.4	Exemplo da pele da face semitransparente, exemplificando ruído.	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	55
Figura 5.5	Imagem do software localizando os controles de Movimentação.	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	56
Figura 5.6	Visão do endoscópio	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	57
Figura 5.7	3 imagens com as respectivas opções para se orbitar	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	58
Figura 5.8	Localização da seleção do modo de movimentação do aplicativo.	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	58
Figura 5.9	Primeira tela de ajuda	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	59
Figura 5.10	Segunda tela de ajuda	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	59
Figura 5.11	Exemplo de visualização de um caso de bariátrica do Dr. Fernando de Barros	Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	60
Figura 5.12	Aparelho DaVinci inserido no paciente.	Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	61
Figura 5.13	Visão do console do robô de cirurgia com o visualizador 3D em picture-in-picture.	Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	61
Figura 5.14	Cirurgião usando o iPad durante cirurgia robótica.	Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	62

Figura 6.1	Tipos de <i>Decimate Modifier</i> . Fonte: Imagens do software obtidas pelo pesquisador.	65
Figura 6.2	Tipo de <i>Decimate Clean Up</i> . Fonte: Imagens do software obtidas pelo pesquisador.	66
Figura 6.3	<i>Metallness</i> = 0; <i>Roughness</i> = 0,5; <i>Specular</i> = 0,5; <i>DiffuseRGB</i> = 0,0,0. Sem <i>normal mapping</i>	67
Figura 6.4	<i>Metallness</i> = 0; <i>Roughness</i> = 0,5; <i>Specular</i> = 0,5; <i>DiffuseRGB</i> = 0,0,0. Sem <i>normal mapping</i>	67
Figura 6.5	Da esquerda para direita: <i>Metallness</i> = 1; <i>Roughness</i> = 0; <i>Specular</i> = 0; <i>DiffuseRGB</i> = 0,0,0. Com <i>normal mapping</i>	68
Figura 6.6	<i>Metallness</i> = 1; <i>Roughness</i> = 0,5; <i>Specular</i> = 0,5; <i>DiffuseRGB</i> = 0,0,0. Com <i>normal mapping</i>	68
Figura 6.7	<i>Metallness</i> = 0; <i>Roughness</i> = 0; <i>Specular</i> = 0; <i>DiffuseRGB</i> = 200,0,0. Com <i>normal mapping</i>	69
Figura 6.8	<i>Metallness</i> = 0; <i>Roughness</i> = 1.0; <i>Specular</i> = 0,5; <i>DiffuseRGB</i> = 200,0,0. Com <i>normal mapping</i>	69
Figura 6.9	<i>Metallness</i> = 0; <i>Roughness</i> = 0,5; <i>Specular</i> = 0,5; <i>DiffuseRGB</i> = 200,0,0. Com <i>normal mapping</i>	70
Figura 6.10	Esquerda - Modelo completo representativo do exame de translucência nugal. Centro - Textura realizada com o software Substance Painter relativa à cavidade amniótica. Direita - Controles para editar modelo o qual a textura esta no centro. Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	71
Figura 6.11	Biomodelo texturizado apresentado na iniciação científica do aluno Gabriel Borja. Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	72
Figura 6.12	Aproximações do biomodelo da imagem acima para mostrar a textura. Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.	72
Figura 6.13	Dr. Gabriel Mufarrej em seu primeiro uso de um óculos de realidade virtual. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	74
Figura 6.14	Dr. Gabriel Mufarrej durante a discussão do caso dos craniópagos com o Dr. Owase Jeelani no monitor. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	75
Figura 6.15	Ampliações da imagem acima. Fonte: Imagens obtidas pelo pesquisador.	76
	(a) Visão do cirurgião brasileiro	76
	(b) Cirurgião inglês (usando o Oculus Quest 2) discutindo o caso com Mufarrej)	76
Figura 6.16	Captura de tela da visão do cirurgião brasileiro Gabriel Mufarrej durante a experiência. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	77
Figura 6.17	Visualizador 3D do caso com o tumor aparente. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	78
Figura 6.18	Impressão 3D em resina transparente e injetado tinta esmalte para salientar principais estruturas. Realizado no laboratório especificamente para o caso. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	78
Figura 6.19	Imagem de toda a estrutura em realidade virtual para a discussão do caso. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	79
Figura 6.20	Modelo anatômico representando a 1ª dimensão com o modelo semitransparente expondo a patologia. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	80

Figura 6.21	Imagem do modelo didático representando a 1ª dimensão com o modelo em tamanho real. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	80
Figura 6.22	Imagem do modelo didático representando a 2ª dimensão. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	81
Figura 6.23	2 Imagens do Modelo Destacável. Antes e após ser manipulado. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	82
	(a) Fígado Intacto	82
	(b) Fígado Manipulado	82
Figura 6.24	Residentes discutindo a futura cirurgia sala construída no ambiente virtual Spatial. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	83
Figura 6.25	Dr. Ronaldo supervisionando a discussão clínica dos residentes. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	84
Figura 6.26	Dr. Ronaldo supervisionando a discussão clínica dos residentes. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	85
Figura 6.27	Residente durante a experiência no metaverso. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	85
Figura 6.28	Exemplo de toraconfalópagos. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	86
Figura 6.29	Exemplos de imagens 3D de quadrigêmeos obtidas através de Ultrassom e Ressonância Magnética. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	87
Figura 6.30	Cronologia do laboratório e das pesquisas realizadas. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	87
Figura 6.31	Capas de periódicos publicados com pesquisas do laboratório. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	88
Figura 6.32	Demonstração 3D do que é revelado durante o exame de translucência nugal. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	88
Figura 6.33	Exemplos de trecho da sala no metaverso destacando projeto envolvendo inteligência artificial para identificar líquido aminótico. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	89
Figura 6.34	Tuba uterina com a sua explicação na esquerda. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	89
Figura 6.35	Aula na tuba uterina 3D obtida através de microtomografia. Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.	90

## **Lista de Abreviaturas**

RtD – Research through Design

CAD – Computer Aided Design

CDPI – Clínica de Diagnóstico por Imagem

CFM – Conselho Federal de Medicina

HSL – Hospital São Lucas de Copacabana

TICs – Tecnologias da Informação e Comunicação

NEXT – Núcleo de Experimentação Tridimensional

UCL – University College London

NURBS – Non-Uniform Rational Basis Spline

RECON – Departamento de reconstrução de exames de imagens médicas em 3D do CDPI do Barrashopping do RIo de Janeiro

*"Não se pode ligar os pontos olhando para a frente; só se pode ligá-los olhando para trás".  
Por isso, tem de confiar que os pontos se ligarão de alguma forma no seu futuro."*

**Steve Jobs**

# 1

## Introdução

Caso perguntássemos: “Qual o profissional que trabalha com a imagem para comunicar seu ofício?”, possivelmente muitos dirão artistas, outros dirão designers, *videomakers*, alguns ainda falarão arquitetos, que precisam se comunicar com os engenheiros e estes com os mestres de obras. Mas, podemos pensar que dificilmente responderão médicos radiologistas. Sendo que boa parte deles dependem substancialmente de imagens bem feitas e bem descritas que os ajudem a tomar as decisões necessárias.

Segundo (HAJAR, 2015), Hipócrates foi o primeiro a adotar o racionalismo na medicina, na Grécia antiga. Contudo, durante a idade média ocorreu um declínio no processo técnico, as doenças então eram atribuídas a causas divinas e as curas milagrosas eram realizadas em templos. Nessa época, muito do estudo anatômico possuía diversas questões para se desenvolver, por não ser possível utilizar dos cadáveres por motivos religiosos. No século XVI, com o Renascimento, a história da medicina voltou então a se desenvolver na Europa até o que conhecemos hoje.

Entretanto, hoje já não seria mais necessário utilizar-se dos cadáveres, porque através da tecnologia, podemos entender o corpo humano sem precisar necessariamente dissecá-lo fisicamente. Hoje conseguimos, por meio de métodos muito pouco invasivos, ter informação sobre o que está acontecendo com os pacientes.

Contudo, isso é obtido por meio de uma representação e de alguns dos mais recorrentes objetos de estudo do design: a representação e o consumo e compreensão dessa informação.

Por muito tempo e ainda atualmente, essa representação tem sido feita por meio de camadas que representam um plano bidimensional. Como proposto por (SANTOS, 2009), profissionais da saúde podem recorrer a representações tridimensionais dos exames para obter informações mais qualificadas a partir dos dados do exame e do laudo radiológico. Isso ocorre porque, muitas vezes, as informações extraídas por meio da compreensão de um laudo, podem não ser as mesmas necessárias para planejar uma cirurgia. Portanto, é possivelmente extraído menos informação dos dados provenientes desses exames. Como esses profissionais podem obter mais informação das imagens que utilizam?

Setores como o da engenharia, tiveram mudanças substanciais na forma como se comunicam com seus interlocutores, por programas de computador



*Computer Aided Design*(CAD) e também por *renderizações*<sup>1</sup>. Outros setores, como o bancário, vem inovando com frequência nos últimos 15 anos, estimulados pelas regulamentações no setor. Com o da saúde aconteceu isso, principalmente, devido à pandemia de COVID-19 que posteriormente se tornou a resolução *Conselho Federal de Medicina*(CFM) 2.314/2022, publicada no Diário Oficial da União no dia 5 de maio de 2022, que flexibilizou algumas regulações rígidas do setor e promoveu liberações como a autorização da telemedicina.

Esse movimento, também conhecido como e-health, já vem ocorrendo por meio da associação das *Tecnologias da Informação e Comunicação*(TICs) modernas com a área da saúde. Esse termo mais proeminente na literatura se refere à intersecção entre os campos de saúde pública, informática médica e negócios, visando aprimorar os serviços de saúde a partir do desenvolvimento tecnológico(EYSENBACH, 2001). As tecnologias e-health muitas vezes associadas apenas a figuras como a 1.1, podem ainda estar subdivididas em domínios, tais quais Telessaúde(e Telemedicina), sistemas de informações clínicas, redes de informações regionais e nacionais integradas, sistemas não clínicos utilizados para saúde pública e educação de saúde, saúde móvel (m-health), saúde personalizada <sup>2</sup> e big data<sup>3</sup> (CALEGARI; FETTERMANN, 2021).

A pesquisa seguirá alinhado ao que é entendido por *Research through Design*(RtD), sendo uma abordagem de pesquisa que combina práticas criativas e de design com metodologias de pesquisa acadêmica. A abordagem propõe que o design pode ser usado como uma ferramenta para gerar novos conhecimentos, em vez de apenas para criar produtos finais. O objetivo do RtD é explorar uma ideia ou conceito através de várias iterações de prototipagem, refinando e ajustando a abordagem ao longo do processo. Durante esse processo, o designer é incentivado a refletir sobre suas decisões, examinar as implicações éticas e sociais do produto final e considerar as questões culturais e históricas que podem afetar o trabalho. Ela é sustentada pela descrição de (FRAYLING, 1993), que aborda a atuação do designer em pesquisas aplicadas e interdisciplinares. Quando falamos dessa abordagem, indicamos atividades relativas ao design que possuem papel na geração de conhecimento. Isso depende de ganhar conhecimento acionável de determinado contexto complexo de modo

<sup>1</sup>Palavra ainda considerada um neologismo, de uso influenciado pela palavra inglesa *rendering*. Renderizar significa deixar a máquina calcular tudo em termos de geometria, luz, reflexos, refrações e outras propriedades materiais e combiná-las de acordo com as regras da óptica - uma vez que têm de ser utilizadas configurações reais da câmera.

<sup>2</sup>Abordagem orientada por um planejamento de saúde personalizado, potencializado por ferramentas de medicina personalizada, facilitadas pelos avanços da ciência e da tecnologia(RALPH, 2012).

<sup>3</sup>Nova geração de tecnologias e arquiteturas, projetadas para que organizações possam extrair valor de forma econômica de grandes volumes de uma ampla variedade de dados, permitindo captura, descoberta e/ou análise em alta velocidade (L et al., 2011).

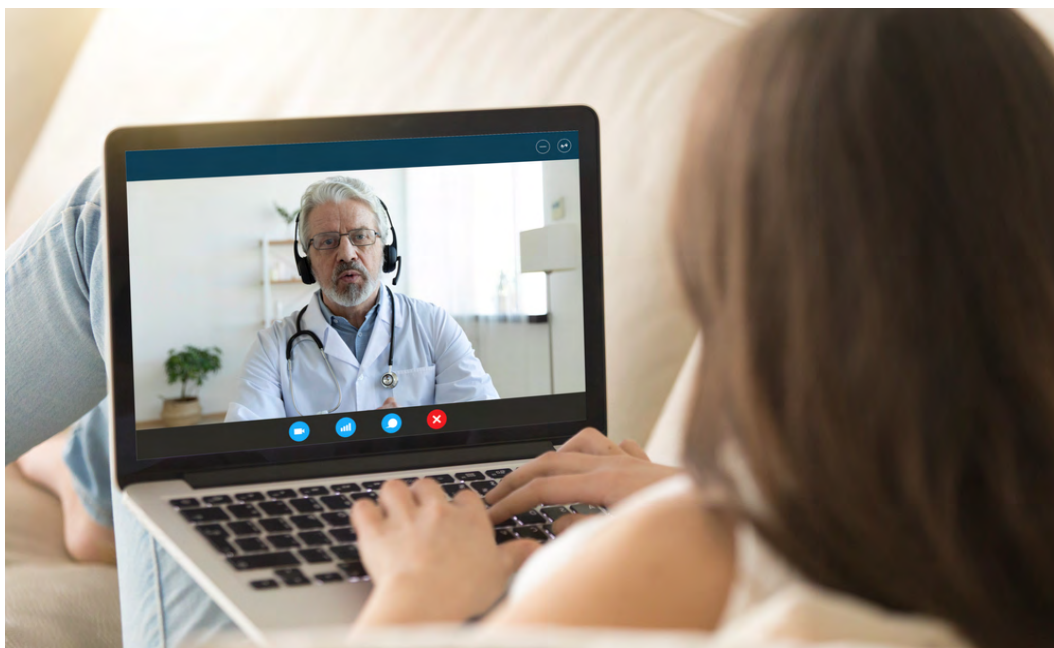


Figura 1.1: Situação de consulta por telemedicina

Fonte: <<https://www.pixeon.com/blog/teleconsulta/>>, Acesso em: 16 mar. 2022

que, repensando o problema e reformulando-o, consigamos gerar protótipos que os compreendam. Como, por exemplo, mostrar uma combinação até então inexistente ou inexplorada de fatores que promovem uma discussão ou criar a possibilidade para pessoas de se envolverem em interações que não seriam possíveis anteriormente, e vieram à luz através do Design. Isso envolve uma reflexão para iterativamente entender a pessoa, o problema e o contexto a que estão inseridos e que o pesquisador acredita poder contribuir para a melhora.

Assim como boa parte dos artigos relacionados a RtD, pretendo na pesquisa focar no protótipo e nas atividades que levaram a esse resultado. Alguns autores, como (ZIMMERMAN, 2003) indicam que fazer design, é fazer pesquisa no sentido que resulte em um novo conhecimento. Isso expressa também que em cada projeto é gerado conhecimento, seja sobre os usuários, sobre uma nova tecnologia ou sobre como avaliar determinada situação, por exemplo. E nesta dissertação será buscado aplicar esses conceitos de pesquisa no âmbito digital e no contexto médico.

## 1.1

### Exames de imagem como representação.

Hoje existem diferentes formas de exame de imagem tais como: ultrassonografia, raio-x, ressonância magnética, tomografia e outros. Contudo, muitas vezes os resultados desses exames ficam restritos aos profissionais que execu-

tam o exame e geram o laudo<sup>4</sup>, normalmente radiologistas. Cada vez mais, essas ferramentas evoluem em resolução, métodos mais específicos e também em indicações fornecidas para auxílio por meio de inteligência artificial.

A maioria desses programas são usados por radiologistas para elaborar exames. Eles podem ter um conjunto completo de recursos, desde a interpretação dos dados gerados pelo aparelho examinador, até a segmentação do modelo 3D, além de anotar as camadas que apontam a patologia, entre outras funcionalidades. Esse escopo de atuação torna o acesso a esses produtos focados na análise de exames muito caros e complexos e necessitando de uma equipe muito especializada para utilizá-los.

Vale entender que os softwares de visualização desses exames, muitas vezes possuem padrões muito próprios e específicos, como demonstrado no artigo (TANG, 2019). Isso ocorre por comumente possuírem um ciclo de atualização relacionado a adquirir novos equipamentos de captura, não apenas na frequência que os programas relativos aos aparelhos em questão poderiam ser atualizados. Além do fator de lidarem com um domínio inerentemente inseguro onde lesões e a perda de vidas ocorrem de forma regular. Esta propriedade dos cuidados de saúde tem duas consequências principais: (1) Dificulta distinguir entre eventos adversos evitáveis e não evitáveis, e; (2) os riscos de segurança da implementação de uma alteração ao sistema de cuidados de saúde (através de software ou outro) devem ser ponderados em relação aos riscos de segurança da não implementação da alteração, ou da implementação de uma alteração diferente. Os riscos relevantes para esta consideração podem ser bastante diferentes, e específicos a variados tipos de clientes. (H et al., 2013)

Outra questão são os chamados Sistemas Sócio-Técnicos Complexos. Os dispositivos técnicos fornecem funções importantes, mas raramente estão sob controle. Os atores humanos não são utilizadores do sistema, são os principais componentes do sistema. O sistema de saúde é um exemplo complexo de cognição distribuída, onde as pessoas (ou seja, pacientes, médicos, enfermeiros e outros) e a tecnologia (por exemplo, laboratórios, apoio à decisão, registros eletrônicos) trabalham em conjunto para formar sistemas complexos que exibem comportamento emergente. (H et al., 2013)

Hoje existe um movimento para disponibilizar para o médico que solicitou, não somente o laudo e as camadas relativas aos dados dos exames. Mas sim, essa informação de forma cada vez mais intuitiva para que ele possa seguir com os procedimentos seguintes da melhor maneira. Apesar de o propósito do radiologista ser mais específico, ele também tem a missão e precisa ter os re-

<sup>4</sup>Um laudo médico é um documento escrito por um profissional de saúde que contém informações relevantes sobre a condição de saúde de um paciente.

cursos e ferramentas necessárias para transmitir com cada vez mais clareza a mensagem que a análise da imagem que ele gerou necessita. Nesse sentido é uma atividade em grande parte semelhante à do Designer.

Portanto, a parceria entre o designer e o radiologista pode ser muito benéfica para os dois lados. Muito devido à experiência que o designer tem nessa etapa de transmitir a informação de forma imagética somado ao conhecimento médico para a análise desse tipo de problemas pelo radiologista.

O objeto da pesquisa é a relação do cirurgião com os exames necessários e o impacto de novas ferramentas digitais de interação nessa relação, através de um estudo de caso que se dará por meio três experimentos, sendo eles: um simulador para cirurgias hepáticas em realidade virtual, um visualizador de exames em 3D e experiências conduzidas no metaverso. Serão analisadas as vantagens e desvantagens de cada ferramenta, no que tange a função didática, de planejamento cirúrgico e de treinamento. Todos sendo personalizáveis caso a caso para o usuário final e modulares durante a geração de uma nova representação de exame.

As abordagens possuem propósitos diferentes entre si. Porém, o que as une é fornecer para o médico solicitante do exame mais possibilidades de obtenção de informação através dos mesmos dados de exames de imagem. Contudo, cada um dos experimentos aborda esse propósito por um aspecto diferente, o visualizador tem o propósito de ser acessível para os médicos visualizarem exames em 3D e não depender apenas das imagens geradas por reconstrução automática ou mesmo da abstração necessária para compreender um exame tradicional e realizar essa reconstrução mentalmente. O simulador contém os procedimentos para o cirurgião poder treinar casos de cirurgias eletivas importantes. Já os residentes podem interagir com as salas virtuais criadas no metaverso, contando assim com a orientação do preceptor para entenderem se de fato estão com a abordagem correta para aquela situação.

## 1.2

### **Objetivos, métodos e processos**

O objetivo dessa pesquisa é compreender como a tecnologia, particularmente o arquivo 3D digital, pode contribuir para o campo da saúde, esclarecendo o impacto de uma visualização mais definida da patologia pelo médico solicitante do exame na resolução dos casos clínicos e o impacto da realidade virtual no treinamento dos cirurgiões, tanto para casos específicos quanto desempenhando cirurgias em geral.

Para isso, será realizada uma pesquisa bibliográfica para entender o estado da arte das tecnologias usadas hoje no escopo da saúde. Também

será conduzida uma pesquisa ação participante para analisar os produtos digitais para visualização de exames utilizados hoje pela equipe do *Centro de Diagnóstico por Imagem*(CDPI), uma das unidades de diagnósticos da Dasa no Barra Shopping, e outros participantes do cenário da saúde e assim compreender seus padrões próprios e o porquê deles existirem. Os experimentos serão conduzidos de modo que, por aproximações sucessivas dos cirurgiões e radiologistas que são os usuários em questão, seja possível gerar testes que abordem a visualização da patologia por parte do médico solicitante do exame e a utilização de realidade virtual para o treinamento de cirurgias.

A pesquisa está focada na estrutura de desenhar ferramentas digitais que auxiliem na prática médica. Ela irá buscar compreender melhor como recursos digitais e relativos a realidades mediadas por computador contribuem e podem contribuir para uma melhoria da análise, compreensão e interlocução entre profissionais radiologistas e cirurgiões em suas atividades profissionais. Dentre os objetivos específicos, podemos destacar pesquisar as atuais e futuros dispositivos e plataformas que viabilizam o desenvolvimento de novas soluções para visualização de imagens com objetivo diagnóstico, investigar a colaboração virtual como meio de discussão de casos clínicos e desenvolver experimentos que comprovem proponham melhorias em produtos e/ou processos através de RtD.

A tecnologia está presente em diversos segmentos da sociedade. Contudo, na saúde, como exposto na introdução, ela ainda não realiza seu potencial. Em um mesmo segmento com equipamentos extremamente avançados e extremamente rudimentares coexistindo. Tendo isso em vista, se faz relevante identificar e gerar soluções para que os médicos cirurgiões possam ser mais assertivos durante esses procedimentos e possam tangibilizar de uma forma mais clara as patologias e os resultados dos tratamentos propostos para seus pacientes. Somado a isso, a simulação de procedimentos em realidade virtual tem sua relevância tanto na antecipação ao procedimento, quanto no treinamento de novos profissionais. Uma maior compreensão, aplicação e relevância das tecnologias mencionadas anteriormente, podem ser cruciais para o progresso na área da saúde.

### 1.3

#### **Estrutura dos capítulos**

Na introdução foi exposto o histórico e motivações do pesquisador, uma breve exposição dos meios atuais para visualização de exames, além dos objetivos, e questões de pesquisa. O segundo capítulo será uma revisão de metodologias de design para a área da saúde. Abordando tanto a bibliografia sobre

biodesign, as formas como são feitas as pesquisas na área e vantagens e desafios já conhecidos ao lidar com esse meio. Tratará também de colaboração em medicina. Ele irá abordar como ela é exercida hoje e quais meios possibilitam isso, como interfaces digitais e impressão 3D. Nele também estará parte de uma documentação relativa a experimentos feitos no escopo da colaboração virtual. Com isso será possível conhecer como médicos e profissionais da saúde compartilham conhecimento sobre seus casos e como tais soluções abordam esse cenário.

O terceiro capítulo abordará a exploração do pesquisador no centro cirúrgico do *Hospital São Lucas de Copacabana*(HSL). Focando em uma melhor compreensão do estado da arte nesse contexto e o que é feito e usado atualmente, principalmente por parte dos cirurgiões. Nessa etapa foi buscada uma melhor compreensão dos equipamentos utilizados pelos profissionais, assim como entender o funcionamento da cirurgia e o que realmente pode gerar percalços ou beneficiar a cirurgia.

O quarto capítulo tratará da elaboração de uma experiência em realidade virtual que simula uma cirurgia de ressecção hepática. Essa cirurgia consiste na retirada da parte doente do fígado, para que parte sadia possa se regenerar. Esse procedimento foi escolhido por ser o que possui menos etapas dentre as cirurgias hepáticas. Será elaborado esse experimento com o intuito de entender se essa simulação pode contribuir para o exercício dos cirurgiões e para a formação de novos residentes.

O capítulo 5 será sobre o desenvolvimento do experimento, de uma aplicação virtual que viabiliza a visualização 3D da patologia por parte do médico solicitante do exame. Será entendido se é importante fornecer mais poder para o médico que pede o exame. Podendo além de receber o laudo, ter uma confirmação visual tridimensional da patologia.

O capítulo 6 será sobre diversas experimentações feitas no metaverso com diferentes objetivos para ajudar a prática médica. Seja de forma didática geral para uma ampla audiência remota, para discussão de casos com foco em planejamento cirúrgico e para auxílio à preceptoria de residentes de cirurgia.

## 2

### Processo de Biodesign aplicado

O livro Biodesign da Universidade norte-americana de Stanford (ZENIOS et al., 2010) Configura o processo de biodesign em 3 etapas muito semelhantes ao processo de *Design Thinking*(DT) ou de Design tradicional. São elas, identificar, inventar e implementar. É exposto nesse capítulo como foram pensadas à luz da teoria as explorações, pesquisas e experimentos executados nos capítulos posteriores.

#### 2.1

##### Identificação de oportunidades

Trabalhando no laboratório de Biodesign, ambiente focado em desenvolver pesquisa, gerando soluções focadas na área da saúde, possuindo um histórico forte de informática e tecnologia, somado à manipulação e reconstruções de objetos 3D, auxiliaram nos caminhos importantes a serem seguidos. A forma como os designers percebem, interpretam, estruturam e resolvem problemas não pode ser realmente compreendida sem considerar seu nível de especialização em design<sup>1</sup>(KEES, 2004).

Após estabelecer o contexto, a etapa seguinte é identificar oportunidades. Para isso, é necessário observar pessoas em cenários reais para compreender como elas efetivamente agem como dizem. No caso da saúde pode ser algo que só ocorre por situações problemáticas em casos extremos como cirurgias complexas. Ou quando o procedimento não tem o resultado esperado ou tem um resultado abaixo das expectativas. O processo sequencial de observação do problema até a necessidade, é onde atingimos a real clareza de para que, por que e para quem estamos projetando ou desenvolvendo determinada solução.

Outro fator relevante é, ao projetar, pensar no escopo. Escopo é a quantidade de trabalho, recursos e o prazo para concluir o intento. Um erro possível, é gerar uma solução fraca ou não testada o suficiente para um grande problema ou mesmo que fique apenas no campo teórico. Somado a isso é válido pensar no interesse e lacunas tecnológicas da área e capacidade financeira e de tempo para colaborar com o projeto.

Com isso em mente direcionamos os projetos que serão apresentados no sentido de auxílio à prática cirúrgica de forma digital, através da melhor exposição do diagnóstico formulado. Pela proximidade com as pessoas interessadas

<sup>1</sup>Artigo que em sua conclusão expõe a influência da experiência prévia do Designer na área em questão para o sucesso do projeto

optamos por focar em cirurgias na região abdominal. Envolvendo muito a colaboração entre os pares do laboratório e o planejamento dos procedimentos.

Após fazer essa análise se faz necessário um foco maior na oportunidade que se quer atingir naquele contexto. Em geral, na literatura sobre design, tratam essa fase como definição ocorrendo anteriormente à de prototipagem e ideação. Contudo, pode ser importante gerar artefatos logo após essa fase, para poder avaliar melhor qual ou quais oportunidades devem ser priorizadas em uma matriz de impacto x esforço. Assim, é possível perceber que muitas vezes as etapas que aparentemente são rígidas se mesclam. Pela natureza das etapas até a conclusão uma solução de Design, o processo é descrito como iterativo.

Entretanto, algo que acredito ser fundamental é ter uma cadência de evolução no projeto. Se algo está complexo de elaborar, talvez valha a pena simplificar, ou então pensar outra forma de executar, ou ainda se não está fazendo algo desnecessário e fora do que deveria. Conforme dito no manifesto ágil<sup>2</sup>, que contém 12 princípios, não dogmas ou regras, sobre como produzir softwares com constância e útil para o usuário. Dentre eles existem dois princípios, a seguir, que ressaltam a importância de fatiar as entregas e reduzir o escopo das funcionalidades que se deseja entregar para o usuário:

Entregar frequentemente software funcionando, de poucas semanas a poucos meses, com preferência à menor escala de tempo. (BECK et al., 2001)

Simplicidade— a arte de maximizar a quantidade de trabalho não realizado— é essencial. (BECK et al., 2001)

## 2.2

### Objetivo de projeto

Dito isso sobre o contexto e como encontrar oportunidades e também sobre métodos de como agilizar, literalmente, o projeto, podemos nos debruçar sobre como foi definido o objetivo do projeto.

Sendo assim, buscou-se a definição de um dos primeiros tipos de Design pensados, segundo a escola de Bauhaus, que é Design gráfico. De acordo com

<sup>2</sup>Declaração de valores e princípios essenciais para o desenvolvimento de software, que embora seja relacionada ao setor tecnológico, os impactos do que foi proposto por ele são inegáveis para diversos setores.



a *American Institute of Graphic Arts*(AIGA)<sup>3</sup> sua função é:

The art and practice of planning and projecting ideas and experiences with visual and textual content.<sup>a</sup>(AIGA, )

<sup>a</sup>Tradução do Inglês: A arte e a prática do planejamento e projeção de ideias e experiências com conteúdo visual e textual.

Logo em seguida buscamos o significado do que é ser a radiologia. A Seguir a citação *Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem*(CBRDI)(AF et al., 2014). Mas, que possui em diversos locais significados semelhantes. Primeiro é dito:

Na prática, o radiologista manuseia equipamentos modernos e sofisticados, utilizando programas computadorizados. A tecnologia da informação trouxe a era digital, interligando equipamentos com as imagens e laudos, armazenados em computadores e distribuídos sem limites de tempo e localidade. A radiologia digital revolucionou o cotidiano da prática radiológica, impondo desafios de redução do custo do investimento inicial pelo aumento da produtividade e da qualidade das imagens.

Essa parte fala muito do conhecimento médico geral, necessário para todas as especialidades médicas, a maior mudança está na capacidade dele de diagnosticar doenças através das imagens. Sendo mais específico, está tão relacionado à interpretação da imagem quanto à capacidade de comunicar o que ele está sendo visto e percebido para o clínico, tendo assim uma relação mais intrínseca ao ofício do Design. Como exposto no artigo citado abaixo. Que, em seu fim, conclui que teorias, métodos e sistemas de comunicação que provaram sua eficácia em outros ambientes podem servir como modelos para a radiologia.

...the ability of a radiology department to provide safe, timely, and effective care increasingly depends on the sophistication of its communications methods<sup>a</sup>.(LARSON1 et al., 2014)

<sup>a</sup>Tradução do Inglês: ...a capacidade de um departamento de radiologia para fornecer cuidados seguros, oportunos e eficazes depende cada vez mais da sofisticação dos seus métodos de comunicação.

Logo, como é possível notar, essa questão de comunicação de determinada informação está muito relacionado com o que um Designer gráfico faz, que é transmitir uma mensagem de maneira clara, intuitiva e muitas vezes atraente. Portanto, o objetivo que norteou boa parte da minha pesquisa e dos projetos

<sup>3</sup>Tradução do inglês: Instituto Americano de Artes Gráficas

que vocês verão posteriormente é: **Facilitar a interpretação da informação, obtida com exames de imagem, entre radiologistas e demais especialidades por meio da visualização tridimensional digital.**

### 2.3

#### **Filtragem de oportunidades**

Considerando o contexto e campo de atuação do pesquisador e dos stakeholders, foram 3 as oportunidades exploradas e abordadas por experimentos realizados com casos reais, a seguir. **Treinamento**, ou seja, prática e preparação para determinado tipo de procedimento, foi o primeiro a abordarmos por ser o que os médicos diziam ser mais relevante. **Auxílio ao diagnóstico**, análise de patologias para maior previsibilidade em cirurgias é algo que já está no nosso cerne, por estarmos há muito tempo realizando reconstruções de casos complexos. E por último, **Capacitação** de conteúdos relacionados à área da saúde é uma área importante por cada vez mais estarem abrindo novas faculdades de medicina e ser um conceito a ser abordado por diferentes ângulos. Nos capítulos posteriores ressaltaremos a aplicação de cada uma delas em um projeto respectivamente.

A intenção dos projetos a seguir foi a de geração de protótipos que focassem em alguma dessas oportunidades, respectivamente. Contudo, muitas vezes ao desenvolver algo acabávamos por atingir mais de uma dessas oportunidades. O que é positivo. E assim, como meio adotado para medir a relevância possível de cada projeto é verificar se estamos atingindo cada uma dessas características circundando a palavra impacto na imagem abaixo. Conseguimos ter maior assertividade de que o projeto tem mercado, pessoas interessadas e futuro na sociedade.

Fundamentalmente, o impacto é o mecanismo cuja missão, prioridades, forças e fraquezas são unidos em uma lista de requerimentos que um projeto de inovação pode atingir com maior ou menor facilidade e a partir disso facilitar e viável a priorização dos projetos e previsão dos resultados 2.1. Não existe um único conjunto de critério para geração de impacto que funciona para todo contexto. Entretanto, podemos ajustá-los mediante a alguns fatores, como, por exemplo, ele ser puramente acadêmico ou desenvolvido para uma empresa em específico. Se tem intenção financeira ou não, se tem alguém com uma intenção empreendedora por trás, se é exclusivo ou para ser feito em massa. Esses fatores ajudarão a ajustar critérios influenciadores de impacto que o projeto eventualmente atingirá. (ZENIOS et al., 2010)

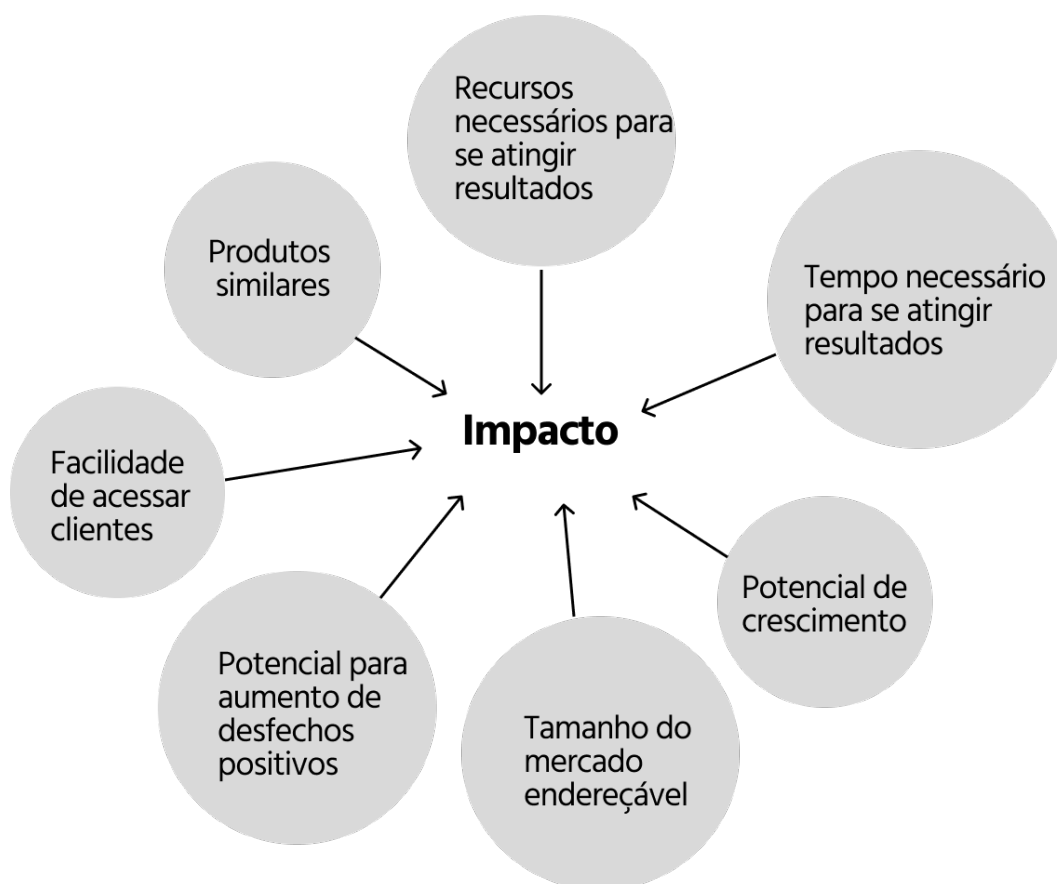


Figura 2.1: Fatores que conjuntamente colaboram para o impacto de um projeto

Fonte: Imagem do autor inspirada em trecho do livro (ZENIOS et al., 2010), página 8

## 2.4 Prototipagem de alternativas

Após entender o impacto das alternativas possíveis, o próximo passo é testar quais delas funcionam melhor naquele contexto e a partir disso iterar o que está sendo construído. Essa iteratividade tem o objetivo de ir aprimorando o protótipo, pouco a pouco e aproximá-lo do produto final. Isso se baseia muito em aprimorar tanto a função do produto com a equipe ganhando mais consciência técnica a ser utilizada. Quanto uma melhora na usabilidade, em como o usuário acessará e usará o produto. E isso muitas vezes se descobre em campo, testando com essas pessoas.

Segundo o livro (ZENIOS et al., 2010) Quanto mais questões um único protótipo tem em vista responder, mais o risco o Designer corre de não compreender os resultados do modelo. Além de poder gastar muito tempo e dinheiro e não ir diretamente ao problema. Evidentemente, ao utilizar de um modelo muito acabado que ataca muitas questões, a iteração pode ser

concluída com uma compreensão rasa de vários fatores e não aprofundar em nenhum. Como exposto no esquema 2.2 no mundo ideal é importante começar os primeiros desenvolvimentos simplificando ao máximo, com os materiais e processos mais baratos e da maneira mais rápida. A partir desse ponto, melhorar cada aspecto do produto até chegar à solução final. Portanto, o bom momento para se fazer um protótipo com uma fidelidade mais alta é quando já foram testados vários aspectos do produto individualmente e obtido uma maior compreensão de cada um deles.

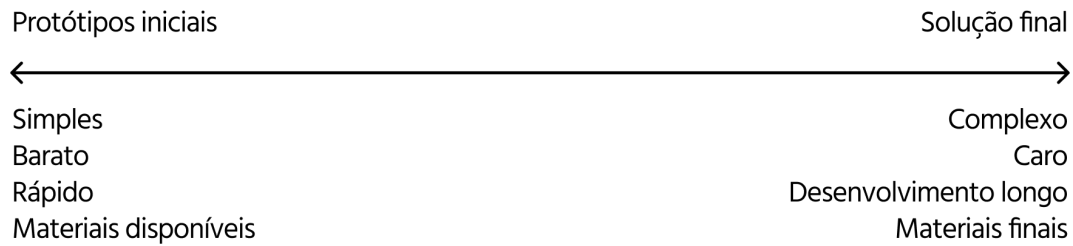


Figura 2.2: Esquema expondo o processo de interação relevante para o desenvolvimento de soluções digitais e físicas

Fonte: Imagem do autor inspirada em trecho do livro (ZENIOS et al., 2010)

Nesse sentido, existem muitos aspectos inerentes ao projeto que devem ser testados, como a parte estética, a usabilidade do modelo e o quanto que ele é funcional para o objetivo final. Fatores esses que já devem estar definidos antes da etapa de prototipagem e teste.

## 3

### Pesquisa de campo: Cirurgia

Para compreendermos como realizar uma experiência digital que permitisse o treinamento do cirurgião, optamos por conduzir uma pesquisa de campo e entender como funciona o cotidiano de um centro cirúrgico.

#### 3.1

##### **Tour Guiada: conhecendo o centro cirúrgico**

Para desenvolver um simulador que atendesse às necessidades dos cirurgiões hepáticos, inicialmente o autor teve em vista entender o estado da arte da simulação cirúrgica e como ela é usada atualmente. Optamos por um método que funciona bem como alternativa ou adição a conversar com a pessoa para quem estamos desenhando a Tour Guiada, o qual é um dos métodos existentes no *IDEO Design Methods Cards* (IDEO, 2003). Ela costuma funcionar por irmos para o ambiente da jornada para qual planejamos desenhar. A expectativa é que no local, através dessa dinâmica, seja possível conseguir expor os hábitos e valores dela bem melhor do que apenas ouvindo a descrição, o ambiente e suas rotinas.

Para viabilizar a tour guiada, foi possível contar com a colaboração do cirurgião hepático do hospital São Lucas de Copacabana, o médico Dr. Ronaldo Andrade, que prontamente se ofereceu para colaborar e expor a estrutura do hospital que possui duas máquinas de cirurgia robótica além de um simulador para o treinamento do manuseio nelas.

As máquinas de cirurgia robótica eram da marca daVinci<sup>1</sup> a qual é referência nesse segmento. Ela funciona com o cirurgião olhando dentro do console com a cabeça e colocando as mãos nas pinças como exposto na imagem 3.2. Além das pinças e do aparato visual, o sistema possui também pedais que servem para ações como definir a intensidade do impulso elétrico emitido, o que evita que o sangue coagule. Através deles também é possível monitorar a câmera, ajustar o foco e ativar a possibilidade de comutação do braço robô, já que quem troca o utensílio do braço é um instrumentador.

Na figura 3.1 existem essencialmente 3 componentes: um carrinho de visão à direita, uma consola principal à esquerda (onde o cirurgião operador se senta), e o carrinho móvel do robô que contém os dois braços robóticos e o braço que contém câmeras duplas e gera, portanto, uma imagem final com

<sup>1</sup>A Intuitive, empresa que lançou o sistema cirúrgico da Vinci em 1999 e detém diversas patentes do setor desde então (GOSRISIRIKUL et al., 2018).

profundidade, enviada para a porta onde o cirurgião visualiza a imagem. Os pedais controlam o electrocautério, focagem da câmara, embreagens de braço do instrumento e pegas de controle principal que conduzem os braços robóticos do servo ao lado do paciente. Os instrumentos são accionados por cabo e proporcionam 7 graus de liberdade. Este sistema exhibe a sua imagem acima das mãos do cirurgião, de modo a dar ao cirurgião a ilusão de que as pontas dos instrumentos são uma extensão das pegas de controle (LANFRANCO et al., 2004).

As limitações da tecnologia robótica atual incluem, entre outras restrições técnicas, falta de háptica (Force Feedback), grande tamanho dos dispositivos, limitações de instrumentação (tanto em tamanho como em variedade), inflexibilidade de certos dispositivos de energia, e problemas com a cirurgia que demandam atuação em uma área maior (HERRON et al., 2008).

A robótica funciona por furos feitos na pele do paciente após ter sido inflada para fornecer mais espaço para o cirurgião trabalhar. Por esses furos, entram os braços do robô. Diferentemente das operações por vídeo, o braço robô tem um ângulo de atuação muito maior por ele conseguir girar no ângulo do furo na pele por onde ele está inserido. Para ter um campo de visão maior, podem também inserir gás carbônico na barriga do paciente para que ela infle e então facilite a operação. Nela, o cirurgião fica em um campo, como na Figura 3.1. Mas, normalmente na mesma sala e os demais da equipe próximos ao paciente como enfermeiros e instrumentadores. A cirurgia é exposta na visão do cirurgião para todos da sala por 3 telas transmitindo ao vivo o que ele visualiza pelo console.

Em 2020 foram mais de 1 milhão de procedimentos efetuados com cirurgia robótica ao redor do mundo, 15 mil deles apenas no Brasil. Isso ocorre por ela oferecer algumas vantagens como:

- Ser menos invasiva, precisando apenas de alguns furos no abdômen.
- O movimento do operador é reduzido em 5 vezes e então feito pelo braço, além disso, a sua câmara conta com um zoom de até 15 vezes. Fornecendo assim uma maior precisão para o manuseio.
- Em determinados procedimentos, ela possui uma percentagem de desfechos positivos maior do que em cirurgias tradicionais.

Apesar de ser mais moderna, do número de procedimentos crescer ano a ano e possuir diversas vantagens já citadas anteriormente, a cirurgia robótica pode não ser a ideal para todos os casos. Já que é mais cara por exigir um equipamento muito específico para ser feita, tornando-a menos acessível. Outro fator que também torna a cirurgia robótica pior em alguns casos é quando o



Figura 3.1: Exemplo de módulos que compõem o robô daVinci.  
Fonte: (KRAUS; KIBSGAARD, 2015).

procedimento envolve manipular uma região que vai se mexer muito e o cenário vai mudar muito durante a cirurgia, não sendo possível acessá-los através dos buracos por onde entram os braços do robô.

Durante a visita, foi possível perceber as simulações e treinamentos existentes para os usuários dos robôs. Como um produto anexo ao robô de cirurgia daVinci ele possui diversos treinamentos disponíveis, inclusive um console falso(Figura 3.6) apenas para os cirurgiões treinarem em casos padrão. Os treinamentos tinham uma boa qualidade gráfica, como exposto nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5.

## 3.2

### **Shadowing: Acompanhamento de cirurgia aberta**

No *The impact of patient shadowing on service design: Insights from a family medicine clinic*<sup>2</sup>(AS et al., 2021), é exposto como a ferramenta de pesquisa de *shadowing*, ou seja, acompanhar o usuário e observar como ele usa o produto ou serviço, inicialmente sem interferir no contexto que ele já faz. Essa técnica tem o objetivo de observar realmente com uma visão sem vícios aquela rotina do usuário e com isso conseguir questionar mais como aquilo está ocorrendo.

<sup>2</sup>Tradução do inglês: O impacto da sombra do paciente na concepção do serviço: Percepções de uma clínica de medicina familiar



Figura 3.2: Exemplo dos controles usados durante a cirurgia robótica

Fonte: <<http://www.centerforherniarepair.com/robotic-hernia-repair/>>, Acesso em: 2 abr. 2022

No dia primeiro de março, coincidentemente o primeiro dia letivo da pós-graduação, surgiu uma oportunidade de acompanhar uma cirurgia de fígado junto ao cirurgião Ronaldo. O caso consistia em um transplante de fígado, devido a uma cirrose. A princípio de baixo risco, pois não havia uma questão que, inicialmente, complicasse a cirurgia.

Ao chegar no centro cirúrgico do hospital no hospital São Francisco de Assis da Providência de Deus no bairro da Tijuca da recepção fomos direcionados para o vestuário. Fomos paramentados com o equipamento necessário. Sapatilhas, touca e a camisa e calça próprias para a ocasião. Logo em seguida pude conferir o fígado sadio sendo preparado, (figuras 3.7 e 3.8). Foram cortados os principais vasos para ser possível posteriormente unir ao sistema circulatório do paciente. Essa etapa precisava extrair todas as imperfeições, como gorduras, alinhar cortes e inervações. Sem danificar o órgão, é claro.

Eram cerca de 7 pessoas na sala: instrumentadora, enfermeira, assistente de cirurgião, cirurgião, dois residentes e o anestesista, (3.9 e 3.10). É realmente uma atividade inerentemente coletiva. Contudo, muita da responsabilidade estava nas mãos do cirurgião. Pois os dois residentes (um deles já frequentava a equipe à cerca de 10 anos) não tinham prática suficiente e acabavam fazendo tarefas limitadas, sugar o sangue e no máximo fazer a incisão inicial e o assistente, apesar de ser cirurgião também, não possuía muita experiência



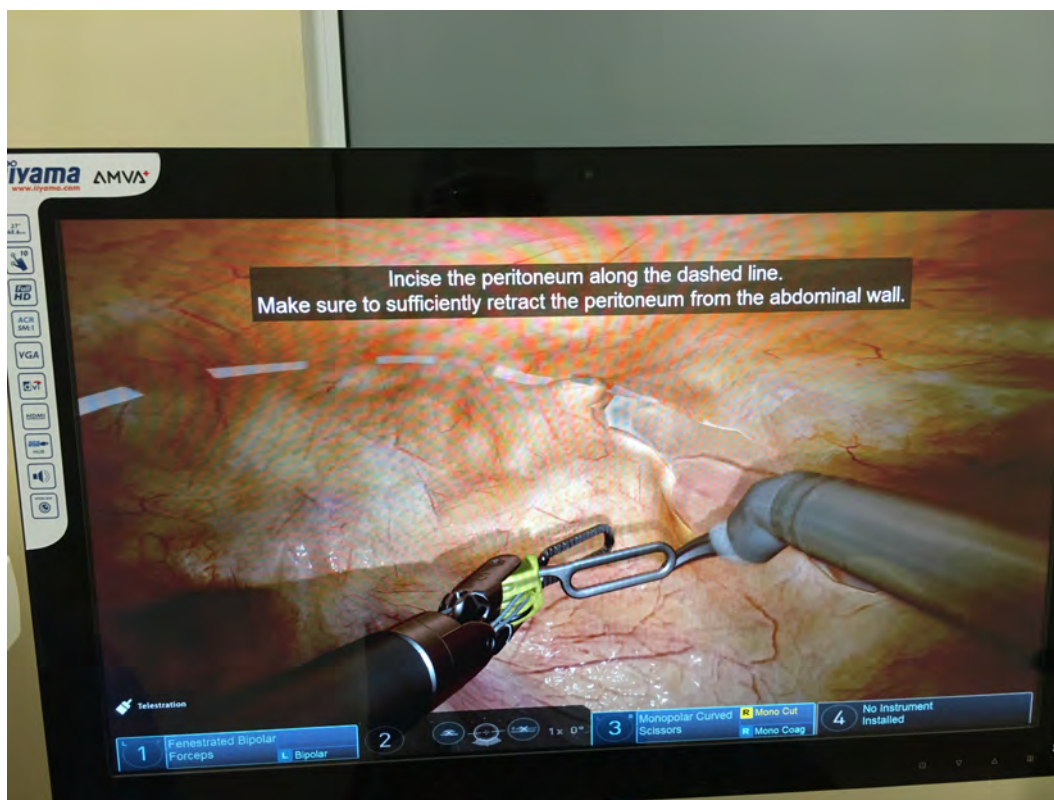


Figura 3.3: Simulador do daVinci de cirurgia de hernia

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

em cirurgias hepáticas. Resultando nele ser o mais tenso e atento na sala e precisando solicitar frequentemente que seus colegas fizessem suas partes da forma correta ou esperada.

Até aí foram utilizados alguns termos anatômicos para descrever o preparo do fígado sadio, contudo ao entrarmos na cirurgia esses termos, passaram a ser usados em uma frequência muito maior, então passaram a também falar sobre os procedimentos sendo feitos. Contudo, foi importante a presença do Dr. Ronaldo narrando a cirurgia, explicando o que estava sendo feito e demonstrando que muitas vezes os termos podem ser compreendidos contanto que seja usada uma linguagem simples como, por exemplo, o termo anastomose pode ser simplificado para reconexão dos vasos.



Figura 3.4: Simulador do daVinci de cirurgia de hernia  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 3.9: Cirurgiões operando o paciente  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador





Figura 3.5: Simulador do daVinci de cirurgia de hernia atingindo o vaso e sangrando.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 3.10: Pesquisador, o cirurgião Ronaldo Andrade e os demais da equipe cirúrgica durante o procedimento

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador



Figura 3.6: Console do simulador  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

### 3.3 Possibilidades de atuação encontradas

Esse projeto possui uma certa diversidade de oportunidades que guiaram as decisões ao longo da jornada. Elas podem ser divididas em oportunidade do usuário, do contexto e de aprendizado.

A oportunidade do usuário foi descoberta por entrevistas semiestruturadas e pesquisas de campo com foco em imergir no contexto dos cirurgiões, como exposto nos capítulos anteriores a esse. Um problema exposto pelo cirurgião durante as entrevistas foi relacionado à previsibilidade do procedimento. Isso ocorre devido à parte interna do fígado ser extremamente vascularizada, e esses vasos quando feridos, acabam por provocar um sangramento, esse problema pode ser remediado através da reconstrução 3D do exame de imagem do fígado, que permite que o cirurgião confira a posição dos vasos para não

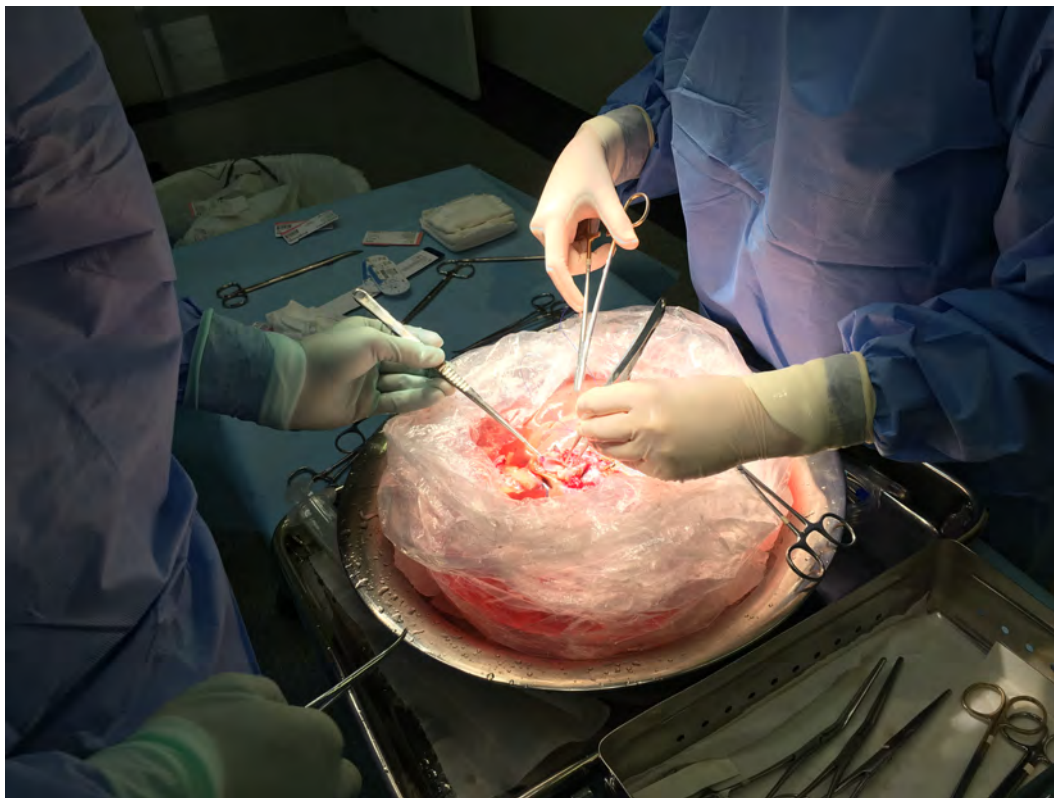


Figura 3.7: Limpando o fígado captado que irá ser transplantado.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador

acabar encostando em algum deles no momento de cortar o fígado.

Além disso, o cirurgião é um profissional com alta demanda de trabalho e possui diversas pessoas dispostas a aprender com ele. Por um longo período a forma tradicional de se aprender cirurgia foi o “*See one, do one, teach one,*” no qual o aluno aprende por observação, para em seguida praticar no paciente e assim que proficiente, conseguir passar o conhecimento adiante. Contudo, apesar desse modelo estar sendo usado há décadas, existem algumas restrições com relação ao uso dele. Estudos demonstraram que 28 a 42% dos residentes se sentem inadequadamente treinados para realizar com segurança vários procedimentos médicos práticos (WT; PW, 2003) e (MD et al., 2004), como a colocação de cateter venoso central sozinho pela primeira vez. Com isso, o ambiente cirúrgico fica cheio, com diversos residentes apenas observando o procedimento. Ainda que executar seja a principal forma de aprendizado (Como diz uma das conclusões do artigo (KOTSIS et al., 2013)), como demonstrado na Figura 3.11. Outro fator que inviabiliza a atuação prática, é o risco para os pacientes envolvendo a inexperiência dos cirurgiões aprendizes.



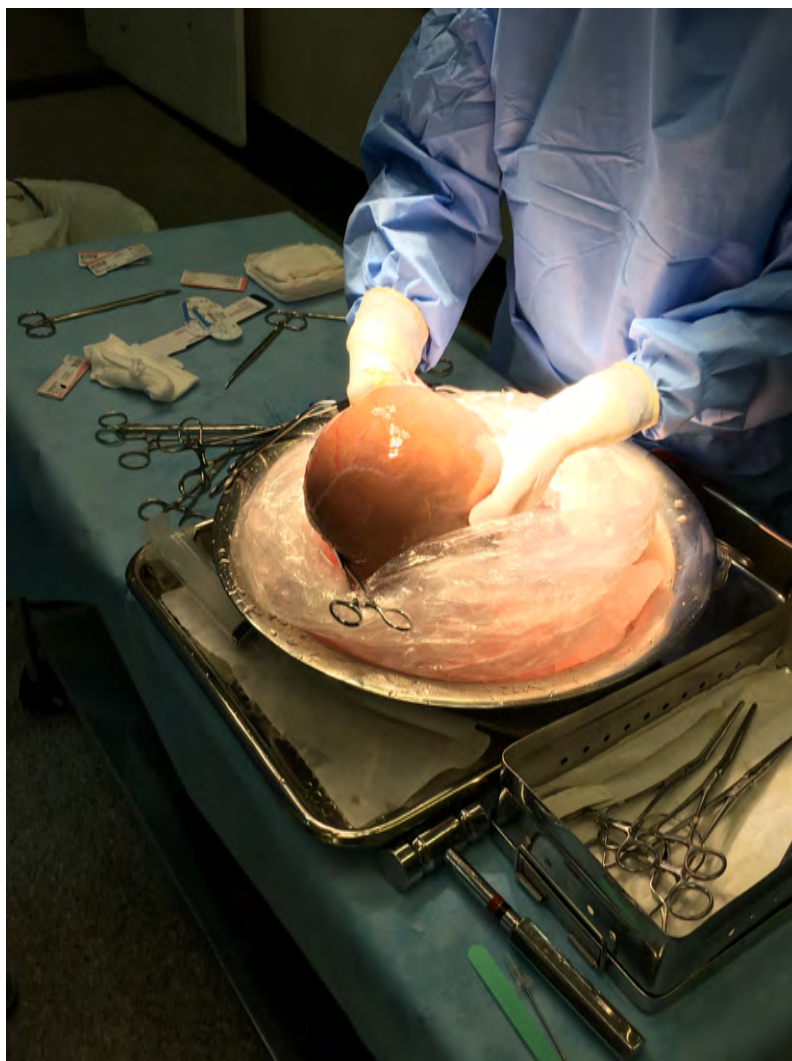


Figura 3.8: Limpando o fígado captado que irá ser transplantado.  
 Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador

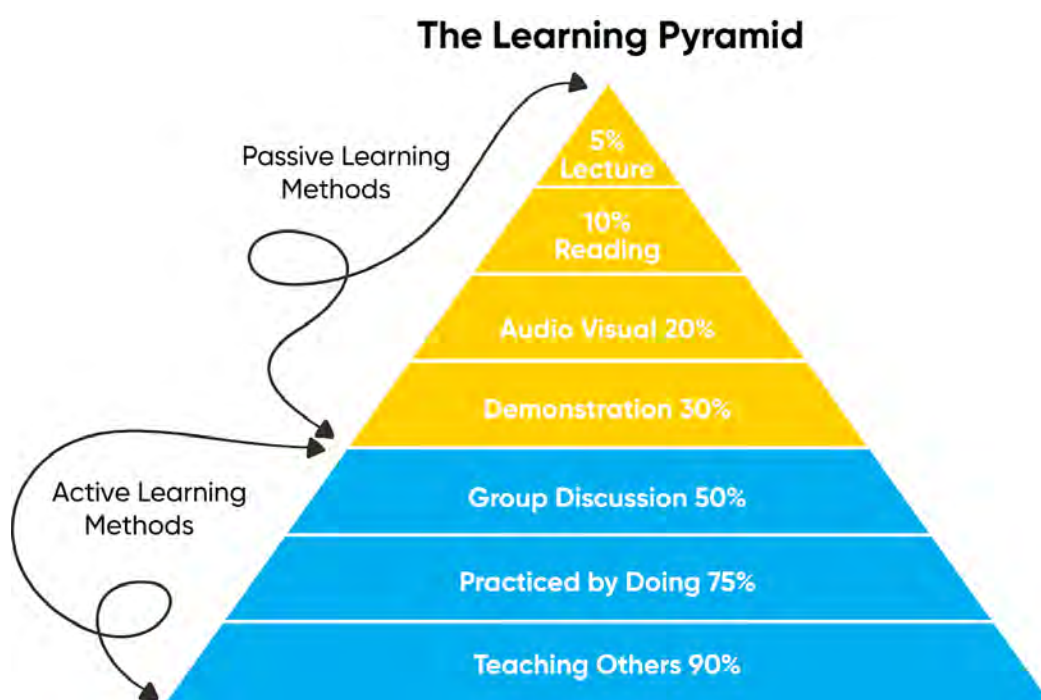


Figura 3.11: Formas de aprendizagem  
 Fonte: <<https://www.arlo.co/blog/overview-of-the-learning-pyramid-for-training-providers>>, 2022

Com relação à oportunidade do contexto, inseridos no BioDesignLAB da PUC-Rio, tendo em vista usar novas tecnologias para avanços na saúde. Laboratório esse que, por herdar muito da experiência adquirida no *Núcleo de Experimentações Tridimensionais*(NEXT), lida muito com visualização e reconstrução 3D a partir de exames médicos com a saída digital e física. Para isso, são usados softwares como os das Figuras 3.12, 3.13 e 3.14 e também 3.15

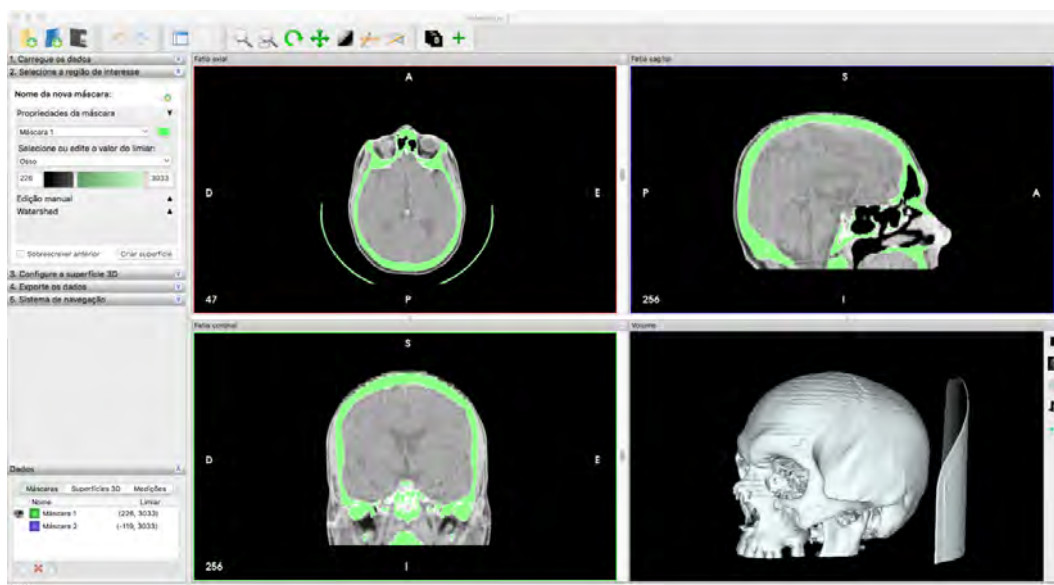


Figura 3.12: Captura da tela do software Invesalio.

Fonte: (AMORIM et al., 2014). Invesalio: Software Livre de Imagens Médicas

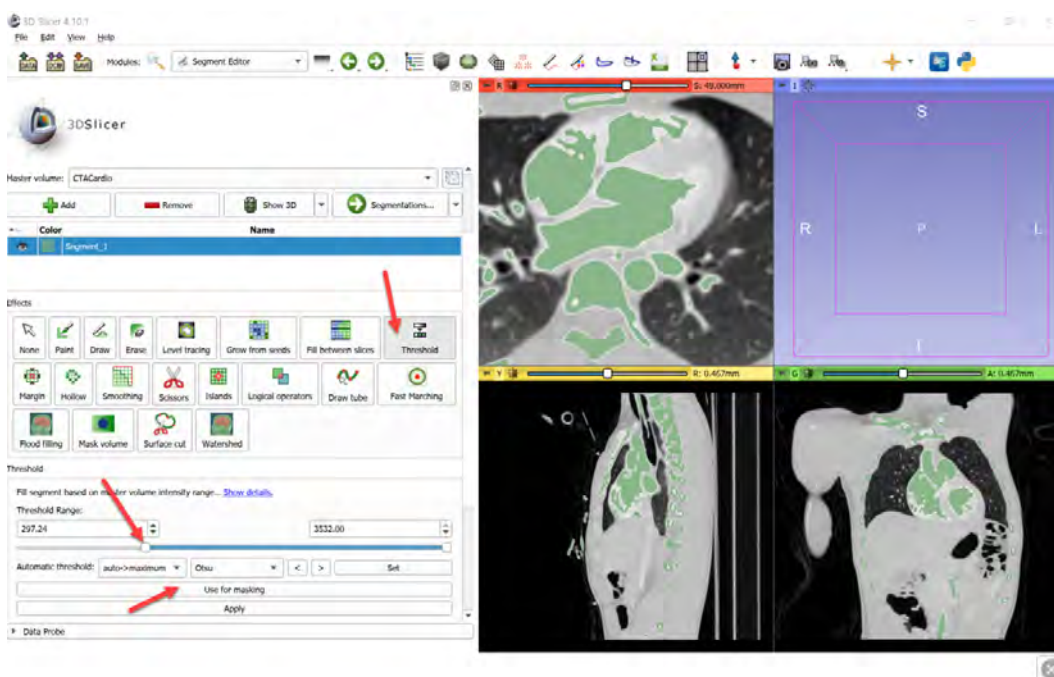


Figura 3.13: Captura da tela do software 3DSlicer.

Fonte: <<https://www.slicer.org/wiki/Documentation/4.10/Training>>, 2021

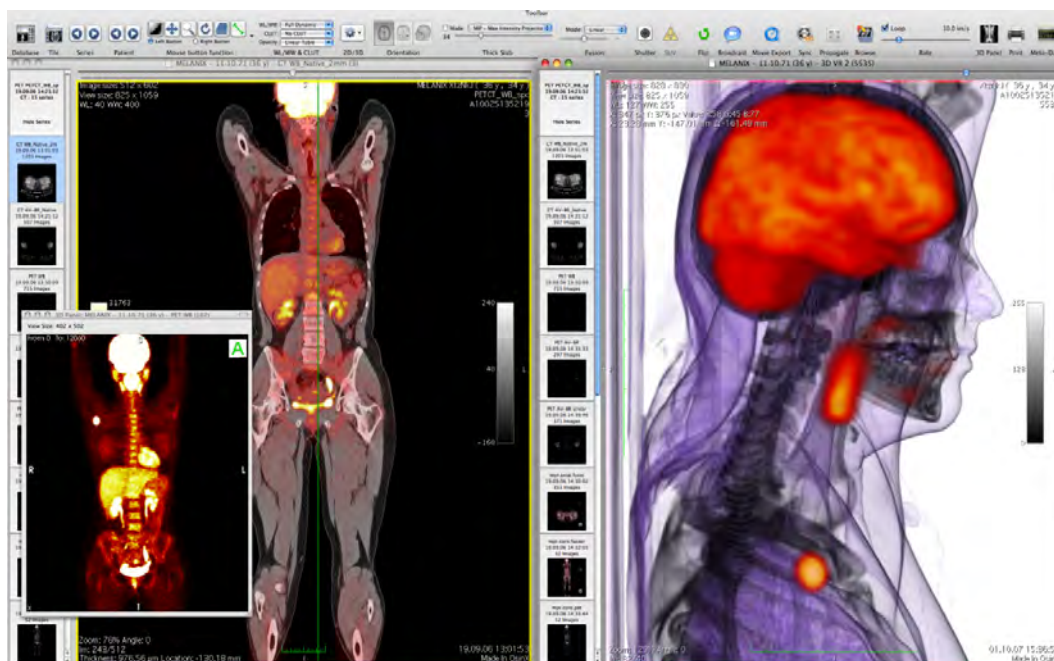


Figura 3.14: Captura da tela do software Osirix.

Fonte: <<https://software.com.br/p/osirix>>, Acesso em: 18 Jun. 2022

Somado a isso, os cirurgiões que estávamos lidando eram do HSL que possui um departamento de cirurgia torácica, principalmente de fígado. Que deseja usar esse contexto com ferramentas para desenvolvermos ferramentas em conjunto com os profissionais do hospital. Além disso, existe um interesse no contexto da saúde além da impressão 3D, já estruturada no laboratório, como demonstrado nas imagens 3.15 e 3.16 abaixo. Para novas tecnologias relacionadas a realidade virtual, aumentada e mista, possivelmente seria interessante desenvolver algo nesse sentido devido à maior imersão proporcionada pela simulação.





Figura 3.15: Prateleira da sala multiuso no laboratório BioDesignLAB  
Fonte: Imagens obtidas pelo pesquisador



Figura 3.16: Prateleiras de impressões 3D no laboratório BioDesignLAB  
Fonte: Imagens obtidas pelo pesquisador

## 4

### Experimento I: Simulador de cirurgia (Treinamento)

#### 4.1

##### Descrição do experimento

Abordamos dessa forma, porque abrir e fechar o abdome do paciente é parte recorrente em todas as cirurgias abdominais, tornando ela mais fácil de executar para a equipe experiente. Logo, não precisando ser abordada durante experiência. Além dessa, cortar o fígado em locais diversos, existindo a possibilidade de errar e por fim identificar que determinada parte do fígado foi separada do todo e assim concluir a experiência. Sobre os gargalos relacionados à usabilidade, alguns deles seriam relativos a entender o que fazer logo que entrasse na sala em um dispositivo muitas vezes inédito para o usuário e sobre como expor o uso do sistema no próprio sistema, porque seria inviável ter alguém sempre para auxiliá-los durante a experiência, então foi criada uma sequência de avisos(*pop-ups*) como na Figura4.1.

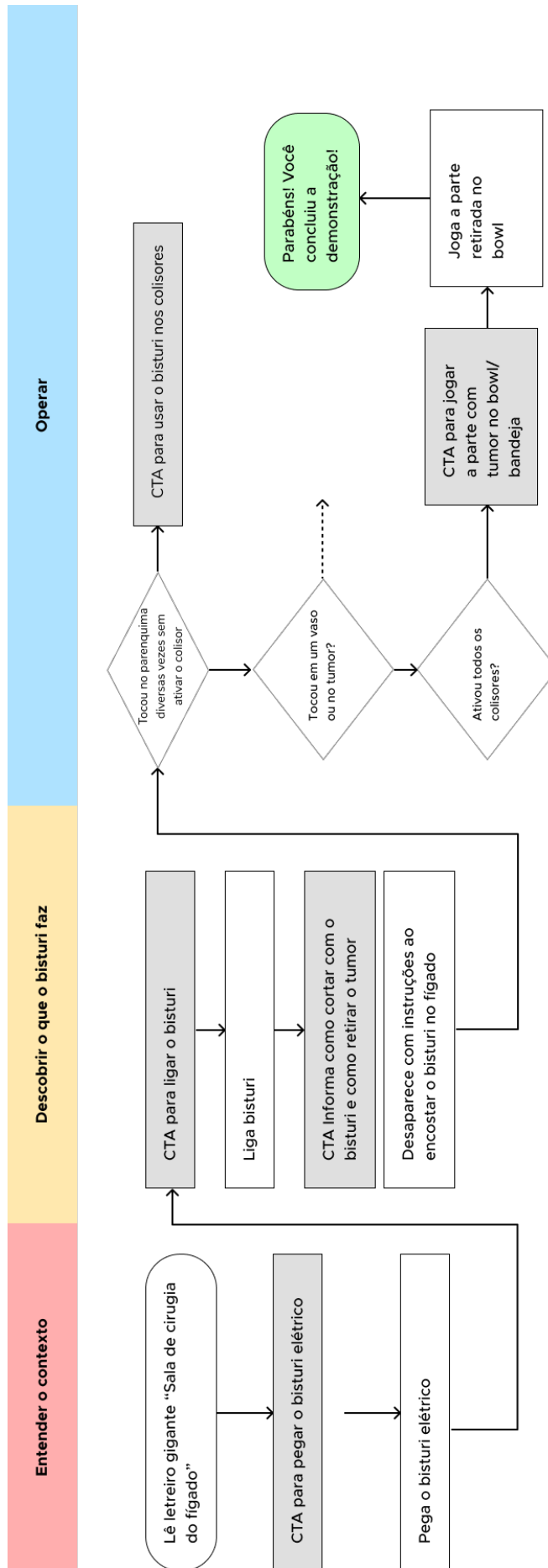


Figura 4.1: Fluxograma do funcionamento geral da experiência  
 Fonte: Imagem gerada pelo pesquisador

Para viabilizar a parte de retirar pedaços do fígado usamos a biblioteca desenvolvida por um engenheiro de software, Rian Schmidt, através do seu site, onde demonstra como lidou com aplicações de modelagem em tempo real durante toda a sua trajetória profissional e hoje integra o time da Unreal que disponibiliza alguns de seus projetos usando a *Procedural Mesh* e *Polygonal Mesh* da Unreal Engine<sup>1</sup> que viabilizaram o desenvolvimento dessa parte da aplicação.

Ainda sobre retirar parte do fígado foi realizada uma adaptação. E entendemos que ela seria somente retirada caso o usuário acertasse exatamente o melhor caminho para a retirada do tumor. Fizemos então uma forma onde caso o usuário passasse por todos os colisores com o bisturi virtual sem tocar em um colisor responsável por um vaso, o simulador fazia uma operação “booleana” termo definido como relativo a George Boole (1815-1864), matemático inglês, ou aos seus trabalhos (DICIO, 2008) que fundamentaram a forma de se subtrair, adicionar e realizar interseções entre superfícies. No caso, entre a área cortada e a área predefinida como melhor local de corte. Logo o fígado do simulador consistia em 3 modelos distintos, como na Figura 4.2.

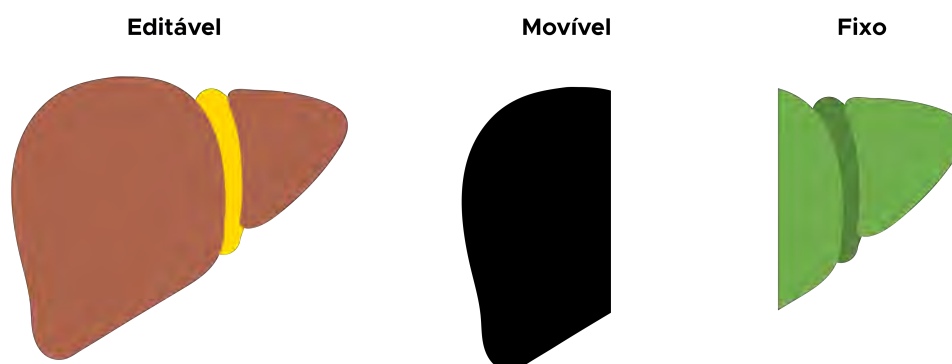


Figura 4.2: Imagens demonstrando os modelos do experimento.

Fonte: Imagem gerada pelo pesquisador

O modelo editável é o modelo principal o qual a estrutura é subtraída pela ponta do bisturi virtual. Para viabilizar a “ilusão” de que o usuário está de fato cortando o fígado, o bisturi disparava da sua ponta esferas com baixo polígono por uma curta distância e essa esfera, além de ativar os colisores responsáveis por indicar o fim da experiência, fazia uma operação de subtração da superfície do projétil com a malha tridimensional do fígado editável, assim fazendo um corte “duro” na malha 3D, como na Figura 4.3.

<sup>1</sup>Programa para desenvolvimento de aplicações 3D utilizado para concretizar o experimento

Contudo, a cada disparo do bisturi a malha ficava cada vez mais pesada, devido às interseções das subtrações entre os polígonos se sobreporem, ponto de ficar inviável de progredir na experiência após certo ponto. Logo, após 3 segundos, que o bisturi é usado, a malha do fígado editável era reconstruída como na imagem 4.4 e readaptada para a mesma quantidade de polígonos de anteriormente.

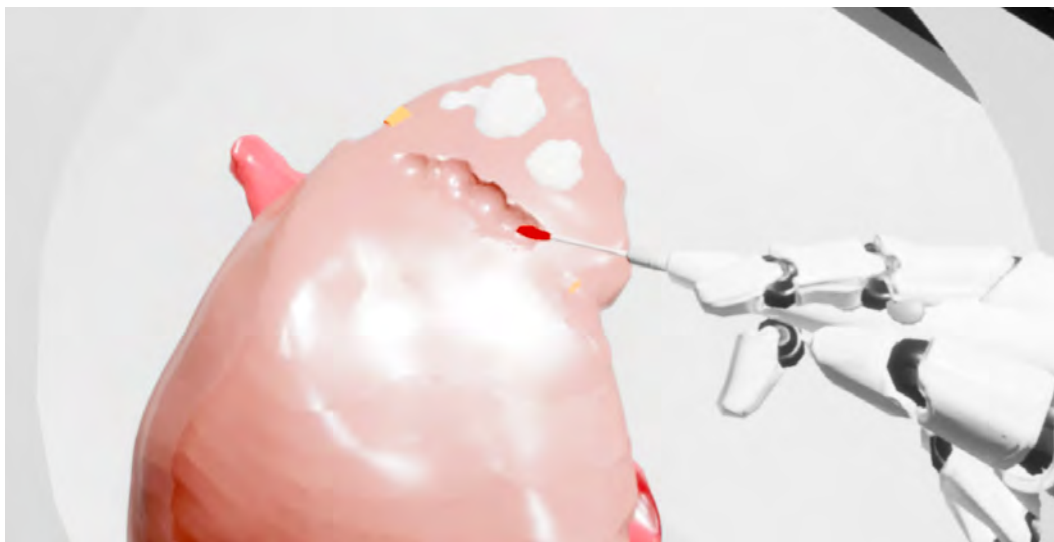


Figura 4.3: Corte “duro” durante a simulação.

Fonte: Imagem obtida do software pelo pesquisador

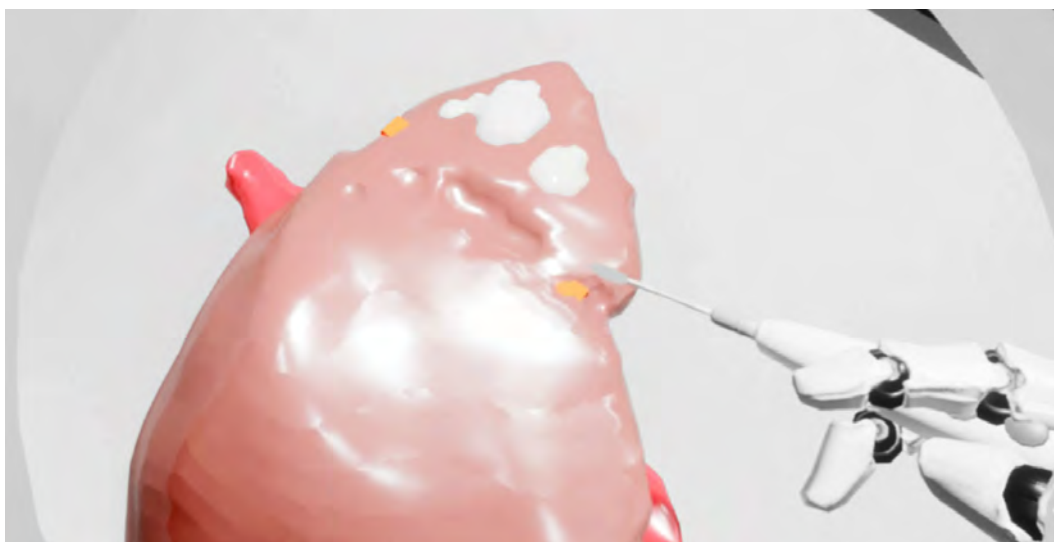


Figura 4.4: Corte após a malha se readaptar para não permanecer com uma quantidade de polígonos alta.

Fonte: Imagem obtida do software pelo pesquisador

Ao fim da experiência, após o usuário passar com o bisturi ligado em todo o caminho para a retirada do modelo móvel(Essa peça do fígado virtual é chamada de móvel, por ter a possibilidade de se mover caso o usuário atinja

a etapa final da experiência. Caso contrário, ela nunca chegará a ser uma parte móvel, ou mesmo visível). Ao passar por todos os colisores, os modelos móvel e fixo, se tonam visíveis e o modelo editável faz uma booliana de intercessão eles e em seguida o modelo editável desaparece, como demonstrado na imagem 4.5. Tudo isso sem o usuário se dar conta. Após isso, todos os modelos estão com a forma coerente com o corte feito e o usuário consegue com as mãos livres segurar o modelo móvel e concluir a experiência colocando ele dentro do recipiente metálico.

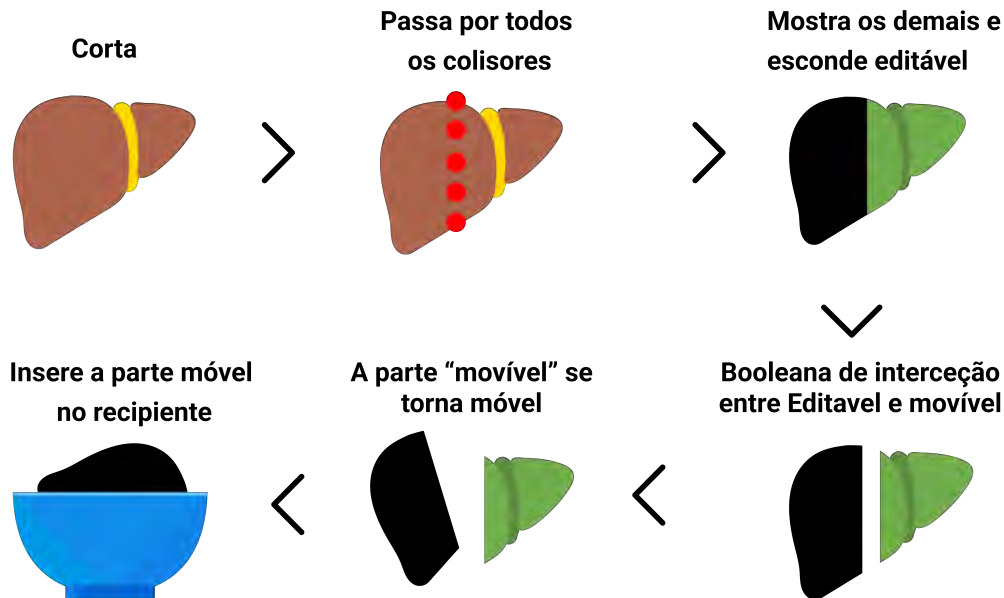


Figura 4.5: Fluxograma do funcionamento da operação booleana.

Fonte: Imagem gerada pelo pesquisador

## 4.2

### Testes

Desde o início, fizemos a opção de abordar a cirurgia hepática como foco da simulação. Contudo, com testes com especialistas pudemos perceber limitações na forma como desenvolvemos a aplicação que distanciaram o software da cirurgia real. O primeiro fator foi a parte do corte, que apesar de cortar o fígado e termos consciência de quais locais estão sendo cortados, não é compatível com a reação do fígado quando o cirurgião utiliza o bisturi elétrico. Por, além da parte visual do local ficar com aspecto de queimado, o fígado não perde tecido e se mantém estático, embora seja um tecido mole. Porque durante a cirurgia, para manter o órgão o mais estático possível, independentemente de desconectar ele de veias e artéria que mantém ele em sua posição normalmente. Na cirurgia, são colocados alguns fios que tracionam o órgão e o mantêm no

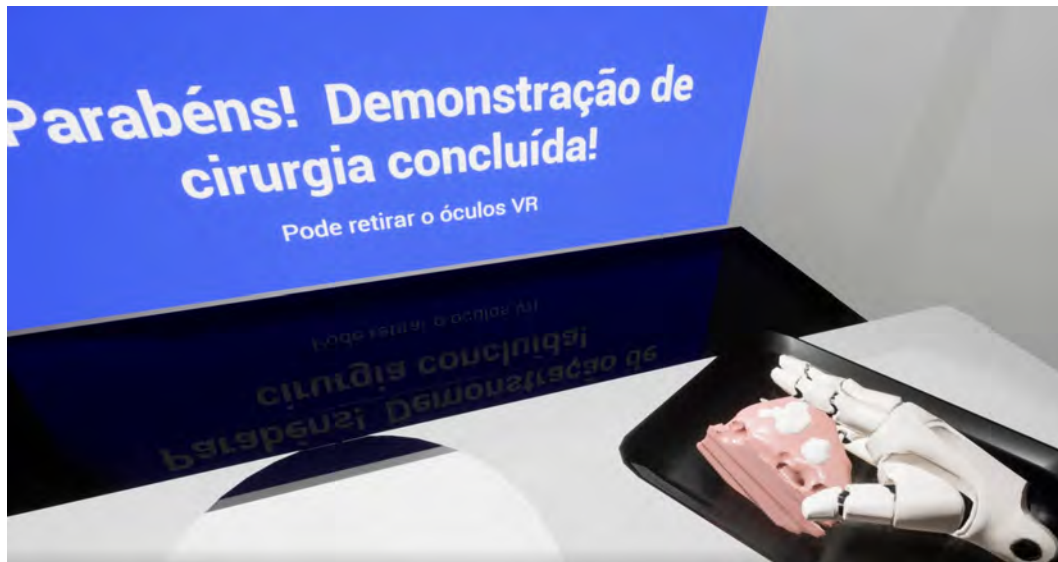


Figura 4.6: Inserindo modelo móvel (no momento já no estado móvel) no recipiente e concluindo a experiência.

Fonte: Imagem obtida do software pelo pesquisador

lugar. Contudo, ao cortar determinada parte ela vai abrindo, como um “livro”, conforme o parênquima é cortado, devido aos fios ainda estarem tracionando aquela área. Outro complicador foi como foi implementada a retirada da parte do fígado após a hepatectomia. Porque, caso o usuário acabasse por elaborar um trajeto um pouco diferente da expectativa, ficava uma parte do fígado parecendo estar pairando, o que não é a conclusão mais realista.





Figura 4.7: Médico utilizando o simulador  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador





Figura 4.8: Médico utilizando o simulador

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador

Nos testes com os usuários também foi percebida uma dificuldade grande de saber o que fazer em cada etapa e como reagir às mudanças, então, colocamos indicadores na interface que descreviam os passos que o usuário deveria seguir para concluir com êxito a experiência, como demonstrado na Figura 4.1. Optamos por esse caminho por se tratar do controle do equipamento HTC Vive/Cosmos<sup>2</sup> que por ser dos modelos antigos não tinha uma ergonomia tão boa, apesar de buscar usar os botões com a maior semelhança possível em relação ao do bisturi elétrico real. Nas Figuras 4.7 e 4.8 algumas cenas dos testes.

### 4.3

#### **Conclusões relacionadas ao experimento.**

O objetivo desse experimento, como dito anteriormente, era o de exercitar o treinamento de médicos. É importante salientar a complexidade para o desenvolvimento da abordagem escolhida para a oportunidade de **treinamento**. E abordar tanto a parte fazer a ferramenta quanto a de tornar a mesmo inteligível para o usuário. Ainda mais se tratando de uma plataforma como o equipamento **HTC Cosmos** e toda a programação se basear na alteração da malha poligonal em tempo real, devido a isso, sendo necessário um desktop com generosa capacidade de processamento.

<sup>2</sup>Aparelho preparado para realidade virtual lançado em 2019 pela HTC ele apenas funcionava conectado a um PC e sua principal vantagem em relação ao antecessor da própria empresa era não precisar mais dos sensores nas extremidades da sala

Dito isso, foram observadas diversas barreiras, pelo Head Mounted Display (HMD) não ter um valor acessível para grande parte das pessoas e esse, por muito tempo, foi um dos fatores que freou a popularidade de dispositivos para acessar a realidade virtual com mais qualidade. Ademais, houve a complexidade que a plataforma demandava para o seu desenvolvimento e a lacuna demonstrada entre a simulação apresentada e verossimilhança mínima com a realidade encontrada na sala de cirurgia para se demonstrar uma ferramenta de treinamento viável. Portanto, foi importante para expor e demonstrar a técnica, a nova tecnologia e suas possibilidades.

## 5

# Experimento II: Visualizador de exames (Auxílio ao diagnóstico)

### 5.1

#### Oportunidade

Durante primeiro mês de imersão no ecossistema de saúde, um lugar muito recorrente foi o CDPI localizado no Barra Shopping, na Barra da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro. Lá pude entender um pouco da rotina dos médicos que lá trabalhavam, em sua maioria radiologistas. Um fator interessante foi perceber que cada um tinha sua área do corpo de especialidade dentro radiologia. Mas, o produto final do trabalho acabava sendo um bom laudo retratando o que viram no exame.

Lá pude ver também uma área nova, que estavam chamando de *departamento de reconstrução de exames de imagem em 3D* (RECON) localizado no CDPI do Barra Shopping que pegava os exames, gerava modelo tridimensional por meio de *voxels*<sup>1</sup> e renderizava uma imagem ou um conjunto de imagens para anexar ao laudo e ao exame normal. Ela somada ao que chamaram de sala de impressão 3D, o local onde fui inicialmente e foi meu ponto de conexão com os demais do espaço.

No local eram realizadas diversas impressões 3D para a análise do corpo médico e já haviam sido conduzidos experimentos com visualização virtual dinâmica desses modelos impressos. Contudo, haviam limitações na movimentação e na manipulação da visualização do que era manipulado. Além de uma interface de usuário praticamente inexistente, contando apenas com o teclado como ferramenta de input.

Era recorrente a questão que muitas vezes o médico solicitante do exame gostaria de poder abrir o exame e conferir no próprio computador. Entretanto, não sabia como fazê-lo. Logo era utilizada a impressão 3D ou as imagens estáticas geradas pela RECON. Que resolviam o problema, mas tinham questões não atendidas, pois nas imagens, só era possível perceber

<sup>1</sup>(in computer-based modeling or graphic simulation) each of an array of elements of volume that constitute a notional three-dimensional space, especially each of an array of discrete elements into which a representation of a three-dimensional object is divided. Traduzindo do inglês: (em modelagem computadorizada ou simulação gráfica) cada um de uma série de elementos de volume que constituem um espaço tridimensional notional, especialmente cada um de uma série de elementos discretos nos quais uma representação de um objeto tridimensional é dividida

pelos ângulos e apenas as partes determinadas e a impressão 3D tem a limitação espacial de ter que enviar para o local.

Um problema latente por estarem abordando ele por diferentes ângulos na organização. Decidiu-se, portanto, que seria benéfico permitir ao requisitante do exame visualizasse o mesmo que o radiologista ou que a pessoa que prepara a impressão 3D. Isso poderia viabilizar uma percepção melhor do paciente sobre sua patologia, permitindo que o médico exponha uma imagem inteligível da situação e também tenha uma nova visão e possa rever procedimentos em relação ao laudo.

## 5.2

### Escopo e processo

Visando desenvolver uma aplicação que funcione na maioria dos computadores das pessoas, optamos por fazer um software para Windows. E que tivesse os melhores visuais, para esse objetivo escolhemos fazer na Unreal Engine 4 por conseguir atingir visuais mais interessantes com menos complexidade de serem produzidos do que se fosse desenvolvido em outras *engines*<sup>2</sup>. A opção foi feita por desenvolver para desktop por já existir uma solução interna da Dasa para smartphones e por ser algo existente na maioria dos consultórios. Então, o projeto foi feito via pequenas entregas a cada 15 dias, quando então era testado pela equipe do CDPI.

## 5.3

### Visualização e opacidade das estruturas

Essa é a funcionalidade mais elementar e, portanto, teria que funcionar bem, porque as demais dependiam dela para serem eficazes. Para a iluminação fizemos um esquema de 3 luzes, uma chave pela lateral, uma atrás para dar contorno e uma luz contrária a chave para preencher. O fundo é uma esfera que também sofre interferência dessas luzes. Para gerar mais imersão, optamos por tratar as cores e materiais de forma que mimetizassem os órgãos reais como na imagem 5.1 abaixo.

<sup>2</sup>Programa de computador e/ou conjunto de bibliotecas, para simplificar e abstrair o desenvolvimento de jogos eletrônicos ou outras aplicações com gráficos em tempo real, como a Unreal Engine utilizada para desenvolver o experimento anterior

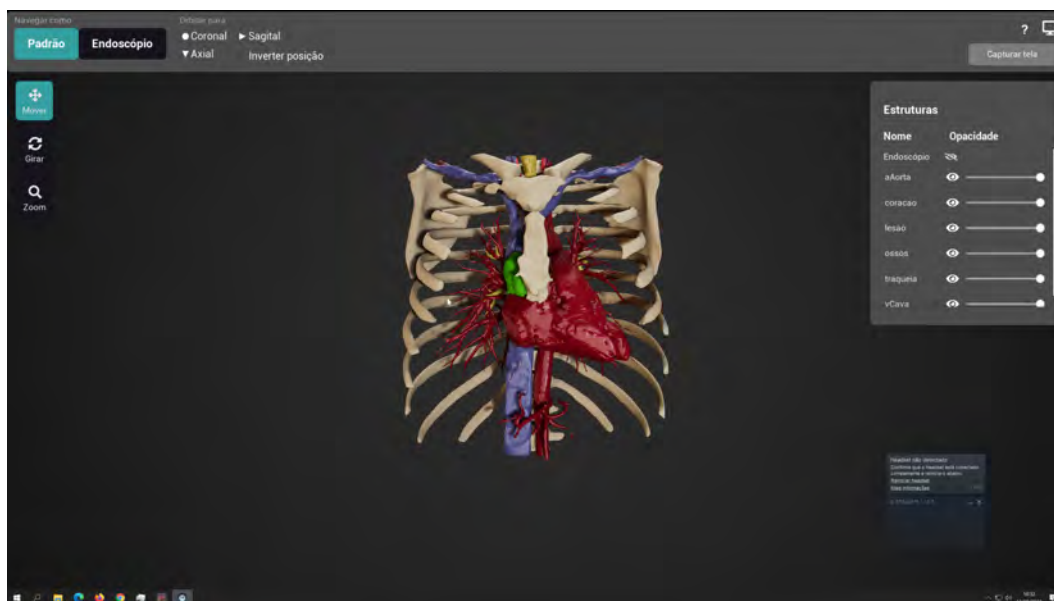


Figura 5.1: Interface da última versão do aplicativo com um modelo já carregado.

Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

“Estruturas” é o nome usado por eles para tratar de forma genérica as partes do corpo humano. Além disso, optamos por deixar a ferramenta de mudança de opacidade sempre visível para reduzir as possíveis dúvidas que ele poderia ter sobre retirar a camada inicial de pele presente no modelo. Adicionamos também um botão com ícone de olho para ser possível sumir com estruturas com apenas um clique. Uma questão própria da Unreal que dificultou a execução dessa etapa, foi a necessidade de escolher entre os tipos de materiais para um modelo. Contudo, o material transparente (e translúcido) funcionava diferentemente do opaco. Sendo que o esse material fazia com que tivesse que escolher a ordem de renderização do modelo 3D e não a própria *engine* deduzir qual modelo está na frente ou atrás. Uma forma rápida de desenvolver isso foi através do “*dithering*”<sup>3</sup> da malha, ou seja, simular a transparência através da ocultação de alguns pixels da malha de forma randomizada. Essa técnica funciona bem para o caso em questão por simular a transparência com o material opaco e inclusive expor o objeto de trás às luzes do ambiente sem grandes questões. Contudo, apesar de funcionar e simular o efeito, ele ainda pode causar estranheza em alguns casos, pois se assemelha a um ruído na imagem gerada.

<sup>3</sup>Equivalente a pontilhamento

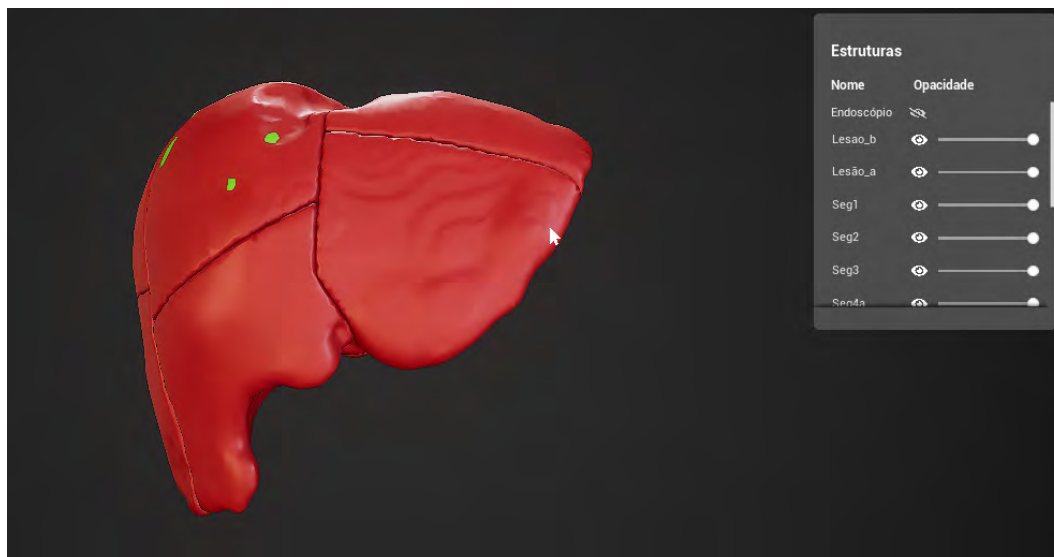


Figura 5.2: Fígado completamente opaco  
Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

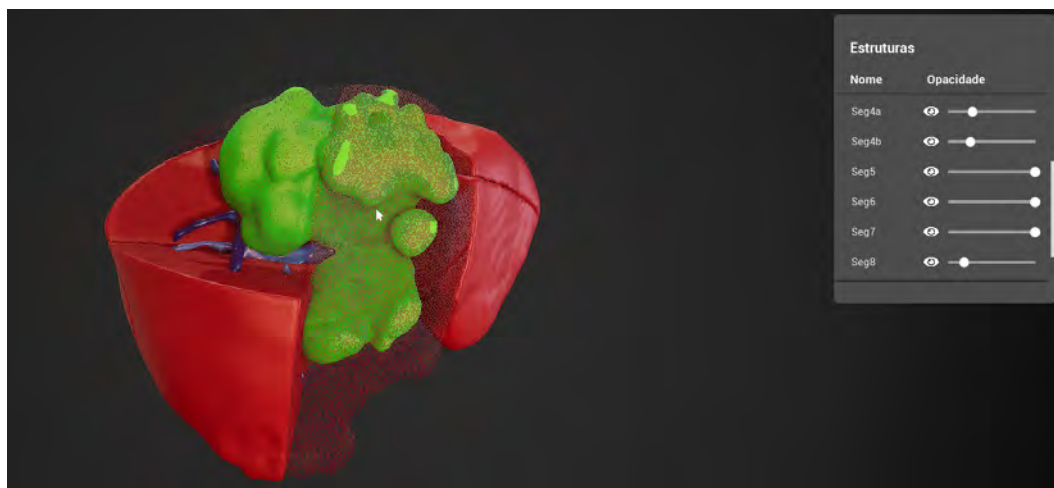


Figura 5.3: Alguns segmentos do fígado semitransparentes  
Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

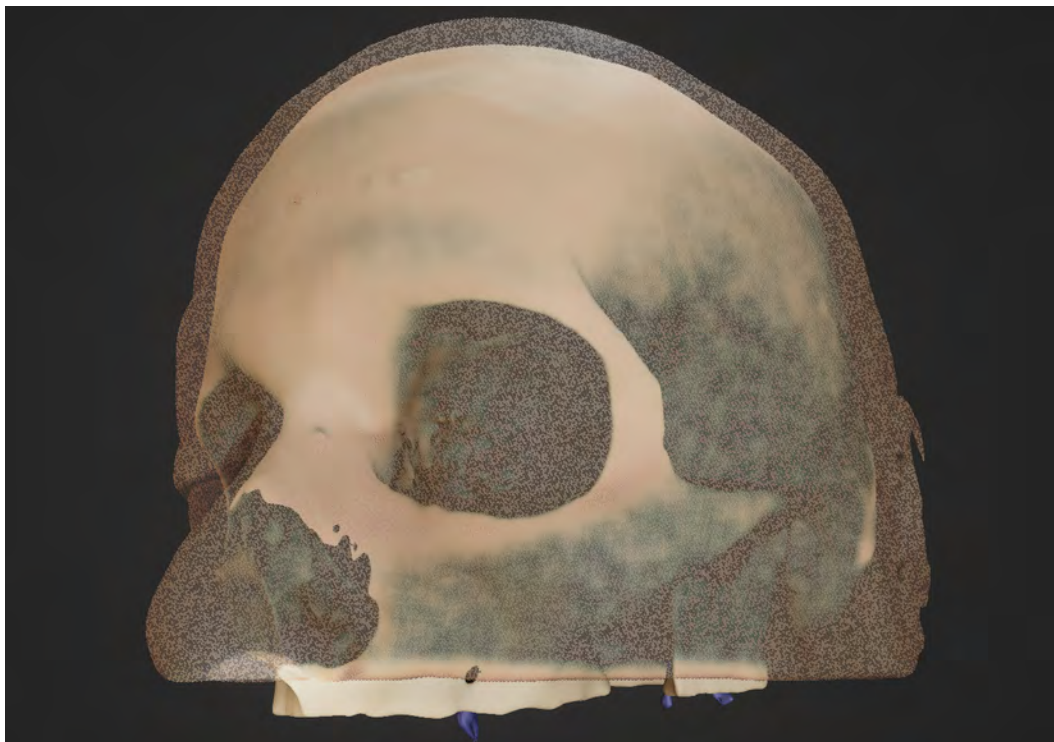


Figura 5.4: Exemplo da pele da face semitransparente, exemplificando ruído. Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

#### 5.4 Controles de movimentação

Com relação aos controles de navegação, pressionar a roda do mouse permite mover a câmera e girá-la ativa o zoom, já o botão direito orbita a câmera, ao redor das estruturas no padrão ou em volta de si mesmo no modo endoscópico. Contudo, durante os testes com os usuários foi observado dificuldade em usar apenas esses controles e uma forte intenção de usar apenas o botão esquerdo do mouse, que é um tipo de padrão das aplicações já utilizadas por eles. Com isso, foram feitas diversas adaptações para a melhor usabilidade da aplicação. Por exemplo, a utilidade de pressionar o botão esquerdo do mouse é relativa a qual opção está selecionada no menu com ferramentas à esquerda da aplicação. Esse menu também poderá ser utilizado para qualquer funcionalidade futura que envolva um clique específico do mouse.

Adaptamos também a velocidade de movimento da cena relativo ao quanto se move do mouse. Tiveram que ser utilizadas velocidades diferentes para a endoscopia e para o modo padrão. A endoscopia precisa ter uma movimentação mais suave, pois o objetivo é navegar pelas de vias do corpo sem escapar pelas laterais. E o modo padrão pode ser mais rápido por estar a uma distância significativa e precisar que o movimento do mouse seja responsivo.



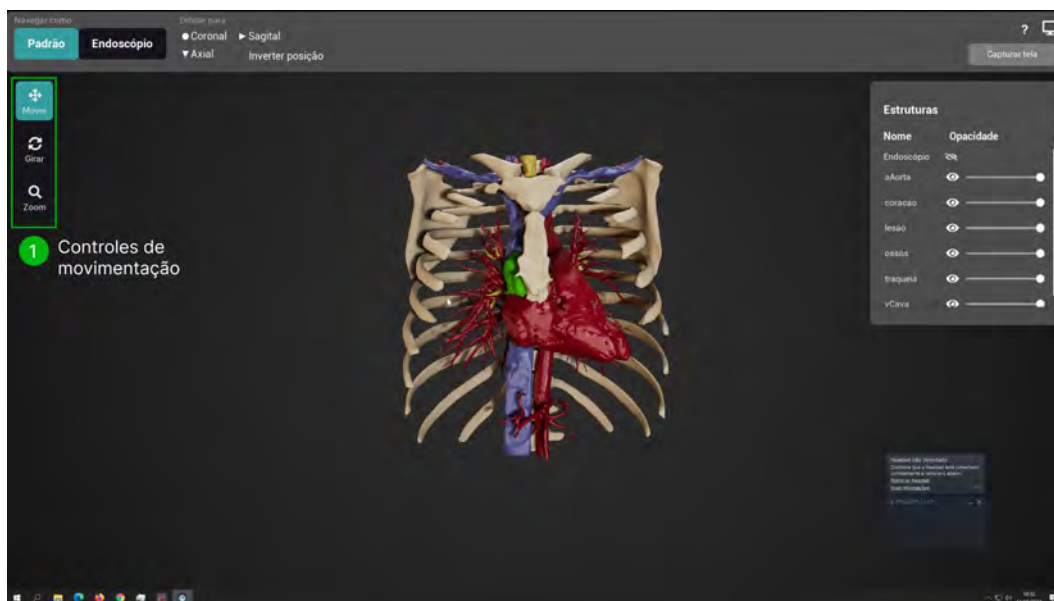


Figura 5.5: Imagem do software localizando os controles de Movimentação.  
 Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

Outro ponto interessante que para os usuários, foi a direção relativa à movimentação feita com o mouse. Por exemplo, em softwares tradicionalmente ligados à área de design como 3Ds Max, Maya, Blender, entre outros, a direção que movemos o mouse para mover o que queremos ver move o contexto de uma forma invertida. Porque não estamos de fato movendo os objetos e sim a câmera que os observa. A lógica já vivida por eles é que nessa aplicação o usuário parece estar movendo o objeto de fato e assim, o lado que o objeto move é o mesmo que a câmera simulando assim esse efeito.

## 5.5 Navegação

O CDPI possui exames de imagem no seu portfólio que possuem o objetivo de ser uma “endoscopia”<sup>4</sup> por “fotos” de determinada parte. Esse exame nada mais é do que pegar o exame já segmentado pela RECON e gerar diversas imagens do trajeto para simular esse mesmo efeito. Mas agora, possibilitando ao médico dizer qual caminho ele quer seguir, o modo endoscópio foi inserido no visualizador.

O modo fica localizado no canto superior esquerdo da interface (Figura 5.8, marcação 2 em lilás), permitindo uma mais fácil percepção da existência da funcionalidade que é importante já que a principal função do visualizador

<sup>4</sup>Endoscopia é um procedimento usado na medicina para olhar dentro do corpo. O procedimento de endoscopia usa um endoscópio para examinar o interior de um órgão ou cavidade corporal. Ao contrário de muitas outras técnicas de imagem médica, os endoscópios são inseridos diretamente no órgão.



é observar o modelo 3D. Ele está em um interruptor da interface, com o modo padrão. Porque quando um está ativado, o outro, deixa de estar e assim conseguimos expor a existência dos dois modos para quem usasse. Optamos também por criar uma máscara circular da cor preta por 2 motivos, salientar que está em um modo de visualização diferente e também para o médico usuário possa associar com a endoscopia que ele já conhece.

Esse modo tem o propósito de navegar dentro das estruturas e permitir que o usuário tenha maior flexibilidade nessa movimentação na estrutura. Isso permite que ele veja exatamente no caminho onde esta a possível patologia e ainda fornece um mapa no canto direito inferior que sempre está fixo na posição de frente que indica onde o endoscópio está localizado na anatomia como na Figura 5.6. E esse modo de visualização segue com todas as funcionalidades do outro, como medida e alteração da opacidade das estruturas.

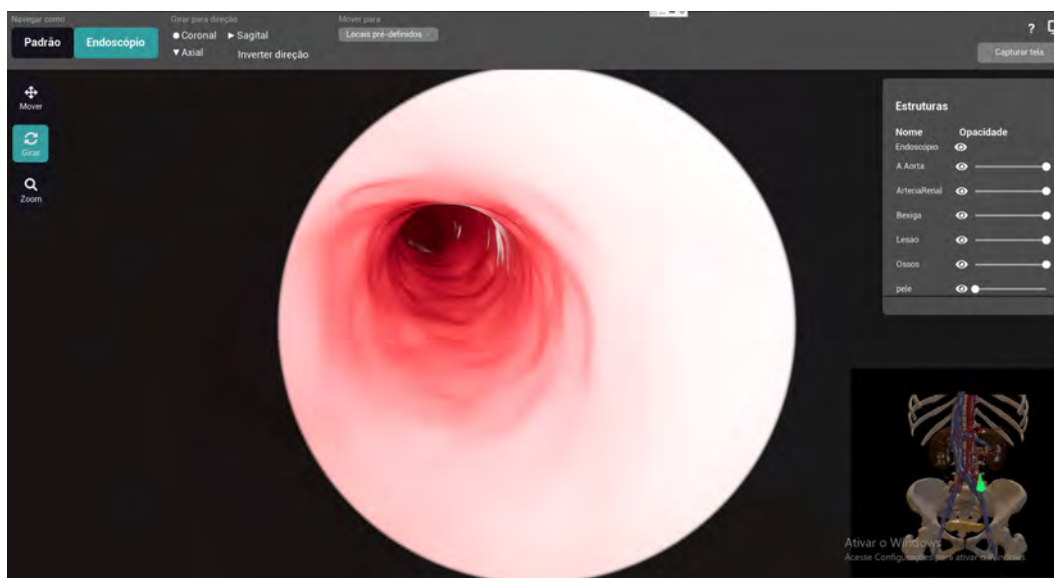


Figura 5.6: Visão do endoscópio  
 Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

Esse modo permite que o usuário de fato tenha a sensação de navegar na estrutura, pois diferente do modo padrão que orbita um ponto central, no modo endoscópio o usuário gira ao redor de si mesmo como se estivesse girando a cabeça. Para facilitar ainda mais o ato de navegar optamos por permitir que usuário utilize as teclas para se movimentar W(frente), A(esquerda), S(atrás) e D(direita). Como não necessariamente os usuários são jogadores de videogame, optamos por toda vez que ele entrar pela primeira vez no modo endoscópio, logo após a abertura do visualizador, ele vê uma imagem informando sobre esses controles.

No mesmo interruptor na interface disponibilizamos controles para posicionamento mais fácil do modelo 3D (Figura 5.8 na marcação 3, em amarelo).

Possuindo controles para as posições sagital, axial e coronal, as quais são as vistas representadas na imagem 5.7.

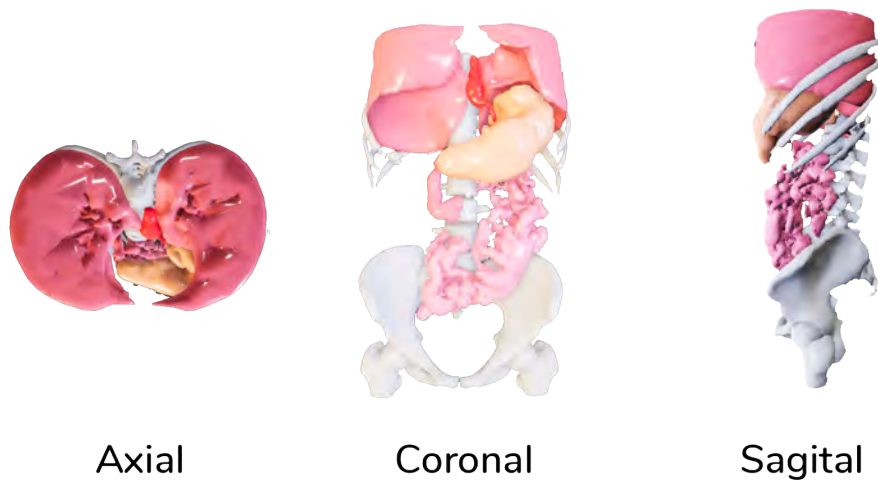


Figura 5.7: 3 imagens com as respectivas opções para se orbitar  
Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

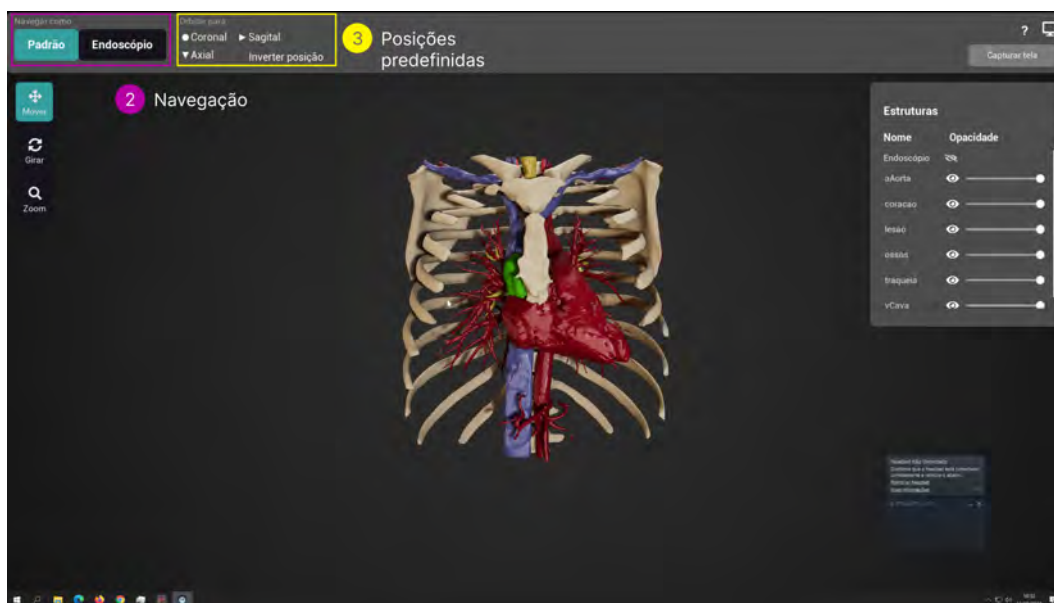


Figura 5.8: Localização da seleção do modo de movimentação do aplicativo.  
Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

Além disso, também disponibilizamos uma ajuda sobre as movimentações na parte de ajuda do programa que já esperamos não ser uma sessão do software muito utilizada. Mas, serve para quem tiver muita dúvida conseguir ajuda sem precisar de uma pessoa como nas imagens 5.9 e 5.10.

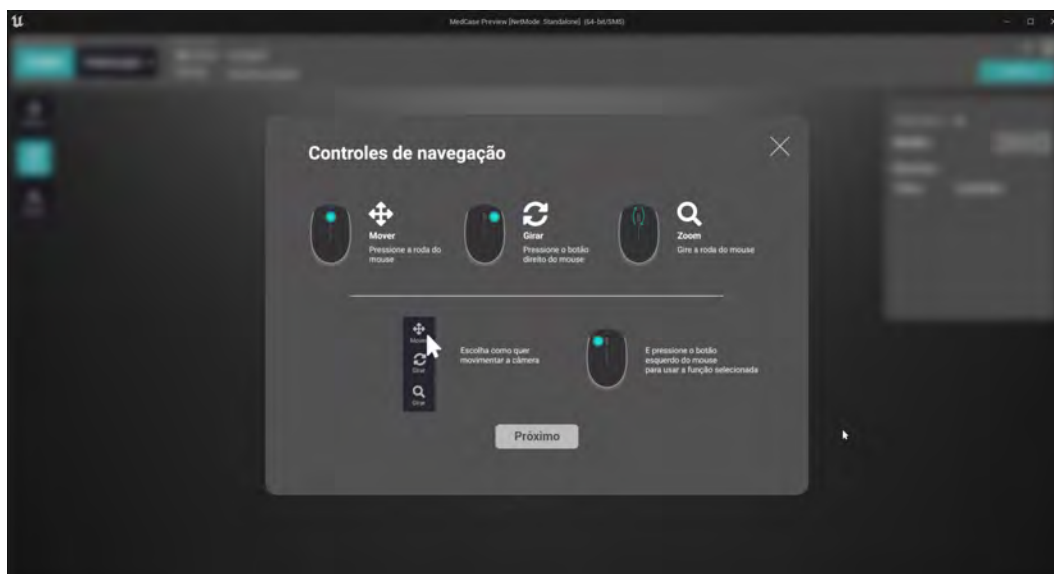


Figura 5.9: Primeira tela de ajuda  
Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

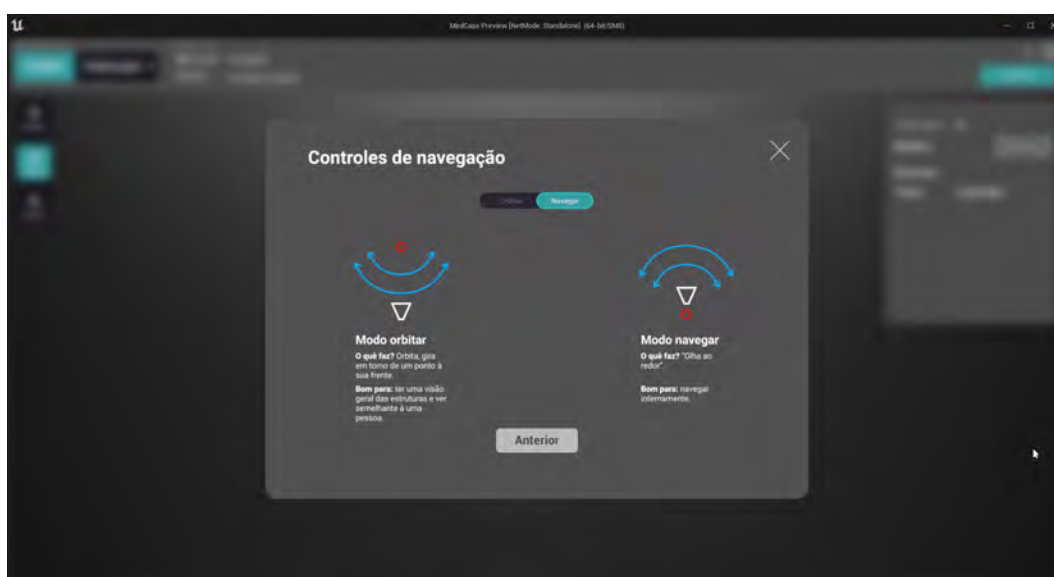


Figura 5.10: Segunda tela de ajuda  
Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

## 5.6 Adoção e conclusão

O software desenvolvido durante o experimento permitiu aproximações com alguns cirurgiões importantes e, a partir delas, a constatação da relevância do projeto para o objetivo inicial de planejamento cirúrgico. No caso do cirurgião torácico Dr. Rui Haddad, ocorreram dois momentos interessantes onde, em um percebeu um vaso perto do tumor que tornaria a cirurgia mais

complexa do que o esperado, logo optou por colher uma biópsia, para checar a benignidade antes de uma maior intervenção.

Já o cirurgião especializado em bariátrica recidiva Dr. Fernando de Barros solicitou cerca de 20 casos em 2022, afirma contar sempre com o software para os casos mais complicados(exemplo 5.13).

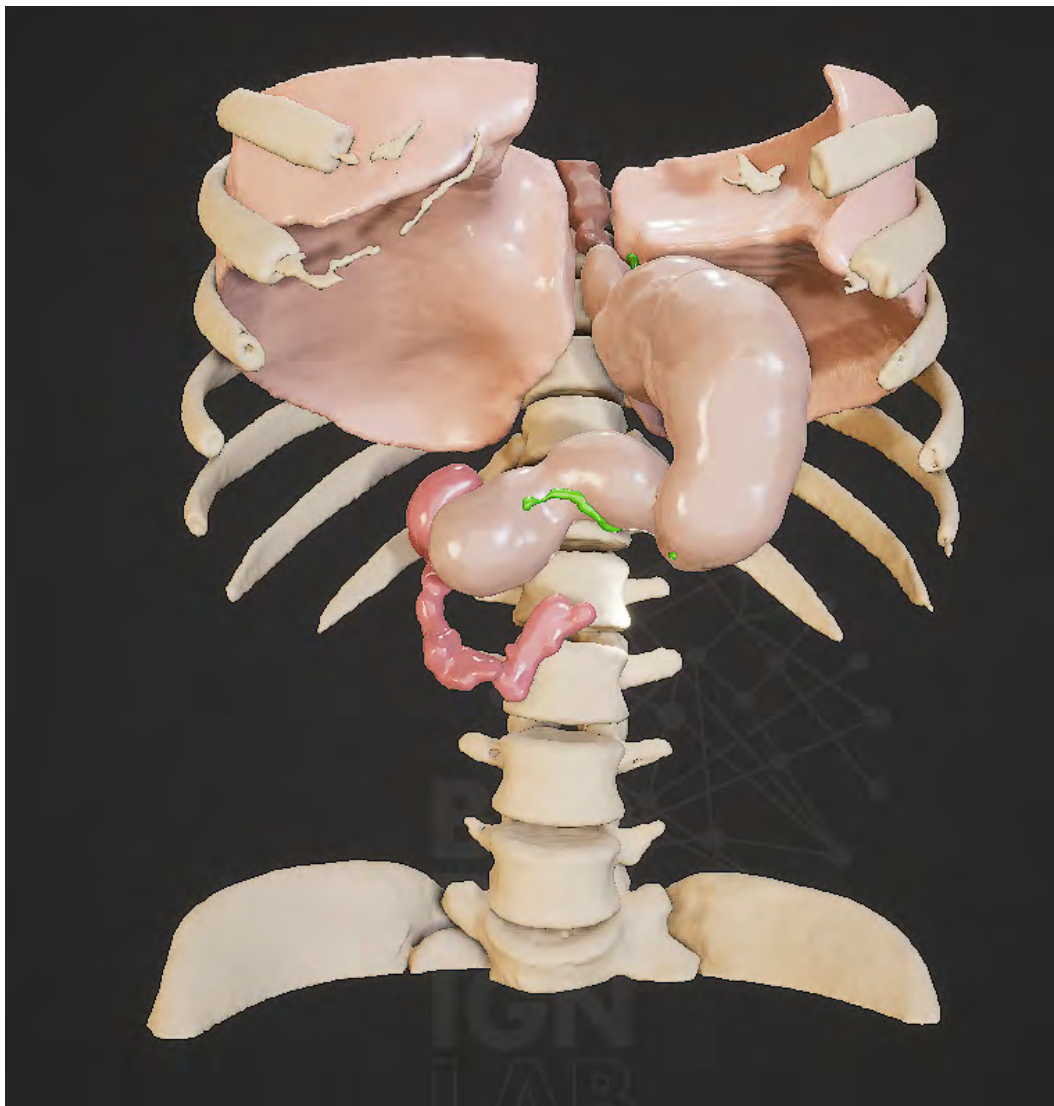


Figura 5.11: Exemplo de visualização de um caso de bariátrica do Dr. Fernando de Barros

Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

Foi testada também uma versão para dispositivos móveis, a pedidos do Dr. Fernando. A versão para que ele usasse em um iPad em um procedimento realizado por cirurgia robótica (figura 5.12).



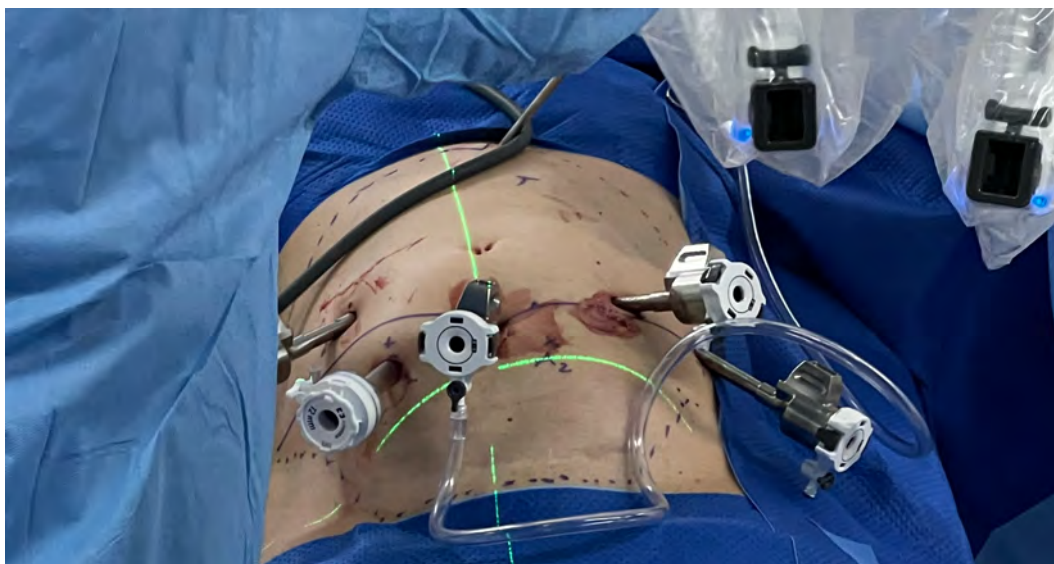


Figura 5.12: Aparelho DaVinci inserido no paciente.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

O console do robô de cirurgia replicava a imagem do iPad ao vivo no formato picture-in-picture que reproduz determinado vídeo em tamanho reduzido, o visualizador 3D do iPad (figura 5.14) enquanto continua a visualizar o conteúdo principal em maior escala, visão do console para guiar a cirurgia (figura 5.13). Estilo de visualização muito usado na internet e em transmissões ao vivo na TV.

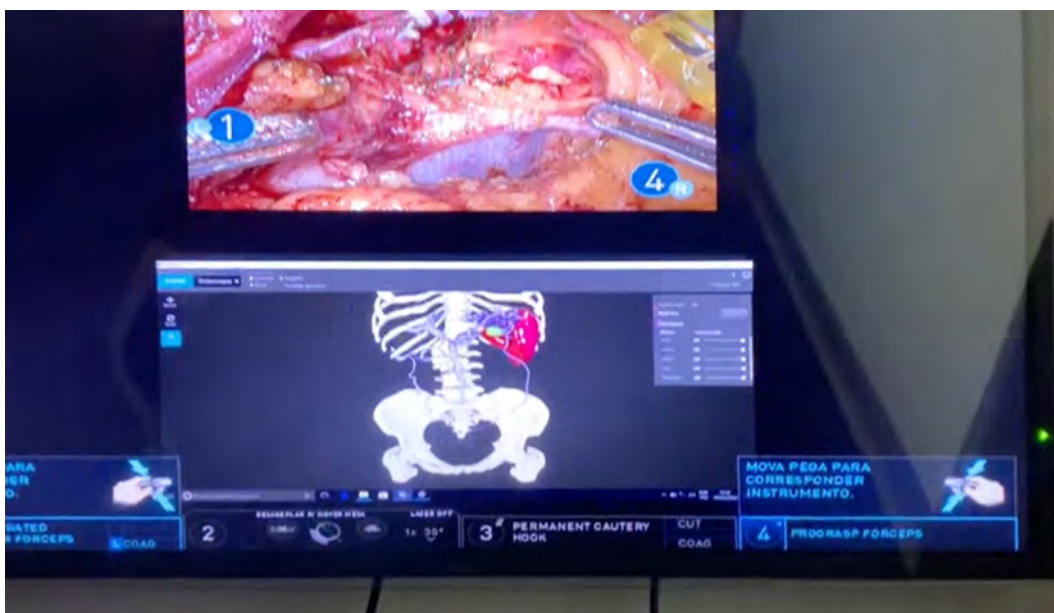


Figura 5.13: Visão do console do robô de cirurgia com o visualizador 3D em picture-in-picture.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 5.14: Cirurgião usando o iPad durante cirurgia robótica.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Por fim, esse experimento continua sendo desenvolvido e melhorado para atender cada vez um maior público médico e de forma mais fácil, além de estarem sendo viabilizadas formas que facilitem a distribuição desses visualizadores 3D, mantendo a nossa possibilidade de adaptar o software aos diferentes usuários médicos.

## 6

### Experimento III: Metaverso (Capacitação)

#### 6.1

##### O quê e por que o metaverso

Para entender o valor da realidade virtual no contexto médico somamos os aprendizados obtidos com os experimentos anteriores relativos à simulação cirúrgica em realidade virtual, com foco no aspecto prático visando simular o que teria que ser feito durante a operação e o visualizador, com sua maior facilidade de entender o caso de uma forma mais inteligível para a cognição humana e facilidade de acesso em plataformas mais cotidianas.

Recentemente, com a melhoria dos dispositivos e a ascensão e popularização do conceito de metaverso que, surgiu em 1992, criado pelo escritor Neal Stephenson na obra de ficção científica *Snow Crash* (STEPHENSON, 1992) nela, o chamado Metaverso, nada mais era do que um local onde nós humanos interagimos entre nós e com softwares através de avatares. Esse local seria o grande sucessor da internet. Como pode ser visto no artigo: *A Content Analysis of the Metaverse Articles*<sup>1</sup> (NARIN; AYDIN, 2021) a produção acadêmica sobre o tema cresceu, principalmente no âmbito da educação e da ciência da computação, assim como a procura sobre o assunto metaverso, começando com o jogo Second Life de 2003 e mais recentemente com o antigo Facebook trocando o seu nome para Meta e o seu CEO Mark Zuckerberg afirmando que a empresa irá focar em desenvolver a estrutura para que esse "local virtual" ocorra. Nesse mesmo ensaio os pesquisadores separaram em 7 categorias que fornecem importantes pistas sobre o futuro desenvolvimento da tecnologia, são elas: educação, definição e propriedades, arte no metaverso, religião, simulação cultural, vendas com visual *Merchandising* e Outras.

A matéria da Forbes (HACKL, 2021) define-o como um espaço compartilhado virtual coletivo, criado pela convergência de realidade física virtualmente aprimorada e espaço virtual fisicamente persistente, incluindo a soma de todos os mundos virtuais, realidade aumentada e Internet. A palavra “metaverso” é uma junção do prefixo “meta” (que significa além) e “universo”. Contudo, esta estrutura, idealizada por Neal, ainda não existe. Hoje, temos aplicações diversas utilizando de realidade expandida e possibilitando a conexão entre pessoas nesse mundo virtual. Algo ainda distante do “sucessor da internet” idealizado no início dos anos 90. Entretanto, estamos evoluindo nessa direção e está cada

<sup>1</sup>Traduzido do inglês: uma análise do conteúdo dos artigos sobre metaverso

vez mais viável de se elaborar e usar esses espaços virtuais colaborativos. Dispositivos que possibilitam a imersão em realidade virtual estão cada vez mais acessíveis e fáceis de usar, com preços comparáveis a smartphones medianos, como o próprio Meta Quest 2 que foi usado nesse experimento. Softwares de criação que viabilizam a autoria de pequenos mundos virtuais também estão surgindo e estão se tornando cada vez mais robustos como o Spatial, o AltSpace e o VRChat.

Experiências como essa já são realidades há algum tempo, como salientado nessa publicação (LEONG et al., 2008) em que médicos se reúnem na plataforma SecondLife para debater e trocar ideias sobre diversos temas, de cirurgia robótica a tecnologia na totalidade, e a experiência foi muito bem avaliada. Hoje já existem dispositivos e plataformas que permitem fazer isso com muito mais agilidade, qualidade e com uma experiência mais fácil para o usuário final. Dito isso, apesar de não estarmos no ponto onde isso já é uma realidade, podemos perceber que é um bom momento para fazer como Alan Kay disse: “A melhor forma de prever o futuro é criá-lo”, criando esse futuro. Aliado às duas experiências anteriores, buscamos o quanto visamos entender da colaboração, somada à visualização e execução já abordadas nos experimentos anteriores, podem agregar no contexto da saúde.

## 6.2

### **Autoria: Criando espaços e modelos para o metaverso**

Para criar estruturas para o metaverso é importante ter consciência que a criação 3D virtual tem várias áreas como modelagem por *Non-Uniform Rational Basis Spline* (NURBS), que presa na precisão milimétrica, talvez infinita de suas linhas e formas, funcionando assim para desenvolvimento de produtos. Para jogos focando no equilíbrio entre visual e otimização para não limitar o *hardware* para que seja possível usufruir da experiência ou mesmo para cinema que permite longos períodos além de potentes computadores para renderizar os melhores visuais possíveis. Vale salientar que a modelagem para o metaverso é muito semelhante ao de um jogo, onde é importante otimizar ao máximo os fatores que podem gerar sobrecarga para o computador. Normalmente eles são, a resolução das texturas, a quantidade de polígonos do modelo e conseguir simular o máximo do que seria o render graficamente em forma de textura ou usar conectado a um computador e usufruir da capacidade de processamento dele.

Na modelagem para o metaverso, alguns tipos de modelagem não funcionam, como o NURBS porque a plataforma Spatial, que usamos para criar ambientes, não aceita modelos nesse formato. Caso haja necessidade, sempre



terá que ser convertido e muito possivelmente sofrido redução em sua quantidade original de polígonos. Foram experimentadas algumas formas de executar essa otimização, ou seja, tornar um modelo *high-poly* em *low-poly*. No *software* Blender,<sup>2</sup> uma delas é através do modificador *decimate*(figura 6.1) e outra estando no Modo de Edição da malha, na aba *Mesh* → *Clean Up* → *Decimate Geometry* (figura 6.2). Outro jeito testado foi no Zbrush através da extensão *Decimation Master*. De todos os modelos, o que apresentou maior qualidade foi o do Zbrush, por não criar buracos nem inconsistências na malha poligonal. Contudo, ele é muito mais lento que as alternativas do Blender por ter que exportar o modelo 3D para outro software e ser mais lento. Por fim, usamos o *Decimation Master* do Zbrush para casos que precisem de uma qualidade especial e para casos mais corriqueiros foi usado o *Decimate Geometry* do Modo de Edição da malha no Blender. O modificador *decimate* não foi usado, pois sua maior vantagem é uma modificação na malha que é não destrutiva. Ou seja, permite que sejam colocados outros modificadores, antes ou depois e o seu efeito se adapta à nova malha tridimensional.

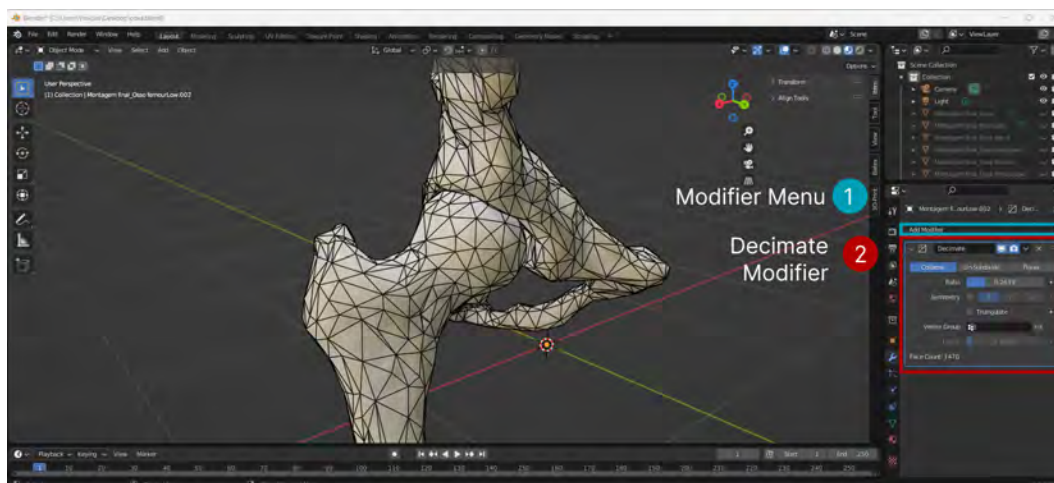


Figura 6.1: Tipos de *Decimate Modifier*.

Fonte: Imagens do software obtidas pelo pesquisador.

<sup>2</sup>Programa de computador de código aberto, desenvolvido pela Blender Foundation, para modelagem, animação, texturização, composição, renderização, e edição de vídeo. Está disponível sob a GNU GPL, versão 2 ou posterior.

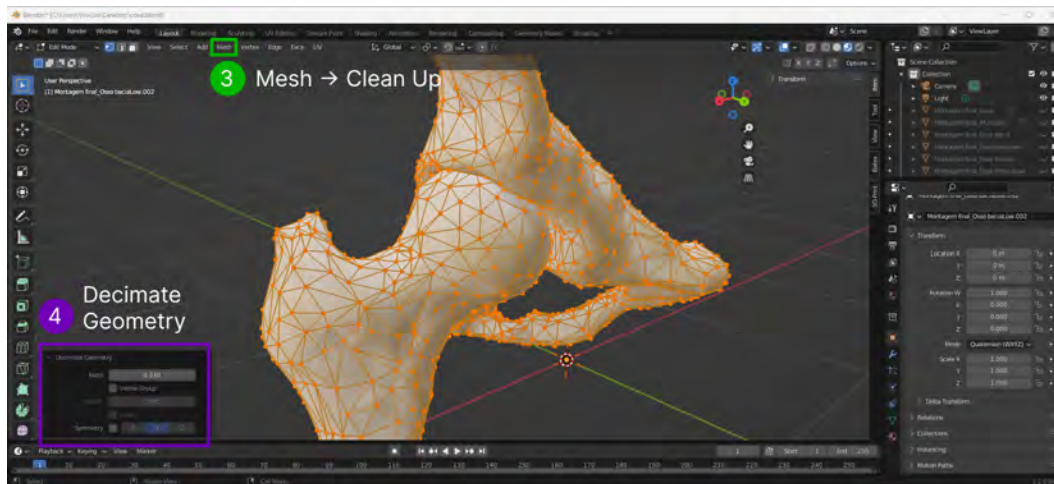


Figura 6.2: Tipo de *Decimate Clean Up*.

Fonte: Imagens do software obtidas pelo pesquisador.

Após essa etapa deve ser efetuada a texturização. Que muitas vezes é associada apenas à cor do modelo. Contudo, é possível anexar texturas a diversas propriedades do material tridimensional, como o *NormalMap*<sup>3</sup> que serve para pequenas simulações de volume na malha, ele é obtido através da sobreposição de um modelo com muitos polígonos em um modelo com poucos polígonos, muitas vezes obtido por um processo de decimação<sup>4</sup>. Serve para simularmos um modelo com muitos polígonos mesmo em ambientes com restrição de desempenho, como em aplicações para o Quest 2 e para o metaverso.

Apenas para a coloração do material é usada a propriedade *Diffuse*. A propriedade *Metallness* no que lhe concerne tem o propósito de simular metais. Isso ocorre porque na natureza os materiais condutivos, em geral, representados por metais, possuem fisicamente uma forma diferente de interpretar a refletividade. Apesar de seu valor poder ser inserido por meio de uma variável de ponto flutuante<sup>5</sup> ou até mesmo por uma textura, na maior parte dos casos o ideal é identificar o valor como 0 ou 1, e o quanto e quão concentrado ele reflete a luz serem usadas as propriedades *Specular* e *Roughness* respectivamente.

<sup>3</sup>É uma variante da técnica conhecida como bump mapping. É utilizada para simular o relevo em uma superfície, calculando o ângulo das sombras numa textura e, conseqüentemente, propiciando a impressão de maior de profundidade.

<sup>4</sup>Processo realizado em malhas tridimensionais com muitos polígonos, para reduzir essa quantidade e viabilizar seu uso em mídias com poder computacional reduzido.

<sup>5</sup>Termo derivado da programação do chamado float. Corresponde à um tipo de variável cujo valor pode conter números fracionários (representado por um número decimal.).

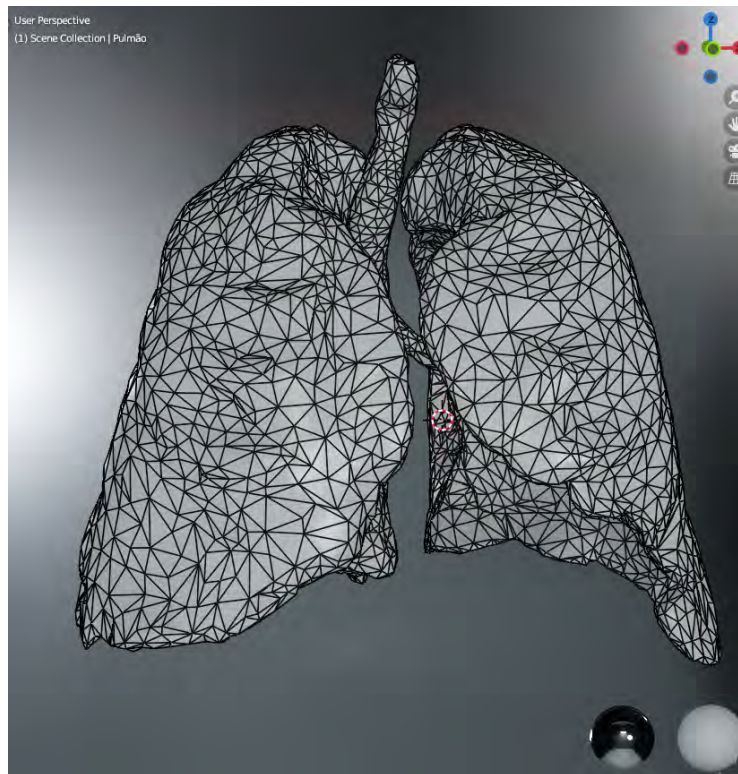


Figura 6.3:  $Metallness = 0$ ;  $Roughness = 0,5$ ;  $Specular = 0,5$ ;  $DiffuseRGB = 0,0,0$ . Sem *normal mapping*

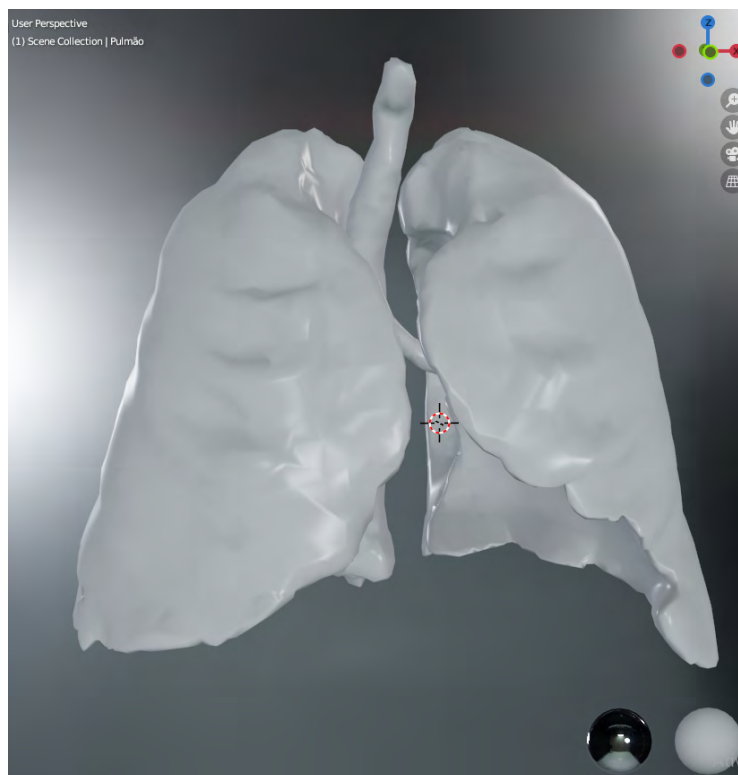


Figura 6.4:  $Metallness = 0$ ;  $Roughness = 0,5$ ;  $Specular = 0,5$ ;  $DiffuseRGB = 0,0,0$ . Sem *normal mapping*

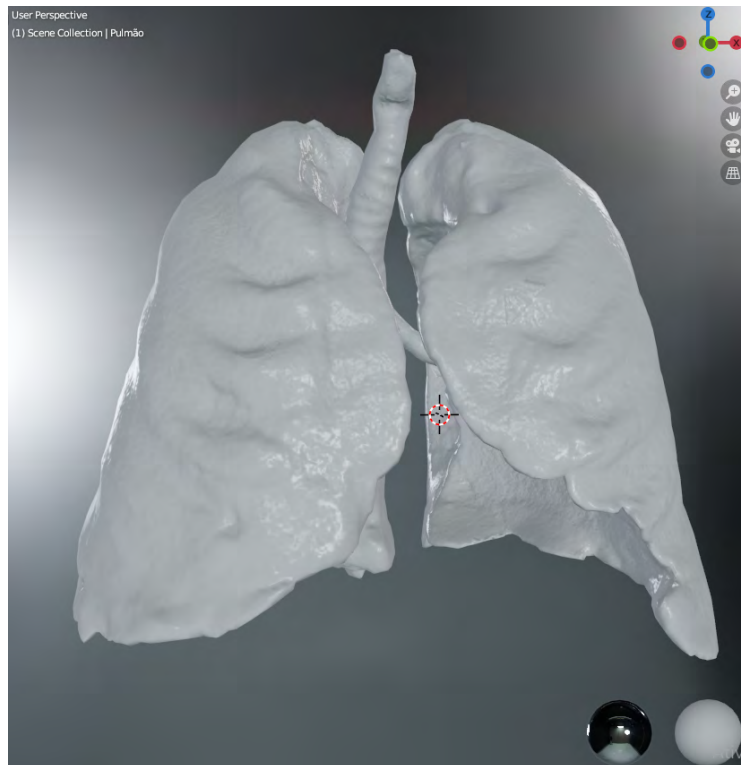


Figura 6.5: Da esquerda para direita:  $Metallness = 1$ ;  $Roughness = 0$ ;  $Specular = 0$ ;  $DiffuseRGB = 0,0,0$ . Com *normal mapping*

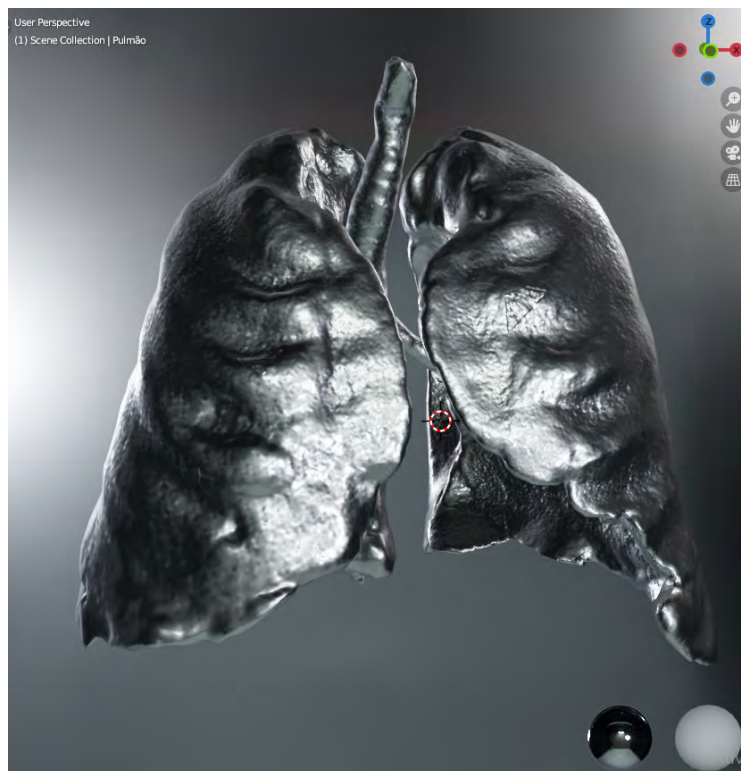


Figura 6.6:  $Metallness = 1$ ;  $Roughness = 0,5$ ;  $Specular = 0,5$ ;  $DiffuseRGB = 0,0,0$ . Com *normal mapping*



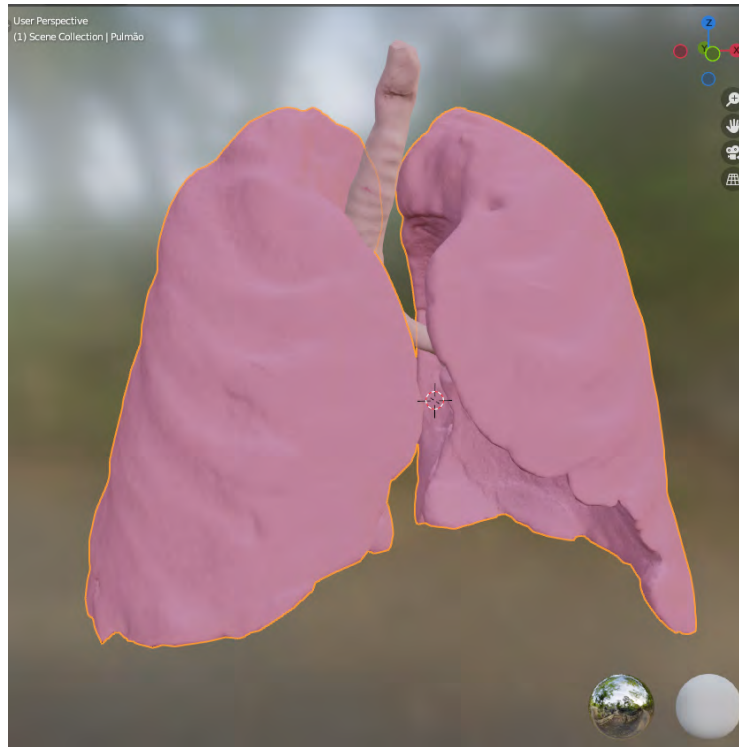


Figura 6.7:  $Metallness = 0$ ;  $Roughness = 0$ ;  $Specular = 0$ ;  $DiffuseRGB = 200,0,0$ . Com *normal mapping*

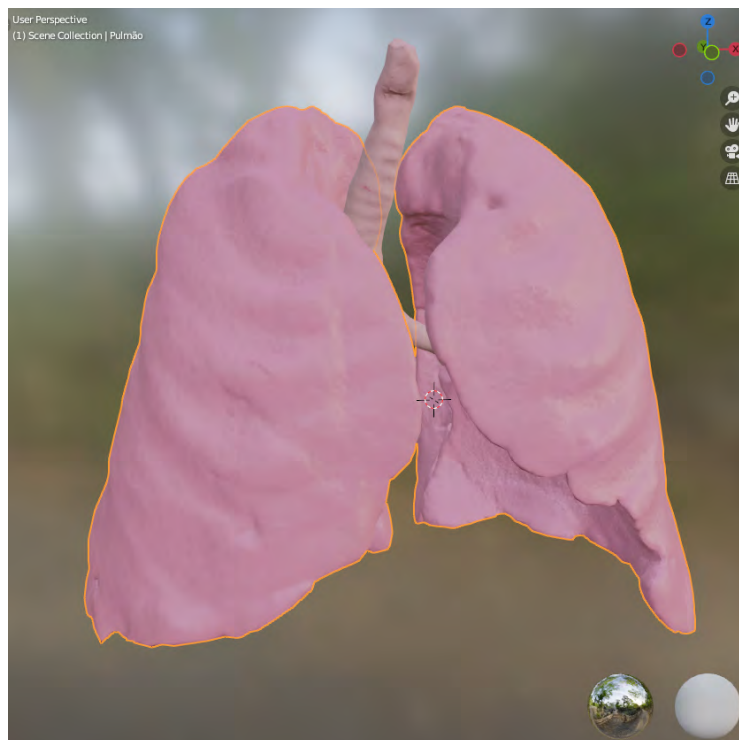


Figura 6.8:  $Metallness = 0$ ;  $Roughness = 1.0$ ;  $Specular = 0,5$ ;  $DiffuseRGB = 200,0,0$ . Com *normal mapping*

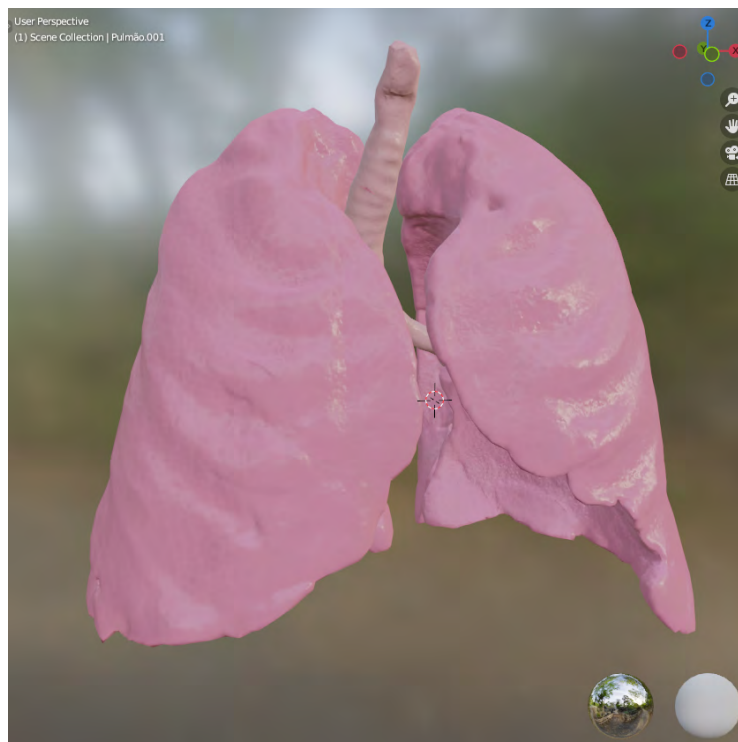


Figura 6.9:  $Metallness = 0$ ;  $Roughness = 0,5$ ;  $Specular = 0,5$ ;  $DiffuseRGB = 200,0,0$ . Com *normal mapping*

Um fluxo de trabalho que funcionou bem para inserção na plataforma Spatial<sup>6</sup> foi obter, enviar os modelos do Blender, para o Substance Painter e usá-lo para gerar essas texturas e materiais. Optamos por ele ser capaz de fazer um “desembrulhamento” UV automático de qualidade e sua principal tecnologia é a que permite criar uma textura que fica uniforme no modelo 3D por mais que tenha que se adaptar à forma do mapa UV. No fim, ele consegue gerar um modelo com uma aparência uniforme, como esse esqueleto da Figura 6.10 com o mapa todo dividido e não é possível ver sequer uma linha de junção.

<sup>6</sup>Plataforma para autoria de ambientes no metaverso

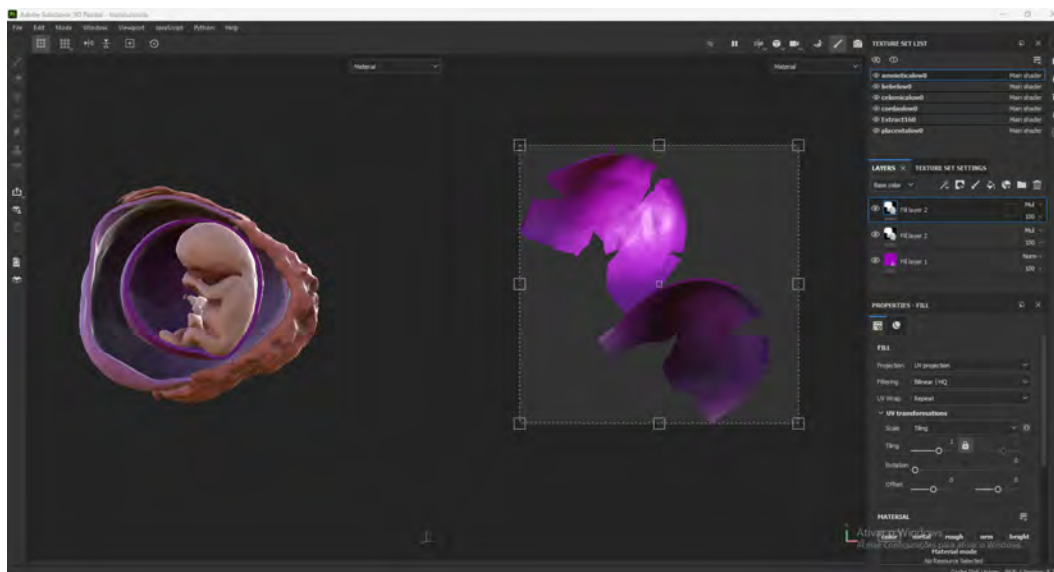


Figura 6.10: Esquerda - Modelo completo representativo do exame de translucência nucal. Centro - Textura realizada com o software Substance Painter relativa à cavidade amniótica. Direita - Controles para editar modelo o qual a textura esta no centro.

Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.

Todas essas técnicas aqui apresentadas foram transmitidas e discutidas com os bolsistas de iniciação científica, Gabriel Borja e Franco Velozo para aprenderem a fazer isso tanto com modelos para o metaverso como para visualização 3D para jogos. No caso, foram usadas no contexto da saúde. Mas, são replicáveis em diversos contextos, como cinema, jogos, arquitetura e visualização de produtos. A iniciação científica do aluno Gabriel Borja do Reis de 2022 tratou justamente de “Criação e Otimização de Texturas Realistas para Biomodelos Anatômicos Virtuais” contemplando esses métodos para geração dos modelos. Inclusive inserindo texturas no visualizador cujo desenvolvimento foi relatado do capítulo anterior como nas imagens abaixo(6.11 e 6.12).

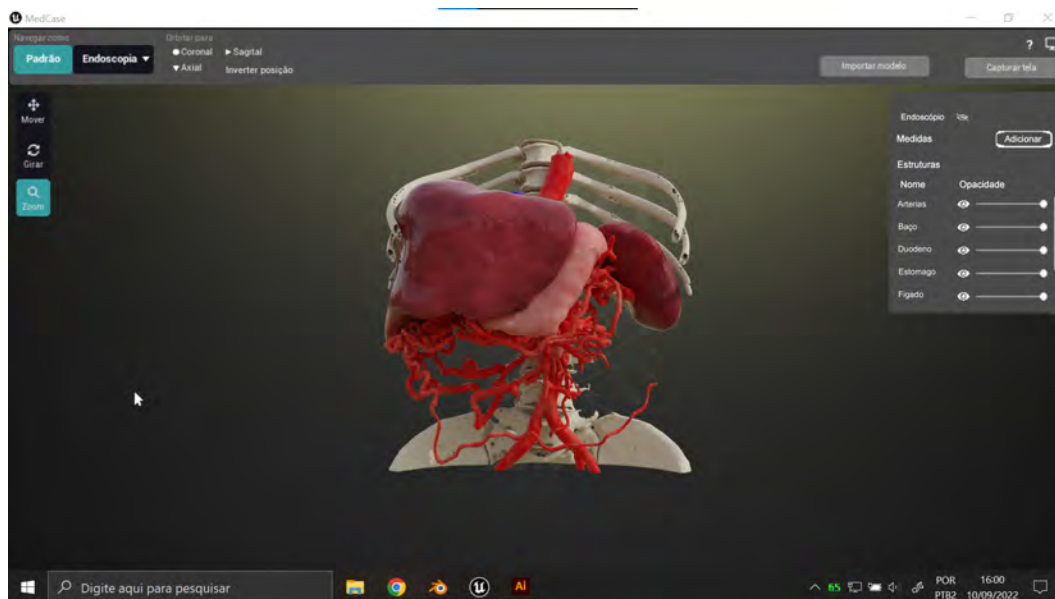


Figura 6.11: Biomodelo texturizado apresentado na iniciação científica do aluno Gabriel Borja.

Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.



Figura 6.12: Aproximações do biomodelo da imagem acima para mostrar a textura.

Fonte: Imagem do software obtida pelo pesquisador.



### 6.3

#### Discussões de caso clínico

Em casos extremos, a tecnologia pode se tornar ainda mais relevante para um bom desfecho. Como foi no caso dos Gêmeos craniópagos Arthur e Bernardo, eles nasceram conectados pelo crânio e compartilhavam cerca de 15% de cérebro e dividiam também uma veia grande e muito importante que conduzia o sangue de retorno aos corações dos dois.

O laboratório foi relevante nesse caso, acompanhando a evolução do caso durante os 4 anos de vida das crianças, inclusive desde antes de nascerem. Caso muito bem descrito por (RIBEIRO, 2020) que explorou esse caso durante todo o texto. A cada cirurgia eram realizadas novas impressões 3D que demonstravam para o cirurgião neuropediátrico brasileiro Gabriel Mufarrej a evolução da situação dos gêmeos. Quando ele veio ao laboratório buscar o biomodelo<sup>7</sup> físico para a sétima cirurgia, sugerimos que ele experimentasse visualizar o caso dos gêmeos em realidade virtual, manipular as estruturas, também como forma de estudo do caso. Apesar de não ser uma pessoa tão ligada a esse tipo de tecnologia, percebeu a potencialidade ali e durante a experiência, sugeriu que viabilizássemos o encontro virtual dele com o cirurgião inglês Dr. Owase por meio do metaverso.

<sup>7</sup>Modelos baseados em estruturas biológicas, de células a órgãos



Figura 6.13: Dr. Gabriel Mufarrej em seu primeiro uso de um óculos de realidade virtual

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Somado aos modelos impressos, algo em que ele gostaria de ter auxílio, do também neurocirurgião pediátrico inglês, Dr. Owase Jeelani que era o mais experiente no mundo nesse tipo de cirurgia, isso tendo feito cerca de apenas 10 cirurgias semelhantes a essa. E que o encontrando poderia mostrar os exames e os biomodelos físicos para que analisassem as melhores abordagens e possíveis técnicas.

Em seguida colocamos o Dr. Owase e Dr. Gabriel para se reunirem no metaverso e discutirem o caso exposto na Figura 6.14, utilizando o software desenvolvido pelos ingleses da universidade *University College London*(UCL) ligada ao cirurgião na Inglaterra imagens 6.15. Além de ser relevante para análise do caso, foi importante para um melhor contato entre os dois profissionais, abrindo portas para a vinda do Dr. Owase no Brasil para colaborar com a cirurgia final.



Figura 6.14: Dr. Gabriel Mufarrej durante a discussão do caso dos craniópagos com o Dr. Owase Jeelani no monitor.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



(a) Visão do cirurgião brasileiro



(b) Cirurgião inglês (usando o Oculus Quest 2) discutindo o caso com Mufarrej)

Figura 6.15: Ampliações da imagem acima

Fonte: Imagens obtidas pelo pesquisador.



Figura 6.16: Captura de tela da visão do cirurgião brasileiro Gabriel Mufarrej durante a experiência.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Por fim, o médico inglês veio para cirurgia final de separação e de fato, após anos de trabalho, os gêmeos conseguiram ser separados. O projeto e, principalmente, o resultado da cirurgia foram veiculados em grandes canais de imprensa, como no Fantástico em 31 de julho de 2022 (GLOBO, ).

#### 6.4 Três dimensões de colaboração

Para entender a congruência de cada uma das dimensões quando relacionado à compreensão de um caso médico, em conjunto com o cirurgião hepático Dr. Ronaldo Andrade elaboramos uma experiência focada nos residentes de cirurgia geral do primeiro ano do Hospital São Lucas Copacabana. Optamos por um caminho onde era sabido o problema e também como resolver. Gostaríamos de usar a realidade virtual colaborativa como uma forma de expandir as possibilidades para preceptoria do que seria possível fazer didaticamente para os residentes do Dr. Ronaldo. Primeiro escolhemos um caso, que já havíamos



reconstruído e adaptado para o visualizador 3D e também a impressão para ser possível comparar posteriormente as vantagens e desvantagens em cada uma das técnicas (Visualizador nas figuras 6.17 no capítulo sobre visualização e impressão 3D na figura 6.18).

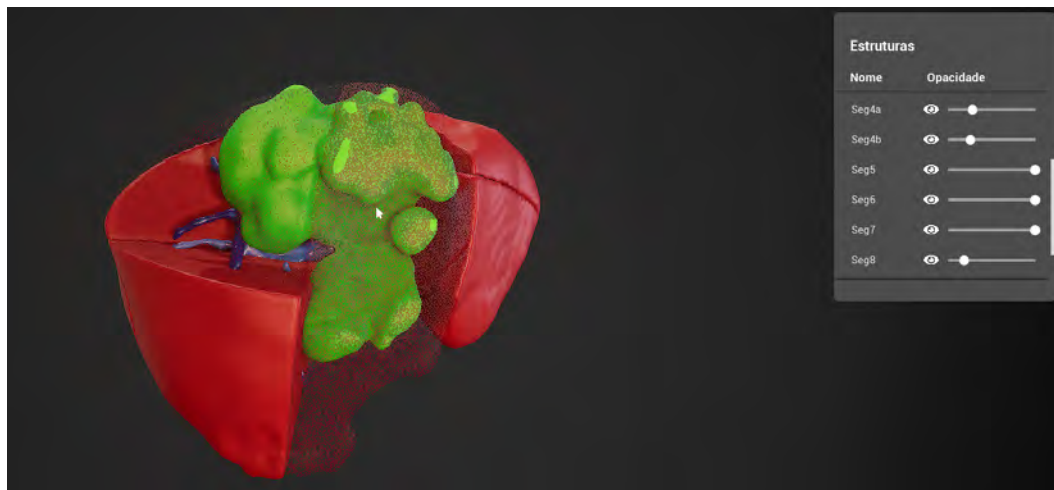


Figura 6.17: Visualizador 3D do caso com o tumor aparente.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 6.18: Impressão 3D em resina transparente e injetado tinta esmalte para salientar principais estruturas. Realizado no laboratório especificamente para o caso.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Como eram residentes de primeiro ano de cirurgia geral e eles eram expostos a diferentes tipos de especialidades como cirurgia abdominal/hepática com o Dr. Ronaldo, cirurgia robótica/bariátrica com o Dr. Fernando Barros ou com algum dos outros 6 possíveis preceptores, tinham uma boa visão geral das técnicas cirúrgicas, contudo ainda estavam no processo decisório de qual especialidade se aprofundar. Então, tínhamos a hipótese de que seria relevante abordar algo específico da especialidade do Dr. Ronaldo para que ele pudesse de fato lecionar sobre o caso e sobre a cirurgia em si. Para ter uma boa visão do caso, abordamos 3 aspectos de um caso, como na Figura 6.19 abaixo.



Figura 6.19: Imagem de toda a estrutura em realidade virtual para a discussão do caso

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

A 1<sup>a</sup> dimensão representava a **estrutura anatômica** do caso, deixando o parênquima (parte externa do fígado) semitransparente e possibilitando conferir a patologia com maior clareza (6.20). Também ligado a esse modelo, foi feito um fígado em tamanho real (6.21), que acabava sendo um pouco menor que os demais e oferecendo um pouco menos de visão. Contudo, permitia ter acesso à escala que seriam expostos durante a cirurgia real.

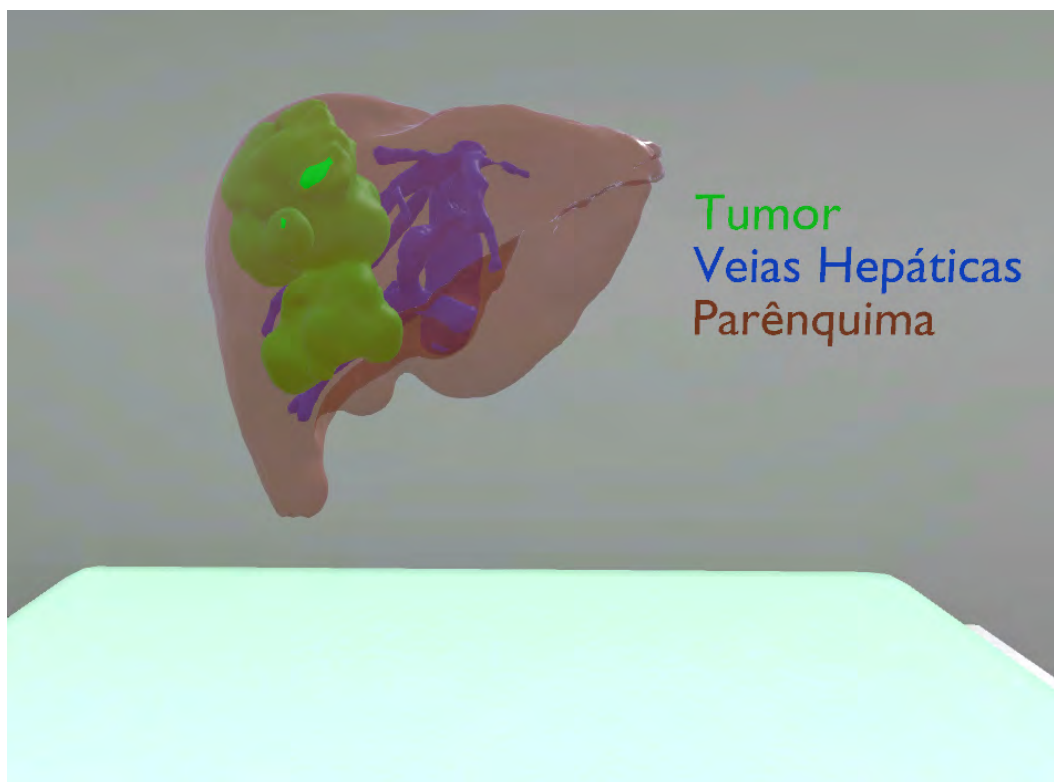


Figura 6.20: Modelo anatômico representando a 1<sup>a</sup> dimensão com o modelo semitransparente expondo a patologia.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 6.21: Imagem do modelo didático representando a 1<sup>a</sup> dimensão com o modelo em tamanho real.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

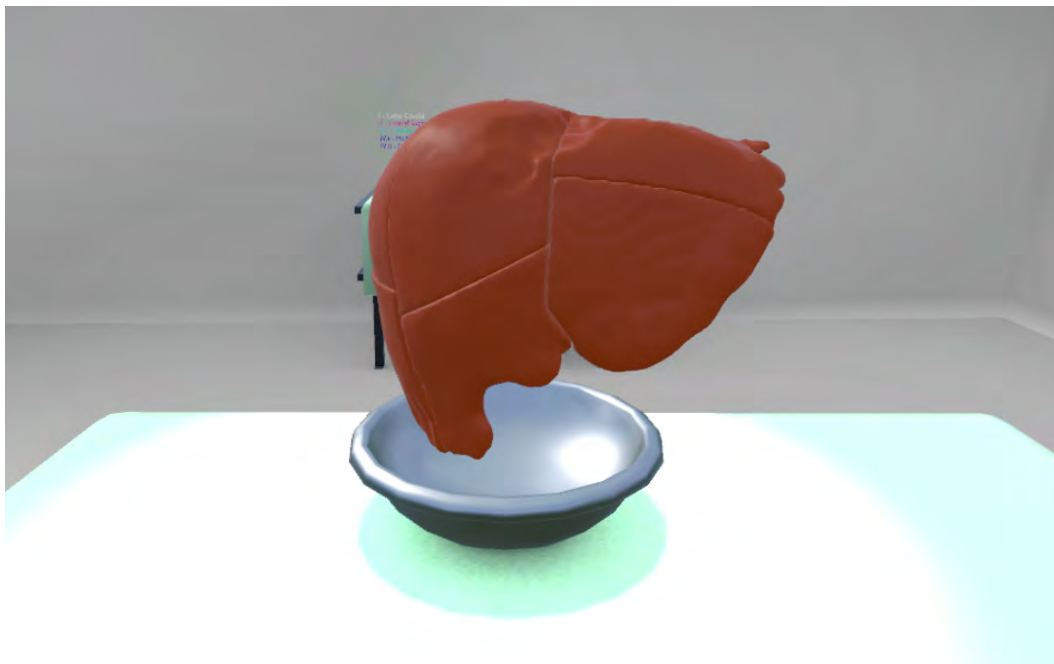


A **2ª dimensão** foi a **didática**, que explorava os diferentes segmentos da anatomia hepática com diferentes cores e seu nomes específicos(6.22). A intenção desse modelo é nivelar o conhecimento de todos na sala e permitir que o tutor exponha com clareza onde ele está falando. Por exemplo: “Como podem ver no lobo caudal que é o trecho em cinza do modelo didático...”. E assim a explanação e discussão seguiram de maneira mais fluida.

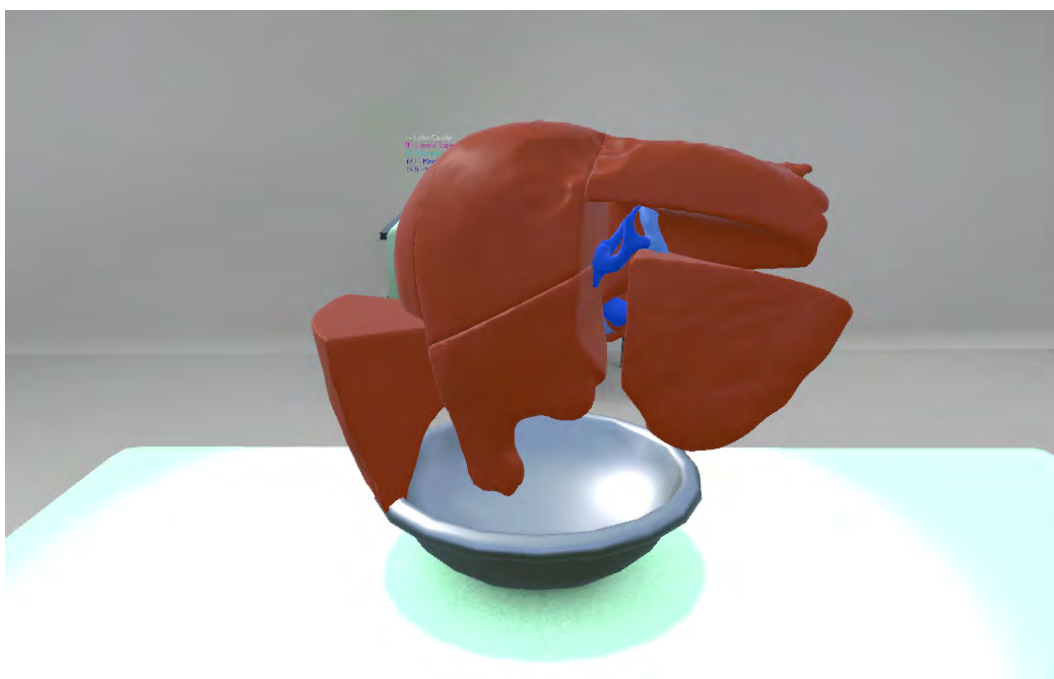


Figura 6.22: Imagem do modelo didático representando a 2ª dimensão.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

A **3ª dimensão** buscava exercitar o **aspecto prático da cirurgia**. Ele consistia em um modelo que apesar de os segmentos hepáticos serem todos da mesma tonalidade, permitia que o usuário manipulasse individualmente cada um dos segmentos(6.23), inclusive o tumor, veias cava e hepática. Foi muito interessante podermos ver os residentes manipulando o modelo, podendo expressar suas estratégias e o preceptor orientando.



(a) Fígado Intacto



(b) Fígado Manipulado

Figura 6.23: 2 Imagens do Modelo Destacável. Antes e após ser manipulado.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 6.24: Residentes discutindo a futura cirurgia sala construída no ambiente virtual Spatial.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Podemos chamar de 3 dimensões. Mas, esse conceito tem muita similaridade com algo já conhecido e usado há algum tempo na medicina para treinamento cirúrgico, o qual é o *see one*(representado pela 1ª dimensão), *do one*(representado pela 3ª dimensão), *teach one* (representado pela 2ª dimensão). Esse conceito é muito levantado quando se fala do treinamento cirúrgico fora da sala de operação, como artigo: (HAN; PATRICK, 2019).

Durante a experiência pudemos observar uma dinâmica bem clara. Inicialmente os residentes acharam tudo muito interessante e divertido e começaram a brincar e explorar as possibilidades da plataforma. Muito por serem “jovens”, na casa dos 25 anos, majoritariamente Millennials<sup>8</sup> tiveram certa facilidade ao lidar com as características da plataforma Spatial e consideraram e demonstraram que não levou muito tempo de uso para que a interface e os controles deixassem de ser um percalço.

Passado o momento de encantamento, o Dr. Ronaldo iniciou com a explanação(6.25). Apenas ele, como preceptor, estava usando o computador e todos os outros 3 residentes estavam utilizando os óculos de realidade virtual.

<sup>8</sup>Geração Y (Millennials): são as pessoas nascidas entre 1985 e 1999; Geração Z: as pessoas nascidas entre 2000 e 2010; Geração Alfa: as pessoas nascidas a partir de 2010 até o fim de 2019.

Ele começou explicando a parte anatômica do caso e falou para usarem a tomografia em formato tradicional que estava na parede para colocar no ponto onde ele estava falando no modelo tridimensional. Dito isso, eles erraram algumas coisas e ele pode demonstrar no modelo didático o que ele estava falando.



Figura 6.25: Dr. Ronaldo supervisionando a discussão clínica dos residentes.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



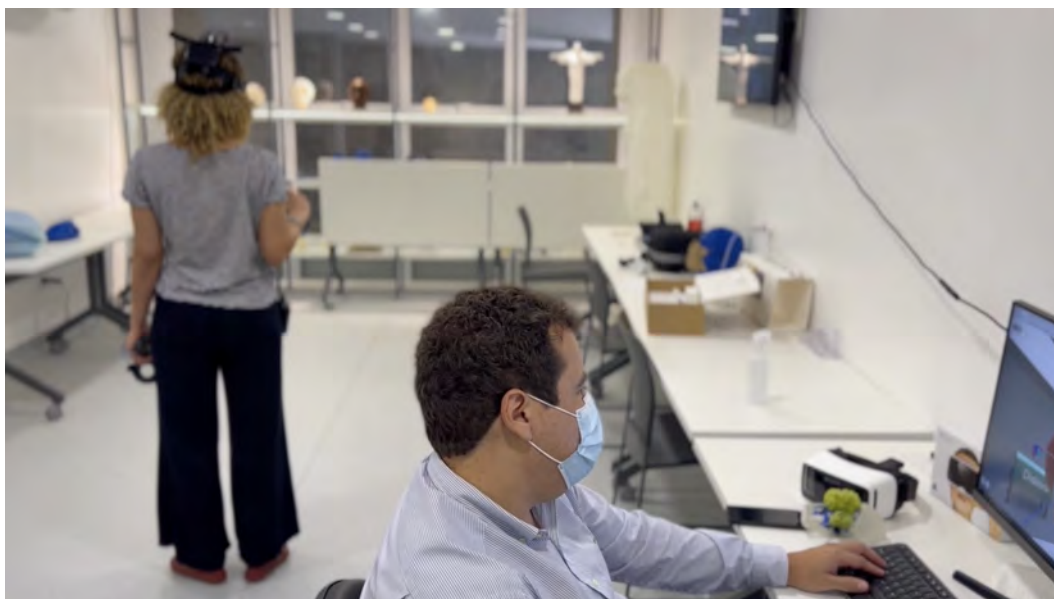


Figura 6.26: Dr. Ronaldo supervisionando a discussão clínica dos residentes.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 6.27: Residente durante a experiência no metaverso.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Ao terminar a explanação e os residentes concordarem e entenderem e ele seguiu para o modelo destacável e solicitou que destacassem os segmentos como seria na cirurgia e explicassem o porquê estavam fazendo aquilo. Mais uma vez, Dr. Ronaldo teve que conduzir correções na conclusão deles e eles mesmo se ajudaram.

Por fim, foi uma dinâmica nova e divertida para todos, como expuseram em entrevista ao final da experiência. Eles perceberam a diferença que faz

no aprendizado e também para tirar dúvidas por poderem demonstrar ali, em tempo real, diferentes formas de visualizar. Ao comparar com o visualizador 3D e com a impressão, eles também perceberam um salto pela possibilidade de não apenas tocar e ver, mas sim demonstrar como será a execução do procedimento. Segundo eles, foi uma experiência marcante, pois nenhum deles havia utilizado antes a realidade virtual como auxílio ao aprendizado. Somando isso a poder visualizar diversos níveis de estruturas e pode expor em um mapa anatômico. Fatores que ajudaram bastante na compreensão do caso.

## 6.5

### Ambiente sobre medicina fetal

Buscando exercitar mais a dimensão didática da experiência do metaverso, optamos por criar uma sala de museu com diferentes patologias que podem ocorrer com o feto antes de nascer. Optamos por fazer dela uma sala expositiva com algumas experiências que tirassem um maior proveito da mídia da realidade virtual. Ela também foi aberta para as pessoas entrarem na sala e poderem usufruir da experiência conjuntamente.

Um dos objetivos era mostrar possíveis patologias e recorrentemente uma das mais impressionantes são as referentes à gemelaridade do feto. Algumas se tornam gêmeos siameses, ou seja, unidos por alguma parte do corpo, que ocorrem quando as camadas embrionárias se separam tardiamente. Quando é pelo crânio/cérebro chamamos craniópagos, pelo tronco, toracoonfalópagos(6.28), etc. Quando a gestação é bem sucedida eles se tornam gêmeos.



Figura 6.28: Exemplo de toracoonfalópagos  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Em outra parede da sala, são expostos os modelos 3D de quadrigêmeos, um por ultrassom e outro por ressonância magnética(6.29).

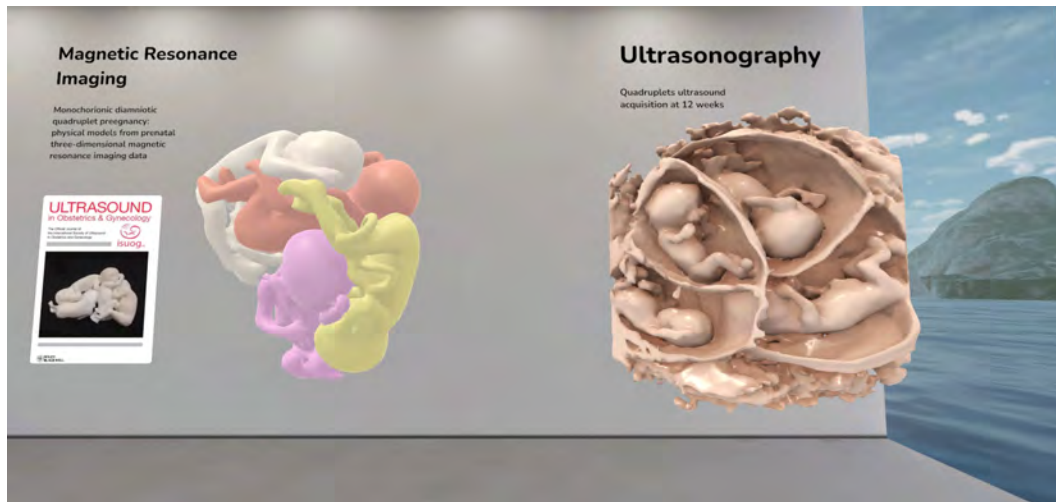


Figura 6.29: Exemplos de imagens 3D de quadrigêmeos obtidas através de Ultrassom e Ressonância Magnética.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Aqui está um pouco da história do laboratório e da pesquisa realizadas nas Figuras 6.30 e 6.31.

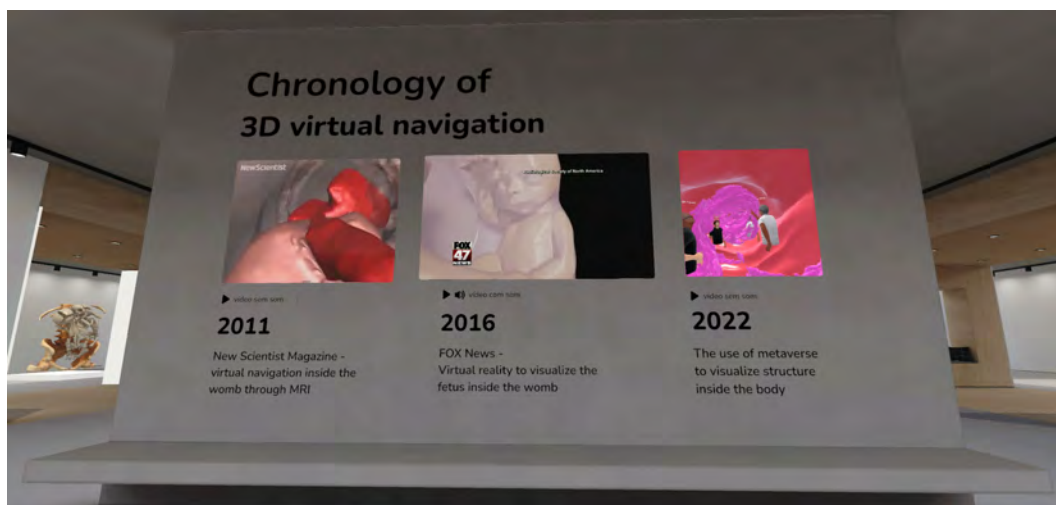


Figura 6.30: Cronologia do laboratório e das pesquisas realizadas.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.



Figura 6.31: Capas de periódicos publicados com pesquisas do laboratório.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Para contar um pouco da Jornada do obstetra, adicionamos uma representação 3D do exame de translucência nuchal. O qual é realizado entre a 11<sup>a</sup> e a 13<sup>a</sup> semanas visando descobrir patologias genéticas no feto, pelos obstetras.(figura 6.32).

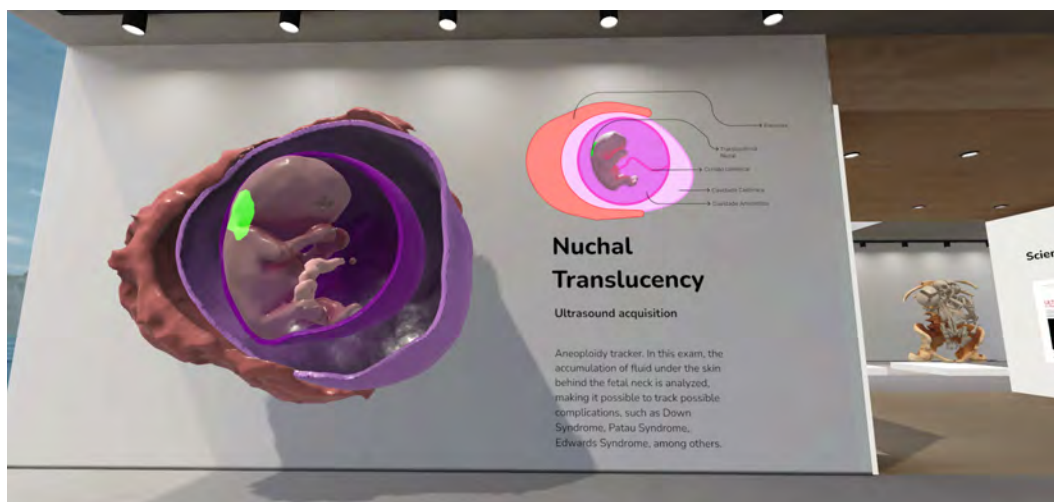


Figura 6.32: Demonstração 3D do que é revelado durante o exame de translucência nuchal.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Também foi inserido um projeto de inteligência artificial elaborado no laboratório Biodesign em parceria com o IMPA (figura 6.33).



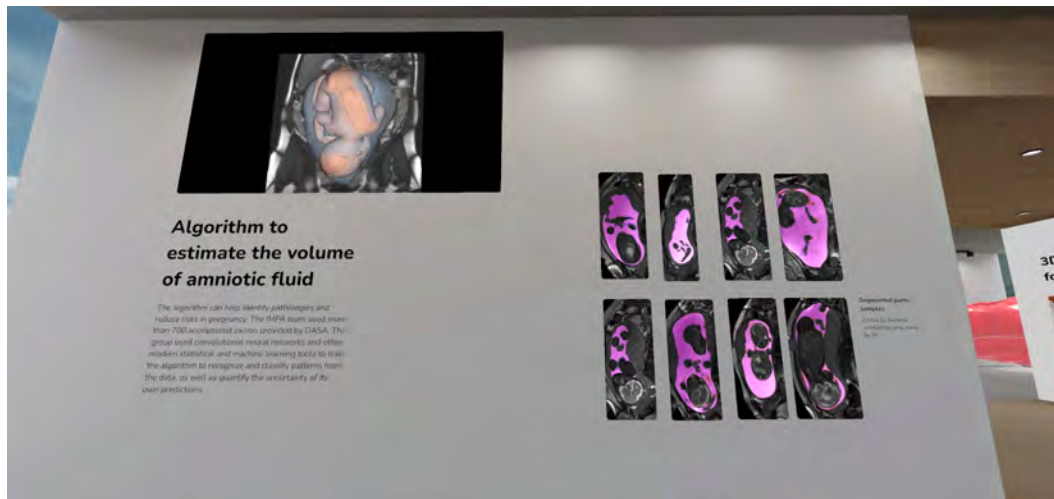


Figura 6.33: Exemplos de trecho da sala no metaverso destacando projeto envolvendo inteligência artificial para identificar líquido amniótico.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

Também optamos por ter um espaço para proporcionar uma experiência mais imersiva e não necessariamente focada na questão didática. Entretanto, a imersão também pode colaborar para o didatismo de algo que estivermos fazendo como exposto nesse artigo, (HANSEN, 2000) aprender envolve, observar, fazer ou viver através das coisas. Através de uma microtomografia da tuba uterina (figura 6.34) de uma paciente, pudemos fazer uma experiência (figura 6.35) na qual as pessoas conseguiam entrar no órgão e visualizar as suas estruturas internas, somado a isso o obstetra especializado em imagem, Dr. Heron Werner, pôde dar uma aula dentro dela, explicando e apontando diretamente para as suas estruturas.

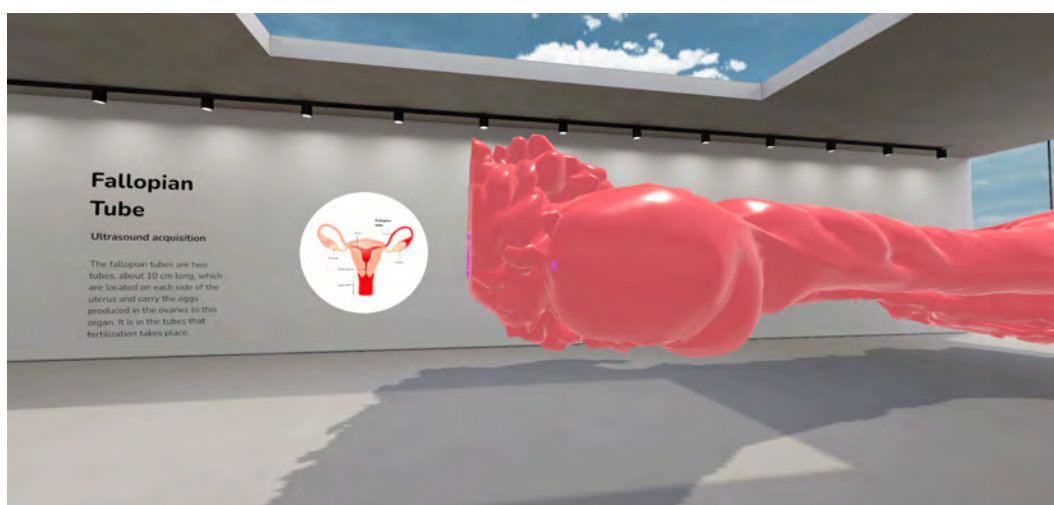


Figura 6.34: Tuba uterina com a sua explicação na esquerda.

Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

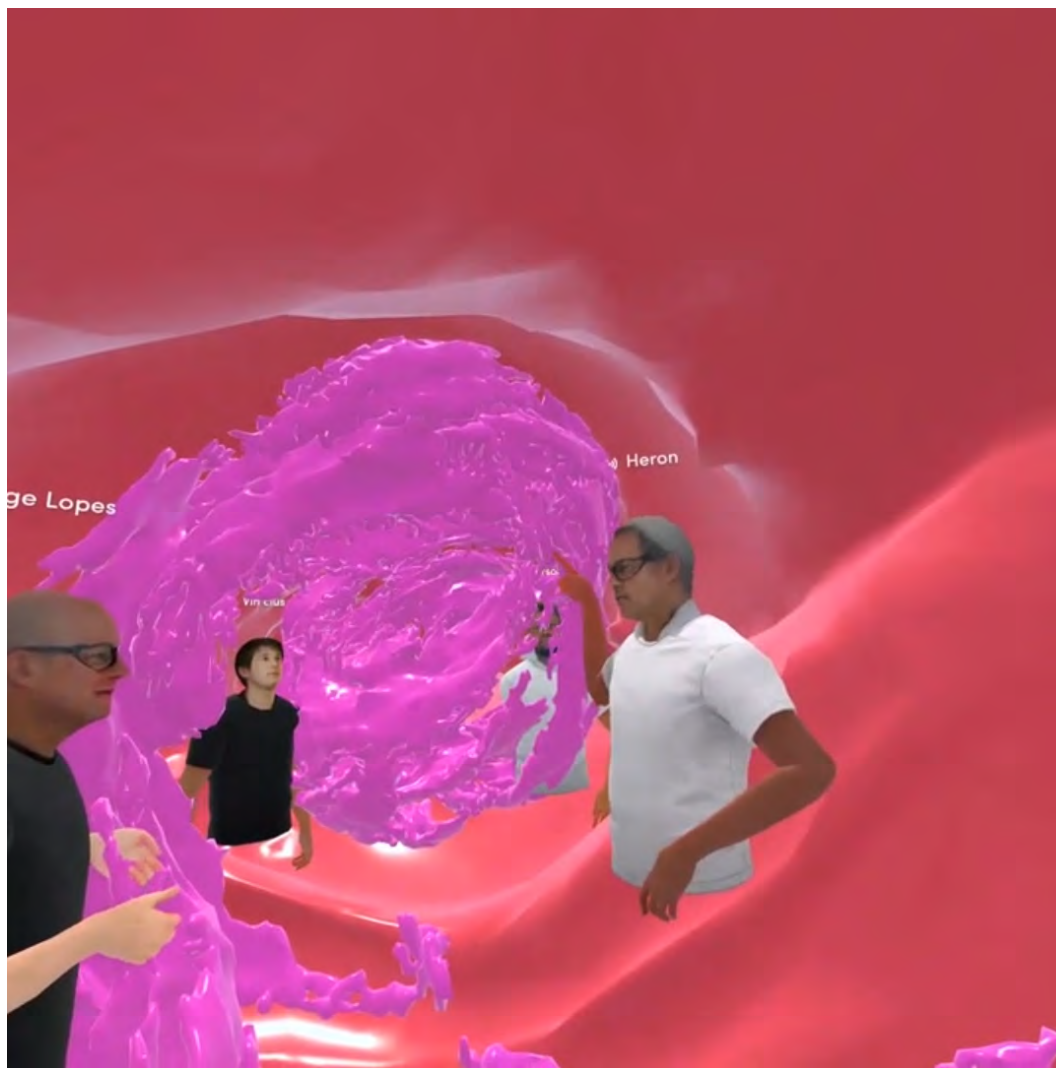


Figura 6.35: Aula na tuba uterina 3D obtida através de microtomografia.  
Fonte: Imagem obtida pelo pesquisador.

## 6.6

### Conclusões específicas

Com relação à preceptoria virtual, ela se mostrou importante como algo novo para os residentes e alguns saberem das possibilidades da tecnologia e se interessarem desde cedo em suas carreiras. Podemos perceber também um fator para auxiliar o preceptor a entender a preparação daquele residente para determinado procedimento, que se não fosse isso talvez ele só tivesse acesso ao caso quando estivesse operando ou assistindo o preceptor operar. Sendo uma boa forma de dar uma aula com uma didática diferente para algumas cirurgias e não seguir à risca o *see one, do one, teach one* permitindo que ele tenha ao menos uma fração da percepção de efetuar aquela ação.

Durante a discussão de caso no ambiente virtual, os neurocirurgiões conseguiram discutir a melhor forma de realizar a operação e foi importante

para uma maior conexão<sup>9</sup> entre ambos. O que, muito provavelmente, foi um dos fatores que viabilizou a vinda dele para o Brasil para colaborar na cirurgia. Durante a experiência, eles conversaram a melhor forma de abordar a cirurgia que foi bem sucedida, fazendo em mais duas etapas e com o cirurgião inglês trazendo um material escasso aqui no Brasil que auxiliou na cirurgia.

Portanto, o uso do metaverso para discussão de casos cirúrgicos complexos entre dois especialistas se mostrou, além de viável, benéfica e preponderante para a conexão entre profissionais. Passada a curva de aprendizado rápida da tecnologia, uma discussão de caso fluida que permitiu aos médicos tomarem as decisões que culminaram no sucesso da cirurgia.

No caso das salas expositivas, elas tem sido importantes em um contexto de ser um meio de demonstrar o que é feito no laboratório e sem necessariamente precisarmos criar algo novo para aquela ocasião. Somado a esse aspecto prático do estilo de sala, elas também se revelaram um poderoso fator de engajamento médico com a instituição quando então vê as possibilidades da realidade virtual compartilhada, como é possível ver nas fotos tiradas pelos médicos no laboratório e publicadas nas redes sociais.

<sup>9</sup>Também nesse sentido pode ser usado o estrangeirismo *network* para o estreitamento de relações profissionais.

## 7

### Conclusões gerais

Existem algumas conclusões tiradas desses experimentos em design e medicina. Alguns sobre o Design e a forma de atuação em mundo cada vez mais complexo e outras sobre a área médica e como os profissionais lidam com inovação, a interdisciplinaridade e outras áreas.

#### 7.1

##### Estrutura na área da saúde.

O campo da medicina fez avanços notáveis em algumas regiões, onde o acesso a recursos e tecnologia de ponta facilitou o desenvolvimento de tratamentos e procedimentos médicos altamente sofisticados. No entanto, em outras partes do mundo, a oferta de assistência médica continua precária e inadequada. Essa disparidade destaca a necessidade de uma distribuição mais equitativa dos recursos médicos, para garantir que todas as populações tenham acesso aos cuidados médicos necessários para manter sua saúde e bem-estar.

Em áreas mais desenvolvidas, a implementação de tecnologias e técnicas médicas avançadas é mais facilmente aceita, pois os sistemas e profissionais de saúde têm os recursos e a experiência para utilizar essas ferramentas com eficácia. Isso resulta em melhores resultados para os pacientes e um padrão de atendimento mais elevado. Por outro lado, em áreas onde os recursos de saúde são limitados, mesmo as intervenções médicas básicas podem ser de difícil acesso, e muitas pessoas sofrem de doenças e condições evitáveis devido à falta de cuidados médicos adequados.

É importante observar que, embora tratamentos e tecnologias médicas avançadas sejam importantes, eles não devem ser o único foco do desenvolvimento médico e dos esforços de implementação. Em vez disso, as necessidades daqueles que mais precisam devem ser a consideração principal. As populações que vivem em ambientes com recursos limitados geralmente têm as maiores necessidades de saúde e é fundamental terem as intervenções e tratamentos médicos básicos para melhorar seus resultados de saúde e qualidade de vida geral.

Outro fator que exacerba isso é o acesso muitas vezes dificultado a esses ambientes para que desenvolvedores e pesquisadores possam acessar e compreender suas necessidades. Esse acesso dificultado não é necessariamente geográfico. Mas, muitas vezes, relacionado às aproximações desses locais com quem potencialmente pode produzir inovação.

Em suma, embora os avanços na medicina tenham melhorado os resultados da saúde em alguns contextos de maior poder aquisitivo, a disparidade no acesso aos recursos médicos destaca a necessidade de uma distribuição mais equilibrada dos recursos médicos. Os esforços de desenvolvimento e de tecnologia médica devem priorizar também as necessidades daqueles que mais precisam, para garantir que todas as populações tenham acesso aos cuidados médicos necessários para manter sua saúde e bem-estar.

## 7.2

### **Sobre inovação médica.**

Os médicos são responsáveis por realizar uma variedade de tarefas diariamente, visando garantir o mais alto nível de atendimento ao paciente. Apesar da repetição dessas atividades, os médicos se esforçam constantemente para melhorar suas práticas. Eles reconhecem que cada paciente é único e requer uma abordagem personalizada para tratamento e cuidados. Para conseguir isso, eles devem estar a par dos novos desenvolvimentos no campo e estar dispostos a incorporá-los em sua prática. Isso requer um nível de flexibilidade e abertura para mudanças, bem como um forte compromisso com a educação continuada e o desenvolvimento profissional. Vale também ressaltar que por mais que a inovação seja interdisciplinar, muitas vezes ela começa a partir do indivíduo e então vão se adicionando pessoas ao time para viabilizar.

Outro fator importante que contribui para a disposição dos médicos em abraçar a mudança é o desejo de agilizar processos e melhorar a eficiência. Em um ambiente acelerado e exigente, eles devem conseguir diagnosticar e tratar pacientes com rapidez e precisão, a fim de obter os melhores resultados possíveis. Foi observado também durante o convívio com esses profissionais que existem alguns tidos como formadores de opinião. Normalmente pelo motivo de terem contribuído além da sua excelência técnica com alguma inovação para o campo que é sua especialidade. Ao se manter informado sobre novas tecnologias e abordagens, os médicos podem identificar oportunidades para melhorar como trabalham, resultando em um uso mais eficiente e eficaz de tempo e recursos, além de sempre se manter inovando tem um grande efeito na manutenção da respeitabilidade obtida anteriormente na área.

Os profissionais médicos desempenham um papel vital na prestação de cuidados aos pacientes e se dedicam a manter os mais altos padrões de atendimento. Apesar da repetição de suas atividades diárias, eles estão sempre buscando maneiras de melhorar suas práticas e permanecem abertos a novos e inovadores métodos de tratamento e diagnóstico. Este é um testemunho do compromisso dos médicos em fornecer o melhor atendimento possível a seus

pacientes e sua dedicação ao avanço contínuo da área médica.

### 7.3

#### **Lidando com a dicotomia: Design x Desenvolvimento de Software.**

Algo interessante que ocorreu durante o desenvolvimento dos experimentos foi que a cada um que se passava a capacidade necessária se distanciava do desenvolvimento de software e se aproximava das habilidades de Design, respectivamente. Do experimento I, o simulador de cirurgia, que envolveu modificar uma malha poligonal em tempo real, ao experimento III que a plataforma para atualizar as edições feitas e distribuir digitalmente em tempo real já estava pronta, restando ao pesquisador usá-la como autoria, passando pelo visualizador de exames que a proporção das duas habilidades foi equivalente.

Dito isso, o impacto dos dois últimos experimentos se mostrou maior. Penso que muito por estar mais alinhado ao que o pesquisador poderia colaborar naquele contexto e buscar atuar em oportunidades de projeto com um escopo menor, pode ajudar a solução a ser mais relevante e focada contexto escolhido.

Logo, o desenvolvimento de software pode ser mais uma das técnicas no arcabouço do designer. Assim como a marcenaria, serigrafia, edição de vídeo entre outras. Contudo, é interessante caso a pessoa deseje continuar sendo designer, que encare essa ferramenta como mais uma que possibilite realizar protótipos de cada vez mais alta fidelidade. Além de experimentos e testes que respondam mais questões sobre os usuários.

### 7.4

#### **Avanço da tecnologia.**

Ao longo das últimas décadas, o avanço das tecnologias computacionais permite uma crescente facilidade e potencialização na execução de projetos tridimensionais. Essa evolução tecnológica impulsiona o desenvolvimento de softwares de modelagem tridimensional cada vez mais sofisticados e acessíveis, além de ferramentas de simulação, visualização e renderização que permitem aos usuários uma ampla gama de possibilidades e recursos.

Entre as principais tecnologias que têm contribuído para a evolução da modelagem tridimensional, pode-se citar a utilização de algoritmos e técnicas avançadas de processamento de imagem. Como a reconstrução de modelos a partir de nuvens de pontos, a utilização de escaneamento a laser e a tomografia computadorizada. Além do uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina para otimizar e automatizar processos de modelagem.

A evolução dos sistemas de hardware permite que computadores pessoais e dispositivos móveis possam executar tarefas cada vez mais complexas, sem comprometer a eficiência e a qualidade do trabalho desenvolvido. Com isso, os profissionais da área de design, engenharia e arquitetura têm à disposição uma ampla gama de ferramentas e recursos para a criação e execução de projetos tridimensionais, que antes eram impensáveis em termos de tempo e recursos.

Como foi possível observar durante a dissertação que ocorreu no período de pouco mais de 2 anos, pudemos vislumbrar o equipamento para realidade virtual HTC Vive Cosmos, da mais alta tecnologia para o metaverso até se tornar obsoleto para o Meta Quest 2, que é menor e mais prático de usar.

Assim, plataformas como ocorreu com a própria Spatial que usamos em todo o capítulo 6, sobre metaverso(capacitação). Ela foi a escolhida por ser multiplataforma e fácil para o autor. O que as outras opções não demonstraram ser durante os testes, com camadas de complexidade que se mostraram desnecessárias quando descobrimos a plataforma Spatial, fundada apenas em 2016.

Hoje só se torna necessário construir um novo software desde o início para o uso da realidade virtual para interações muito específicas. Podemos considerar essa outra questão que o avanço da tecnologia tornou obsoleto. Pois cada vez mais ou a criação de um novo software se mostra desnecessária ou sua a confecção de novos se mostra extremamente facilitada por bibliotecas prontas.

Dessa forma, é possível concluir que o avanço da tecnologia possibilita um aumento significativo na facilidade e potencialização da execução de projetos tridimensionais. A cada ano, novas tecnologias e ferramentas surgem para tornar ainda mais acessível e eficiente a execução de projetos tridimensionais, ampliando as possibilidades de criação e inovação nessa área.

## 7.5

### **Perspectivas Futuras**

Em uma reflexão do que foram os diferenciais da pesquisa no Biodesign-Lab no campo digital. É perceptível que a evolução das visualizações realizadas em 2011 até os últimos artigos publicados, está em agregar cada vez mais camadas de interação, recurso até então pouco aproveitado nas pesquisas do laboratório.

A possibilidade de ajudar a viabilizar e acompanhar a introdução de modelos virtuais interativos para viabilizar que o médico analise o modelo 3D com maior flexibilidade. Vendo de diversos ângulos de sua escolha como em um biomodelo impresso e também tendo a flexibilidade visual de imagens estáticas

e vídeos, com transparência e diferentes materiais e texturas.

Houve intenção de nesse texto documentar o processo, tanto com o viés técnico, como nos capítulos 4.1 e o 6.2 que possuem praticamente um passo a passo para se chegar ao resultado dos experimentos, quanto com viés de pesquisa através do design, relatando incursões do pesquisador nos ambientes médicos, os testes com os usuários e os resultados obtidos a partir de cada um deles.

Claramente essas visualizações interativas, não substituem as anteriores, apenas acrescentam informação, sendo melhores para algumas situações específicas. Como geralmente cirurgias abdominais. Assim como ortopedistas, normalmente não abrem mão da impressão tridimensional. Foi importante também estar fazendo a pesquisa em um ambiente fértil em ideias e com incentivo de uma companhia como a Dasa com diversos profissionais relevantes em seus campos. Isso permitiu um acesso mais fácil ao meio e extinguiu quaisquer barreiras que poderiam existir.

Isso também permitiu visualizar mais impacto sobre os projetos elaborados, já que eles eram disponibilizados para o público devido à capilaridade da Dasa e o network dos médicos parceiros, o que ajudava a construir o interesse dos médicos que solicitavam.

Com relação ao futuro da tecnologia, pode ter ocorrido uma exacerbação da expectativa relacionada, o que movimentou diversos investimentos no campo das realidades mediadas por computador e recentemente está ocorrendo um recuo deles, por exemplo, com o equipamento Microsoft HoloLens sendo descontinuado. Dito isso, pode ser pensado que essas tecnologias agora, vão cada vez mais evoluir e crescer em usuários sem uma expectativa tão grande que não seja compatível com o que ela pode entregar no momento. Seus nichos como jogos e treinamentos para determinadas indústrias seguirão valorizados enquanto outros aparecerão. Apesar dos recentes recuos, a perspectiva segue positiva.

Concluindo, é importante seguir contribuindo com pesquisas na área da saúde e realizando projetos, usando o conhecimento e relações desenvolvidas durante o mestrado. Caso perceba um tópico interessante e relevante, existe a possibilidade de dar continuidade ao conhecimento, seja através do prosseguimento no meio acadêmico, por um doutorado ou passando esse saber adiante para quem está começando.



## 8

### Referências bibliográficas

AF, O.; HM, L.; NA, B. O aprendizado sobre a tecnologia no diagnóstico por imagem. **Radiol Bras**, (1):18–22, 01/02 2014.

AIGA. **American Graphic Design Association WEBSITE**. <<https://www.aiga.org/>>. Acessado em: 17 Jul. 2022.

AMORIM, P.; MORAES, T. Franco de; AZEVEDO, F.; SILVA, J. Invesalius: Software livre de imagens médicas. 11 2014.

AS, G.; B, P.; R, S.; J., G. The impact of patient shadowing on service design: Insights from a family medicine clinic. **Patient Experience Journal**., v. 11, p. 88–98, 08 2021.

BECK, K.; BEEDLE, M.; BENNEKUM, A. van; COCKBURN, A. **The Agile Manifesto**. 2001. "<<http://agilemanifesto.org/>>".

CALEGARI, L. P.; FETTERMANN, D. Um overview sobre a disseminação das tecnologias e-health. p. 45–59, 11 2021.

DICIO. **"booliano"**, in **Dicionário Priberam da Língua Portuguesa**. 2008. Disponível em: <<https://dicionario.priberam.org/booliano>>.

EYSENBACH, G. What is e-health? **J Med Internet Res**, v. 3, n. 2, p. e20, Jun 2001. ISSN 1438-8871.

FRAYLING, C. Research in art and design. 1993.

GLOBO, R. **Reportagem da separação dos gêmeos cranópagos**. <<https://globoplay.globo.com/v/10807822/>>. Acessado em: 2023-01-23.

GOSRISIRIKUL, C.; CHANG, K.; RAHEEM, A. A.; RHA, K. New era of robotic surgical systems. **Asian Journal of Endoscopic Surgery**, v. 11, 10 2018.

H, W.-J. J.; MORGAN, P.; JAMES, W. Software engineering in health care: Is it really different? and how to gain impact. v. 203: 957-964, p. 1–4, 20/05 2013.

HACKL, C. **Defining The Metaverse Today**. 2021. <https://www.forbes.com/sites/cathyhackl/2021/05/02/defining-the-metaverse-today/?sh=7ed9e0d7644>. [Online; Acessado em: 5 Mai.-2021].

HAJAR, R. History of medicine timeline. **Heart Views**, v. 16, 2015. ISSN 1995-705X.

HAN, J. J.; PATRICK, W. L. See one—practice—do one—practice—teach one—practice: The importance of practicing outside of the operating room in surgical training. **Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, Mosby Inc., v. 157, p. 671–677, 2 2019. ISSN 1097685X.

HANSEN, R. The role of experience in learning: Giving meaning and authenticity to the learning process in schools. **Journal of Technology Education**, v. 11, 08 2000.

HERRON, D.; MAROHN, M.; ADVINCULA, A.; AGGARWAL, S.; BRODERICK, T.; BROEDERS, I.; BYER, A.; CURET, M.; EARLE, D.; GIULIANOTTI, P.; GRUNDFEST, W.; HASHIZUME, M.; KELLEY, W.; LEE, D.; MCDUGALL, E.; MEEHAN, J.; MELVIN, S.; MENON, M.; OLEYNIKOV, D.; WEINSTEIN, G. A consensus document on robotic surgery. **Surgical endoscopy**, v. 22, p. 313–25; discussion 311, 03 2008.

IDEO. Ideo method cards: 51 ways to inspire design. p. 5, 01 2003.

KEES, D. On the problem of design problems - problem solving and design expertise. **J. of Design Research**, v. 4, 01 2004.

KOTSIS, S. V.; MPH; CHUNG, K. C.; MD, M. Application of see one, do one, teach one concept in surgical training. **Gen Intern Med.**, v. 131(5), p. 1194–1201., May 2013.

KRAUS, M.; KIBSGAARD, M. A classification of human-to-human communication during the use of immersive teleoperation interfaces. In: . [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–8.

L, V. R.; W, O. C.; MATTHEW, E. Big data: What it is and why you should care. **White paper, IDC**, v. 14, p. 1–14, 2011.

LANFRANCO, A.; CASTELLANOS, A.; DESAI, J.; MEYERS, W. Robotic surgery: A current perspective. **Annals of surgery**, v. 239, p. 14–21, 02 2004.

LARSON<sup>1</sup>, D. B.; FROEHLE, C. M.; JOHNSON<sup>4</sup>, N. D.; TOWBIN<sup>4</sup>, A. J. Communication in diagnostic radiology: Meeting the challenges of complexity. **American Journal of Roentgenology.**, v. 203: 957-964, 2014.

LEONG, J. J.; KINROSS, J.; TAYLOR, D.; PURKAYASTHA, S. Surgeons have held conferences in second life. **BMJ: British Medical Journal**, BMJ, v. 337, n. 7661, p. 68–68, 2008. ISSN 09598138, 17561833. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/20510257>>.

MD, C. C. S.; MD, C. E. G.; MD, D. F.-K.; MD, G. C. H.; MD, S. N. W.; SCD, R. B. D.; MD, A. E.; MD, M. D. A. Creation of an innovative inpatient medical procedure service and a method to evaluate house staff competency. **Gen Intern Med.**, v. 19, p. 510–513, 2004.

NARIN, N.; AYDIN, A content analysis of the metaverse articles. *Journal of Metaverse*, 1, p. 17–24, 12 2021.

RALPH, S. Personalized health care: from theory to practice. **Biotechnology journal**, Wiley Online Library, v. 7, n. 8, p. 973–979, 2012.

RIBEIRO, G. **THE 3D REPRESENTATION OF IMAGES: MEDICAL AND DESIGN ASPECTS**. Dissertação (Mestrado) — PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, 2020.

SANTOS, J. R. L. dos. **3D Modelling tools: the experimental application of digital model making technologies in fetal medicine**. Tese (Doutorado) — Royal College of Art, RCA, 2009.

STEPHENSON, N. **Snow Crash**. [S.l.: s.n.], 1992.

TANG, Y. Research on medical device software development and design based on cmmi model. **International Journal Bioautomation**, Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, v. 23, p. 469–478, 2019. ISSN 13142321.

WT, M.; PW, S. See one, do one, teach one—is this still how it works? a comparison of the medical and nursing professions in the teaching of practical procedures. **Med Teach.**, v. 25, p. 664–666, 2003.

ZENIOS, S.; MAKOWER, J.; YOCK, P. **Biodesign**: The process of innovating medical technologies. [S.l.]: Cambridge University Press, 2010.

ZIMMERMAN, E. Play as design: the iterative design process. **MIT Press**, In: Laurel, B. (Ed),, 2003.



## Correspondence

**An interactive experiment combining ultrasound, magnetic resonance imaging, and force feedback technology to physically feel the fetus during pregnancy**


Dear Editor,

We would like to bring to the attention of your reader that the evolution in image-scanning technology has led to vast improvements in fetal assessments. Ultrasound (US) is the main technology for fetal evaluation, and magnetic resonance imaging (MRI) is generally used when US cannot provide high-quality images. This paper presents an interactive bidirectional actuated human–machine interface experiment involving the combination of a haptic device system (force-feedback technology) and noninvasive medical image technology.

Haptics refers to manual interactions with real or virtual environments that enable touching, feeling, and manipulating objects in these environments [1]. In the context of virtual reality, haptic sensations are created by actuators or motors of specific devices, which generate vibrations to the users, and are controlled by software. The potential of haptics in medical training through simulations has been recognized as a way to acquire clinical and surgery skills [2]. Haptics is also studied as a technology to improve success ratio in tele-operated, robot-assisted surgeries [1,2].

Advances in the technology of haptic devices as well as in image scanning technologies have provided new opportunities in medical diagnosis and surgical planning. Within this context, the experiment presented here is part of a study involving additive manufacturing models of fetuses and virtual reality technologies to generate immersive three-dimensional (3D) images in fetal medicine [3–5].

US was performed transabdominally using a high-resolution electronic probe with harmonic imaging (2–7-MHz transducer, Voluson

E10, GE Medical Systems, Zipf, Austria). MRI was performed using a 1.5-T scanner MR 450 w (GE, Waukesha, USA). The protocol used for 3D MRI reconstruction was FIESTA sequence in the sagittal plane (TR, 3.4 ms; TE, 1.4 ms; voxel size,  $1.6 \times 1.6 \times 1.6 \text{ mm}^3$ ; FA, 70; PAT, 2; acquisition time, 0.23 s).

For this experiment, the haptic device used was the touch 3D stylus system from the American company 3D Systems. The 3D files of the fetuses' bodies were modeled through the superimposition of several slices obtained from MRI and fetal faces from 3D US.

Once the 3D shape was obtained, its virtual characteristics and the womb ambience were created considering illumination, color textures, shades, positioning, and bumpiness using a plugin developed for Unity 3D y, a game engine used to develop 3D games and simulations. We manipulated the physical responses of the device when the fetus shape was virtually touched (Figs. 1 and 2). These interactions included collision responses based on the friction coefficient and stiffness of the touched area (physical contact with the fetus). To complement the physical interaction, we introduced visual effects, such as shape deformation based on the properties of the involved area and animations to simulate fetus motion (Videos S1 and S2). Several tests with patients have been performed to date, and improvements have been discussed and implemented. After the initial period of tests and successful reports, the team aims to improve the experiment using new haptic devices. In particular, we intend to develop a haptic glove to provide a more realistic experience of touching the fetus which could mimic real-time examination interactions for parents-to-be.



Fig. 1. (a) Ultrasound image of the fetal face (28 weeks). (b) Physical contact with collision responses.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.11.020>

Received 14 July 2018

0720-048X/ © 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.



Fig. 2. (a) Magnetic resonance image of the fetal body (27 weeks). (b) Physical contact with collision responses.

#### Appendix A. Supplementary data

Supplementary material related to this article can be found, in the online version, at doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.11.020>.

#### References

- [1] S. Kapoor, P. Arora, V. Kapoor, et al., Haptics–touch feedback technology widening the horizon of medicine, *J. Clin. Diagn. Res.* 8 (2014) 294–299.
- [2] X. Yin, S. Guo, H. Hirata, H. Ishihara, Design and experimental evaluation of a teleoperated haptic robot-assisted catheter operating system, *J. Intel. Mater. Syst. Struct.* 27 (2016) 3–16.
- [3] H. Werner, J.R. dos Santos, R. Fontes, et al., Additive manufacturing models of fetuses built from three-dimensional ultrasound, magnetic resonance imaging and computed tomography scan data, *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 36 (2010) 355–361.
- [4] H. Werner, J.R. Lopes dos Santos, R. Fontes, et al., Virtual bronchoscopy for evaluating cervical tumors of the fetus, *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 41 (2013) 90–94.
- [5] H. Werner, J.R. Lopes dos Santos, G. Ribeiro, et al., Combination of ultrasound, magnetic resonance imaging and virtual reality technologies to generate immersive three-dimensional fetal images, *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 50 (2017) 271–273.

Heron Werner  
 Department of Radiology, Clínica de Diagnóstico por Imagem (CDPI), Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Vinícius Arcoverde, Gerson Ribeiro, Jorge Lopes  
 Department of Arts and Design, Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Jan Jose Hurtado Jauregui, Alberto Barbosa Raposo  
 Department of Informatics, Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Edward Araujo Júnior<sup>a,b,\*</sup>  
<sup>a</sup> Department of Obstetrics, Paulista School of Medicine, Federal University of São Paulo (EPM-UNIFESP), São Paulo, SP, Brazil

<sup>b</sup> Medicine course, Municipal University of São Caetano do Sul (USCS), São Paulo, SP, Brazil  
 E-mail address: [araujojred@terra.com.br](mailto:araujojred@terra.com.br).

\* Corresponding author at: Rua Belchior de Azevedo, 156 apto. 111 Torre Vitoria, São Paulo, SP, CEP 05089-030, Brazil.



# A Proposal for Combining Ultrasound, Magnetic Resonance Imaging and Force Feedback Technology, During the Pregnancy, to Physically Feel the Fetus

Jorge Roberto Lopes dos Santos<sup>1,2(✉)</sup>, Heron Werner<sup>3</sup>,  
Alberto Raposo<sup>1</sup>, Jan Hurtado<sup>1</sup>, Vinicius Arcoverde<sup>1</sup>, and Gerson Ribeiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil  
jorge.lopes@puc-rio.br, {abraposo,hurtado}@tecgraf.puc-rio.br,  
vinicius.p.arcoverde@gmail.com,  
gerson.ribeiro.md@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnologia - INT, Rio de Janeiro, Brazil  
jorge.lopes@int.gov.br

<sup>3</sup> Clínica de Diagnóstico por Imagem - CDPI, Rio de Janeiro, Brazil  
heronwerner@hotmail.com

**Abstract.** Evolutions in image-scanning technology have led to vast improvements in the fetal assessment. Ultrasound (US) is the main technology for fetal evaluation. Magnetic resonance imaging (MRI) is generally used when US cannot provide high-quality images. This paper presents an interactive bidirectional actuated human-machine interface proposal developed by the combination of a haptic device system (force-feedback technology) and a non-invasive medical image technology.

**Keywords:** Fetus · Ultrasound · MRI · Haptics · Interaction

## 1 Introduction

Advances in image-scanning technology have led to vast improvements in the fetal evaluation. The use of magnetic resonance imaging (MRI) as an adjunct to ultrasound (US) in fetal imaging is becoming widespread in clinical practice.

This paper presents an interactive bidirectional actuated human-machine interface proposal developed by the combination of a haptic device system (force-feedback technology) and a non-invasive medical image technology as the MRI and/or US employed by a pregnant patient actively interacting with a virtual 3D model of her own fetus during the pregnancy.

This proposal is part of the fetus 3D, a project being developed in Brazil, by the collaboration of radiological sector of a private clinic with research university laboratories, where several technologies as virtual reality – VR, 3D printers, and more recently haptic 3D devices are combined with non-invasive image technologies for diagnostic

purposes in fetal medicine as ultrasound, MRI and in some special cases, computerized tomography scanners.

For this proposal, the haptic device adopted was the touch 3D stylus system from the American company 3D Systems. In order to include the virtual human reference, a simple cursor was included on the interface screen. The 3D models of the fetuses tested on the experiment were modeled through the superimposition of the several slices obtained from the US and MRI equipment where the patient was scanned.

Once the 3D model was obtained, the virtual characteristics and the womb ambience were then created (coloring, shades, positioning, and other characteristics). Some physical responses were also developed using Open Haptics library and Unity 3D. These responses include the heart beating, skin pressure, textures and the collision of the cursor with the fetus.

Some tests with US and MRI exams were done using our proposal. We developed the cases considering the pathologies as our areas of interest to have a better visualization and interaction within it.

The structure of this document is described as follows. In Sect. 2, we describe some related work relevant for our proposal. Since our proposal consists of two main steps (reconstruction and environment set up), in Sect. 3 we describe in detail how the 3D model is obtained, and in Sect. 4 how to set up the environment considering the visualization and the haptic device interaction. Our test cases are presented and described in Sect. 5, considering a medical point of view and the processing of the data. In Sect. 6, we present our conclusions and possible future works.

## 2 Related Work

There are many applications of three-dimensional imaging techniques in fetal medicine. In general, two types of examinations are used in order to obtain images of the uterine cavity during pregnancy: US and MRI. For example, Werner et al. proposed in [1], the generation of 3D printed models for medical analysis. In the case of Virtual Reality (VR) there exists a large amount of methods which include different types of interaction [2]. In [3], dos Santos proposed an immersive fetal 3D visualization using the mentioned acquisition techniques. Combining these techniques is helpful to have a more accurate morphological analysis of the fetus. Werner et al. uses in [4] a correlation between them to detect typical lesions in the fetal nervous system, and in [5], the authors proposed a 3D model reconstruction using the same acquisition techniques to detect a malformation.

Haptics is a relatively new research field which is growing rapidly. The involved brain processes are partially understood and new sensory illusions were discovered recently [6]. In the field of medicine, several applications using this kind of technology were proposed such as clinical skill acquisition [7, 8]. Haptics technology was also used in fetal medicine to allow mothers to interact with the virtual representation of the fetus. Prattichizzo et al. proposed in [9] an application to allow this interaction using ultrasound imaging. They process the ultrasound exam, reconstruct a 3D surface (mesh) and then interact with the fetus using the haptic device. Severi et al. proposed the usage of this



proposal to decrease maternal anxiety and salivary cortisol [10]. In fact, the last two works are the main references for our proposal.

### 3 Fetus 3D Model Reconstruction

Our proposal allows the user to interact with the surface of a virtual fetus generated from medical image acquisition, i.e. US and MRI. Generating a surface from this kind of data involves several topics of image processing and geometry processing, which are areas of computer science. The fidelity of the generated surface regarding the real fetus surface will define a better interaction with the user. For this reason, we opted to combine the mentioned acquisition techniques and obtain a more robust representation. In this section we will explain how we generate the fetus surface, represented by a polygon mesh (triangular mesh), following a semiautomatic process.

We receive as input two volumes (a set of continuous slices) with intensity values generated by US and MRI imaging. These values represent a physical response depending on the acquisition technique. In our case, we obtained these volumes in DICOM or NRRD file formats, which are file formats supported by most of MRI and US machines. We read these types of files using the loader and DICOM module of 3D Slicer [11], which is an open source software for medical image processing and visualization. In fact, we use this software for the entire model reconstruction pipeline. It is important to say that 3D Slicer was developed using the Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK) [12], a library used in several works of the medical area. Both platforms are part of the Kitware company.

Images generated using MRI are usually well defined without the presence of undesired noise. In counterpart, US images present speckle noise which is a challenging problem for the segmentation. In our proposal, we can perform an anisotropic volume denoising algorithm included in the filtering module of 3D Slicer (e.g. curvature anisotropic diffusion) to preserve details while removing noise.

To reduce the domain of the segmentation, obtaining a less complex input, we can define a region of interest delimited by a 3D bounding box, such that the final result is also restricted to it.

In the case of MRI images, it is possible to recognize different structures defined by the voxel intensity values. For example, the skin and the bones of the fetus have different values. So, it is important to segment all components that form the fetus body and differentiate them from external structures like the placenta, due that the image comes with mother's body components.

In the case of US images, it is harder to recognize internal structures but it is possible to recognize the external shape of the fetus. We are interested in binarizing the volume, such that the shape is preserved and non-fetus components are excluded.

In both cases, to perform the segmentation, we use thresholding tools/removal and manual/assisted selections. This task is usually addressed by a designer with experience in medical imaging because this expertise is helpful to obtain a segmentation with high fidelity.

Once we have a segmented image (binarized image), where we can recognize the surface of the fetus, we reconstruct a polygon mesh (triangular mesh) using it. In specific, we use the marching cubes algorithm [13] to generate the mesh, and the  $\lambda$ - $\mu$  Taubin smoothing algorithm [14] to remove the noise of the reconstruction avoiding mesh shrinkage. These algorithms are implemented in the model maker module of 3D Slicer.

Then, for each image acquisition technique, we have a rough mesh that needs to be processed. Using mesh processing algorithms, we can obtain a better one which is closer to the ideal fetus surface. For these tasks we used MeshLab [15], which is an open source software for processing and editing 3D triangular meshes. As a first step of this subprocess, we perform a remeshing over the initial mesh, preserving the shape and generating a new regular mesh (regular triangles) which will be helpful to avoid distortion in the subsequent algorithms. Since in the reconstruction step we generate a rough mesh with probably millions of vertices, we perform a mesh decimation to reduce the complexity and avoid heavy processes in the next steps. It is important to take care in the decimation criteria because we do not want to remove important details for the later analysis. As the last step, we can smooth the mesh again in an interactive manner to obtain a better representation for visualization.

Finally, we have to align the clean meshes (one from US and other from MRI) and merge them to obtain the final result. We use the align tool of MeshLab which supports

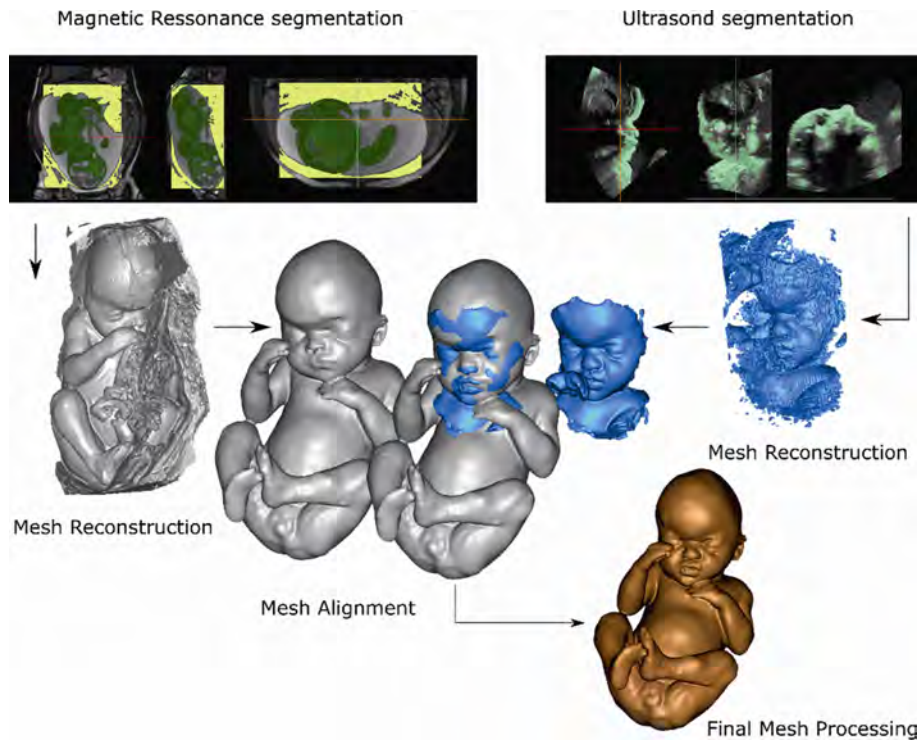


Fig. 1. 3D fetal model (28 weeks) reconstruction pipeline.



**Fig. 2.** Example of normal fetal face visualization using the proposed rendering features (27 weeks of gestation).

manual and automatic alignment using reference points. Both alignment techniques allow us to find the linear transformation that better fits one mesh to other. Once we have the two meshes aligned, we manually remove regions without coherence and merge close vertices generating a point cloud formed by the set of vertices of both meshes. Then we compute a mesh based on the point cloud and start a mesh processing pipeline similar to the previous one. This resulting mesh is then used in the virtual environment.

In the case that we have only one type of image acquisition we can avoid the alignment step and just use a single reconstructed mesh.

Figure 1 summarizes the 3D model reconstruction pipeline of a fetus.

#### 4 Virtual Environment and Interaction

In this section we will explain how we set up the environment and how the user will interact with the virtual fetus representation, visualizing and touching it.

Once we have a 3D polygon mesh representation of the fetus surface, we preprocess it before including it in the environment. The first thing we do, is an adaptive decimation, such that we highly reduce the number of polygons while maintaining a high number of them in the regions of interest. Otherwise, the visualization and collision detection for haptic device, will require higher computational time that can disrupt the interaction (user's comfort with the application). These regions of interest that have a higher number of polygons are, for example, surface areas with a fetus pathology which need a more accurate and soft interaction than others (higher sensibility and likelihood possible in the touch). We perform this adaptive decimation using Blender [16].

After this, we have a model with less number of triangles which is easy to handle but has a really bad resolution for visualization. For this reason, using the original model, we generate a normal map (represented as a texture) for the decimated mesh. This normal map results from the projection of the normals of the original mesh onto the decimated

mesh (normal baking). So, using this map, we can calculate the normals for each fragment in the rendering pipeline (normal mapping or bump mapping). With this technique, it is possible to visualize a low resolution mesh with high level of detail.

We set up the virtual environment using Unity 3D [17] due to its large amount of tools for visualization and interaction. We were aiming to generate empathy to the user through the connection with the virtual fetus. In this way, it is important to make the experience as realistic as possible. We know that the user maybe has no idea of how the fetus looks like inside the womb, and the nearest experience to this one, is the visualization of the volume implemented in ultrasound machines. So, the latter is a good reference for us to replicate it. We use a lighting scheme composed by three fill lights such that their positions and intensities simulates the mentioned volume rendering effect. Also, we added some rendering features such as: antialiasing to smooth the edges, ambient occlusion to give notion of ambient light, shadowing projection to help the user to identify where is the haptic cursor, and color grading to reach the same color as in the mentioned volume renderings (Fig. 2).

In addition to a static visualization, modern US machines are able to generate 4D images that give sense of movement. Trying to simulate this movement we introduced animations that are similar to the movements showed when using US machines. With this feature, the visualization is closer to the mentioned experience.

Another important thing that we need to set up, is the haptic device interaction. We use the Touch 3D Stylus as haptic device and a Unity plugin [18] that allows us to have access to the Open Haptics library [19]. This library allows us to manipulate some information and functionalities of the device. The main feature that we have to manage is the detection of collisions. When the fetus is virtually touched, the device must produce a force that gives touching sensation to the user in the real world. In addition to the collision, it is possible to define different materials and textures that give to the user different sensations generated by the vibration of the device. The surface should be smooth with a certain level of friction, avoiding a slippery sensation, and sufficiently soft to simulate the skin. Also, when the fetus skin is pressed the haptic device should generate a little damping.

Different areas of the fetal body can have different stiffness properties. For example, the forehead or other areas with prominent bones should be more rigid than other ones like the cheeks or the lips. So, we implemented a stiffness mapping to allow us to define the stiffness value of a point in the surface. We use this map to dynamically update the global properties of the object and simulate the definition of local properties (for each vertex of the mesh). This mapping is introduced as a texture, in a similar way to the normal mapping.

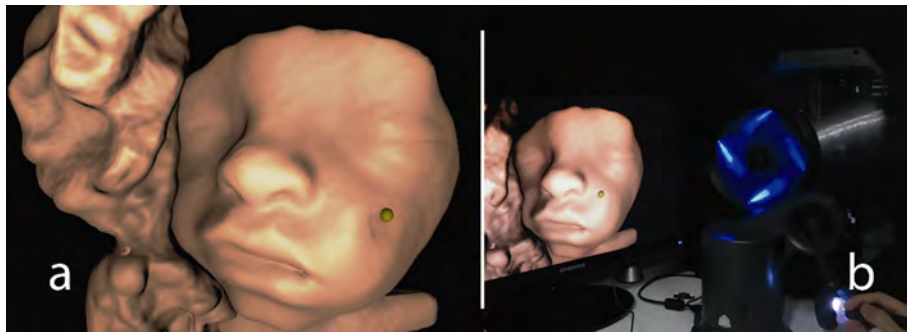
Another important feature is that the touching sensation should be synchronized with the visualization. So, if we press a soft region of the fetus and we feel that we are deforming it, the mesh used in the visualization should be deformed too. To obtain this effect, we developed a simple mesh deformation algorithm that reads the same local stiffness values used by the haptic device.

In addition to the mentioned features, we implemented an effect to simulate the fetus heart beating, such that when the user is touching an area near to the heart, the device starts the beating effect.

Figures 3 and 4 show examples of interactions with a fetus using the haptic device.



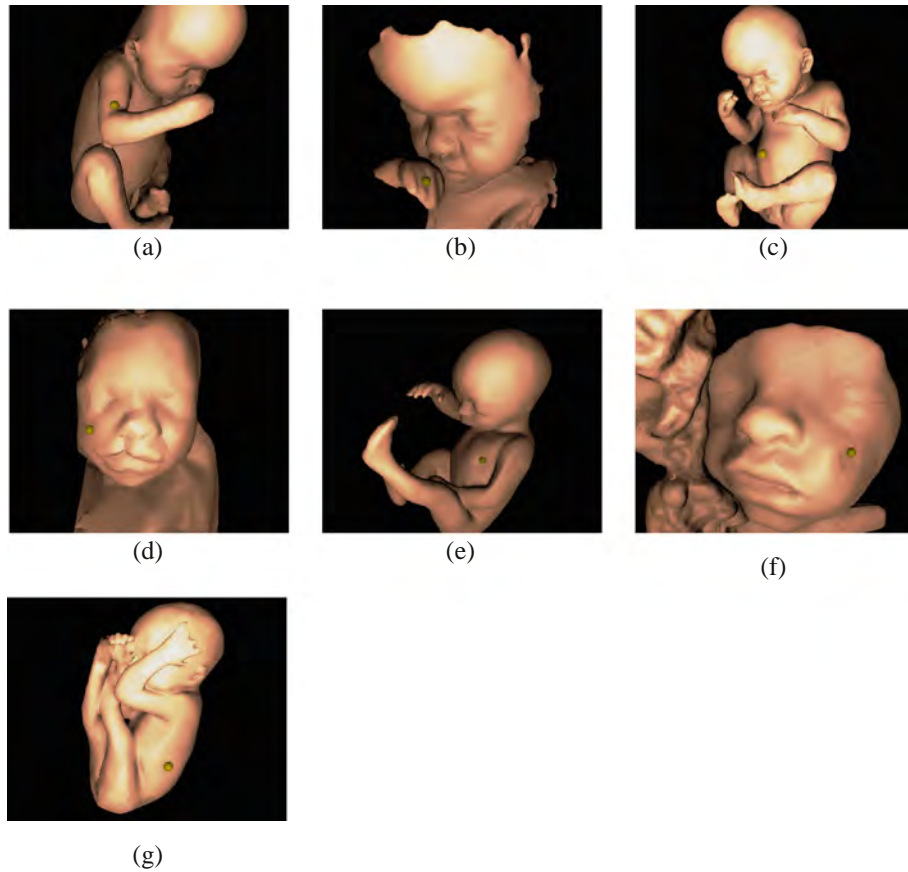
**Fig. 3.** Example of an interaction using a complete fetus model (28 weeks). (a) Screen visualization. (b) User interaction.



**Fig. 4.** Example of an interaction using a fetal face model (27 weeks). (a) Screen visualization. (b) User interaction.

## 5 Test Cases

We performed tests with real data acquired from exams done to patients. The test cases contain exams with healthy fetuses and fetuses presenting pathology. For all cases, in Fig. 5 we show the visualization of each one and the user cursor virtually touching it. Each of these cases will be explained in this section with a medical point of view and the respective data processing using our proposal.



**Fig. 5.** Visualization of all test cases. (a) Apert syndrome – MRI. (b) Apert syndrome – US. (c) Apert syndrome – MRI + US. (d) Cleft lip – US. (e) Normal fetus – MRI. (f) Normal fetal face – US. (g) Normal fetal body – MRI.

### 5.1 MRI (Apert Syndrome)

Prenatal US and MRI at 28 weeks of gestation allowed the identification of all phenotype of Apert syndrome. The 3D visualization allowed better understanding of fetal abnormalities by parents and medical team.

For this case, it was generated a MRI volume which has a good quality and the fetal shape is well defined. The main challenging problem in this case is that we have to preserve the details of the region containing the pathology. For this reason, we take special care when segmenting and processing the hands and feet. We performed the segmentation using two different layers, one for the region that contains the pathology and the other for the rest of the body. So, the segmentation process is executed independently over each differentiated region. The mesh processing steps are treated as in most cases considering the adaptive decimation for the interest regions (See Fig. 5a).



## 5.2 US (Apert Syndrome)

Three-dimensional (3D) US allows better assessment of face and extremities surface abnormalities and can be a useful adjunct to 2D US for parental counseling in Apert syndrome cases.

In this case we received as input an US volume with less speckle noise that allows us to use thresholding algorithms without too much of manual processing. As in much of ultrasound volumes, applying a simple thresholding produces floating fragments and holes. To address this problem, we use small component removal and hole filling. Then the rest of the process is executed normally (See Fig. 5b).

## 5.3 US Combined with MRI (Apert Syndrome)

3D virtual models from US and MRI scan data allows better understanding of fetal malformations.

Here we used the final result of the previous two cases, executing an automatic mesh alignment algorithm to match the corresponding shapes. Then we refine manually this alignment such that the meshes are as close as possible. MRI gives us the shape of the fetus body and ultrasound gives us a better approximation of the fetus face shape. With the point cloud generated by both meshes we reconstruct a new mesh which is processed like the others, removing non-aligned regions (See Fig. 5c).

## 5.4 US (Cleft Lip)

3D reconstruction of the fetal face from US allows an immersive real environment, improving the understanding of fetal congenital anomalies such as cleft lip by the parents and the medical team.

Here we received as input an US volume. As in a previous case the volume does not have too much speckle noise and the face of the fetus is relatively clear. Using a thresholding scheme gives us a good initial result with detailed enhancing of the region containing the pathology (See Fig. 5e).

## 5.5 MRI (Normal Fetal Body)

MRI provides additional information about fetal anatomy and conditions in situations where US cannot provide high-quality images.

In this case we received as input a MRI volume with high quality. The main difficulty is that the fetus is too close to the pouch, due that external structures can disrupt the segmentation. Several manual crops were done to define our target volume. We decided to segment it in independent parts and then merge all of them to generate the final model. The mesh processing steps are executed normally (See Fig. 5f).



### 5.6 US (Fetal Face)

US is currently the primary method for fetal assessment during pregnancy because it is patient friendly, useful and considered to be safe.

The input in this case was an US volume with more speckle noise than the other US cases. For this reason, we previously filtered the volume to have a better definition of the fetus shape without too much noise. Then we treated it as in the other ultrasound cases, with the difference that the fetus does not have a region of interest (See Fig. 5g).

### 5.7 MRI (Blind Pregnant Patient)

Maternal–fetal attachment (MFA) is defined as the extension in which women engage in behaviors that represent an affiliation and interaction with their unborn child. The ability to view a fetus as an independent being at an earlier point in pregnancy likely contributes to the MFA developing at a much earlier point in fetal development. Force-feedback technology would be very important to the assessment of MFA in blind pregnant women.

In this case the input was a MRI volume without too much artefacts. Due that the fetus was static during the exam, the borders of the volume are well defined but the contrast of the voxel values turns more difficult the segmentation. The other processes are executed normally (See Fig. 5h).

## 6 Conclusion and Future Work

As we can see in Figs. 5a, b and c, the model that was reconstructed using US and MRI, gives us a more detailed shape description which results in a better morphological analysis and a more faithful interaction.

The invited patients and physicians who tested the device, described that the overall level of engagement and realism was satisfactory, as an interesting experience to physically feel features such as the skin pressure and texture combined with the heartbeat of the fetus. The team aims to improve the proposal by testing different haptic devices, such as a haptic glove in order to provide as result a more realistic and friendly experience of touching the fetuses for parents to be and physicians.

## References

1. Werner Júnior, H., Santos, J.L.D., Belmonte, S., Ribeiro, G., Daltro, P., Gasparetto, E.L., Marchiori, E.: Applicability of three-dimensional imaging techniques in fetal medicine. *Radiologia Brasileira* **49**(5), 281–287 (2016)
2. Yoshida, E.A., Castro, M.L., Martins, V.F.: Virtual Reality and Fetal Medicine – A Systematic Review (2017)
3. dos Santos, J.R.L., Werner, H., Ribeiro, G., Belmonte, S.L.: Combination of non invasive medical imaging technologies and virtual reality systems to generate immersive fetal 3D visualizations. In: Duffy, V.G.G. (ed.) DHM 2016. LNCS, vol. 9745, pp. 92–99. Springer, Cham (2016). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-40247-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40247-5_10)

4. Werner, H., Gasparetto, T.D., Daltro, P., Leandro, E.G., Araujo, E.J.: Typical lesions in the fetal nervous system: correlations between fetal magnetic resonance imaging and obstetric ultrasonography findings. *Ultrasonography* (2017)
5. Werner, H., Lopes, J., Tonni, G., Júnior, E.A.: Physical model from 3D ultrasound and magnetic resonance imaging scan data reconstruction of lumbosacral myelomeningocele in a fetus with Chiari II malformation. *Child's Nervous Syst.* **31**(4), 511–513 (2015)
6. Kajimoto, H., Saga, S., Konyo, M.: *Pervasive Haptics*. Springer, Sendai (2016)
7. Okamura, A.M., Basdogan, C., Baillie, S., Harwin, W.S.: Haptics in medicine and clinical skill acquisition [special section intro.]. *IEEE Trans. Haptics* **4**(3), 153–154 (2011)
8. Kapoor, S., Arora, P., Kapoor, V., Jayachandran, M., Tiwari, M.: Haptics-Touchfeedback technology widening the horizon of medicine. *J. Clin. Diagn. Res. (JCDR)* **8**(3), 294 (2014)
9. Praticchizzo, D., La Torre, B., Barbagli, F., Vicino, A., Severi, F.M., Petraglia, F.: The FeTouch Project: an application of haptic technologies to obstetrics and gynaecology. *Int. J. Med. Robot. Comput. Assist. Surg.* **1**(1), 83–87 (2004)
10. Sevenri, F.M., Praticchizzo, D., Casarosa, E., Barbagli, F., Ferretti, C., Altomare, A., Vicino, A., Petraglia, F.: Virtual fetal touch through a haptic interface decreases maternal anxiety and salivary cortisol. *J. Soc. Gynecol. Investig.* **12**(1), 37–40 (2005)
11. Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J.C., Pujol, S., Bauer, C., Jennings, D., Fennessy, F., Sonka, M., Buatti, J.: 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn. Reson. Imaging* **30**(9), 1323–1341 (2012)
12. Yoo, T.S., Ackerman, M.J., Lorensen, W.E., Schroeder, W., Chalana, V., Aylward, S., Metaxas, D., Whitaker, R.: Engineering and algorithm design for an image processing API: a technical report on ITK-the insight toolkit. *Stud. Health Technol. Inform.* **85**, 586–592 (2002)
13. Lorensen, W.E., Cline, H.E.: Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm. *ACM SIGGRAPH Comp. Graph.* **21**(4), 163–169 (1987)
14. Taubin, G.: A signal processing approach to fair surface design. In: *Proceedings of the 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 351–358. ACM (1995)
15. Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., Ranzuglia, G.: Meshlab: an open-source mesh processing tool. In: *Eurographics Italian Chapter Conference*, vol. 2008, pp. 129–136 (2008)
16. Blender Homepage. <https://www.blender.org/>. Accessed 07 Feb 2018
17. Unity 3D Homepage. <https://unity3d.com/>. Accessed 07 Feb 2018
18. Poyade, M., Kargas, M., Portela, V.: *Haptic Plug-In For Unity3D* (2014)
19. Itkowitz, B., Handley, J., Zhu, W.: The OpenHaptics™ toolkit: a library for adding 3D Touch™ navigation and haptics to graphics applications, pp. 590–591 (2005). <https://doi.org/10.1109/WHC.2005.133>