UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
LIKA - LABORATÓRIO DE IMUNOPATOLOGIA KEIZO ASAMI.
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA APLICADA À SAÚDE

RAIMUNDO FRANCISCO DE AMORIM JÚNIOR

CONSTRUÇÃO DE MODELOS IMPRESSOS EM 3D E AVALIAÇÃO DA VALIDADE DO MÉTODO NO ENSINO DE ECOCARDIOGRAFIA PEDIÁTRICA

RECIFE
2020

RAIMUNDO FRANCISCO DE AMORIM JÚNIOR

CONSTRUÇÃO DE MODELOS IMPRESSOS EM 3D E AVALIAÇÃO DA VALIDADE DO MÉTODO NO ENSINO DE ECOCARDIOGRAFIA PEDIÁTRICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biologia Aplicada à Saúde do Laboratório de Imunopatologia Keiso Azami, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Biologia Aplicada à Saúde.

Área de concentração: Biologia Aplicada à Saúde

Orientadora: Dra. Sandra da Silva Mattos

Coorientador: Prof. Dr. Walter Franklin Marques Correia

RECIFE

Catalogação na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

Amorim, Raimundo Francisco de
Construção de modelos impressos em 3D e avaliação da validade do método no ensino da ecocardiografia pediátrica / Raimundo Francisco de Amorim júnior. - 2020.

119 f. : il.

Orientadora: Sandra da Silva Mattos.
Coorientador: Walter Franklin Marques Correia.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia Aplicada a Saúde, Recife, 2020.
Inclui referências e apêndices.

1. Ecocardiografia. 2. Coração – imagem. 3. Medicina - Estudo e ensino Mattos, Sandra da Silva (orientadora). II. Correia, Walter Franklin Marques (coorientador) II. Menezes, Tatiane Gomes Calaça (coorientadora) III. Título.

610 CDD (22.ed.) UFPE/CB-2020- 097

2020

RAIMUNDO FRANCISCO DE AMORIM JÚNIOR

Construção De Modelos Impressos em 3D e Avaliação da Validade do Método no Ensino de Ecocardiografia Pediátrica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Aplicada à Saúde, do Centro de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia Aplicada à Saúde.

Aprovado em: 14/02/2020

BANCA EXAMINADORA

_____

Profª. Dra. Sandra da Silva Mattos (Orientadora)

Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami – LIKA – UFPE, Unidade de Cardiologia Materno Fetal, Real Hospital Português

_____

Prof. Dr. Fábio Ferreira da Costa Campos (Examinador Externo)

Departamento de Design - UFPE

_____

Profª. Dra. Vera Demarchi Aiello (Examinadora Externa)

Instituto do Coração da Universidade de São Paulo

"Dedico esta dissertação a minhas duas filhas: nestas páginas, está parte do tempo que não estive com vocês. Dedico ainda a cada criança cardiopata e suas famílias: Nestas páginas, está muito do que vocês me ensinaram"

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Dra. Sandra da Silva Mattos e equipe da UCMF por terem me acolhido, me treinado, me dado um assento em um velho sofá e convertido meus desejos em caminhos.

Ao meu Coorientador, Prof. Dr Walter Franklin Marques Correia, por ter me proporcionado uma experiência imersiva no universo do Design e da tecnologia de impressão 3D.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, por ter acreditado neste projeto.

A minha esposa, Suerda, por me amar incondicionalmente, por me apoiar nos meus devaneios, mas sobretudo por me lembrar sempre que não existe bem maior que a família!

Às minhas filhas, Alice e Letícia por encherem minha vida de significado todos os dias.

Aos meus avós, paternos e maternos, que sem nunca terem conhecido um banco de universidade, iniciaram uma linda tradição de respeito e incentivo aos estudos e à formação acadêmica em duas famílias do sertão potiguar.

Aos meus pais, alicerces da minha formação, exemplos de amor e de vida reta e serena, que me abençoaram com sua convivência, com seu estímulo, com seu afeto. Obrigado por sempre confiarem em mim.

Ao meu irmão Mário Amorim, que foi provavelmente o estudante mais dedicado que conheci na minha adolescência e que mais me propeliu no sentido da constante auto superação. Obrigado pela eterna torcida, ainda que à distância.

Aos amigos Leandro, acadêmico do curso de Design e Ricardo, médico residente de cardiologia pediátrica pelo apoio na confecção e impressão dos modelos e aplicação dos questionários, mas sobretudo pelos momentos divertidos trabalhando nas peças impressas.

Ao amigo e futuro pai, Dr. Felipe Mourato, que me incentivou a trilhar o caminho da pesquisa, não só com palavras, mas como exemplo vivo de amor e dedicação à ciência.

À amiga e colega de mestrado Ana Emília por sempre me acompanhar com a reflexão mais importante dos últimos dois anos: “por que estamos aqui?”

A todos que trabalham na cirurgia cardíaca pediátrica do INCOR/Natal, especialmente aos colegas Madson, Joyce, Ana Luiza e Helbane que cobriram meus desfalques decorrentes do mestrado. Com vocês aprendo todo dia o significado verdadeiro de profissionalismo, amizade e coleguismo.

Aos profissionais e voluntários do Círculo do Coração, da AMICO e de todas as instituições que escolheram por missão apoiar a causa da cardiopatia congênita no Brasil.

Ao setor de radiologia do INCOR, na pessoa do Dr. Ruy Alberto, e aos pacientes que gentilmente cederam as imagens de seus corações para que pudéssemos reconstruí-las, sonhando melhorar a assistência à cardiopatia congênita através destas pecinhas de plástico.

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.” Paulo Freire, Pedagogia da Autonomia

RESUMO

A abordagem clássica para o ensino da cardiologia e ecocardiografia pediátrica se dá através de modelos em duas dimensões, como diagramas e fotos. A utilização de modelos em 3D para treinamento na área encontra amparo na dificuldade em se reconstruir mentalmente a estrutura tridimensional do coração, sendo que modelos físicos, impressos em 3D, podem contribuir para essa construção mental. Este trabalho objetiva gerar modelos impressos em 3D de corações com doenças congênitas, de maneira a permitir a visualização da anatomia cardíaca interna através de cortes que simulam aqueles obtidos pelo ecocardiograma, e avaliar a validade facial, de constructo e de conteúdo dos modelos impressos como auxiliares no processo de ensino-aprendizagem de profissionais em treinamento em ecocardiograma. Para tanto, foram selecionados 4 casos de crianças com cardiopatias congênitas que realizaram angiotomografia por indicação clínica (1 comunicação interatrial; 1 coarctação da aorta e comunicação interventricular; 1 persistência do canal arterial; e 1 defeito de septo atrioventricular total). O volume foi reconstruído em software de segmentação e trabalhadas em programas de pós processamento, sendo simulados os cortes ecocardiográficos de 4 câmaras, eixo longo, eixo curto e supraesternal do arco aórtico. Os modelos impressos foram avaliados por 17 profissionais com níveis diferentes de expertise em ecocardiografia pediátrica. Os participantes eram convidados a analisar os 4 modelos e responder que cortes visualizavam e que diagnóstico presumiam para cada um, além disso, responderam perguntas para avaliar a impressão sobre a validade dos modelos enquanto representações do corte ecocardiográfico e seu uso no ensino do ecocardiograma. A taxa geral de acertos do corte ecocardiográfico e do diagnóstico demonstrados na peça foi respectivamente de 58% e 61%, com grande diferença entre os grupos de especialistas e não especialistas e entre os considerados experts e níveis menores de experiência, conferindo validade de constructo à técnica. A avaliação subjetiva dos modelos através dos questionários denotam também validade facial e de conteúdo. Um modelo não foi bem avaliado, o que pode refletir má qualidade na técnica de segmentação e pós processamento neste caso específico. É possível representar com fidelidade cortes ecocardiográficos em modelos impressos em 3D a partir de imagens angiotomográficas de pacientes com cardiopatia congênita, que podem ser auxiliares no treinamento de profissionais em formação em ecocardiograma pediátrico e neonatal.

Palavras Chave: Ecocardiografia. Cardiopatias congênitas. Impressão tridimensional. Design. Triagem neonatal

ABSTRACT

Classical approaches for teaching pediatric cardiology and echocardiography include bidimensional pictures like echocardiogram images and diagrams, but it`s hard to make a tridimensional image of the heart even when looking to a tridimensional figure on a bidimensional screen. 3D printed models can contribute to improve this mindset. This project intends to generate 3D printed models of hearts with congenital heart defects, which can demonstrate the internal anatomy by simulating classical echocardiographic views. Then, we will proceed to evaluate construct, face and content validity of the method, that can indicate if it fits for training in pediatric echocardiography. Four cases of children with congenital heart diseases who have undergone angiotomography of the heart were chosen. 1 case of atrial septal defect, 1 coarctation of aorta with ventricular septal defect., 1 persistence of ductus arteriosus, 1 atrioventricular septal defect. 3D volumetric model was made with the help of a segmentation software and refined in computer aiding design programs, in which were made the echocardiographic cuts. Four views were simulated: 4 chambers, long axis, short axis and supraesternal aortic arch view. Models were printed and analyzed by 17 professionals with different levels of expertise in pediatric echocardiography. We asked them to mark the echocardiographic view and the diagnosis of each model, as well as their subjective impressions on the models and the method, if it would fit on pediatric echocardiography teaching. The participants correctly answered echocardiographic view and diagnosis in 58% and 61% of the times, respectively. There was a great difference between the specialists x non specialists' groups and experts x non experts, which suggests construct validity of the method. All models but one was positively evaluated, suggesting that in one case, segmentation and post-processing was poorly made. The good average ratings given to the models and the method by the participants, including experts, denotate face and content validity to the method. It is possible to realistically represent echocardiographic views on 3D printed models of patients with congenital heart defects that are fit to be used on pediatric echocardiography training sets.

Keywords:

Echocardiography. Heart Defects, Congenital. Printing, Three-Dimensional. Design. Neonatal Screening.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Posição do coração no tórax. 20
Figura 2 - Faces esternocostal e diafragmática do coração. 20
Figura 3 - Direção do fluxo nas cavidades e nas grandes veias e artérias do coração 21
Figura 4 - Valvas tricúspide e mitral. 22
Figura 5 - Válvulas atrioventriculares e anatomia do ventrículo direito e esquerdo em coração normal. 23
Figura 6 - Relações entre os grandes vasos. 24
Figura 7 – Coração fetal 25
Figura 8 - Análise segmentar e sequencial 27
Figura 9- Combinações de defeitos congênitos 27
Figura 10 - Protocolo para realização do teste do coraçãozinho recomendado pelo Ministério da Saúde do Brasil. 29
Figura 11 - Posição mais indicada para exploração do plano subcostal. 32
Figura 12 - Corte dos átrios a partir da posição subcostal.. 32
Figura 13 - Posição mais indicada para exploração do plano apical. 33
Figura 14 - Corte 4 câmaras.. 33
Figura 15 - Posição mais indicada para exploração do plano paraesternal. 34
Figura 16 - Cortes na posição paraesternal. 34
Figura 17 - Plano supraesternal.. 35
Figura 18 - Fluxograma do processo de impressão 3D de um modelo de coração a partir de imagens de angiotomografia. 37
Figura 19 - Pós processamento.. 42
Figura 20 - Segmentação. 42
Figura 21 - Fatiamento do modelo para impressão.. 43
Figura 22 - Impressora 3D e produto final. 43
Figura 23 - Caso 1: Corte supraesternal do arco aórtico. Coarctação de aorta com comunicação interventricular. 46
Figura 24 - Caso 2: Corte apical 4 câmaras. Defeito do septo atrioventricular total. 47
Figura 25 - Caso 2: Corte paraesternal eixo curto. Persistência do canal arterial.. 48
Figura 26 - Modelo articulado. Cortes diversos. Diagnóstico de comunicação interatrial. 49
Figura 27 - Modelo articulado. Relações entre as peças.. 50
Figura 28 - Modelo e peças 55
Figura 29 - Preparação das peças de modelo articulado. 58

Figura 30 - Modelos suportados por bases em biscuit. 59
Figura 31 - Modelos suportados por bases em PLA. 59
Figura 32 - Discussão em reunião clínico-cirurgica..... 69
Figura 33 - Programação pré operatória..... 72
Figura 34 - Modelo 3D como ex-voto..... 73
Figura 35 - “Design for health”..... 76
Figura 36 – Suporte em modelo de coração..... 78
Figura 37 – Acabamento em modelo com uso de espátula. 82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Taxa de acertos do corte ecocardiográfico e diagnóstico por titulação. 62
Gráfico 2 - Taxa de acertos do corte ecocardiográfico e diagnóstico por tempo de experiência em ecocardiografia. 63
Gráfico 3 - Taxa de acerto de corte ecocardiográfico pelo tempo de experiência em ecocardiografia. 63
Gráfico 4 - Taxa de acerto diagnóstico pelo tempo de experiência em ecocardiografia. 64
Gráfico 5 - Validade facial: Nota média dos participantes às questões apresentadas sobre os modelos, estratificados por tempo de experiência. 65
Gráfico 6 - Avaliação dos 4 modelos pelos participantes. 66
Gráfico 7 - Avaliação do modelo 1 (corte supraesternal, diagnóstico de coarctação da aorta) pelos participantes. 66
Gráfico 8 - Avaliação do modelo 2 (corte 4 câmaras, diagnóstico defeito do septo atrioventricular total) pelos participantes. 67
Gráfico 9 - Avaliação do modelo 3 (corte eixo curto, diagnóstico persistência do canal arterial) pelos participantes. 67
Gráfico 10 - Avaliação do modelo 4 (cortes diversos, diagnóstico comunicação interatrial) pelos participantes. 68
Gráfico 11 - Validade de conteúdo: Nota média dos participantes às questões apresentadas sobre o método: “impressão 3D em cardiologia e ecocardiografia pediátrica”, estratificados por experiência. 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos e peças impressas em 3D de cada caso selecionado para o estudo.....57

Tabela 2 - Configurações técnicas de fatiamento para impressão dos modelos usados neste estudo. 60

Tabela 3 - Variáveis sócio demográficas dos participantes da pesquisa. 61

Tabela 4 - Taxa de acertos do corte ecocardiográfico e diagnóstico por titulação para cada caso apresentado. 64

Tabela 5 - Impressão 3D e cirurgia cardíaca. Resumo dos casos em que a peça impressa em 3D foi utilizada para programação pré cirúrgica..... 70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

1.1 OBJETIVOS 17

1.1.1 Objetivo Geral 17

1.1.2 Objetivos Específicos 17

2 REFERENCIAL TEÓRICO 19

2.1 A ANATOMIA BÁSICA DO CORAÇÃO: POR QUE É TÃO DIFÍCIL ENTENDE-LO? . 19

2.2 O CORAÇÃO FETAL E SUAS PECULIARIDADES: 25

2.3 ANÁLISE SEGMENTAR E SEQUENCIAL E MORFOLOGIA DAS CARDIOPATIAS CONGÊNITAS 26

2.4 O DESAFIADOR UNIVERSO DAS CARDIOPATIAS CONGÊNITAS 28

2.5 A ANATOMIA ECOCARDIOGRÁFICA 30

2.6 A IMPRESSÃO 3D EM SAÚDE: UM BREVE HISTÓRICO E RESUMO DO MÉTODO: 35

2.7 O 3D PARA ENSINO EM CARDIOLOGIA PEDIÁTRICA: ESTADO DA ARTE 38

3 METODOLOGIA 40

3.1 DESENHO DO ESTUDO 40

3.2 CONFECÇÃO DOS MODELOS 3D: 40

3.3 LOCAL DA PESQUISA: 41

3.4 AMOSTRA 44

3.5 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO 44

3.6 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO 44

3.7 RECRUTAMENTO DOS PARTICIPANTES 44

3.8 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS 44

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS 52

5 ASPECTOS ÉTICOS 54

5.1 ARMAZENAMENTO DOS DADOS 54

6 RESULTADOS 55

6.1 SOBRE A IMPRESSÃO DE MODELOS SIMULANDO CORTES ECOCARDIOGRÁFICOS A PARTIR DE IMAGENS DE ANGIOTOMOGRAFIA 55

6.2 VALIDAÇÃO DOS MODELOS 3D COMO INSTRUMENTO PARA ENSINO DE ECOCARDIOGRAFIA NEONATAL E PEDIÁTRICA DE PROFISSIONAIS CARDIOLOGISTAS E NÃO CARDIOLOGISTAS EM TREINAMENTO 61

6.3 UTILIZAÇÃO DOS MODELOS PARA PROGRAMAÇÃO DE PROCEDIMENTOS CIRÚRGICOS 69

7 DISCUSSAO 74

7.1 SOBRE A VIABILIDADE DA IMPRESSÃO 3D E O PROJETO PULSARC++ 74

7.1.1 A dimensão do Design 74

7.1.2 A dimensão da técnica 79

7.1.3 A dimensão da arte 80
7.2 O USO DA IMPRESSÃO 3D COMO FERRAMENTA DE ENSINO-APRENDIZAGEM EM CARDIOLOGIA E ECOCARDIOGRAFIA PEDIÁTRICA 82
7.3 O USO DA IMPRESSÃO 3D COMO INSTRUMENTO DE AUXÍLIO TERAPÊUTICO 86
8 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO 89
8.1 DIFICULDADES TÉCNICAS – CURVA DE APRENDIZADO 89
8.2 DIFICULDADES NA SELEÇÃO DOS PARTICIPANTES E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO 89
8.3 CUSTOS 89
9 CONCLUSÕES 90
9.1 PERSPECTIVAS FUTURAS 90
REFERÊNCIAS 91
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1 VALIDADE FACIAL E DE CONSTRUCTO 97
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 3, VALIDADE DE CONTEÚDO 100
APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 102
APÊNDICE D – PROPOSTA DE PATENTE DE MODELO ARTICULADO 106
APÊNDICE E – ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO MÉDICA 114

1 INTRODUÇÃO

A abordagem clássica do ensino da cardiologia e ecocardiografia neonatal e pediátrica sempre foi historicamente guiada por modelos em duas dimensões, como diagramas, imagens e cortes ecocardiográficos, a não ser quando o treinamento é realizado em grandes centros, com acesso fácil a peças cirúrgicas retiradas de espécimes post-mortem (Costello *et al.*, 2014). Porém, mesmo a avaliação de imagens tridimensionais obtidas por reconstruções de angiotomografia e angiorressonância pode acarretar perda de detalhes pelo fato de estarmos vendo a imagem em 3 dimensões em telas bidimensionais (Farooqi, [s.d.]; Xu *et al.*, 2019)

Ainda mais desafiador que promover uma imagem mental em 3 dimensões do coração normal para estes estudantes e profissionais em treinamento, é fazer o mesmo com os diversos defeitos cardíacos congênitos, sobretudo os mais complexos e as combinações de defeitos. O ensino da ecocardiografia encontra dificuldades muito semelhantes. A reconstrução mental em 3 dimensões das possíveis lesões encontradas são um passo importante para a interpretação do exame e para a programação das próximas imagens que devem ser adquiridas (Wagner *et al.*, 2013). Além do conhecimento anatômico, o exame também exige habilidades manuais, e para o iniciante, é difícil entender a relação entre a mudança de posição do transdutor ou do plano na tela do aparelho, e o surgimento da imagem resultante (Weidenbach *et al.*, 2009).

Estes desafios no ensino da cardiologia infantil e da ecocardiografia em cardiopatias congênitas vêm de encontro a uma mudança de paradigma em que o ecocardiograma vem se inserindo como um exame cada vez mais disponível, mais portátil e mais amplamente utilizado, sendo que o treinamento no exame atualmente tem se estendido para profissionais não médicos, requerendo uma formação mais precoce, menos custosa e mais rápida (Commission, 2014; Ryan *et al.*, 2015). No mundo inteiro, estratégias de triagem de cardiopatias congênitas no período neonatal utilizando-se a ecocardiografia por profissionais não cardiologistas, sobretudo em áreas de mais difícil acesso ao especialista, tem sido testadas com resultados animadores (Commission, 2014; Katumba-Lunyenya, 2002; McBrien *et al.*, 2010; Viñals *et al.*, 2005; Wagner *et al.*, 2013), destacando-se a experiência local do grupo Círculo do Coração, de Pernambuco, no diagnóstico e tratamento de cardiopatias congênitas no estado da Paraíba. (Mattos *et al.*, 2015; Moser *et al.*, 2014)

Simuladores com concepções artísticas em 3 dimensões vêm sendo testados para o treinamento em ecocardiografia, com aparentes bons resultados (Wagner *et al.*, 2013; Weidenbach *et al.*, 2009). Poucos estudos, entretanto, avaliaram a utilização de modelos estereolitográficos, fundidos por deposição, ou outros métodos de impressão 3D no ensino da cardiologia infantil (Costello *et al.*, 2014; Mottl-Link *et al.*, 2008). Não são encontrados trabalhos na literatura relacionando o método com o ensino da ecocardiografia em cardiologia neonatal e pediátrica.

O objetivo deste trabalho é construir modelos, através de prototipagem rápida para serem impressos em 3D com a finalidade de serem usados no ensino e treinamento de profissionais em ecocardiografia. Desta forma, esta proposta também versa sobre a utilização de conceitos do design na área de saúde, com foco em cardiologia, demonstrando o quão "afronteiriço" o design pode se tornar, trazendo para a sociedade ganhos dos mais variados.

Para o adequado entendimento da proposta desta dissertação, faz-se necessário revisar tópicos relevantes da anatomia cardiovascular e ecocardiográfica normal e patológica, a situação atual da cardiopatia congênita no Brasil, com foco na necessidade premente de se investir em educação em saúde e treinamento na área, e por fim, como a tecnologia de impressão 3D pode prestar algum auxílio neste intento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Construção de modelos tridimensionais, utilizando-se impressão em três dimensões de corações normais e com defeitos congênitos, através de imagens obtidas por angiotomografia, de maneira a permitir a visualização da anatomia cardíaca externa e interna através de cortes que simulam aqueles obtidos pelo ecocardiograma, que sejam capazes de ser impressos em impressoras 3D considerando-se a singularidade deste processo;

- Avaliar a validade dos modelos 3D como instrumento para ensino de ecocardiografia neonatal e pediátrica de profissionais cardiologistas e não cardiologistas em treinamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a experiência inicial do uso dos modelos 3D na discussão cirúrgica de casos complexos.

- Introduzir a tecnologia de impressão 3D na cardiologia pediátrica em 2 estados do Nordeste brasileiro, ajudando a difundir e compartilhar conhecimento na área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A ANATOMIA BÁSICA DO CORAÇÃO: POR QUE É TÃO DIFÍCIL ENTENDE-LO?

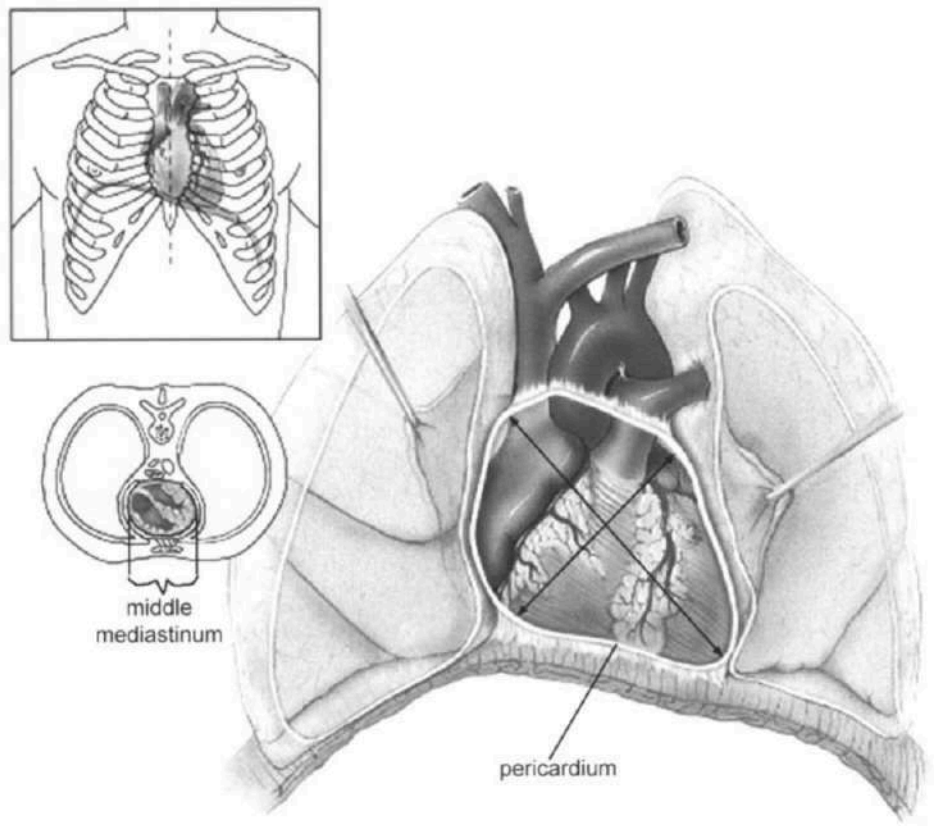
O coração se situa no mediastino anterior entre os dois pulmões, com dois terços de sua massa no hemitórax esquerdo, assumindo uma posição oblíqua dentro do tórax. Situa-se dentro de uma membrana serosa denominada saco pericárdico. Tem três porções morfofuncionais: pericárdio mais externamente, o miocárdio que é a porção muscular e o endocárdio é a porção epitelial, que compõe a superfície interna do coração e das valvas cardíacas.

Com relação à anatomia externa do coração, podem-se delimitar externamente duas faces, a primeira mais anterior, relacionada ao esterno, conhecida como face esternocostal. A superfície inferior, que repousa sobre o diafragma é conhecida como face diafragmática. O coração tem um formato triangular, com o ápice, normalmente formado pelo ventrículo esquerdo. A base do coração é delimitada pelas estruturas superiores ao sulco atrioventricular. Desta região emergem os chamados grandes vasos da base. (Croti *et al.*, 2013; Weinhaus and Roberts, 2005) A situação do coração dentro do tórax pode ser vista nas figuras 1 e 2.

O coração é composto por 4 câmaras distintas: dois átrios, à esquerda e à direita e dois ventrículos para cada lado também. A função primordial dos átrios é receber o conteúdo sanguíneo drenado ao coração através das veias, mas não apenas isso. O átrio direito abriga o nó sinoatrial, responsável por dar início à estimulação cardíaca que é transmitida através do sistema de condução e promove a contração ventricular. Os ventrículos por sua vez são responsáveis por impulsionar o sangue através das grandes artérias para as diversas estruturas do organismo.

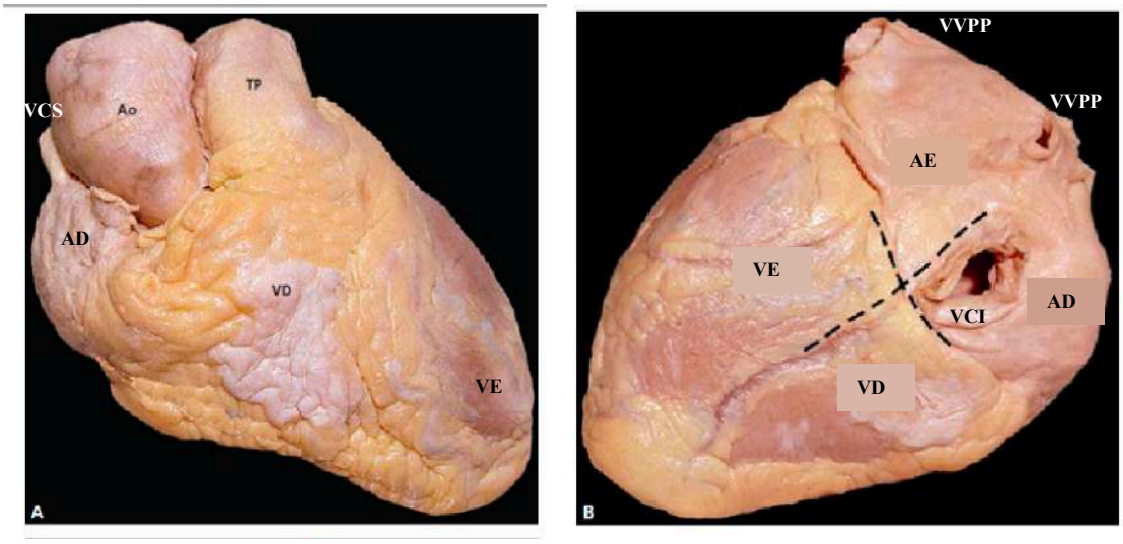
As estruturas do lado direito são as mais anteriores no mediastino e recebem sangue com pouco conteúdo de oxigênio através das veias cavas superior e inferior, impulsionando este conteúdo para a artéria pulmonar, que se bifurca nos ramos direito e esquerdo, que perfundem os pulmões do lado correspondente. O sangue com alto teor de oxigênio retorna através das veias pulmonares para o átrio esquerdo de onde é impulsionado para o corpo através da artéria aorta. (Figura 3)

Figura 1- Posição do coração no tórax. Pericárdio visceral aberto, mostrando a situação oblíqua do órgão dentro do tórax, sua situação mais a esquerda e as faces diafragmática e esternocostal.



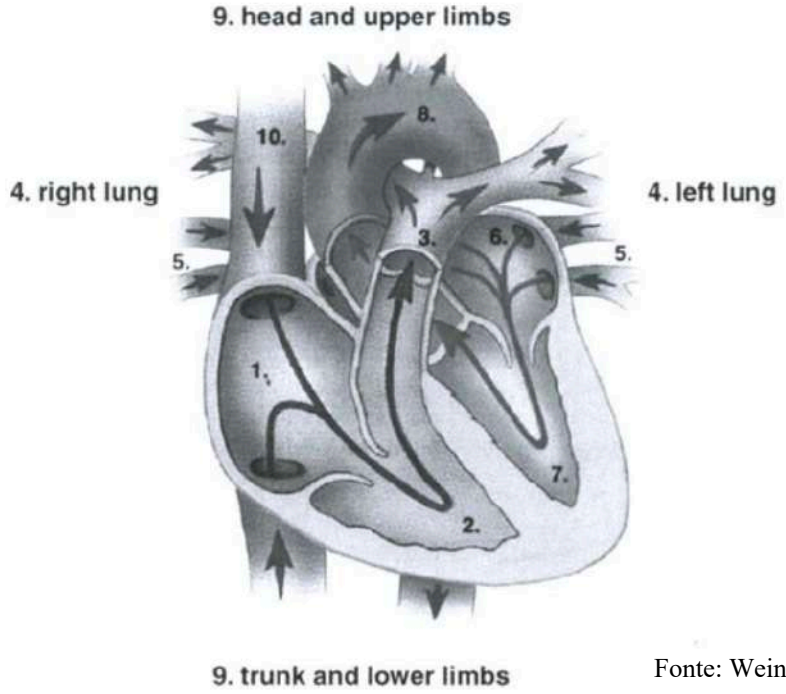
Fonte: Weinhaus, 2005

Figura 2 - Faces esternocostal e diafragmática do coração. Em "A", mostrando as estruturas direitas que são mais anteriores. Em B observamos a face diafragmática, sendo a linha pontilhada denominada crus cordis (encontro entre os sulcos interatrial e interventricular



Fonte: Croti, 2013

Figura 3 - Direção do fluxo nas cavidades e nas grandes veias e artérias do coração. 1 = Átrio direito; 2 = Ventrículo direito; 3 = Tronco pulmonar; 4 = pulmões; 5 = Veias pulmonares; 6 = Átrio esquerdo; 7 = Ventrículo esquerdo; 8 = Aorta; 9 = extremidades inferiores.



Fonte: Weinhaus, 2005

Quatro válvulas são visualizadas na anatomia interna do coração direcionando o fluxo de sangue dentro do órgão. Duas valvas entre os átrios e os ventrículos, denominadas atrioventriculares e 2 entre os ventrículos e os grandes vasos da base denominadas valvas semilunares. Os anéis das valvas atrioventriculares são reforçados pelo chamado esqueleto fibroso do coração e seus folhetos são amparados por um sistema de cordas tendíneas ancoradas nos músculos papilares e parede septal denominadas cordoalhas tendíneas. A valva posicionada na conexão entre átrio e ventrículo direito é chamada de valva tricúspide, que possui três folhetos denominados septal, anterior e posteroinferior, de acordo com sua localização (Figura 4).

O ventrículo direito possui 3 porções bem delimitadas: via de entrada, porção trabecular apical e via de saída (Anderson *et al.*, 2010). Esta divisão tem grande importância na anatomia patológica e ecocardiográfica do coração. O padrão de trabeculação, especialmente na porção apical, é a característica mais proeminente do ventrículo direito em corações malformados. Uma destas trabéculas originadas no septo interventricular é muito proeminente e se bifurca em dois ramos. É denominada trabécula septo-marginal. A via de saída do

ventrículo direito é alongada, relativamente lisa e sua estrutura muscular suporta os folhetos da valva pulmonar (Anderson *et al.*, 2010) (FIGURA 4).

A conexão atrioventricular esquerda se faz através da valva mitral, que possui duas cúspides: uma anterior ou aórtica e outra denominada mural. As cordas valvares da valva mitral dirigem-se a dois grupos de músculos papilares: anterolateral e posteromedial. O ventrículo esquerdo também possui 3 porções, mas anatomicamente bem diferentes da sua contraparte. A porção apical possui trabeculações mais finas e a via de saída é bem mais curta. Como o ventrículo esquerdo não tem uma divisão muscular entre via de entrada e via de saída, existe continuidade fibrosa entre a cúspide anterior da valva mitral e os folhetos coronariano esquerdo e não coronariano da valva aórtica.

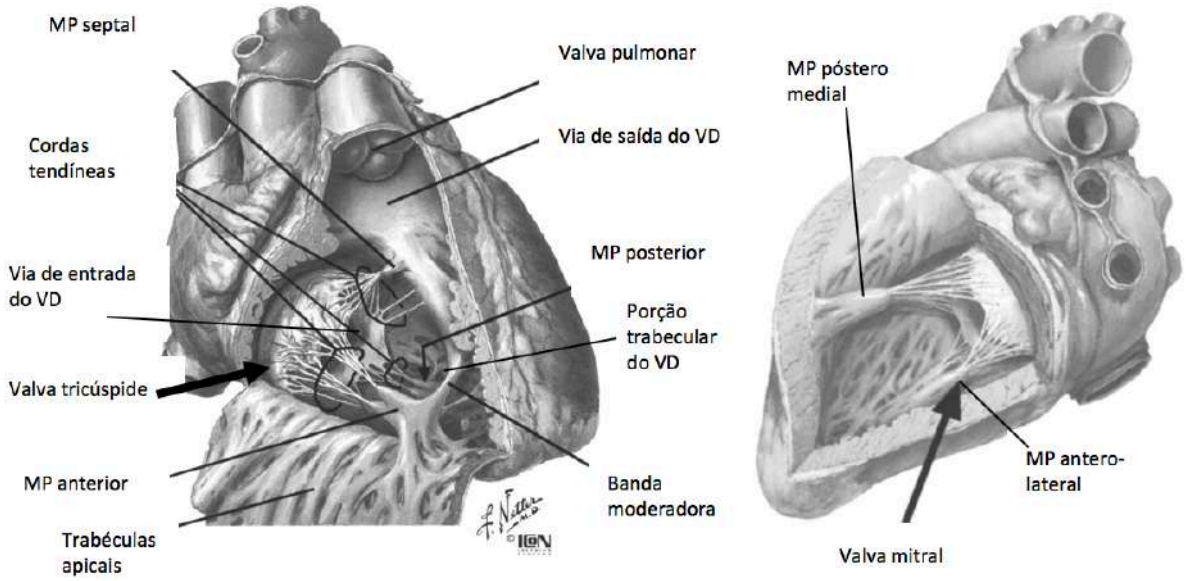
As câmaras cardíacas esquerdas e direitas são separadas através de estruturas denominadas septos cardíacos. O septo interatrial separa os átrios contralaterais. Em sua estrutura é possível identificar a fossa oval (que compõe de fato a estrutura conhecida como septo interatrial), que no período fetal funciona como uma membrana valvulada que permite fluxo do átrio direito para o esquerdo.

O septo interventricular separa os ventrículos direito e esquerdo e tem um componente membranoso e outro mais extenso, muscular. As valvas atrioventriculares se situam em planos diferentes, sendo a tricúspide inserida em posição mais apical. Este desnivelamento ocasiona que uma parte do septo interventricular relacione o átrio direito com o ventrículo esquerdo. Essa porção se chama septo atrioventricular (Figura 5).

Figura 4 - Valvas tricúspide e mitral. A inserção da valva tricúspide é mais apical. O septo membranoso que comunica o átrio direito ao ventrículo esquerdo chama-se septo atrioventricular (seta de duas pontas). Nota-se uma cúspide da valva aórtica (asterisco) em continuidade fibrosa com a valva mitral. AD = Átrio direito; AE = Átrio esquerdo; VD = Ventrículo direito; VE = Ventrículo esquerdo; SIV = Septo interventricular.

Figura 5 - Valvas atrioventriculares e anatomia do ventrículo direito e esquerdo em coração normal. Não há continuidade fibrosa entre a valva tricúspide e a valva pulmonar. A trabeculação do ventrículo direito é bem mais grosseira. VD = ventrículo direito. MP = Músculo papilar.

Fonte: Croti, 2013

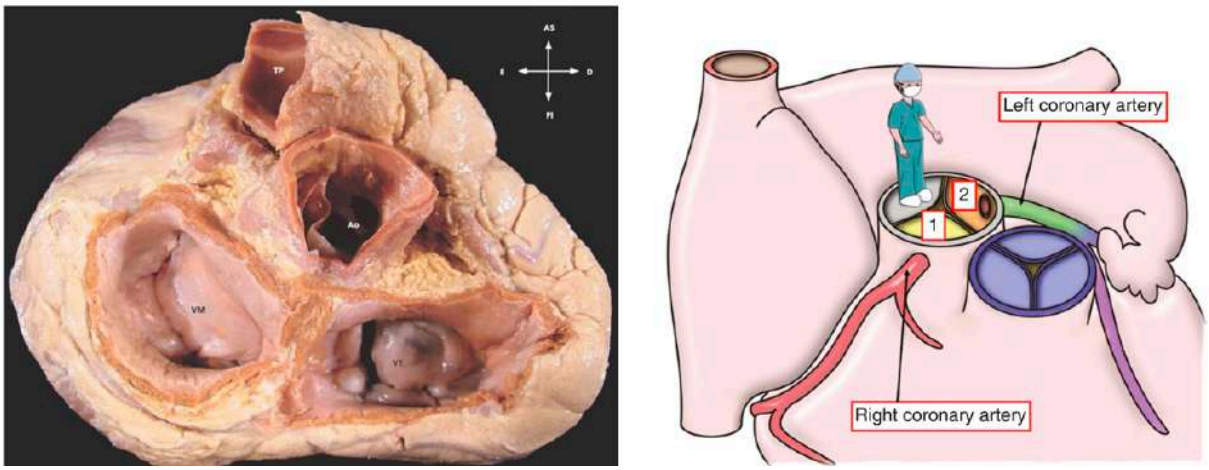


A aorta ocupa uma posição central no coração e tem três porções principais: aorta ascendente, arco aórtico e aorta descendente. A aorta torácica dá origem a três ramos principais: tronco braquicefálico, carótida esquerda e subclávia esquerda. A valva aórtica (bem como a valva pulmonar) costuma ter três cúspides. Logo acima de cada folheto, as regiões ligeiramente dilatadas do bulbo da aorta são conhecidas como seios de Valsalva, que abrigam dois óstios das artérias coronárias, que normalmente originam-se dos dois seios adjacentes ao tronco pulmonar, de maneira que um dos troncos das coronárias tem trajeto a esquerda e outro para a direita, sendo denominadas coronária esquerda e direita respectivamente (FIGURA 6).

Fonte: Weinhaus, 2005

A raiz aórtica se situa anatomicamente posterior e à direita em relação ao tronco da pulmonar, sendo que sua porção ascendente se dirige obliquamente para a direita até a emergência do tronco braquicefálico, onde inicia-se o arco aórtico, que curva-se para a esquerda, e continua a esquerda da traqueia e da coluna vertebral em sua porção descendente. A estrutura encontrada após a emergência da artéria subclávia esquerda denomina-se istmo da aorta e tem grande importância na cardiologia pediátrica por ser a região aonde normalmente está situado o canal arterial e o sítio mais prevalente de coarctação da aorta (Croti *et al.*, 2013) (FIGURA 6).

Figura 6 - Relações entre os grandes vasos. A aorta ascendente ocupa posição central dentro do coração, cruzando posterior e à direita o tronco pulmonar. TP = Tronco pulmonar; Ao = Aorta; VM = Valva mitral; VT = Valva tricúspide. 1 – Origem da artéria coronária direita; 2 – Origem da artéria coronária esquerda.



Fonte: Anderson, 2009

A artéria pulmonar localiza-se também na base do coração. Situa-se anteriormente a aorta ascendente que tem posição central no coração, cruzando esta em direção posterior e se bifurcando em ramos direito e esquerdo que se estendem para os hilos pulmonares de cada lado. O aspecto cruzado dos dois grandes vasos da base e as diferenças na ramificação que existem entre as estruturas, tem grande importância na definição ecocardiográfica destas estruturas vasculares.

Este é um resumo básico da anatomia cardíaca, ainda assim sendo possível perceber como são complexas as relações entre as estruturas cardíacas normais. A percepção do coração como uma estrutura tridimensional, com relações complexas entre suas partes, demanda muito tempo e experiência, visto que o cérebro humano tem dificuldades em reconhecer em 3 dimensões objetos com formatos aos quais não está habituado (Bülthoff, Bülthoff and Sinha, 1998; Mottl-Link *et al.*, 2008; Wagner *et al.*, 2013). A correta assimilação das posições habituais destas estruturas é o que permite ao clínico e ao cirurgião prever e diagnosticar as variações anatômicas e os defeitos congênitos.

2.2 O CORAÇÃO FETAL E SUAS PECULIARIDADES:

Ao final do terceiro mês de gestação, praticamente todas as estruturas do coração adulto

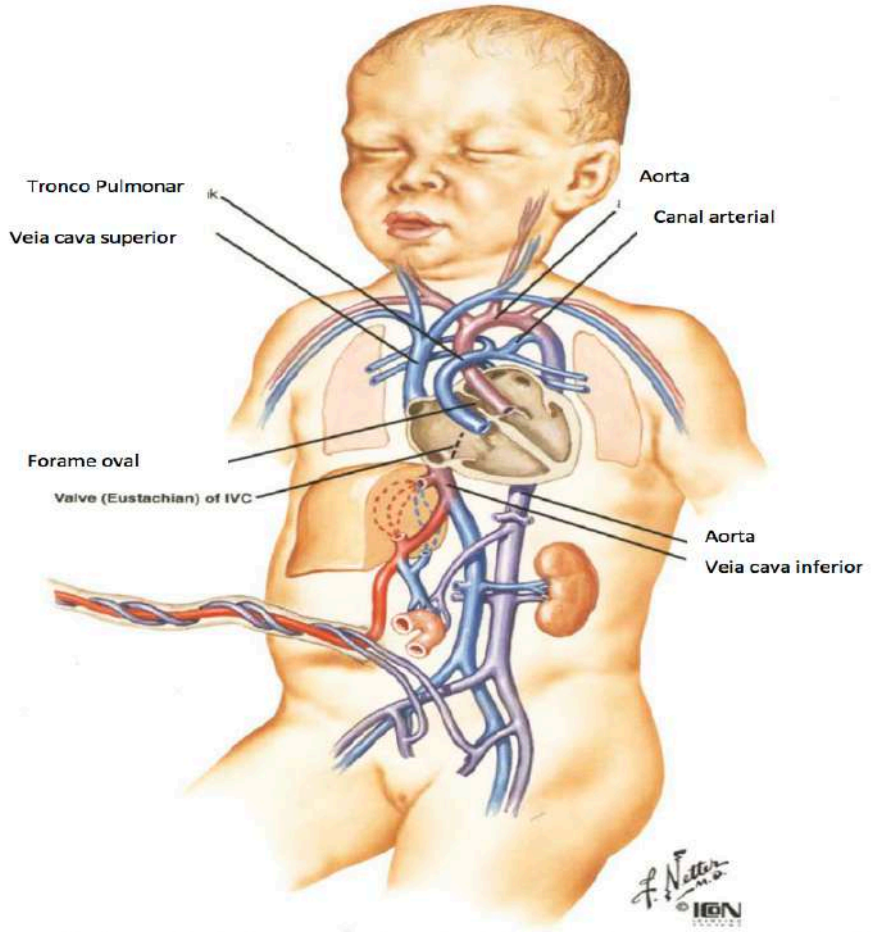


FIGURA 7: Circulação fetal. O sangue oxigenado é direcionado ao coração através da veia umbilical, perfundindo preferencialmente cérebro e miocárdio.

Fonte: Netter, 2004

7

já estão formadas e sangue circula nas cavidades cardíacas e são impulsionados através dos grandes vasos, porém existem grandes diferenças entre a circulação fetal e a pós natal, que também são importantes para o entendimento do coração nas primeiras horas e dias após o nascimento e na fisiopatologia de algumas doenças cardíacas da infância.

As principais diferenças da circulação fetal envolvem a placenta, que é a fonte de sangue oxigenado para o coração, a alta resistência pulmonar com baixa resistência sistêmica e a presença de shunts (ou desvios) que impedem o consumo de oxigênio ou a mistura com sangue desoxigenado, antes de perfundir as estruturas mais nobres: o cérebro em desenvolvimento e as coronárias (Ellis, 2005).

Os desvios acontecem em três níveis: através do ducto venoso, do forame oval e do canal arterial. O shunt nas duas últimas estruturas se faz da direita para a esquerda devido a alta pressão no átrio direito e tronco pulmonar (FIGURA 7). A valva de Eustáquio direciona o fluxo oxigenado direto para as câmaras esquerdas através do forâmen oval, evitando que se prolongue a mistura com o sangue da veia cava superior, pobre em oxigênio (Ellis, 2005).

Nos primeiros minutos de vida, com a aeração dos pulmões e retirada da placenta, a circulação sofre uma mudança súbita, porém ainda sendo comum nas primeiras 3 semanas de vida um padrão de pressão pulmonar mais alto.

2.3 ANÁLISE SEGMENTAR E SEQUENCIAL E MORFOLOGIA DAS CARDIOPATIAS CONGÊNITAS

Os defeitos cardíacos congênitos são alterações na estrutura normal do coração. Por vezes podem ocorrer de forma isolada, mas é frequente que ocorram associações de defeitos em uma mesma criança, com arranjos anatômicos por vezes bastante complexos. Nas primeiras descrições de alguns defeitos, as malformações carregaram os nomes de quem primeiro fez a descrição como no caso da Tetralogia de Fallot ou Anomalia de Ebstein. Hoje entende-se toma-se como a melhor maneira de se classificar e descrever o coração normal e as alterações anatômicas, o método chamado análise segmentar e sequencial, introduzido por Van Praagh e modificado por Anderson e cols. (AIELLO *et al.*, 2002; Anderson and Shirali, 2009).

Neste modelo, o coração é dividido em três blocos principais: os átrios, a massa ventricular e os troncos arteriais e as conexões entre estes segmentos são descritos de maneira sequencial, independente da abordagem que está se usando para avaliar o coração, ou seja, o eccardigrafista, radiologista, o cirurgião e o anatomista tem condições de usar a mesma linguagem na mesma sequência para descrever as alterações encontradas. Assim, a partir das informações sobre características anatômicas normais, um observador descreverá o situs (arranjo atrial), como se faz a conexão entre veias sistêmicas e átrios, entre átrios e ventrículos, entre os ventrículos e os grandes vasos e os defeitos associados que são encontrados (FIGURAS 8 e 9).

O conhecimento da análise segmentar e sequencial é um atributo essencial para quem trabalha com cardiologia e ecocardiografia pediátrica e fetal, permitindo que, com poucas exceções, o profissional de saúde consiga nomear e sobretudo, entender qualquer anatomia patológica cardíaca, ainda que vendo um caso raro pela primeira vez na vida.

Figura 8 - Análise segmentar e sequencial

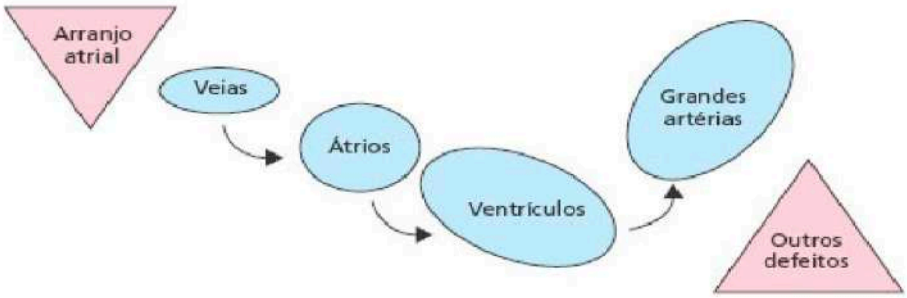
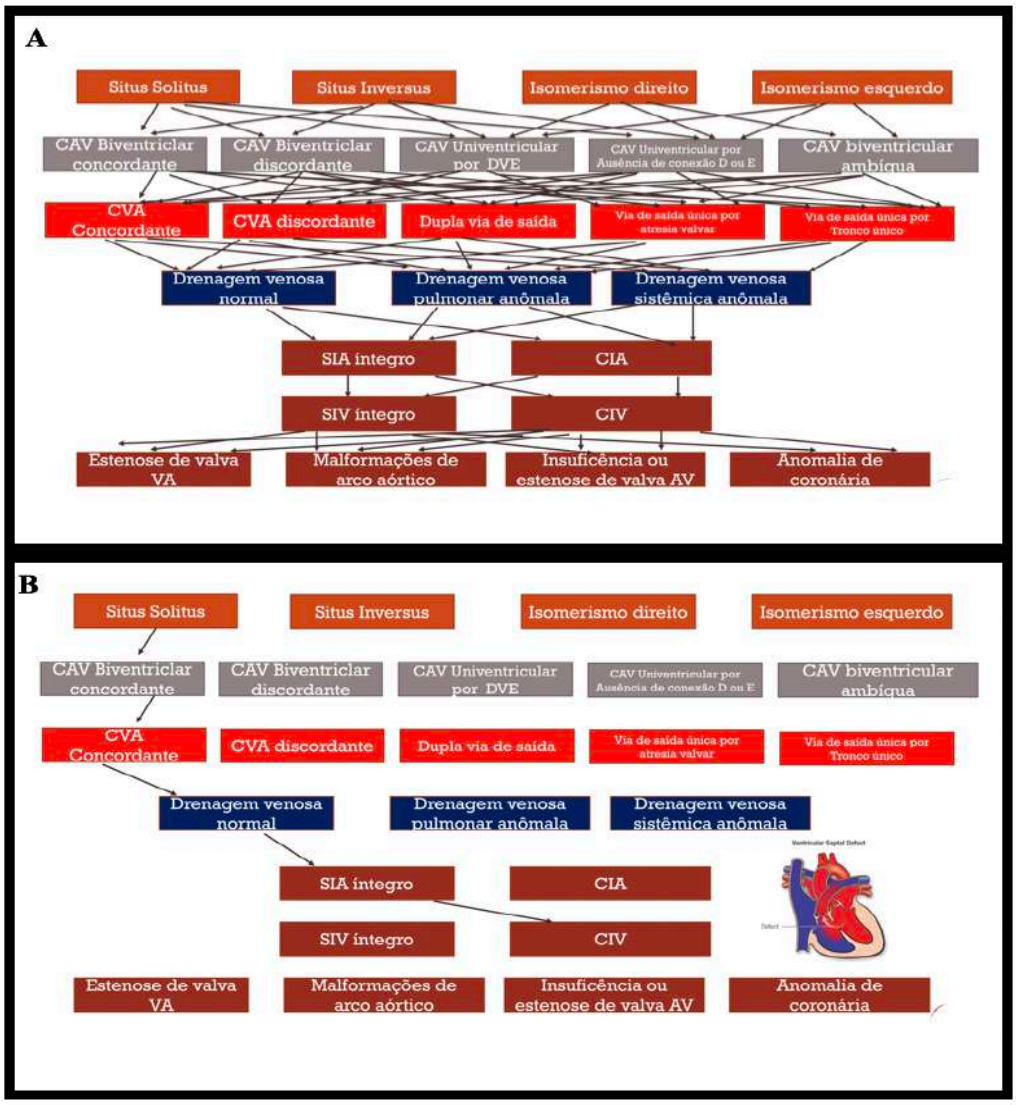


Figura 9- Combinações de defeitos congênitos. Em A, a análise segmentar e sequencial na prática, com todas as associações possíveis de defeitos. Em B, exemplo de descrição de comunicação interventricular pelo método de análise segmentar e sequencial. CAV = concordância atrioventricular, CVA = concordância ventrículo-arterial; DVE = Dupla via de entrada; D = direito; E = Esquerdo; SIA = Septo interatrial; SIV = Septo interventricular; CIA = Comunicação interatrial; CIV = Comunicação interventricular; VA = ventrículo-arterial; AV = atrioventricular.



Fonte: O autor

2.4 O DESAFIADOR UNIVERSO DAS CARDIOPATIAS CONGÊNITAS

As cardiopatias congênitas são os defeitos mais encontrados ao nascimento (Sayasathid, Sukonpan and Somboo, 2012). A prevalência é de 8 a 10 casos para cada 1000 nascidos vivos, estimando-se portanto que nasçam a cada ano 28.846 novos casos de cardiopatia no Brasil, destes, aproximadamente 20% terão cura espontânea, e os demais provavelmente necessitarão de uma ou mais cirurgias cardíacas em algum momento da vida (Pinto Júnior *et al.*, 2004).

O problema é amplificado pela flagrante subnotificação no Brasil. Estudo realizado no Rio de Janeiro identificou prevalência de 3,4 para cada 10.000 nascidos vivos (Catarino *et al.*, 2017). Dados oficiais de notificação do Ministério da Saúde sugerem uma prevalência estimada de 0,06% {Formatting Citation}. Estudo de Pinto Jr em 2015 estima que apenas 5,4% dos casos são notificados, chegando até 2,1% na região Nordeste e 1,8% na região Norte do País (Pinto Júnior *et al.*, 2015). O cenário é ainda mais desalentador em relação ao número de pacientes que conseguimos efetivamente tratar: 65% dos casos não receberam tratamento cirúrgico no Brasil, sendo que 77% dos pacientes da região nordeste não receberam tratamento. (Pinto Júnior *et al.*, 2004)

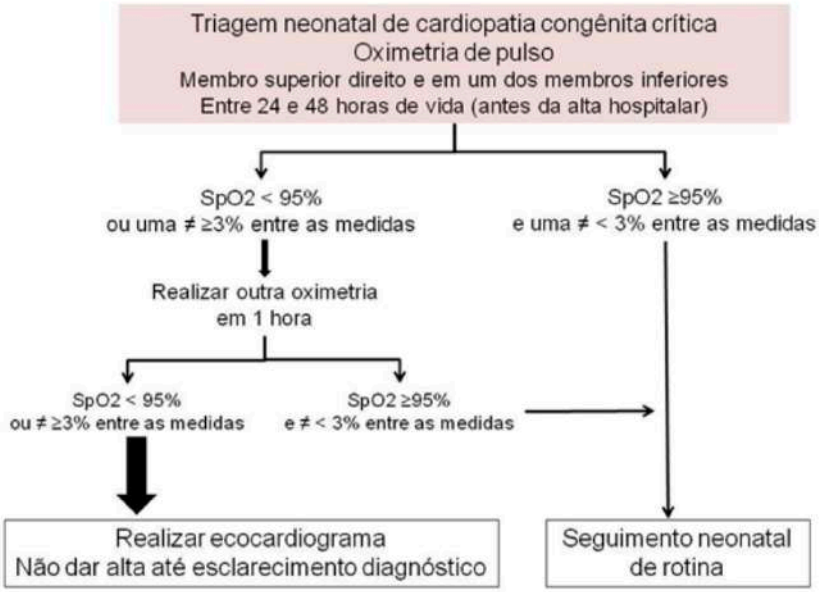
Aproximadamente um quarto das crianças que nascem com cardiopatia apresentam as denominadas cardiopatias “críticas”, que requerem que um procedimento paliativo ou corretivo seja feito ainda no primeiro ano de vida, ou muitas vezes nos primeiros dias de vida (Mahle *et al.*, 2009). As manifestações clínicas deste grupo de doenças, apesar de muito graves como cianose, baixo débito cardíaco e acidose metabólica, podem não ser deflagradas nos primeiros dois dias de vida, que é a média de tempo que uma criança assintomática permanece na maternidade. E em um eventual retorno, muitas destas manifestações podem ser confundidas com doenças mais prevalentes na emergência como sepse e pneumonia. Muitas destas crianças morrem sem ao menos ter o diagnóstico confirmado.

O impacto socioeconômico deste grupo de doenças é grande e gera custos altos ao sistema público de saúde. As malformações congênitas são a segunda causa de mortalidade no período neonatal, sendo que a doença cardíaca representa 40% de todos os casos em estudo em São Paulo e é responsável diretamente por 6% das mortes no período neonatal como um todo. (Pinto Júnior *et al.*, 2015) As despesas com internações repetidas, procedimentos cirúrgicos e recursos utilizados no pós operatório como ECMO tem grande impacto financeiro, apesar de estudos nacionais ainda não terem mensurado apropriadamente.

Algumas estratégias têm sido propostas para reduzir o subdiagnóstico, tendo como objetivo final reduzir a morbimortalidade das cardiopatias congênitas. Desde 2014, portaria do Ministério da Saúde do Brasil recomenda a triagem universal de cardiopatias críticas através da oximetria de pulso nos primeiros dias de vida, conhecida como teste do coraçãozinho(Ministério da Saúde, [s.d.]). O resultado positivo do teste indica a necessidade de ecocardiograma transtorácico por profissional especializado (FIGURA 10)(Ministério da Saúde, 2018).

Existe no Brasil déficit importante de profissionais especialistas em cardiologia e ecocardiografia pediátrica, o que dificulta a adequada instalação do protocolo do teste do coraçãozinho, especialmente em localidades remotas (Catarino *et al.*, 2017). A opção mais viável por vezes é transportar a criança com suspeita de cardiopatia congênita para um centro terciário, mas isto nem sempre é possível, especialmente na eventualidade de lidarmos com crianças graves que não tem condições de transporte (Mahle *et al.*, 2009).

Figura 10 - Protocolo para realização do teste do coraçãozinho recomendado pelo Ministério da Saúde do Brasil.



Fonte: Ministério da Saúde, 2011

Uma experiência notável que teve resultados publicados no Brasil e no exterior foi a da Rede de Cardiologia Pediátrica, que teve lugar no estado da Paraíba, nordeste brasileiro. A

intervenção propunha a triagem universal de cardiopatias congênitas através do teste do coraçãozinho, com treinamento de pessoal e compra de equipamento para coleta da oximetria de pulso. Os casos suspeitos realizavam ecocardiograma de triagem em 13 centros, na maioria das vezes por profissionais não cardiopediatras, treinados para adquirir imagens. As imagens eram analisadas em um centro terciário por ecocardiografistas com experiência em pediatria e os casos que sugeriam cardiopatia eram encaminhados para avaliação em centros terciários e por vezes para tratamento cirúrgico (Mattos *et al.*, 2015).

Com esta intervenção, a taxa de detecção de cardiopatia saltou de 4 para 11,6 por mil nascidos vivos, semelhante às estatísticas globais e distante da realidade de subnotificação brasileira, com redução também do tempo de transferência para um centro de referência e aumento considerável na taxa de detecção de cardiopatias críticas como a coarctação de aorta (Mattos *et al.*, 2015).

O treinamento de profissionais não cardiologistas e o apoio da telemedicina parecem ser uma tendência muito promissora, especialmente em países continentais e em desenvolvimento, com pouca estrutura ultra especializada (Katumba-Lunyenya, 2002; Roberta Didier Nunes Moser *et al.*, 2014). Diretrizes já tem contemplado este público para que se possa uniformizar e oferecer a melhor qualidade de treinamento para estes grupos (Commission, 2014).

É provável que não haja caminho para a melhora do diagnóstico e assistência à cardiopatia congênita no nosso país que não passe pela educação em saúde, através não só do treinamento de mais e melhores cardiologistas, ecocardiografista e cirurgiões cardiovasculares pediátricos, mas também através do treinamento obstetras, pediatras generalistas, neonataologistas, enfermeiros e todos aqueles que participam da assistência integral à criança, para que melhorem o nível de suspeição e possam inclusive proceder a ferramentas diagnósticas, com o apoio do especialista presencialmente ou por telemedicina.

2.5 A ANATOMIA ECOCARDIOGRÁFICA

O ecocardiograma é utilizado desde os anos 70, hoje sendo a principal ferramenta diagnóstica na cardiopatia congênita e imprescindível para a avaliação pré-cirúrgica e acompanhamento pós-operatório, permitindo o diagnóstico anatômico e também a avaliação funcional e hemodinâmica dos pacientes. Os avanços tecnológicos que se deram, especialmente desde a década de 90, tem proporcionado avaliações cada vez mais acuradas do feto ao adulto com cardiopatia congênita (Croti *et al.*, 2013; Eidem, Cetta and O'Leary, 2010).

O ecocardiograma como qualquer tecnologia baseada em ultrassom, se baseia na capacidade de um transdutor emitir ondas sonoras de alta frequência, através da vibração de cristais piezelétricos, que se propagam no corpo e são direcionadas através de um feixe, para a região que se quer estudar. Essas ondas são refletidas de maneira variável pelo tecido que se quer estudar e essa reflexão é captada pelo mesmo dispositivo que emitiu as ondas. A informação dada pelas ondas refletidas é interpretada pelo software em aparelhos com grande capacidade de processamento de dados que geram a imagem (Eidem, Cetta and O'Leary, 2010).

A avaliação do coração pediátrico segue os mesmos princípios já comentados da análise segmentar e sequencial. No ecocardiograma bidimensional, o modo mais comumente utilizado para se avaliar anatomia, a visualização das estruturas cardíacas se dá através dos chamados cortes ecocardiográficos, adquiridos em determinadas posições ou planos. Existem planos e cortes consagrados que constituem a rotina da avaliação ecocardiográfica com pequenas variações entre os serviços, mas a bem da verdade, o profissional de ecocardiografia pediátrica não é obrigado, nem deve tampouco se ater exclusivamente aos cortes convencionais para construir seu entendimento da anatomia do doente (Lopes, 2014).

Abaixo os principais exemplos de planos e cortes ecocardiográficos da prática clínica diária, lembrando que este não é um exame estático, mas dinâmico e examinador dependente:

- Posição subcostal: Transdutor abaixo do apêndice xifoide ou um pouco a direita em direção ao mamilo direito (FIGURA 11). No eixo axial é possível avaliar o situs pela posição dos grandes vasos em relação à coluna. Muito útil para avaliação do septo interatrial (FIGURA 12) e das conexões venosas sistêmicas.
- Posição apical: Consiste em posicionar o transdutor na região apical ou do ictus, normalmente abaixo do mamilo esquerdo (FIGURA 13). Os cortes pretendidos são o 4 câmaras, que mostra o centro fibroso do coração, também chamado crus cordis, as valvas atrioventriculares e as 4 cavidades do coração (FIGURA 14) É possível angular o transdutor para se adquirir outros cortes, como o 5 câmaras, demonstrando a via de saída do ventrículo esquerdo.
- Posição paraesternal: Posiciona-se o transdutor ao lado do esterno, rotacionando-se o transdutor para adquirir os cortes clássicos (FIGURA 15). Rodando o transdutor em direção ao ombro direito, no sentido da aorta ascendente, visualizamos o eixo longo do ventrículo esquerdo, onde percebemos átrio esquerdo, valva mitral, septo interventricular e ventrículo esquerdo. Ao rodar 90 graus o transdutor, em direção ao ombro esquerdo, visualizamos o eixo

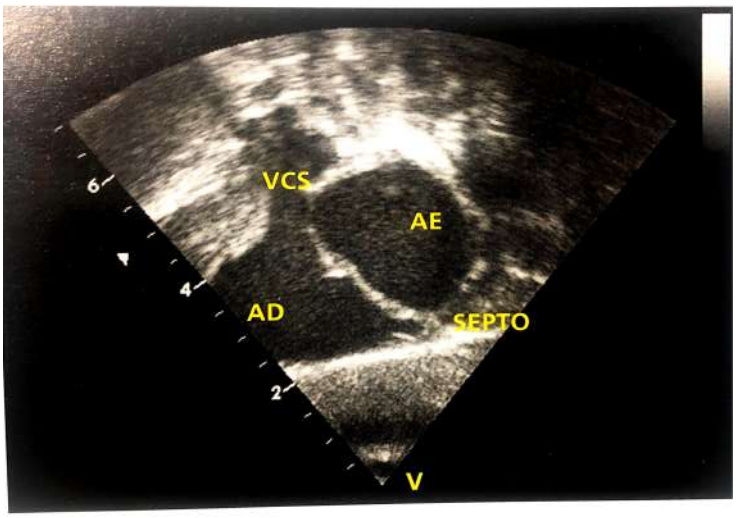
curto da via de saída do ventrículo direito, com a valva pulmonar, tronco e ramos pulmonares e a aorta cortada no eixo longitudinal, demonstrando a abertura e fechamento de suas cúspides (FIGURA 16).

- Posição supraesternal: Transdutor na região da fúrcula, a princípio a 90 graus, mas com pequenas rotações para se localizar as estruturas pretendidas, sobretudo o arco aórtico (FIGURA 17).

Figura 11 - Posição mais indicada para exploração do plano subcostal.

Fonte: Lopes, 2014

Figura 12 - Corte dos átrios a partir da posição subcostal. VCS = Veia cava superior; AD = Átrio direito; AE = Átrio esquerdo.

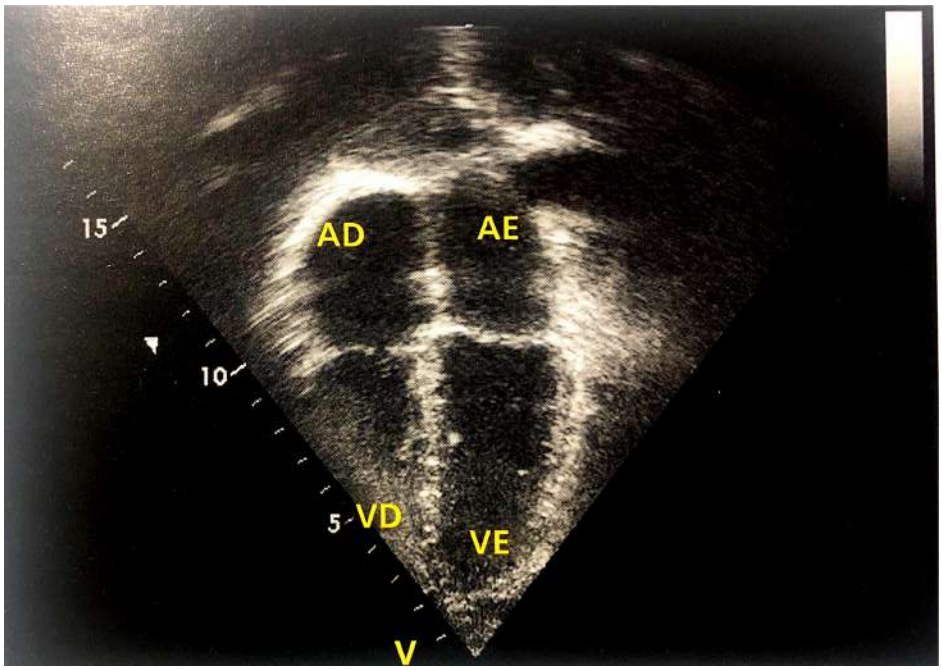


Fonte: Lopes 2014

Figura 13 - Posição mais indicada para exploração do plano apical.

Fonte: Lopes, 2014

Figura 14 - Corte 4 câmaras. AD = Átrio direito; VD = Ventrículo direito; VE = Ventrículo esquerdo = AE = Átrio direito.

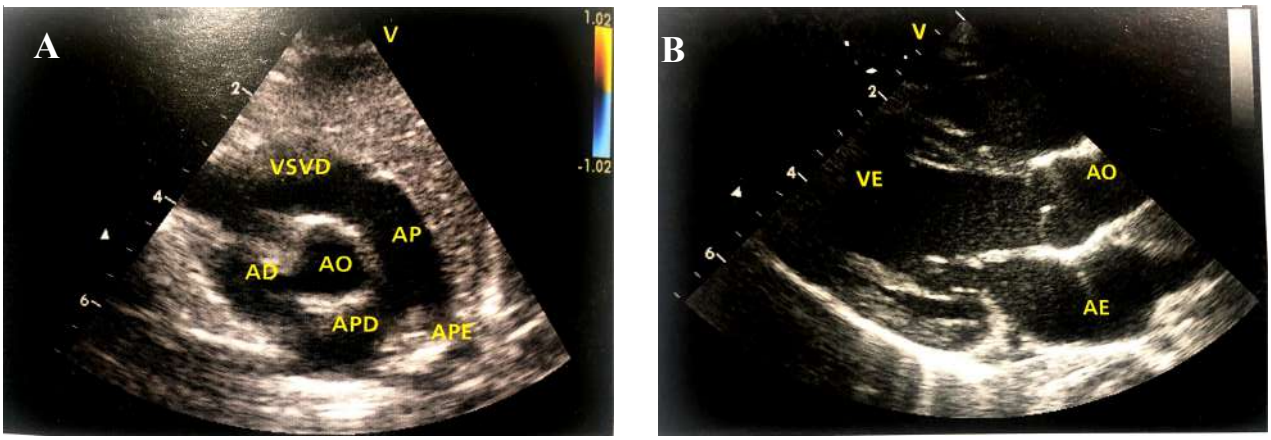


Fonte: Lopes, 2014

Figura 15 - Posição mais indicada para exploração do plano paraesternal.

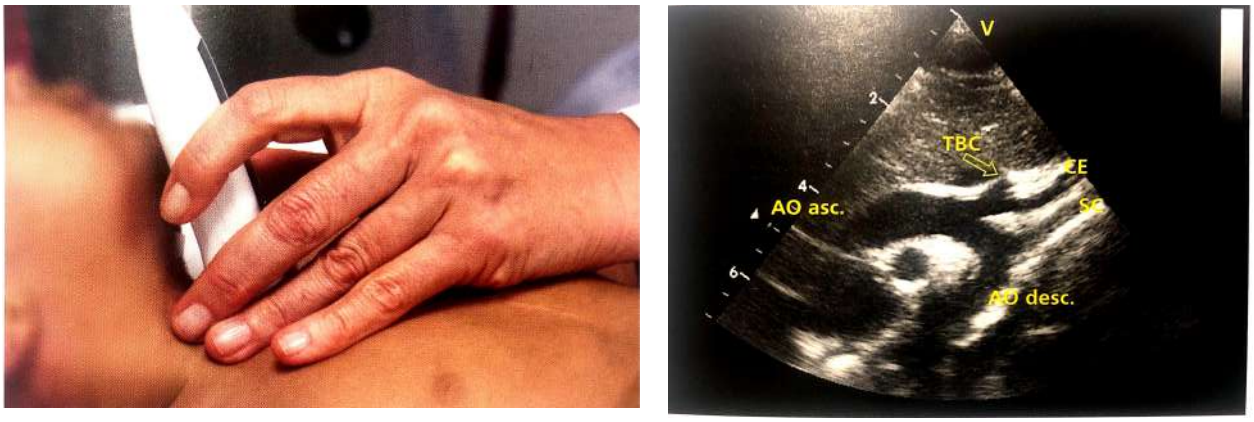
Fonte: Lopes, 2014

Figura 16 - Cortes na posição paraesternal. Em A temos um corte paraesternal eixo curto do ventrículo direito. Em B, o paraesternal eixo Longo.



Fonte: Lopes, 2014.

Figura 17 - Plano supraesternal. Em A, o local ideal de avaliação do plano supraesternal. Em B o corte do arco aórtico.



Fonte: Lopes, 2014

2.6 A IMPRESSÃO 3D EM SAÚDE: UM BREVE HISTÓRICO E RESUMO DO MÉTODO:

A tecnologia de impressão de objetos tridimensionais, através do processo conhecido como estereolitografia, foi desenvolvida em meados da década de 80. Os pioneiros foram os professores Hideo Kodama e Charles Hull, que idealizaram um processo automatizado de fabricação de um objeto tridimensional camada a camada. Ambos mencionaram em seus escritos que buscaram inspiração no processo de construção das grandes pirâmides do Egito (Farooqi, [s.d.]). Outras técnicas como a foto-escultura e a topografia também podem ser consideradas precursoras.

As décadas de 90 e 2000 foram de pesquisa e refinamento das técnicas para impressão 3D, além da criação de grande quantidade de propriedade industrial e intelectual do método. Empresas dedicadas a pesquisar e construir impressoras 3D surgiram na América do Norte, e os usos em vários campos do conhecimento e da vida prática se multiplicaram, inclusive na saúde. Pode-se dizer que a década de 2010 é o momento da história da popularização do 3D, com aparelhos cada vez mais baratos e acessíveis (Farooqi, [s.d.]).

As primeiras aplicações na área de saúde foram na manufatura de arcabouços para cultura de células (bioengenharia), e em seguida na ortopedia e cirurgia buco-maxilo-facial (Farooqi, [s.d.]; Kim *et al.*, 1998; Sodian *et al.*, [s.d.], 2008)

No campo da cardiologia e cirurgia cardíaca pediátrica, a impressão 3D vem sendo utilizada ao menos desde 2006 (Shiraishi *et al.*, 2006), As aplicações do método são inúmeras e incluem o uso na educação médica, como treinamento de cardiologistas pediátricos e cirurgiões cardiovasculares, o uso no planejamento pré-cirúrgico de cardiopatias complexas, comunicação a familiares, engenharia biomédica e criação de dispositivos implantáveis paciente-específicos ou a simulação realística do implante destes dispositivos(Lau and Sun, 2018)

O processo para obtenção de modelos 3D perpassa várias etapas importantes: Aquisição de imagens de qualidade de angiotomografia, angiorressonância ou ecocardiografia 3D, segmentação e pós processamento da imagem reconstruída e por fim, a formatação (também denominada “fatiamento”) da peça para impressão e envio para a impressora para a confecção do modelo(Farooqi, [s.d.]) (FIGURA 18 e 19).

A aquisição de uma boa imagem é essencial para a qualidade da impressão 3D. O balanço entre o sinal e o “ruído” na imagem deve ser mantido e é um dos pontos críticos na preparação da peça 3D. Alguns serviços podem ir tão longe no pós processamento a ponto de modificar muito o material original e perder detalhes anatômicos(Farooqi, [s.d.]; Marro, Bandukwala and Mak, 2016; Mathur, Patil and Bove, 2015).

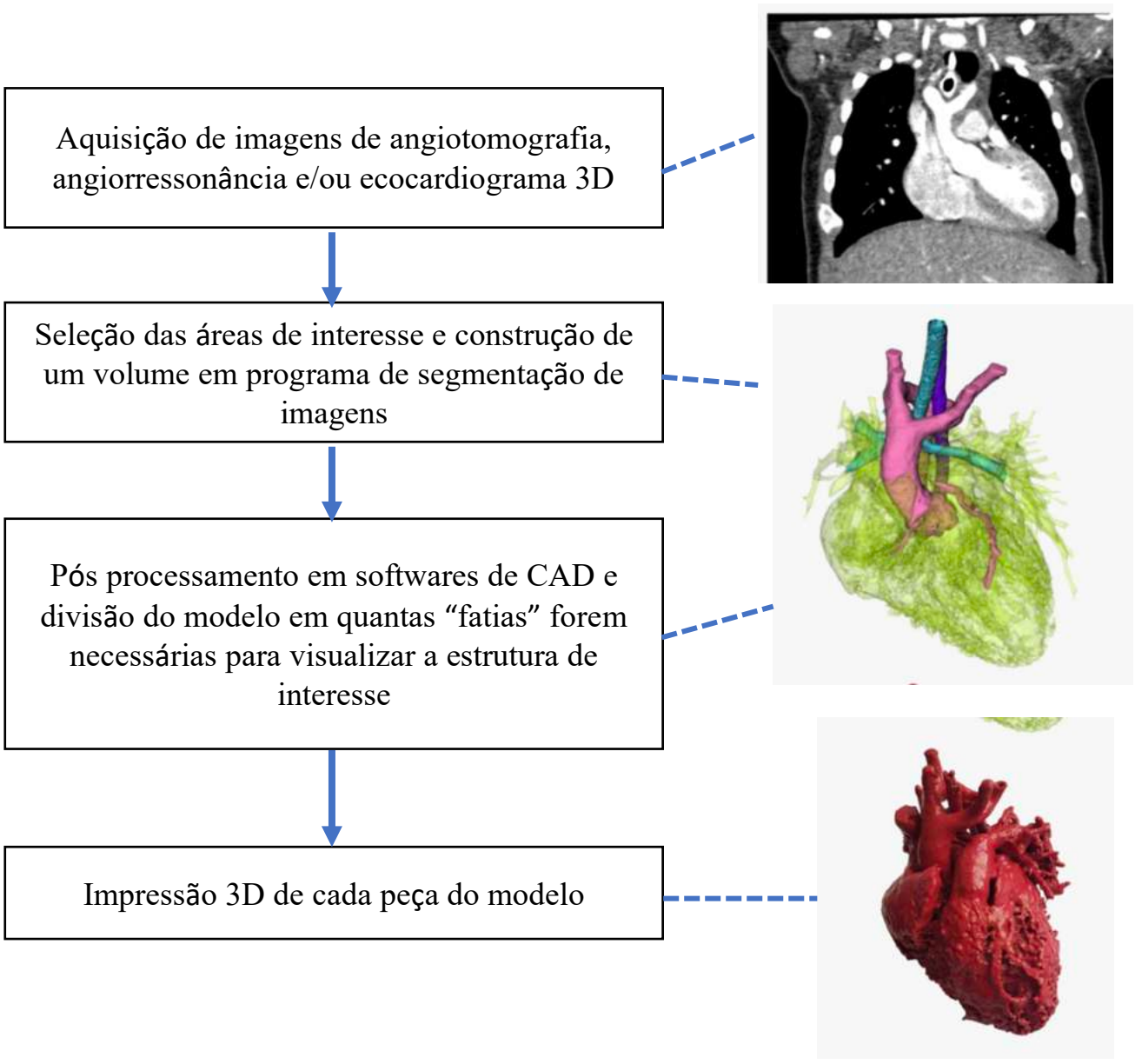
Estudos mostraram uma boa acurácia entre a peça impressa em 3D e a imagem de angiotomografia, ressonância magnética ou mesmo ecocardiograma, de que foi derivado, com diferença menor que 0,4 mm e sem significância estatística em estudos recentes (Hermsen *et al.*, 2017; Muraru *et al.*, 2017; Schievano *et al.*, 2007)

Autores acreditam que a impressão 3D e a popularização da realidade aumentada irão ajudar a definir a chamada cardiologia personalizada, onde um modelo real ou virtual poderão simular a anatomia e fisiologia de pacientes com defeitos complexos antes de realizados os procedimentos propostos, e assim, melhorar o resultado e reduzir complicações (Farooqi, [s.d.]), os impactos nos custos em saúde com o uso do método ainda são incertos. O custo associado à impressão 3D é relativamente baixo no geral, mas varia muito de acordo, sobretudo com o material utilizado, girando entre 1 e 2000 dólares (Sun, 2017). Outros aspectos relevantes no custo global são relacionados às despesas com os profissionais envolvidos no processo de segmentação e os custos associados aos softwares de ponta.

Autores acreditam que a impressão 3D e a popularização da realidade aumentada irão ajudar a definir a chamada cardiologia personalizada, onde um modelo real ou virtual poderão

simular a anatomia e fisiologia de pacientes com defeitos complexos antes de realizados os procedimentos propostos, e assim, melhorar o resultado e reduzir complicações (Farooqi, [s.d.]), os impactos nos custos em saúde com o uso do método ainda são incertos. O custo associado à impressão 3D é relativamente baixo no geral, mas varia muito de acordo, sobretudo com o material utilizado, girando entre 1 e 2000 dólares (Sun, 2017). Outros aspectos relevantes no custo global são relacionados às despesas com os profissionais envolvidos no processo de segmentação e os custos associados aos softwares de ponta.

Figura 18 - Fluxograma do processo de impressão 3D de um modelo de coração a partir de imagens de angiotomografia.



Fonte: O autor

2.7 O 3D PARA ENSINO EM CARDIOLOGIA PEDIÁTRICA: ESTADO DA ARTE

A tecnologia de impressão 3D já vem sendo usado para ensino em cardiologia pediátrico, com resultados animadores. Seus principais usos são no auxílio ao entendimento da anatomia normal e patológica, como auxílio em palestras e aulas expositivas e nos treinamentos denominados “hands on”, aonde o aluno, especialmente o cirurgião em treinamento, pode simular o procedimento em uma peça com representação acurada de doença cardíaca (Olivieri *et al.*, 2016; Yoo *et al.*, 2017).

Outros usos interessantes do método no campo da educação tem se apresentado promissoras, como por exemplo a possibilidade de armazenar digitalmente as coleções de peças anatômicas de grandes centros, que são antigas e estão começando a se deteriorar, para que possam ser impressas em 3D e manter os acervos funcionais eternamente (Kiraly *et al.*, 2019; Seslar *et al.*, 2015).

Os trabalhos de uma maneira geral não tem mostrado resultado conclusivo acerca do benefício dos modelos 3D como auxiliar no ensino da anatomia patológica de cardiopatias congênitas, porém o método é muito bem avaliado por aqueles que entram em contato, como em estudo de 2017 com enfermeiras que foram treinadas utilizando o auxílio dos modelos 3D e mais da metade relatou que os modelos auxiliaram mais que os diagramas no entendimento das doenças complexas (Biglino *et al.*, 2017). O mesmo aconteceu quando cirurgiões em treinamento avaliaram as peças usadas em simulações realísticas (Yoo *et al.*, 2017).

Porém, apesar de se tratar de uma inovação, ainda não é consenso na literatura de que a intervenção tenha efeito benéfico. Wang e colegas compararam o uso dos modelos 3D com imagens habituais e modelos cardíacos fabricados sem auxílio de imagens reais, para falar de casos dos mais simples aos mais complexos e descobriu que não houve diferença na pontuação em um teste pré-determinado (Wang *et al.*, 2017) .

Outro estudo avaliou o uso de modelos 3D para ensino, dividindo os alunos em dois grupos: intervenção e controle, onde o grupo intervenção era exposto aos modelos 3D durante uma aula sobre comunicação interventricular e sobre tetralogia de Fallot. Todos os alunos foram submetidos a pré e pós teste. O estudo não mostrou aumento na pontuação do grupo intervenção que assistiu a aula de CIV (inclusive o grupo que não foi exposto aos modelos pontuou melhor no pós teste), tendo mostrado porém aumento na pontuação do grupo intervenção que assistiu a aula sobre tetralogia de Fallot (White *et al.*, 2018).

Um estudo muito semelhante, também aplicando pré e pós teste, porém com caso clínico de anel vascular, mostrou resultados semelhantes, com média na pontuação do pós teste ligeiramente melhor no grupo intervenção, porém sem significância estatística (Jones and Seckeler, 2017).

Então, de certa maneira, a literatura já nos trouxe muitos bons exemplos do uso dos modelos 3D em educação e treinamento de profissionais de cardiologia e cirurgia cardiovascular pediátrica, mas ainda não conseguiu estabelecer um benefício significativo quando comparado a outros métodos, sendo porém, que os modelos são bem avaliados e há uma percepção subjetiva por parte dos entrevistados de que eles melhoraram a compreensão das cardiopatias congênitas. Certamente a avaliação do benefício da impressão 3D em educação ainda merece ser bem aprofundada nos próximos anos, com grande potencial de revolucionar a maneira como treinamos nossas equipes multidisciplinares.

3 METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

Trata-se de estudo observacional e analítico. Constitui-se de duas fases, sendo a primeira a confecção de modelos, do preparo das imagens ao pós processamento e impressão 3D, e em um segundo momento, a avaliação dos modelos 3D por profissionais com diferentes níveis de experiência em ecocardiografia pediátrica.

3.2 CONFECÇÃO DOS MODELOS 3D:

As peças foram impressas a partir de imagens de angiotomografia de pacientes com cardiopatias congênitas diversas, das mais simples às mais complexas. Os exames foram escolhidos a partir de banco de dados já existente de casos do setor de imagens do Hospital Rio Grande e INCOR Natal, onde o pesquisador responsável integra a equipe de cardiologia pediátrica. Nenhum exame foi realizado com o intuito exclusivo de compor material para esta pesquisa, sendo que os exames foram previamente realizados por indicação individualizada do médico assistente.

Durante todo o período do estudo, trabalhamos com 13 conjuntos de imagens de angiotomografia de pacientes com cardiopatia congênita simples e complexas, previamente avaliados com angiotomografia por indicação clínica. Destes, foram selecionados 4 casos de cardiopatias simples para serem utilizados no estudo, levando-se em consideração sobretudo a frequência das cardiopatias e o potencial do uso dos modelos para treinamento em ecocardiografia. São eles

- 1 caso de comunicação interatrial (CIA);
- 1 caso de coarctação da aorta (CoAo) com comunicação interventricular (CIV);
- 1 caso de persistência do canal arterial (PCA);
- 1 caso de defeito de septo atrioventricular total (DSAVT);

As imagens de angiotomografia foram segmentadas em software específico: Mimics™ ou InVersalius™, para aquisição de reconstrução volumétrica, que foi exportada para software de pós processamento: 3-Metric™, 3D-Zephyr™ ou Meshmixer™. Nesta etapa, o volume reconstruído é editado para que se crie uma casca ou “hollow shell” ao redor do volume, de maneira que, ao se ocultar no software o “shell” do volume interno, reste a casca, que consegue representar a anatomia interna ao ser cortada digitalmente.

Nos 4 casos selecionados, a orientação do corte visa simular os cortes ecocardiográficos clássicos de 4 câmaras, paraesternal eixo longo, paraesternal eixo-curto e supraesternal arco-aórtico. Para cada corte ecocardiográfico, foram geradas duas peças para impressão, correspondente às duas metades do coração cortado. Estes arquivos foram convertidos para extensão compatível com a impressora 3D (.stl), novamente parametrizados em software de "fatiamento", com as configurações para a impressão, e por fim, impressas em impressora FDM, sendo os materiais utilizados ABS ou PLA de cores variáveis.

As peças foram impressas no Laboratório de Concepção e Análise de Artefatos Inteligentes LACAAI, no Centro de Artes e Comunicação da UFPE. Os passos para a impressão dos modelos estão retratados nas figuras de 19 a 21.

3.3 LOCAL DA PESQUISA:

As imagens de angiotomografia e ecocardiograma e dados da história clínica dos pacientes foram recolhidos dos bancos de dados do INCOR Natal, centro terciário de cardiologia e cirurgia cardiovascular pediátrica sediado em Natal-RN, onde o pesquisador principal é médico assistente.

As entrevistas e aplicação dos questionários com profissionais de saúde foram realizadas nas dependências da Unidade de Cardiologia Materno-Fetal no Real Hospital Português em Recife-PE, nas instalações pertencentes ou relacionadas à ONG Círculo do Coração, onde atuam equipes multidisciplinares no cuidado à criança com cardiopatia congênita em Pernambuco e onde funciona conceituado programa de residência médica em cardiologia pediátrica na cidade de Recife/Pernambuco, e também para profissionais que atuam no cuidado à criança cardiopata de diversos serviços em Natal/RN.

Figura 19 - Pós processamento. Aplicação de casca sobre o volume reconstruído e posterior recorte em posição de 4 câmaras. Software Meshmixer.

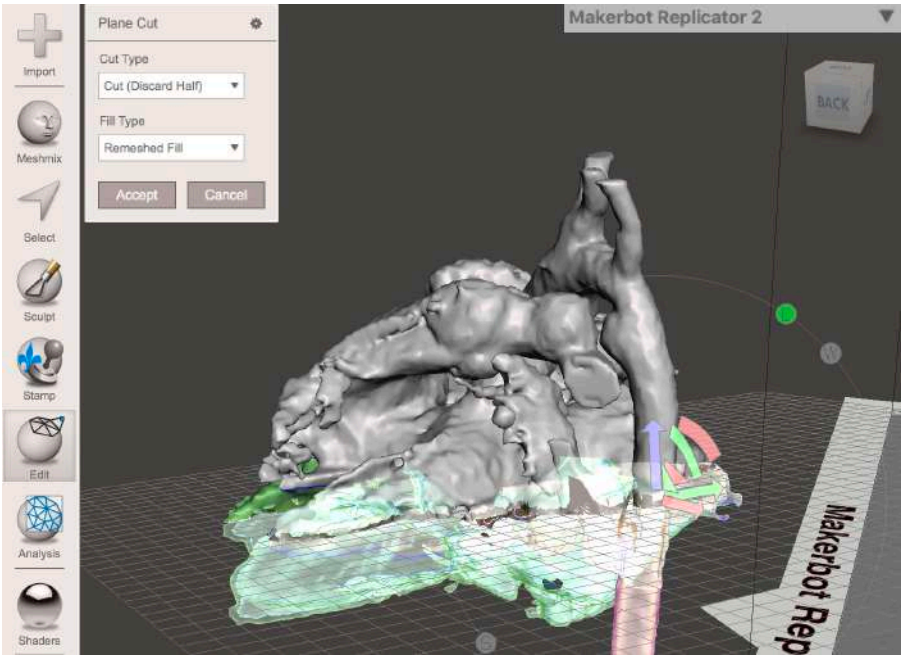
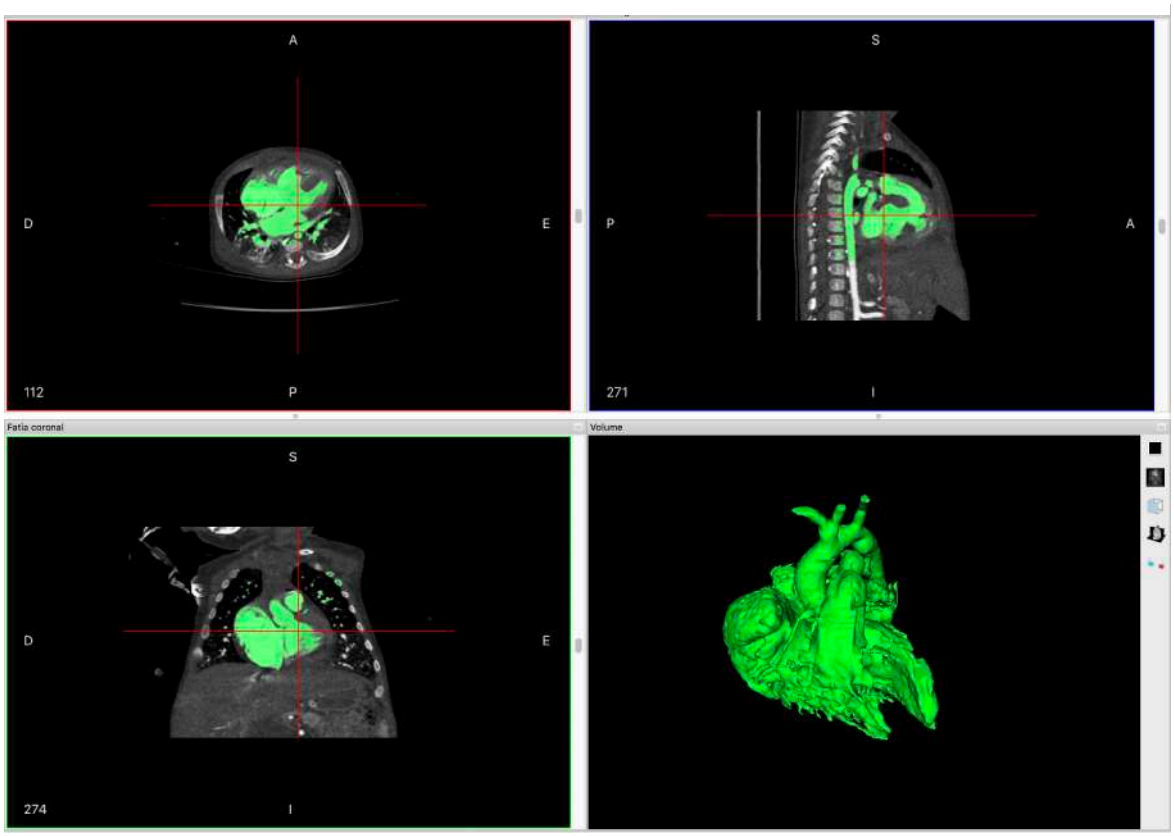
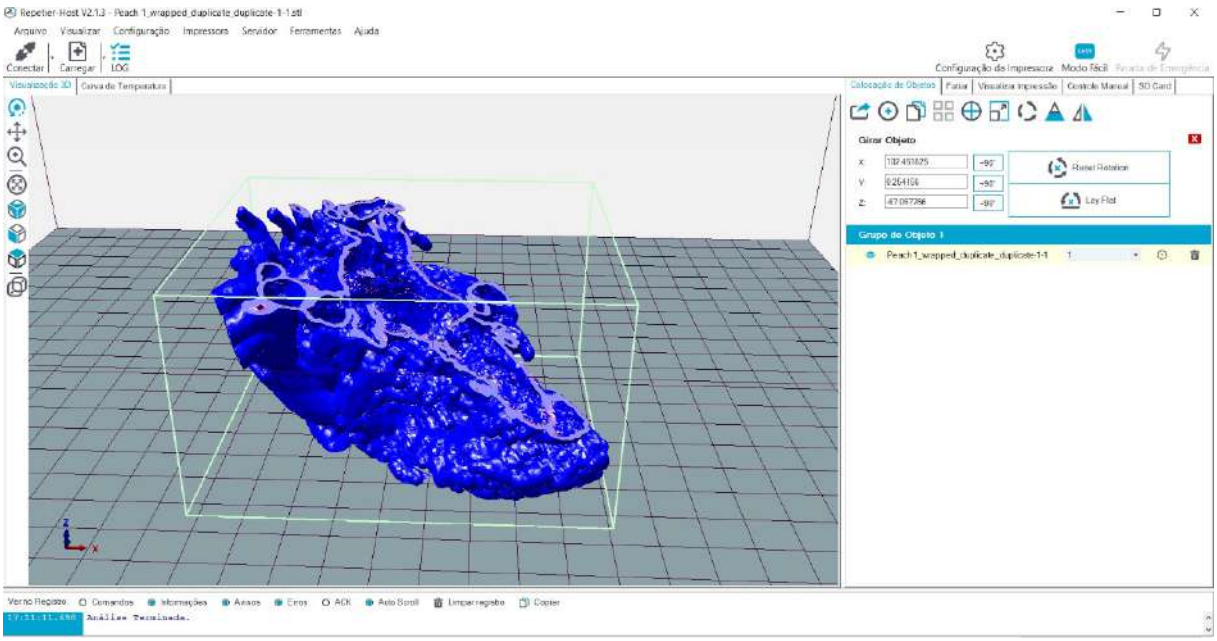


Figura 20 - Segmentação. Aplicação de máscaras na região de interesse, com reconstrução de superfície tridimensional pretendida. Software InVesalius.



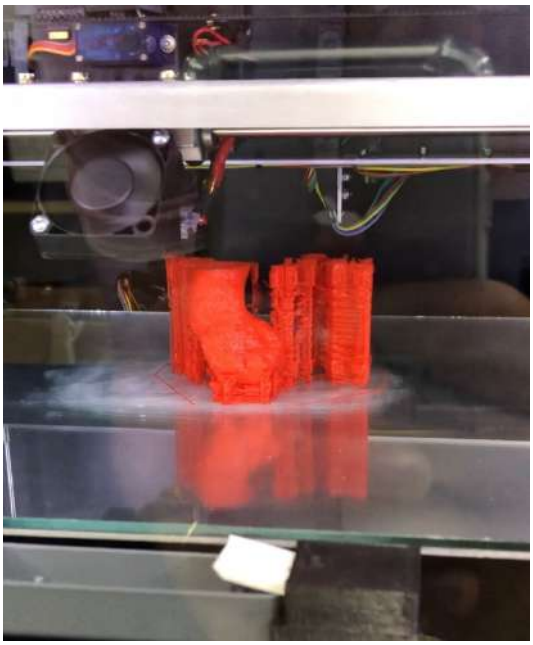
Fonte: O autor

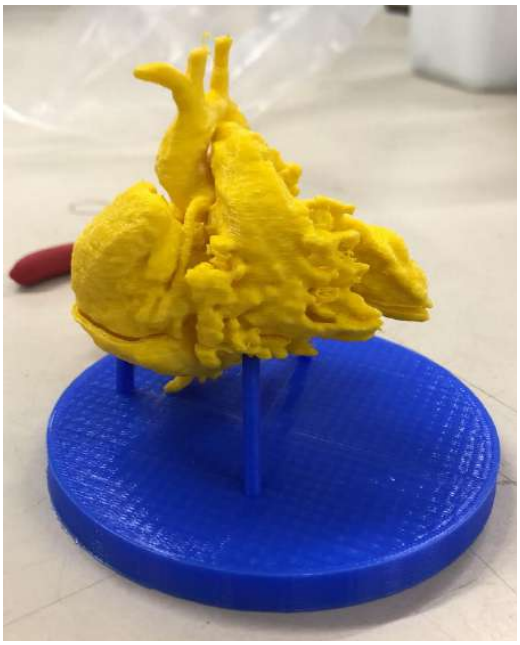
Figura 21 - Fatiamento do modelo para impressão. Software Repetier Host.



Fonte: O autor.

Figura 22 - Impressora 3D e produto final.





Fonte: O autor.

3.4 AMOSTRA

Foram selecionados 17 participantes que atenderam aos critérios de inclusão e de exclusão do estudo, entre profissionais médicos que atuam em ecocardiografia neonatal, funcional ou pediátrica, com diferentes níveis de expertise. Foram considerados experts os profissionais que fizeram mais que 1000 exames ou mais de 30 mensais por período maior que 5 anos, seguindo a definição da American Heart Association (Quiñones *et al.*, 2003).

3.5 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

- Profissionais com experiência em ecocardiografia pediátrica, com especialização, residência médica ou experiência em ecocardiografia funcional.

3.6 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Foram excluídos do estudo:

- Estudantes de graduação, ainda que tenham feito alguma especialização ecocardiografia;
- Residentes médicos de ecocardiografia no curso de sua formação, exceto aqueles com treinamento prévio em ecocardiograma funcional;
- Profissionais não cardiologistas, como pediatras, cirurgiões cardiovasculares e neonatologistas, que não tenham treinamento prévio ou experiência em cardiologia e ecocardiografia pediátrica.
- Profissionais que tenham tido prévio contato com alguma das peças utilizadas.

3.7 RECRUTAMENTO DOS PARTICIPANTES

Os participantes foram convidados a participar da pesquisa através de contato telefônico ou pessoalmente nas instalações da UCMF e Círculo do Coração, bem como nos cursos oferecidos pelo Círculo do Coração em suas instalações. Alguns participantes foram recrutados da mesma maneira na cidade de Natal-RN. A aplicação dos instrumentos de pesquisa se deu de forma presencial sempre com a presença de um dos pesquisadores envolvidos.

3.8 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Os participantes preencheram 2 questionários.

O questionário 1, é preenchido pelos profissionais com treinamento e experiência em ecocardiografia pediátrica ou funcional, após avaliarem modelos que simulam cortes

ecocardiográficos e se propõe a responder a seguintes pergunta: “Os modelos 3D retratam com fidelidade o que é encontrado no ecocardiograma?” e “Os modelos 3D auxiliam no entendimento do ecocardiograma pediátrico?”;

Na aplicação deste instrumento, foram usados 4 modelos que foram seccionados simulando cortes de ecocardiograma, sendo perguntado aos participantes se eles conseguiam identificar o corte ecocardiográfico, as estruturas identificáveis nas peças e o diagnóstico. Após as respostas, era dada uma pequena explicação sobre o modelo, o corte ecocardiográfico e o diagnóstico, e o participante respondia as perguntas restantes, com cinco níveis de concordância (discordo muito, discordo pouco, não concordo nem discordo, concordo muito, concordo pouco) sobre a capacidade do modelo em melhorar o entendimento sobre a maneira como se adquire a imagem, sobre os achados normais e patológicos, sobre a visão espacial (tridimensional) do coração, se ajuda a entender a fisiopatologia da doença e sobre a acurácia e valor estético do modelo.

Os dados permitiram avaliar a validade de constructo dos modelos 3D enquanto instrumentos que simulam a imagem real de ecocardiograma, uma vez que serão submetidos à pesquisa, participantes com diferentes níveis de experiência na área. Espera-se, em um modelo acurado, que experts, na forma como foram definidos, acertem com mais frequência o corte ecocardiográfico e o diagnóstico demonstrados que os profissionais menos experientes. O mesmo se aplica a profissionais com treinamento em ecocardiografia pediátrica em relação aos que fazem ecocardiograma funcional.

O questionário pode ser visualizado no Anexo 1 deste documento

Foram mostrados aos participantes 4 modelos impressos em 3D:

CASO 1 – Corte supraesternal do arco aórtico de paciente com diagnóstico de coarctação da aorta e comunicação interventricular (figura 23), sendo exigido do participante apenas identificar o defeito no arco aórtico, visto o corte não salientar a CIV;

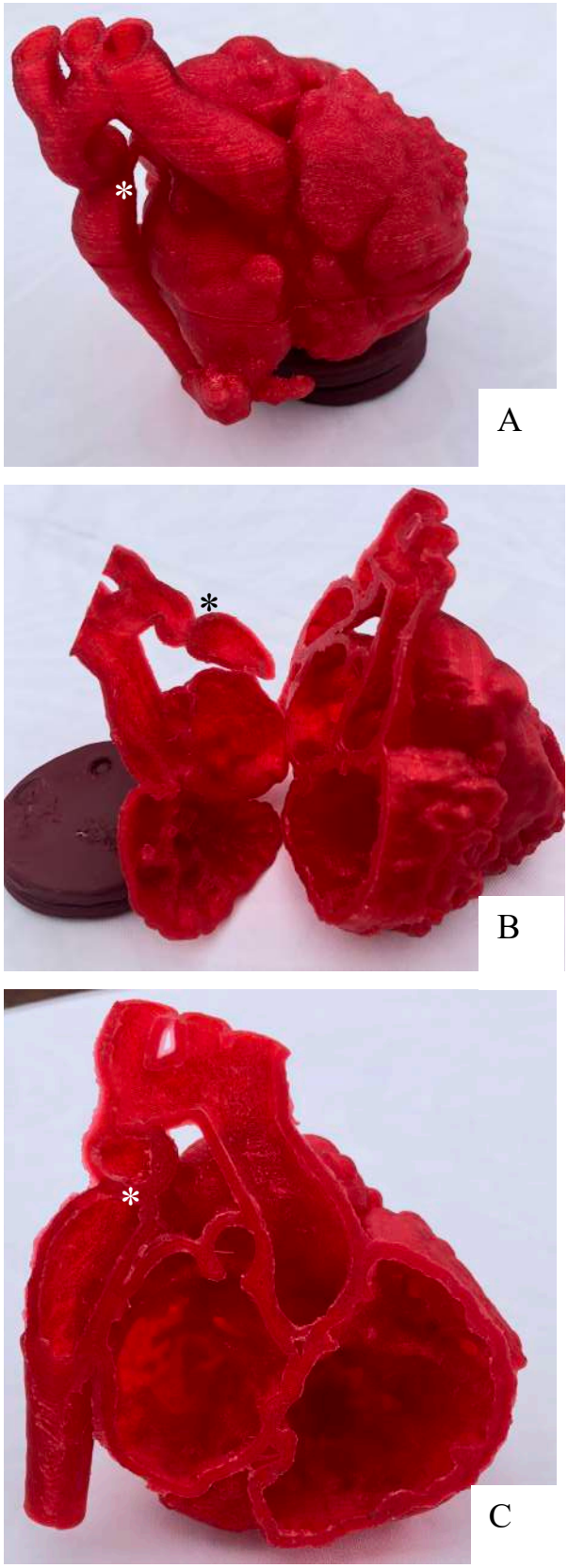
CASO 2 – Corte apical 4 câmaras de paciente com diagnóstico de defeito do septo atrioventricular total (figura 24);

CASO 3 – Corte Paraesternal eixo curto de paciente com diagnóstico de persistência do canal arterial (figura 25);

CASO 4 – Modelo com 7 peças desmontáveis que representam os cortes apical 4 câmaras, paraesternal eixo curto do ventrículo direito, paraesternal eixo longo e supraesternal

do arco aórtico, de paciente com diagnóstico de CIA (figuras 26 e 27). Neste modelo esperava-se do participante acertar ao menos 2 cortes demonstrados;

Figura 23 - Caso 1: Corte supraesternal do arco aórtico. Coarctação de aorta com comunicação interventricular. Em A, aspecto externo com o modelo montado, Em B, a relação entre as duas peças que compõem o modelo. Em C o detalhamento da anatomia interna. * Região coarctada.



Fonte: O autor.

Figura 24 - Caso 2: Corte apical 4 câmaras. Defeito do septo atrioventricular total. Em A, aspecto externo com o modelo montado, Em B, a relação entre as duas peças que compõem o modelo. Em C o detalhamento da anatomia interna.

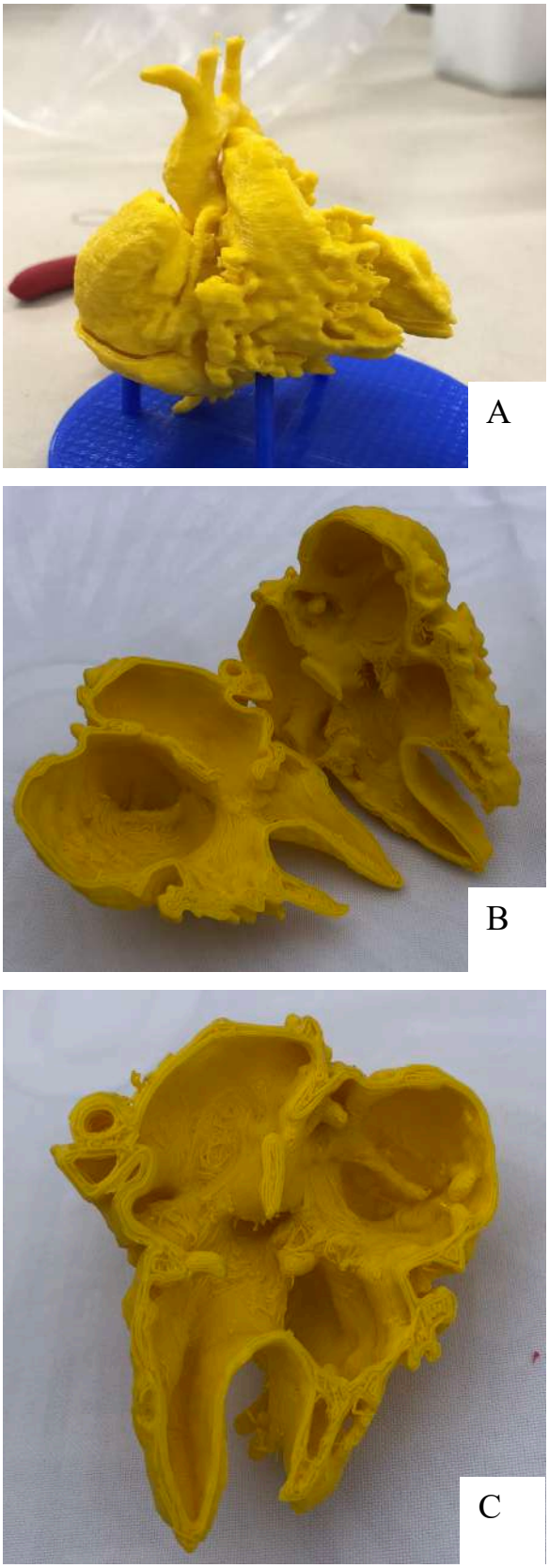
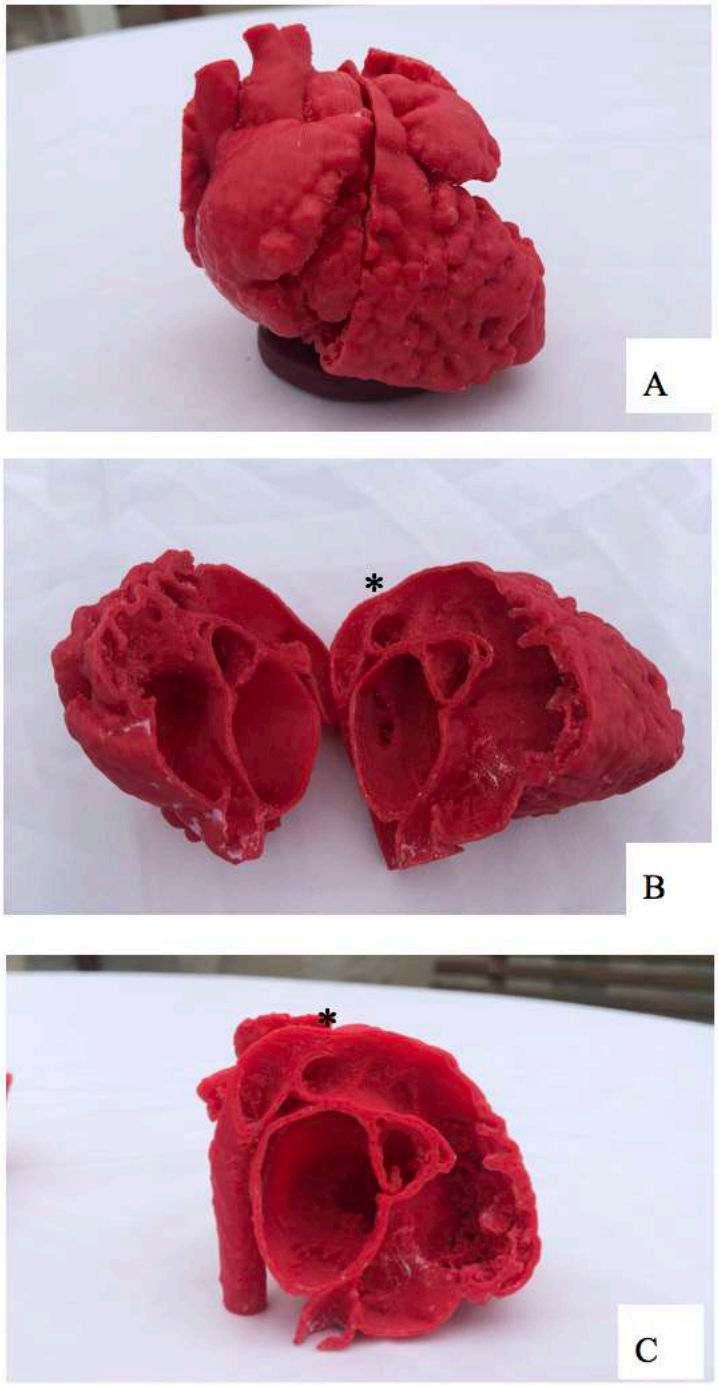
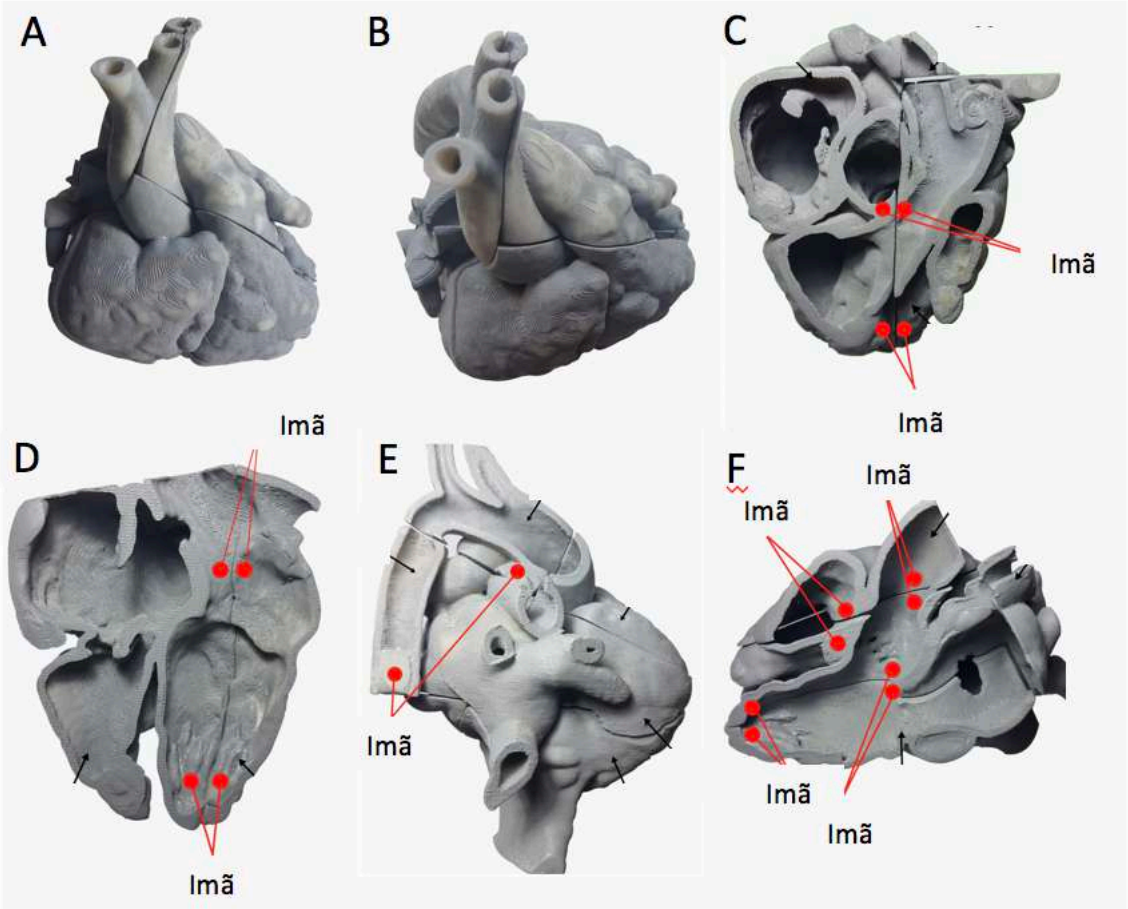


Figura 25 - Caso 2: Corte paraesternal eixo curto. Persistência do canal arterial. Em A, aspecto externo com o modelo montado, Em B, a relação entre as duas peças que compõem o modelo. Em C o detalhamento da anatomia interna. * Canal arterial.



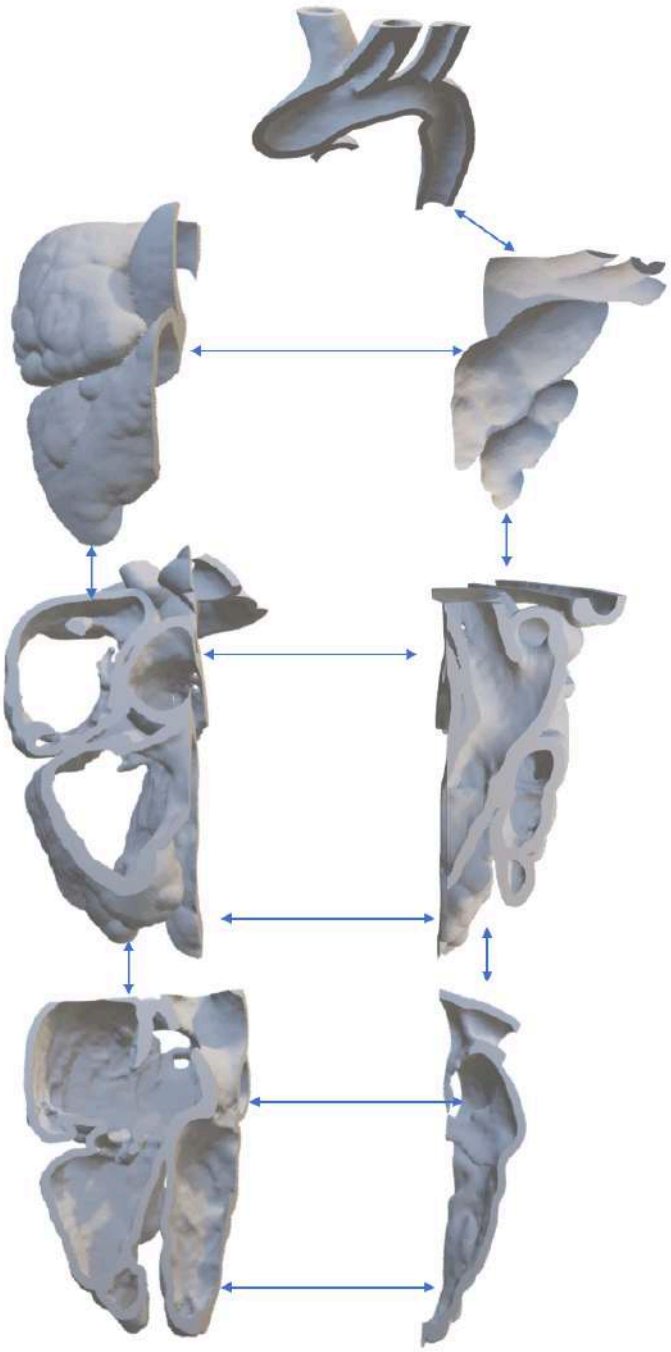
Fonte: O autor.

Figura 26 - Modelo articulado. Cortes diversos. Diagnóstico de comunicação interatrial. O modelo tem 7 peças desmontáveis e articuláveis através de imãs que representam 4 cortes básicos. Em A e B aspecto externo do modelo montado, Em C o corte paraesternal eixo curto da via de saída do ventrículo direito, em D, corte apical 4 câmaras, em E, corte supraesternal do arco aórtico e em F, corte paraesternal do eixo longo do ventrículo esquerdo.



Fonte: O autor.

Figura 27 - Modelo articulado. Relações entre as peças. As sete peças que constituem o modelo para o caso 4 separadas e as conexões entre elas.



Fonte: O autor

O segundo questionário, preenchido por todos os participantes, ao final da aplicação dos modelos, refere-se à impressão subjetiva da técnica como um todo e se propõe responder à pergunta: “A impressão 3D de modelos de cardiopatias congênitas auxilia no ensino e aprendizagem da cardiologia e ecocardiografia pediátrica?”

O instrumento é aplicado após a experiência inicial com o método, que se deu durante a participação na pesquisa. Os participantes foram convidados a preencher um questionário com cinco níveis de concordância (discordo muito, discordo pouco, não concordo nem discordo, concordo muito, concordo pouco) avaliando a eficácia dos modelos para o ensino de anatomia normal e patológica cardíaca, para ensino de ecocardiografia pediátrica, para a comunicação com familiares e sobre o interesse geral no método na prática clínica.

Os resultados da impressão subjetiva do método pelos participantes são importantes para conferir validade facial e de conteúdo dos modelos, no último caso se houver uma boa avaliação dos modelos e do método por parte dos considerados experts em ecocardiografia.

Neste questionário específico, uma vez que as perguntas abrangem o método impressão 3D em cardiologia pediátrica” como um todo, a amostra é maior (n = 34), visto que também preencheram este questionário os participantes de uma segunda pesquisa em andamento também com profissionais que atuam em cardiologia e ecocardiografia pediátrica.

O questionário pode ser visualizado no Anexo 2 deste documento

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os dados foram recolhidos pelo pesquisador responsável e dispostos em planilha de software Excel 2013, distribuídos em frequências absolutas e relativas para avaliação da taxa de acertos e da percepção subjetiva dos participantes quanto à eficácia dos modelos e do método.

Para análise dos dados, os participantes foram divididos em grupos de acordo com a área de atuação e com o tempo de experiência,

De acordo com a área de atuação:

- Ecocardiografistas pediátricos;
- Neonatologistas (com atuação em ecocardiograma funcional)

De acordo com o tempo de experiência:

- Experts: Mais de 5 anos de atuação, divididos em 2 subgrupos:
  - Entre 5 e 10 anos de atuação;
  - Mais que 10 anos de atuação
- Não experts: Menos de 5 anos de atuação, divididos em 2 subgrupos:
  - Menos de 1 ano de atuação;
  - Entre 1 e 5 anos de atuação

Para cada caso apresentado, foram comparados os acertos entre os grupos. A taxa de acertos foi calculada para cada subgrupo pela fórmula: acertos totais/ (número de participantes do subgrupo x 4), onde 4 representa o número de modelos que cada participante avaliou.

As diferenças na taxa de acertos entre os grupos foram analisadas a partir de testes estatísticos paramétricos, sobretudo o qui-quadrado, considerando-se significante p valor abaixo de 0,05. Uma diferença com significância nas taxas de acertos entre os grupos com diferentes níveis de experiência e de formação confere ao modelo validade de constructo.

Para as questões de avaliação dos modelos e do método dos dois questionários, a frequência das respostas (entre concordo muito a discordo muito) foram registrados para cada modelo. Na comparação global entre os grupos foi calculada a "nota média" dada por cada grupo, considerando-se que as respostas possam ser interpretadas como uma nota, dada pelo participante para aquele tópico perguntado em cada modelo, sendo notas sequenciais de 1 a 5, onde discordo muito corresponde a 1 e concordo muito corresponde a 5. A nota média calculada

é dada pela média ponderada das notas dadas de 1 a 5 por cada subgrupo para cada item pesquisado. Esta avaliação é considerada no conceito de validade facial, uma vez que se aproxime da nota 5 e de conteúdo uma vez que se aproxime de 5 entre aqueles considerados experts.

5 ASPECTOS ÉTICOS

A realização da presente pesquisa obedece aos preceitos éticos da Resolução 466/12 ou 510/16 do Conselho Nacional de Saúde e foi aprovada pelo parecer número 3.745.360 do Comitê de Ética em Pesquisa da UFPE.

Os exames de imagem utilizados para a confecção dos modelos tridimensionais e impressos em 3D foram retirados de banco de dados de pacientes. O critério de escolha foi a qualidade do exame e doenças que são de interesse para o ensino de cardiologia e ecocardiografia neonatal e pediátrica. Não houve qualquer dano aos pacientes em questão, e o uso dos dados foi consentido pelo INCOR/natal, onde estes pacientes são atendidos

A todos os participantes que voluntariamente participaram das sessões com exposição dos modelos 3D e aplicação do questionário, foi submetido previamente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO 3), contendo objetivos da pesquisa, riscos e benefícios aos pesquisados, identificação e contato dos pesquisadores.

5.1 ARMAZENAMENTO DOS DADOS

Os dados coletados nesta pesquisa, se constituem essencialmente de questionários aplicados aos participantes que voluntariamente participaram da entrevista, com a exposição das peças impressas em 3D. Este material ficará armazenado em pastas de arquivo, sob a responsabilidade do pesquisador responsável, no endereço Rua Estrela do Mar, número 195, casa 49, Nova Parnamirim, município de Parnamirim, CEP 59151-120, pelo período de mínimo 5 anos". Os modelos 3D também serão armazenados em caixas no mesmo endereço e pelo mesmo período, podendo ser usadas eventualmente em exposições ou palestras que envolvam a pesquisa. Os dados digitais dos exames ficarão armazenados no computador pessoal do pesquisador no mesmo endereço e pelo mesmo prazo.

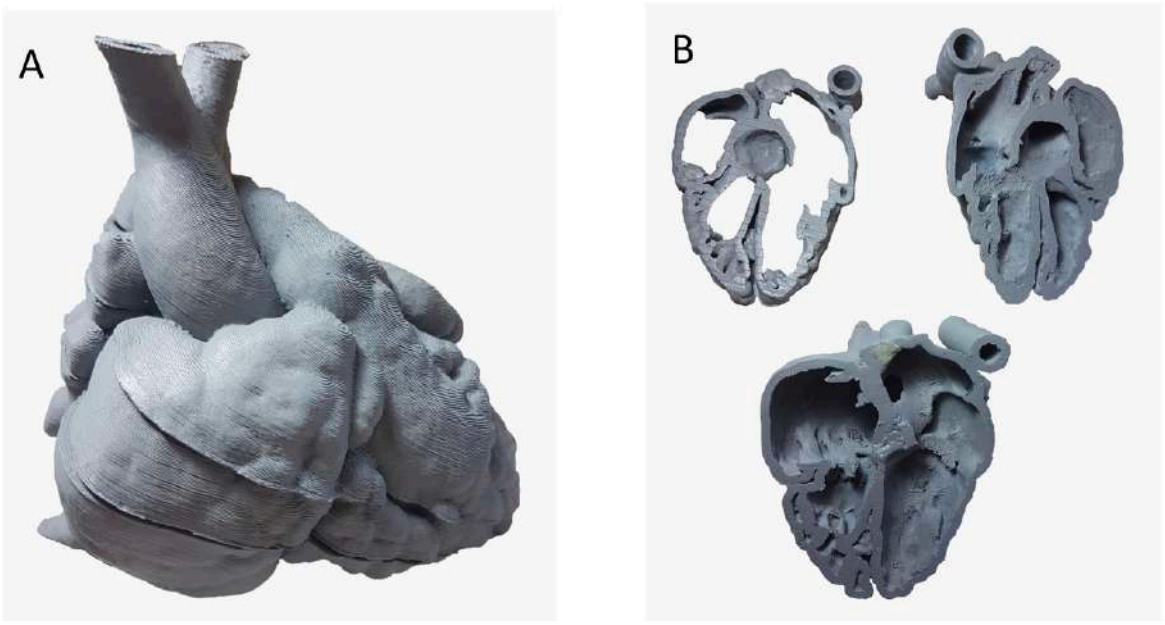
6 RESULTADOS

6.1 SOBRE A IMPRESSÃO DE MODELOS SIMULANDO CORTES ECOCARDIOGRÁFICOS A PARTIR DE IMAGENS DE ANGIOTOMOGRAFIA

Para melhor entendimento, neste manuscrito, iremos tratar cada coração inteiro impresso em 3D como um “modelo”, e as partes que compõem este modelo de “peças”. Desta feita, um modelo pode ter uma, duas ou mais peças impressas para que se consiga demonstrar os detalhes anatômicos pretendidos (figura 28)

Ao longo de dois anos de trabalho, foram impressas 68 peças individuais, que articuladas representam 33 modelos de corações de 13 pacientes diferentes. As imagens dos 4 pacientes escolhidos para compor este estudo resultaram em 39 peças impressas para 17 modelos simulando cortes ecocardiográficos variados, conforme pode ser observado na tabela 1.

Figura 28 - Modelo e peças: Modelo de coração impresso em 3D com comunicação interatrial (A), composto de 3 peças (B). Existem dois cortes ecocardiográficos representados neste modelo: Apical 4 câmaras e apical 5 câmaras.



Fonte: O autor.

A primeira etapa do projeto envolveu trabalhar imagens médicas, mais especificamente de angiotomografia de coração e aorta torácica, do banco de dados do INCOR/Natal, cumprindo as etapas de segmentação e pós processamento (modelagem 3D), para preparar o arquivo com extensão .STL que pode ser encaminhado para impressão. Não havia entre os pesquisadores especialistas pós-graduados em avaliação tomográfica em cardiologia, então foi necessário que o grupo de pesquisa construísse sua própria curva de aprendizado no método. A primeira fase, portanto, foi de revisão bibliográfica e escolha dos softwares, impressoras e materiais a serem usados, além de trabalhar em alguns casos a título de teste.

O primeiro software trabalhado foi o InVersalius, sendo um programa nacional e gratuito, desenvolvido no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer. O programa não tem módulo específico cardiovascular, mas permite fazer segmentação de imagens com muita propriedade, com reconstrução volumétrica e possibilidade de exportar o modelo em formato .STL para impressão. Muitas das peças impressas foram reconstruídas neste software.

Foram utilizados também os softwares Mimics e 3 Metric da empresa Materialize, para segmentação e pós processamento das imagens respectivamente, com resultado ligeiramente superior ao primeiro, encurtando significativamente o tempo de produção de cada modelo, visto que estes softwares contam com módulo cardiovascular, porém os dois programas são licenciados a custo mais alto que o financiamento da pesquisa, o que inviabilizou o uso dos produtos além do período de teste (15 dias).

Na impossibilidade de se utilizar os aplicativos pagos, os modelos continuaram sendo segmentados no InVesalius e na necessidade de pós-processamento, foram utilizados outros programas “open source”: Meshmixer e 3d-Zephyr, com resultados progressivamente melhores durante a curva de experiência.

As impressoras utilizadas para impressão foram a Seth 3D e a Uprint, ambas impressoras FDM (Fused deposition Modeling), utilizando-se filamentos de ácido polilático (PLA) e Acrilonitrila butadieno estireno (ABS).

Os modelos foram impressos no período de julho de 2018 a julho de 2019, no Laboratório de Concepção e Análise de Artefatos Inteligentes - LaCA2I do Departamento de Design da UFPE.

Quatro cortes básicos de ecocardiograma foram reproduzidos nos modelos impressos: Apical 4 câmaras, paraesternal eixo longo do ventrículo esquerdo, paraesternal eixo curto da via de saída do ventrículo direito e supraesternal arco aórtico.

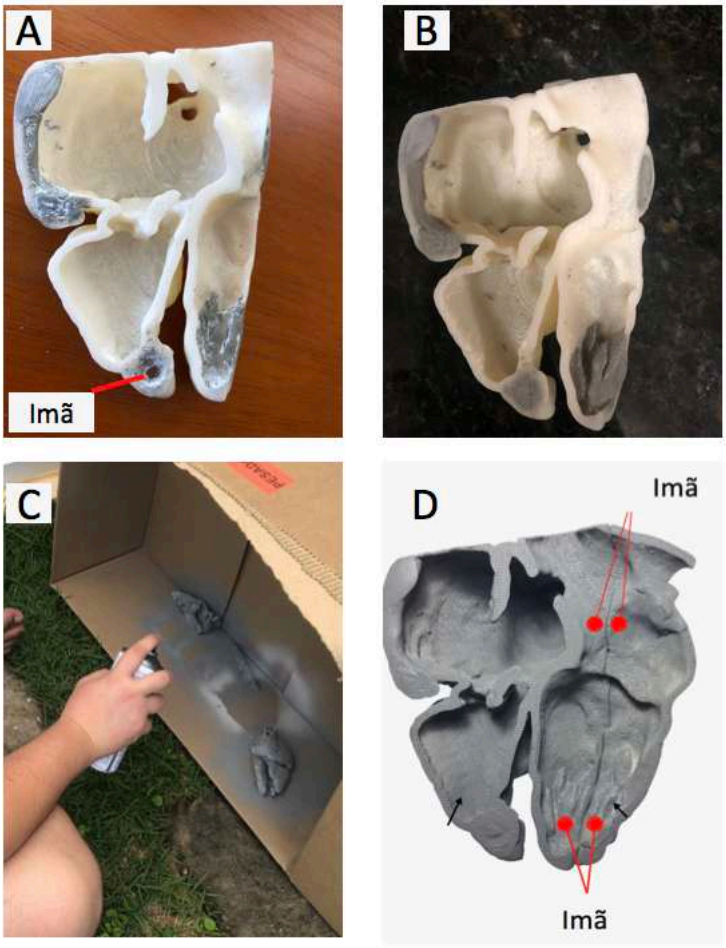
Tabela 1 - Modelos e peças impressas em 3D de cada caso selecionado para o estudo. Em destaque os modelos escolhidos para serem aplicados juntamente aos questionários.

Paciente	Diagnóstico	Idade	Modelos impressos
1	**Coarctação da aorta e comunicação interventricular**	1 mês	2 peças: corte apical 4 câmaras
			2 peças: corte paraesternal eixo longo
			2 peças: corte paraesternal eixo curto
			2 peças: corte supraesternal arco aórtico
2	**Defeito do Septo Atrioventricular total**	4 meses	2 peças: corte apical 4 câmaras
			2 peças: corte paraesternal eixo longo
3	**Persistência do canal arterial**	7 meses	2 peças: corte apical 4 câmaras;
			2 peças: corte paraesternal eixo longo
			2 peças: corte paraesternal eixo curto
			2 peças: corte supraesternal arco aórtico
4	**Comunicação interatrial**	2 meses	2 peças: corte apical 4 câmaras
			2 peças: corte paraesternal eixo longo
			2 peças: corte paraesternal eixo curto
			2 peças: corte supraesternal arco aórtico
			7 peças: cortes apical 4 câmaras, paraesternal eixo longo, eixo curto e supraesternal arco aórtico
			3 peças: cortes apical 4 câmaras e 5 câmaras
			1 única peça impressa demonstrando a anatomia externa

Fonte: O autor.

Para viabilizar os modelos com mais de uma peça, foi proposto articular as partes com imãs, que foram implantados em algumas peças com auxílio de massa epóxi, que foi moldada para simular trabeculações e estruturas do coração normal, sendo depois aplicado primer, ocultando a massa epóxi e preparando as peças para pintura com spray, como poder ser visto na Figura 29.

Figura 29 - Preparação das peças de modelo articulado. Em, A implantação dos imãs com auxílio de massa epóxi, em B modelagem da massa epóxi para simular estruturas e trabeculações normais do coração. Em C, aplicação de primer de cor cinza e em D, resultado final da modelagem.



Fonte: O autor.

Outros desafios foram contornados de maneira artesanal, como a necessidade de suportar os modelos, tendo sido usado suportes feitos em Biscuit, feito a impressão negativa do modelo na base e esperado o molde endurecer (FIGURA 30). A experiência de suporte que pareceu funcionar melhor foi a de imprimir um destes a partir do próprio modelo virtual (Figura 31).

Figura 30 - Modelos suportados por bases em biscuit.

Fonte: O autor.

Figura 31 - Modelos suportados por bases em PLA, impresso segundo o molde do próprio modelo de coração.

Fonte: O autor.

Os modelos articulados (MA) foram desenvolvidos para que o participante tivesse uma maior noção da imagem gerada com o deslocamento do transdutor de ecocardiografia. A concepção e o processo para confecção destes modelos, usando a tecnologia de impressão 3D como base, foram reunidas e submetidas sob uma proposta de patente, a ser depositada com o auxílio do Núcleo de Inovação Tecnológica da UFPE. (ANEXO 4)

O resultado final das peças, após a curva inicial de experiência foi satisfatório e o tempo desprendido na impressão de cada peça foi considerado habitual para a técnica. A tabela 2 contém a formatação dos modelos impressos para este estudo, o material utilizado e o tempo de impressão de cada uma.

Tabela 2 - Configurações técnicas de fatiamento para impressão dos modelos usados neste estudo.

Caso (Número)	Visualização pretendida	Número de peças	Material	Cor	Tempo de Impressão	Escala	Suporte	Camada
1	Corte supraesternal do arco aórtico	2	PLA	Vermelho Translúcido	8h 24 min	1,5	0,05	1,2
2	Corte apical 4 câmaras	2	PLA	Amarelo	3 h 12 min			
3	Corte paraesternal eixo curto	2	PLA	Vermelho	6 h	1	5%	1,2
4	Cortes 4 câmaras, eixo longo, eixo curto e arco aórtico.	7	ABS	Branco	13 h 21 min	2	5%	1,2

Fonte: O autor.

6.2 VALIDAÇÃO DOS MODELOS 3D COMO INSTRUMENTO PARA ENSINO DE ECOCARDIOGRAFIA NEONATAL E PEDIÁTRICA DE PROFISSIONAIS CARDIOLOGISTAS E NÃO CARDIOLOGISTAS EM TREINAMENTO

Foram consultados 34 especialistas entre cardiologistas pediátricos, cirurgiões cardiovasculares, residentes e neonatologistas. 17 deles tinham os pré-requisitos para participar da pesquisa. Destes 17 participantes, 5 são neonatologistas, com experiência em ecocardiografia funcional e 12 são cardiopediatras com experiência em ecocardiografia pediátrica. Oito participantes têm mais de 5 anos de experiência e foram, portanto, considerados experts pelo critério adotado. As variáveis sócio demográficas encontram-se listadas na tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis sócio demográficas dos participantes da pesquisa.

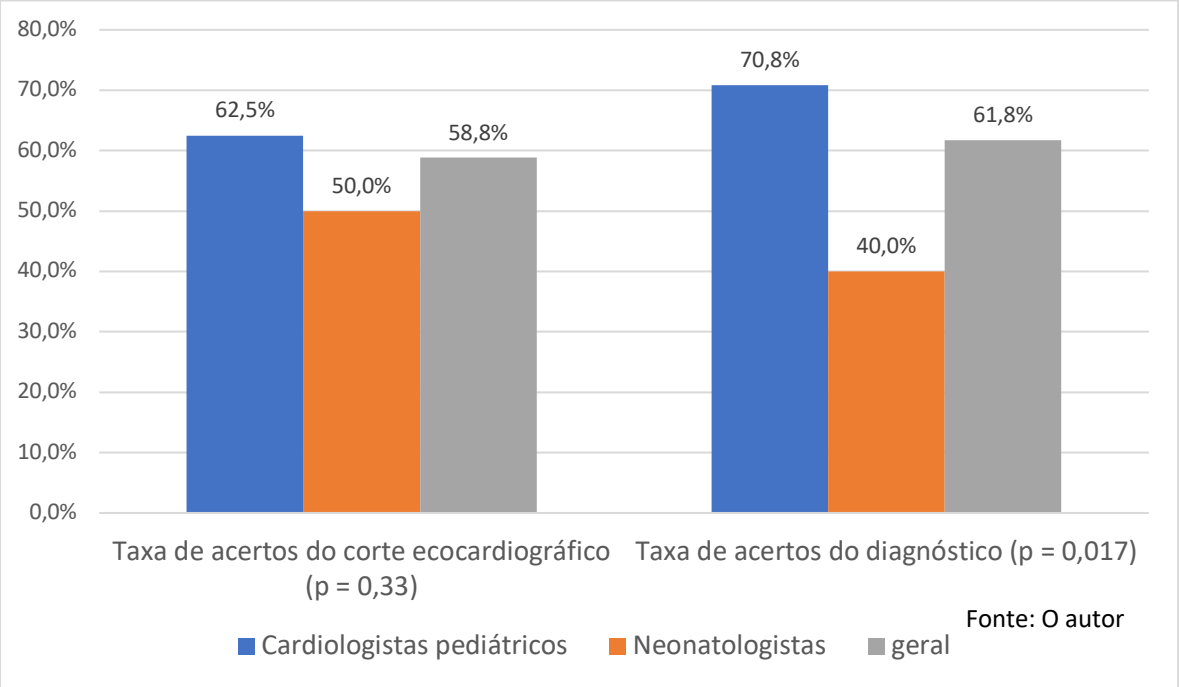
Variáveis	Número de participantes/valor (n = 17)
Titulação	
Ecocardiografistas pediátricos	12
Neonatologistas (com curso de ecocardiograma funcional)	5
Tempo de formação	
Entre 0 e 1 ano	3
Entre 1 e 5 anos	6
Entre 5 e 10 anos	2
Mais de 10 anos	6
Média (anos)	9,5

Fonte: O autor.

O percentual ou taxa de acertos geral nas duas perguntas principais: “Que corte ecocardiográfico é este?” e “Qual o diagnóstico do paciente?” foi respectivamente de 59 e 62%, sofrendo forte variação tanto com a titulação quanto com o tempo de experiência conforme mostram os gráficos 1,2 e 3. Os participantes com formação em cardiologia pediátrica acertaram o corte ecocardiográfico em 62,5% das vezes e o diagnóstico em 70,8%, aumentando respectivamente para 68,7% e 75% respectivamente no grupo com mais de 5 anos de experiência, considerados experts pela metodologia que adotamos. O incremento na taxa de

acertos do diagnóstico dos modelos alcançou significância estatística nos dois casos. Pode-se dizer que este resultado confirma a validade de constructo do instrumento.

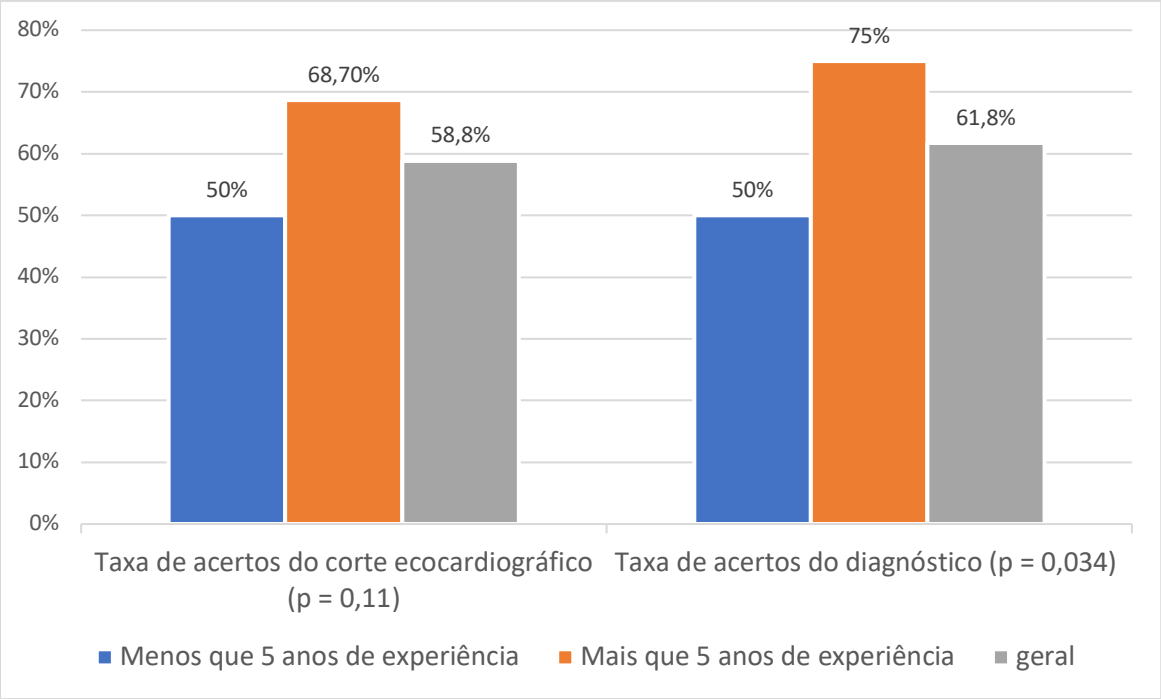
Gráfico 1 - Taxa de acertos do corte ecocardiográfico e diagnóstico por titulação.



Fonte: O autor

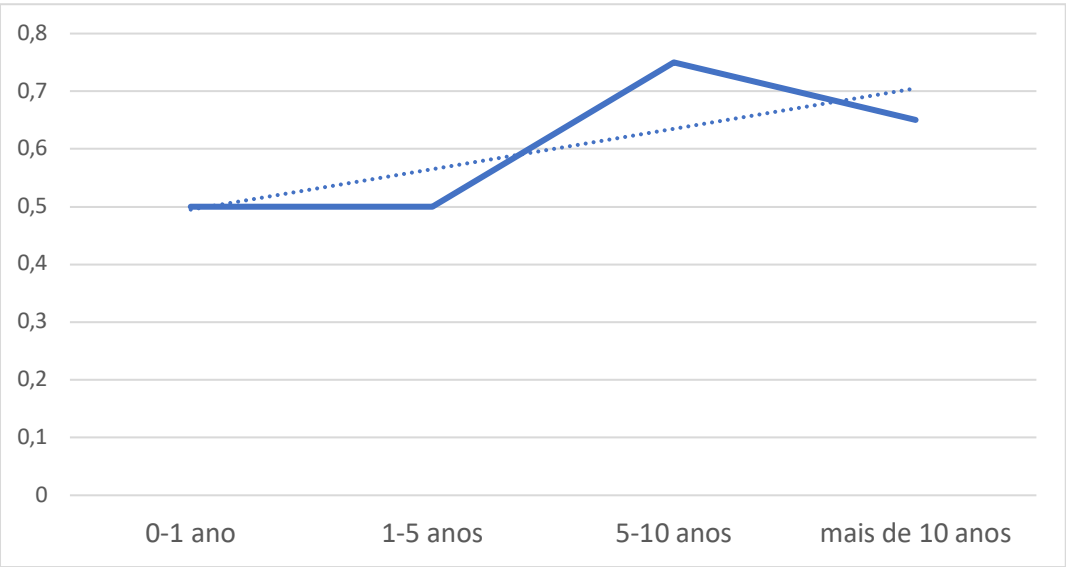
Fonte: O autor

Gráfico 2 - Taxa de acertos do corte ecocardiográfico e diagnóstico por tempo de experiência em ecocardiografia.



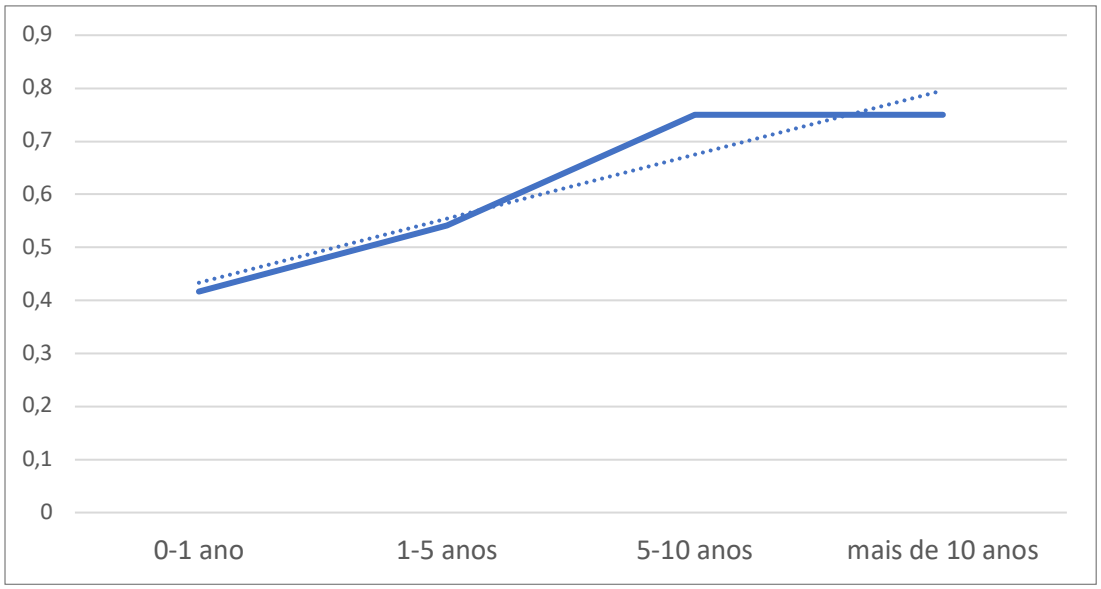
Fonte: O autor

Gráfico 3 - Taxa de acerto de corte ecocardiográfico pelo tempo de experiência em ecocardiografia.



Fonte: O autor

Gráfico 4 - Taxa de acerto diagnóstico pelo tempo de experiência em ecocardiografia.



Fonte: O autor.

A taxa de acertos de cada peça individualmente teve grande variação entre os grupos de cardiologistas e neonatologistas, com a titulação exercendo influência no desempenho sobretudo nos modelos 1 e 2. Curiosamente, no caso 3, que simulava um corte paraesternal de eixo curto de via de saída do ventrículo direito em paciente com persistência do canal arterial, os neonatologistas tiveram maior percentual de que os ecocardiografistas tanto na avaliação do corte ecocardiográfico quanto do diagnóstico, mas sem atingir significância estatística (tabela 4).

Tabela 4 - Taxa de acertos do corte ecocardiográfico e diagnóstico por titulação para cada caso apresentado.

Casos	Taxa de acertos			
CASO 1	Acertou o corte	p valor	Acertou o diagnóstico	p valor
Cardiologistas pediátricos	53,8%	0,49	100,0%	0,003
Neonatologistas	40,0%		40,0%	
CASO 2				
Cardiologistas pediátricos	91,7%	0,49	41,7%	0,08
Neonatologistas	80,0%		0,0%	
CASO 3				
Cardiologistas pediátricos	50,0%	0,7	16,7%	0,86
Neonatologistas	60,0%		20,0%	
CASO 4				
Cardiologistas pediátricos	50,0%	0,25	75,0%	0,16
Neonatologistas	25,0%		40,0%	

Fonte: o autor

Na avaliação subjetiva dos modelos impressos, todas as peças contaram com altos índices de notas 4 ou 5 (concordo em parte ou concordo totalmente) e as notas médias, considerando-se todos os modelos foram em torno de 4, com uma avaliação ligeiramente pior por parte dos especialistas, de quem se espera uma avaliação mais criteriosa (gráfico 5). Individualmente, os modelos foram todos bem avaliados, com uma certa variabilidade peça a peça, que pode ser constatado nos gráficos de 6 a 10, sendo possível perceber que o modelo pior avaliado foi o caso 3, de paciente com persistência do canal arterial, também responsável pelas piores taxas de acerto do corte ecocardiográfico e do diagnóstico.

Apesar disso, todos os modelos corresponderam a um grau de concordância alto ou muito alto enquanto facilitadores do entendimento de aspectos cruciais do exame como a aquisição das imagens, a identificação das estruturas e a visão espacial do coração. A avaliação do método "impressão 3D em cardiologia e ecocardiografia pediátrica", que foi realizada por 34 participantes, visto que o mesmo questionário foi preenchido por participantes de um segundo estudo que também foram expostos a modelos impressos, mostrou avaliações com notas médias muito altas, próximas de 5, mesmo entre os experts (gráfico 11). Esta visão subjetiva, endossada pelos especialistas, caracterizam a validade facial e de conteúdo dos modelos enquanto simuladores de ecocardiografia pediátrica.

Gráfico 5 - Validade facial: Nota média dos participantes às questões apresentadas sobre os modelos, estratificados por tempo de experiência.

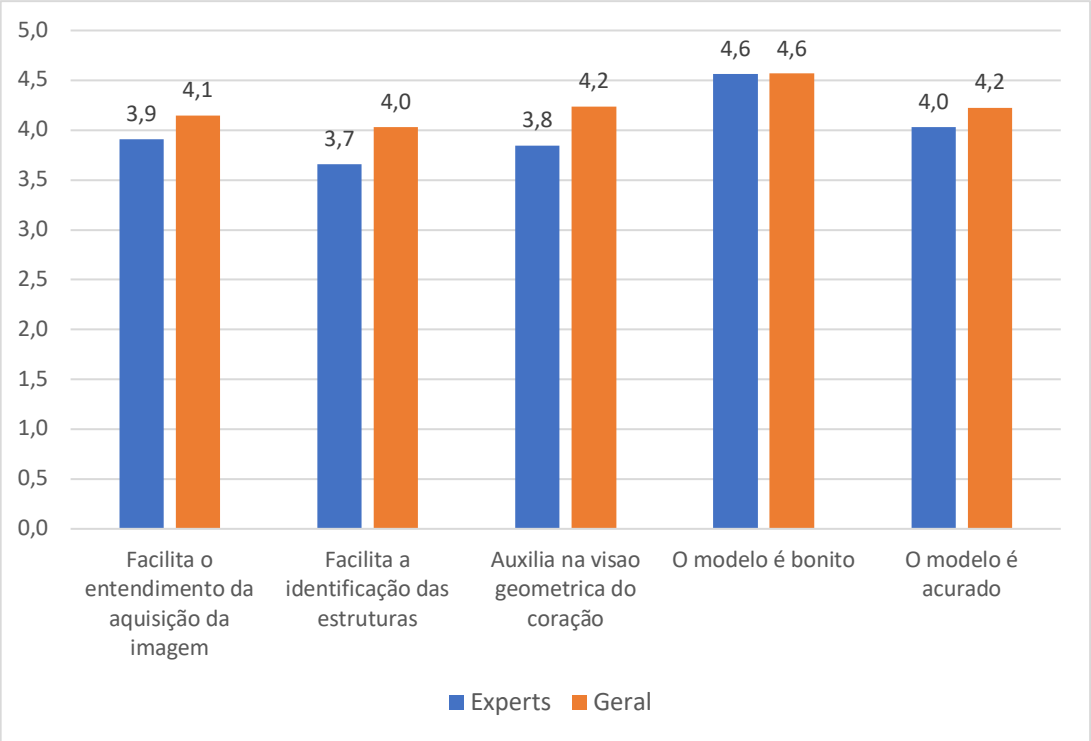
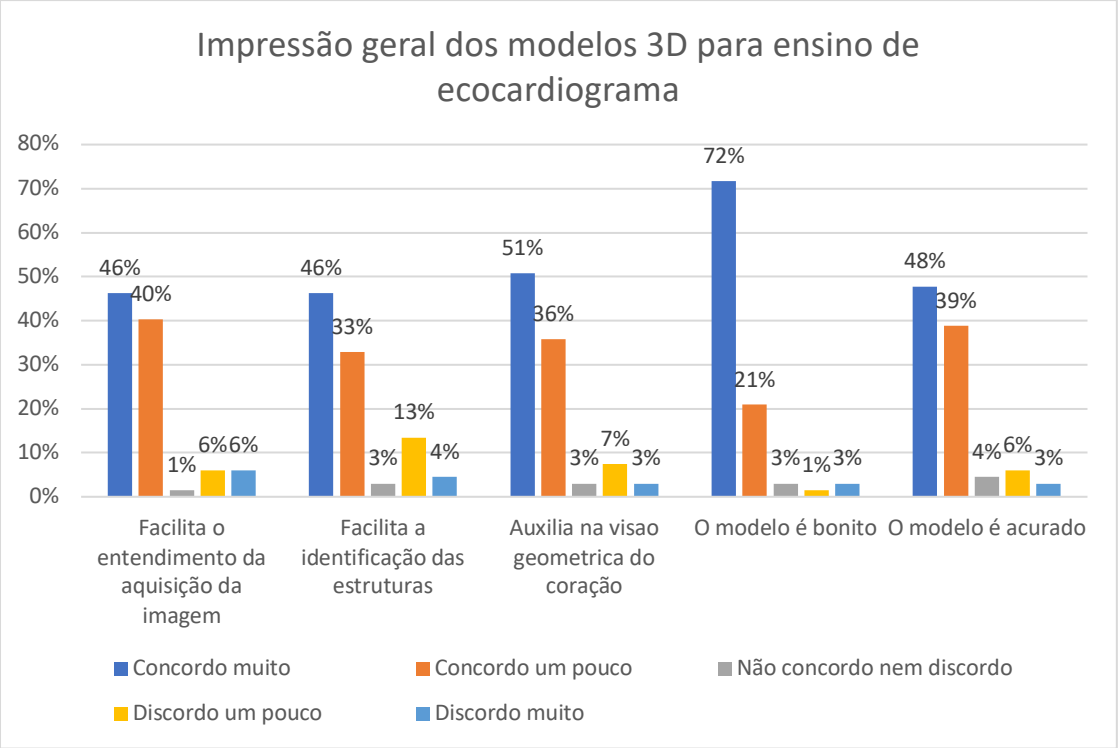
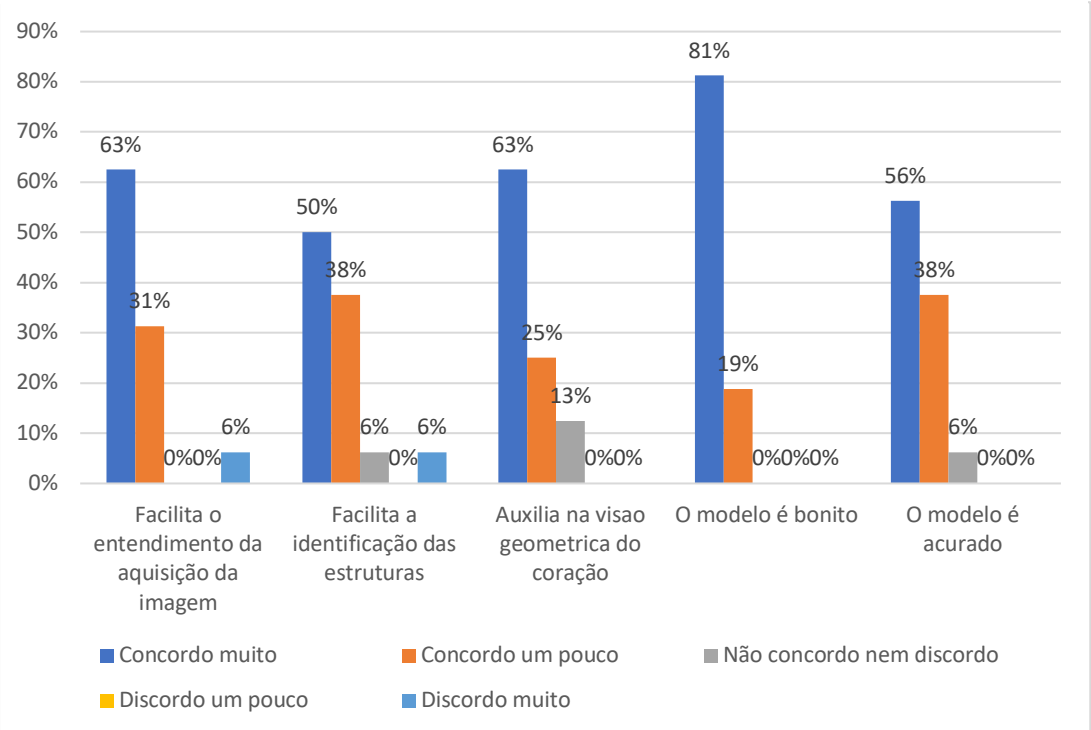


Gráfico 6 - Avaliação dos 4 modelos pelos participantes. Fonte: O autor.



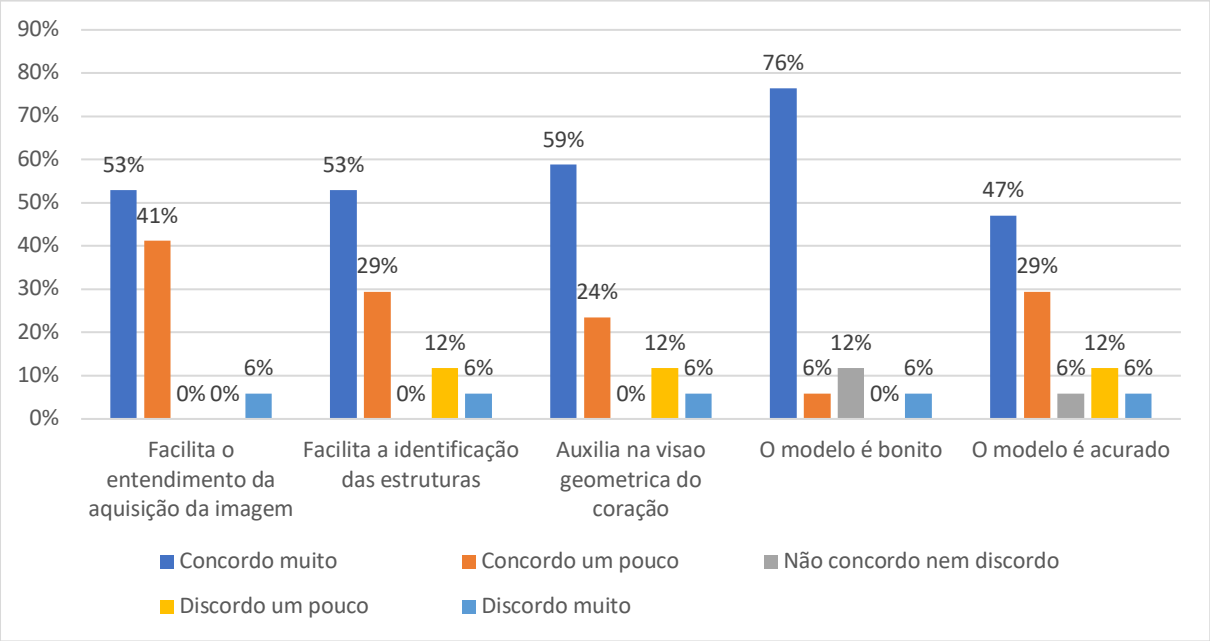
Fonte: O autor.

Gráfico 7 - Avaliação do modelo 1 (corte supraesternal, diagnóstico de coarctação da aorta) pelos participantes.



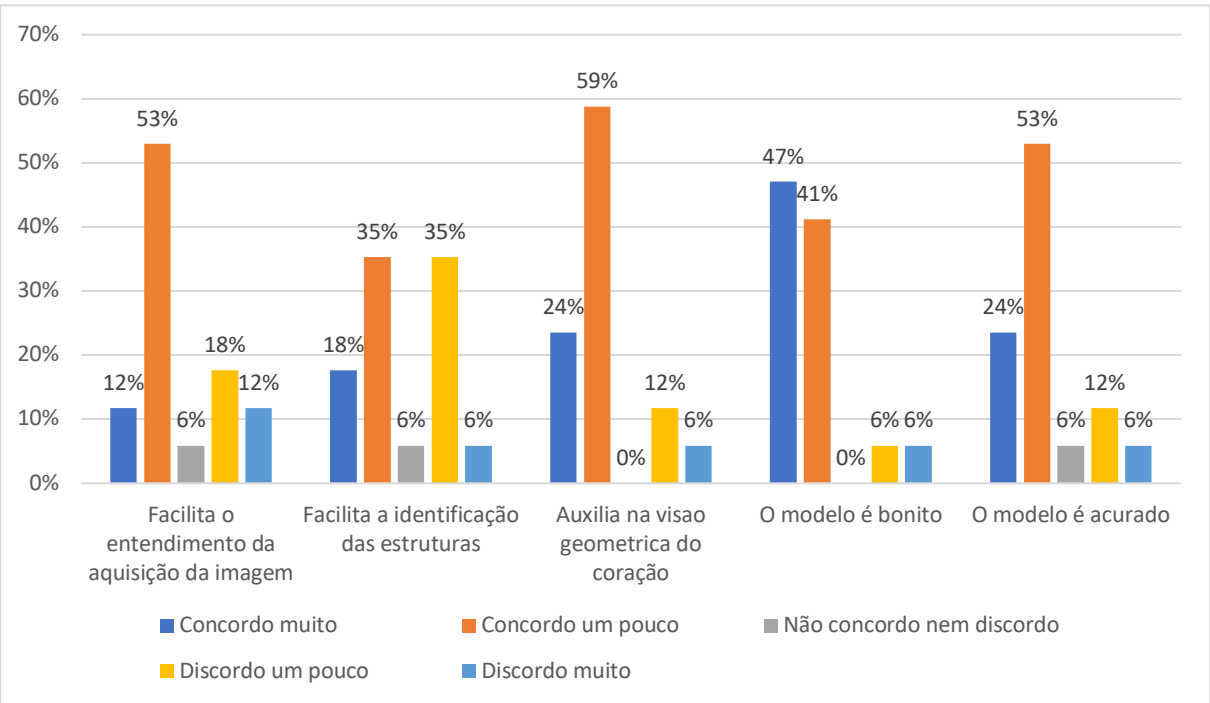
Fonte: O autor.

Gráfico 8 - Avaliação do modelo 2 (corte 4 câmaras, diagnóstico defeito do septo atrioventricular total) pelos participantes.



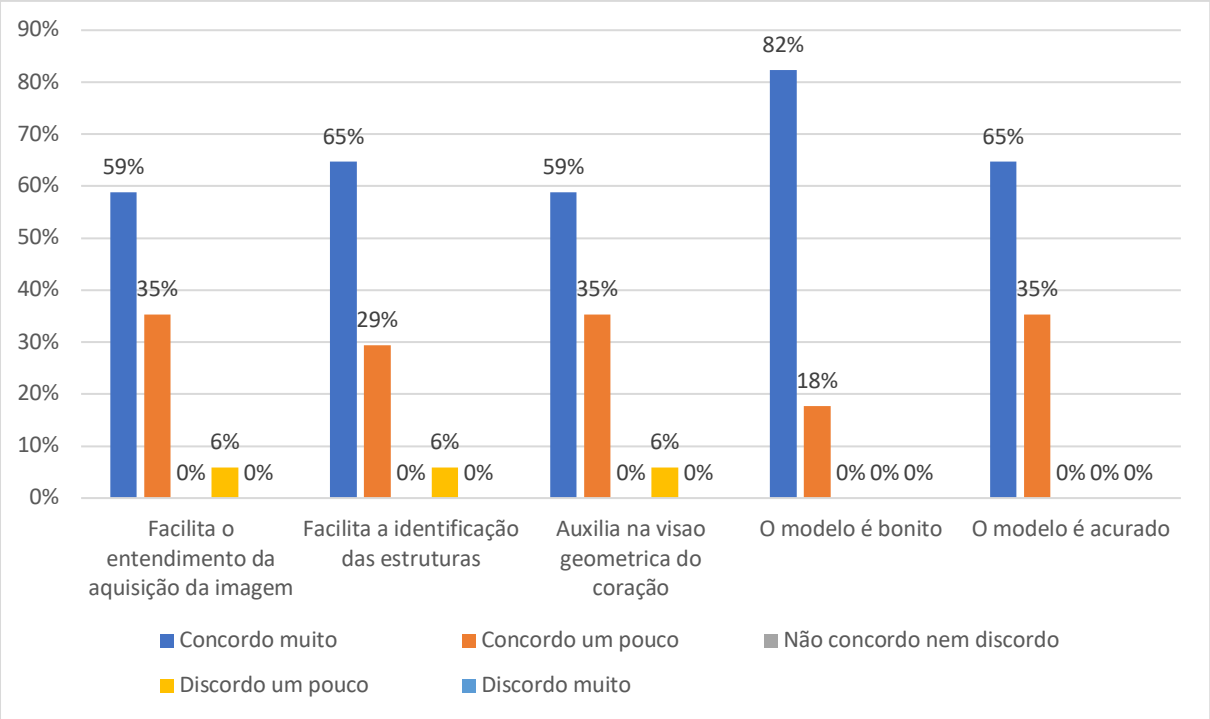
Fonte: O autor.

Gráfico 9 - Avaliação do modelo 3 (corte eixo curto, diagnóstico persistência do canal arterial) pelos participantes.



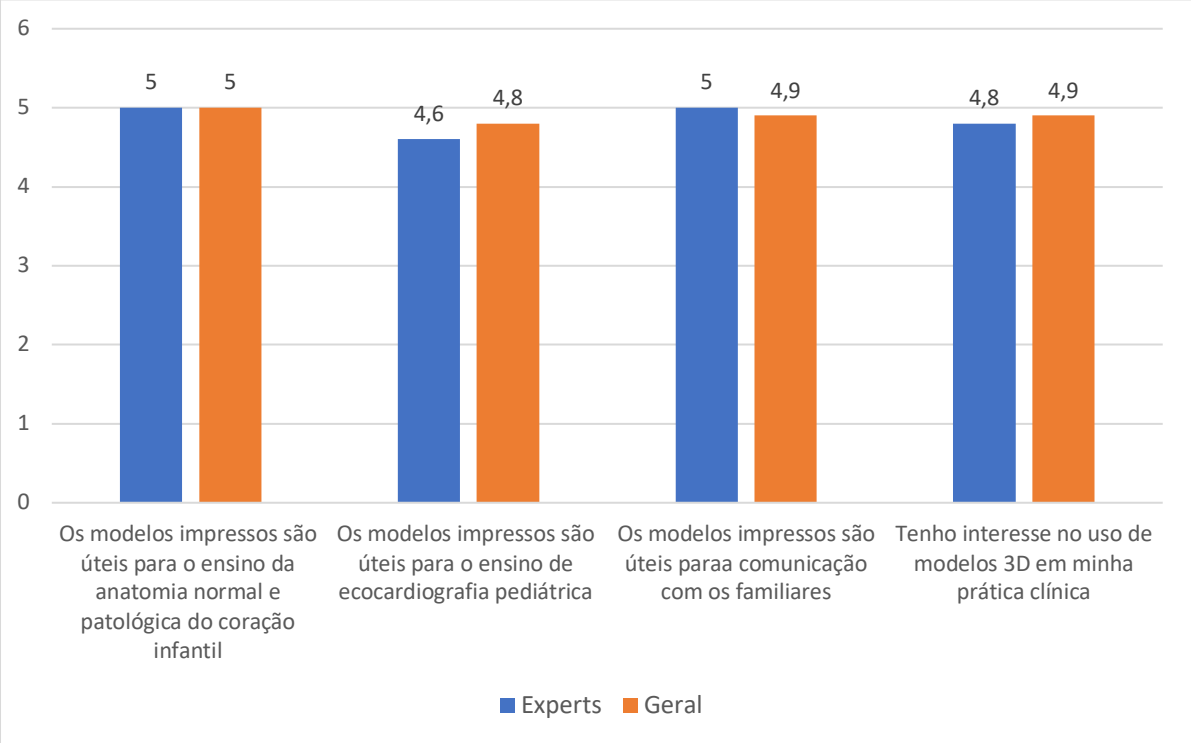
Fonte: O autor.

Gráfico 10 - Avaliação do modelo 4 (cortes diversos, diagnóstico comunicação interatrial) pelos participantes.



Fonte: O autor.

Gráfico 11 - Validade de conteúdo: Nota média dos participantes às questões apresentadas sobre o método: "impressão 3D em cardiologia e ecocardiografia pediátrica", estratificados por experiência.



Fonte: O autor.

6.3 UTILIZAÇÃO DOS MODELOS PARA PROGRAMAÇÃO DE PROCEDIMENTOS CIRÚRGICOS

Como objetivo específico, nove pacientes que fizeram angiotomografia no período julho de 2017 e setembro de 2019 tiveram suas imagens reconstruídas e as peças impressas em 3D foram utilizadas para o planejamento terapêutico individualizado, conforme tabela 5. Sete deles tiveram suas peças impressas em PLA em impressora FDM da marca Sethi 3D s3, em cores variadas. Dois modelos foram impressos em material ABS branco, em impressora FDM da marca Uprint, com dois extrusores e suporte solúvel, que depois foi dissolvido em soda cáustica melhorando a qualidade do modelo final.

Todos os pacientes eram atendidos no serviço terciário de cirurgia cardíaca pediátrica do INCOR em Natal-RN. As peças foram utilizadas nas reuniões clínico-cirúrgicas com a presença do cirurgião responsável ou foram mostradas nas visitas na UTI ou mesmo em encontros informais onde se discutiram os casos clínicos (Figura 32).

O resumo dos modelos que foram utilizados para planejamento pré-cirúrgico encontra-se na tabela 5

Figura 32 - Discussão em reunião clínico-cirurgica utilizando-se o modelo para planejamento pré-operatório.

Fonte: O autor.

Diagnóstico	Cirurgia realizada	Influenciou no planejamento da cirurgia?	Influência	Desfecho
Tetralogia de Fallot	Oclusão percutânea de colaterais sistêmico pulmonares seguido por correção total de Tetralogia de Fallot	**Sim**	Melhor visualização da anatomia das colaterais sistêmico pulmonares	Bom resultado cirúrgico.
CIA, CIV e bandagem de artéria pulmonar	Correção de CIA, CIV e retirada de bandagem de artéria pulmonar	**Sim**	Melhor visualização da CIV apical	Bom resultado cirúrgico
Transposição de grandes artérias com CIV	Cirurgia de Mustard	**Não**	Modelo não serviu bem para o entendimento do caso. Excesso de suporte e pouco nível de detalhamento	Mal evolução no pós operatório, ECMO como ponte para transplante cardíaco e óbito no pós transplante
Transposição de grandes artérias com CIV	Cirurgia de Glenn	**Sim**	Optado por cirurgia de glenn devido a cavidade reduzida do VE e CIV muito restritiva para tunelizar para aorta.	Bom resultado cirúrgico
Anel Vascular por duplo arco aórtico	Aortotomia do arco à esquerda	**Sim**	Auxiliou na decisão pela aortotomia esquerda por toracotomia lateral esquerda	Bom resultado cirúrgico
Origem anômala de artéria coronária esquerda da artéria pulmonar	Correção de origem anômala de artéria coronária pela técnica de Takeuchi	**Sim**	Auxiliou na visualização do defeito e da distância entre as coronárias. Utilizado na comunicação com os familiares e como ex-voto	Bom resultado cirúrgico.
Interrupção de arco aórtico	Paliação não cirúrgica	**Sim**	Auxiliou no entendimento da anatomia patológica, muito complexa, sugerindo mal resultado cirúrgico	Alta hospitalar. Não realizou cirurgia
Interrupção de arco aórtico	Cirurgia de Damus Glenn	**Sim**	Auxiliou no entendimento da anatomia e na avaliação dos passos da cirurgia.	Bom resultado cirúrgico
Drenagem anômala total de veias pulmonares	Ampliação da anastomose	**Não**	Não auxiliou o cirurgião a visualizar a anastomose no coração real	Resultado insatisfatório. Permanece internado com congestão venocapilar pulmonar.

TABELA 5: Impressão 3D e cirurgia cardíaca. Resumo dos casos em que a peça impressa em 3D foi utilizada para programação pré cirúrgica. Fonte: O autor.

Dos nove pacientes que tiveram seus modelos impressos em 3D, oito foram operados, sendo que em um caso, o modelo 3D foi utilizado na discussão em que foi optado por paliação não cirúrgica. Em um dos pacientes, houve necessidade de ECMO como ponte para transplante, indo a óbito após o transplante cardíaco. Um paciente com diagnóstico de drenagem anômala total de veias pulmonares permanece internado após ter realizado cirurgia de correção e ter permanecido com lesão residual importante: estenose de veias pulmonares, sem melhora após duas reabordagens cirúrgicas para ampliação da anastomose.

Outros sete pacientes foram operados com sucesso e receberam alta hospitalar, sendo 5 pacientes submetidos a cirurgias corretivas e dois deles a cirurgia paliativa.

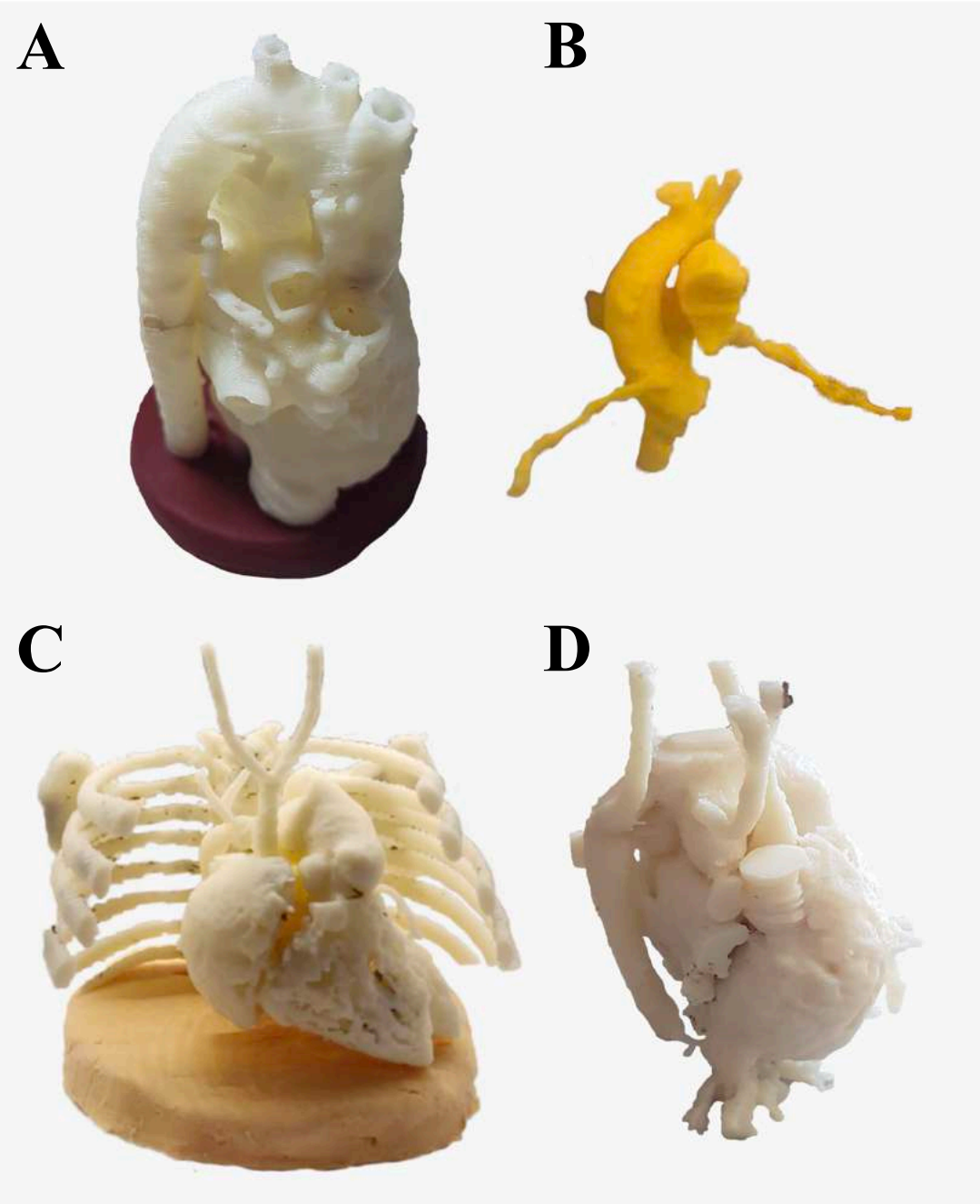
Em sete dos nove casos, a peça impactou na decisão cirúrgica, de 4 maneiras diferentes (Figura 33):

- Influenciando na decisão de ocluir previamente as colaterais sistêmico-pulmonares em um caso de tetralogia de Fallot;
- Na escolha pela técnica cirúrgica mais adequada em 3 casos: Um caso complexo de transposição de grandes artérias com CIV restritiva e estenose pulmonar em que foi optado por correção univentricular; um caso de origem anômala de artéria coronária esquerda do tronco pulmonar (ALCAPA), em que foi optado pela técnica de Takeuchi em virtude da distância entre a coronária anômala e a raiz da aorta e um caso de duplo arco aórtico em que o cirurgião usou a peça para simular a melhor abordagem, tendo optado por realizar aortotomia esquerda por toracotomia lateral;
- Na decisão por paliação não cirúrgica em um único caso de interrupção de arco aórtico do tipo B, com bandagem seletiva da artéria pulmonar direita e hipertensão arterial pulmonar e anatomia complexa, com ramos pulmonares distantes e artéria pulmonar direita muito bandada;
- Na compreensão prévia e delimitação dos marcos anatômicos em dois casos: Um caso de CIV muscular apical de difícil visualização em tentativa anterior de correção que não foi bem sucedida e um caso de interrupção de arco aórtico tipo B, com anomalia de subclávia que se originava da artéria pulmonar direita, previamente submetida a procedimento híbrido, que teve seu coração impresso para programar uma cirurgia de Damus-Key que foi bem sucedida. A peça foi usada como referência dentro do centro cirúrgico.

Dois modelos não foram úteis para a programação de cirurgia. Em um caso de transposição de grandes artérias com comunicação interventricular e canal arterial em pós-operatório de bandagem de artéria pulmonar e Blalock, a peça não tinha acurácia para diferenciar

adequadamente as estruturas vasculares. Em um caso de pós-operatório de drenagem anômala total de veias pulmonares, ainda que a peça pareça ser acurada tomando-se como referência a imagem de base, não auxiliou na identificação das estruturas durante o ato cirúrgico, com relato de que não foi possível identificar adequadamente a anastomose.

Figura 33 - Programação pré operatória. Exemplos de defeitos cardíacos que foram discutidos com auxílio dos modelos impressos em reunião antes da cirurgia, com impacto na conduta cirúrgica. Em "A", tetralogia de Fallot com grandes colaterais sistêmico-pulmonares; Em "B", origem anômala de artéria coronária esquerda da artéria pulmonar; Em "C" e "D", dois casos de interrupção de arco



Fonte: O autor

Em ao menos dois casos, as peças foram usadas para a comunicação com os familiares. A experiência não foi avaliada através de instrumento de coleta de dados, visto não ser objetivo do trabalho, mas a experiência foi muito proveitosa e aparentemente promoveu um entendimento da anatomia complexa dos dois casos.

Em um caso de utilização não habitual do modelo impresso, após a alta, ao retornar a residência, os familiares que professam a religião católica, constituíram um altar em homenagem a Santa Teresa de Lisieux, e utilizaram o modelo impresso como oferta, seguindo suas tradições religiosas, em um rito muito semelhante ao conhecido como ex-voto (Figura 34).

Figura 34 - Modelo 3D como ex-voto. Em “A”, Modelo 3D utilizado pela família após a alta hospitalar como elemento de religiosidade, similar a tradição do ex-voto. Em “B”, exemplos de Ex-voto em Igreja popular na cidade de Salvador/Brasil.

7 DISCUSSAO

7.1 SOBRE A VIABILIDADE DA IMPRESSÃO 3D E O PROJETO PULSARC++

Almejando atingir os objetivos de pesquisa propostos, foi preciso construir um conhecimento sólido e progressivo a respeito da técnica de segmentação, modelagem/pós processamento e impressão 3D a partir dos exames de angiotomografia de pacientes com cardiopatias congênitas diversas. Para tanto, foi necessário que se criasse um grupo de trabalho multidisciplinar, consistindo em profissionais com experiência em medicina, cardiologia pediátrica, imagem cardiovascular e design. O grupo formado por dois cardiologistas pediátricos um epidemiologista e pesquisador médico, dois professores e um bolsista da área de design, constituíram o Projeto PULSARC++ “Por Uma Leitura Sistemática da Anatomia do Recém-Nascido – Módulo Cardiovascular”.

Apesar da tendência natural em se explorar o universo da cardiologia pediátrica, dada a formação e experiência do segmento médico do grupo de trabalho, a escolha por incluir “Módulo Cardiovascular” no título do projeto, permite aos autores a possibilidade de utilizar no futuro, o recurso da impressão 3D em saúde para auxiliar no ensino-aprendizagem de outras estruturas anatômicas normais e as malformações mais prevalentes nestes órgãos e sistemas como sistema nervoso central, gênito-urinário e musculoesquelético.

No grupo de trabalho, os profissionais médicos tinham experiência previa em terapêutica, ensino e pesquisa em cardiologia pediátrica, mas nenhuma experiência com modelagem e impressão 3D, enquanto o grupo do design tinha experiência inicial com impressão 3D, mas nenhuma com o amplo universo da cardiopatia congênita. Para o sucesso do projeto, uma condição que se fez necessária foi o intercâmbio de saberes, além da pesquisa aplicada.

Após dois anos de pesquisa, por mais que o objetivo primário do projeto de pesquisa fosse avaliar a manufatura de modelos impressos em 3D e seu potencial no ensino-aprendizagem em cardiologia e ecocardiografia neonatal e pediátrica, o grupo do trabalho percebeu que perpassou ao menos 3 dimensões da técnica na sua curva de aprendizado, que serão exploradas em detalhe.

- A dimensão do design;
- A dimensão da técnica;
- A dimensão da arte;

7.1.1 A dimensão do Design

Neste trabalho, sendo o primeiro objetivo o desenvolvimento de artefatos (os modelos impressos em 3D), o estudo e o envolvimento do design enquanto disciplina sempre foi

imperativo, dado o grande potencial de se produzir e patentear novos produtos e tecnologias para serem usados em educação médica.

Como ficou bem demonstrado na introdução desta dissertação, a assistência à cardiopatia congênita em nosso país é um gravíssimo problema de saúde pública, que tem relação direta com a falta de serviços especializados e de profissionais que possam fazer o diagnóstico destas crianças. Não existe solução para esta demanda que não passe pelo treinamento de profissionais cardiologistas ou não cardiologistas e pela educação em saúde.

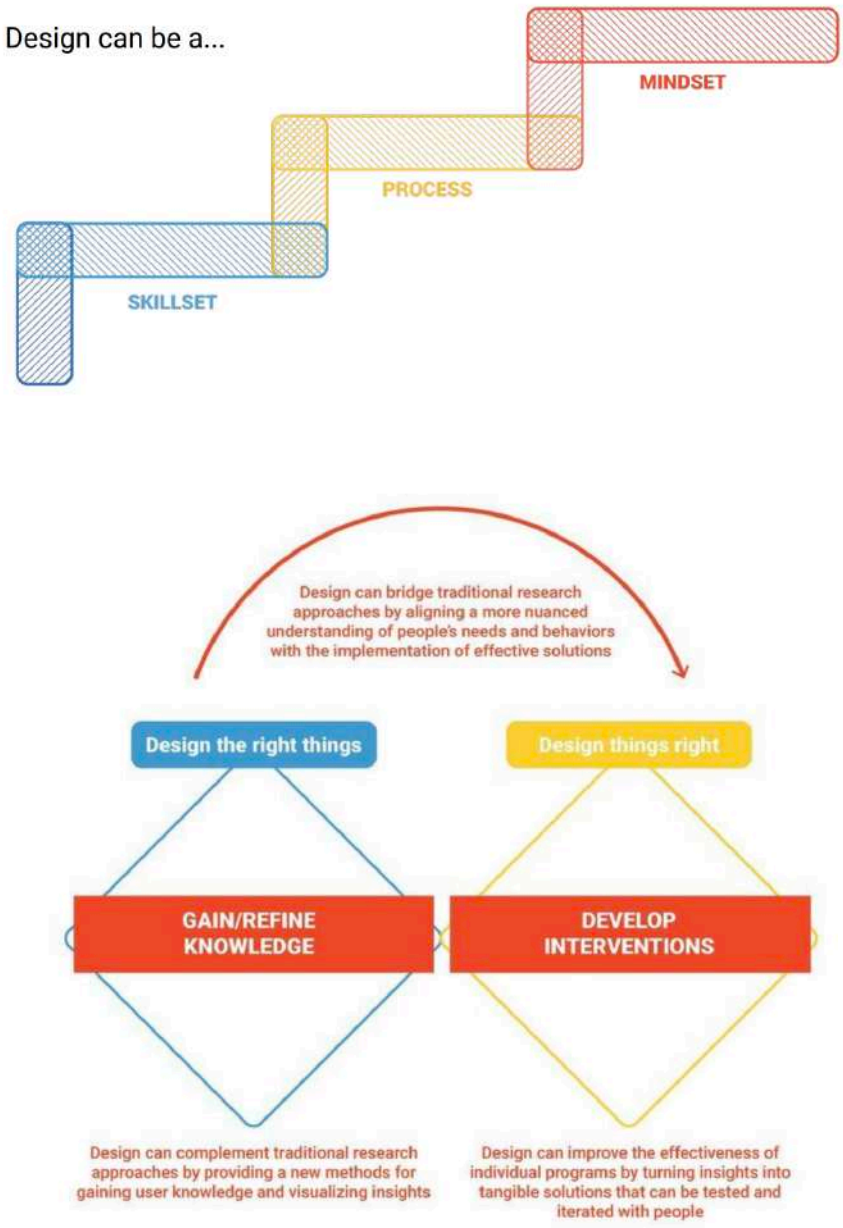
Neste contexto, a proposta de buscar um artefato ou produto, através de prototipagem rápida, que permita uma melhor compreensão das estruturas cardiovasculares em pacientes com anatomias cardíacas complexas, consideradas as singularidades do método, e assim contribuindo para a divulgação de conhecimento dentro do meio médico e na própria sociedade, cumpre um grande papel social.

A influência que o projeto pretende exercer em um problema de altíssimo impacto socioeconômico e de qualidade de vida acontece dentro de uma comunidade específica que inclui pacientes (adultos e sobretudo crianças), suas famílias e os profissionais da rede de saúde, além de redes de suporte a estes doentes como diversas ONGs. Revelam-se portanto, elementos fortes do chamado "design social" neste projeto, especialmente levando-se em conta a preferência que demos ao uso do PLA como material de escolha dos protótipos, que tem reduzido impacto ambiental quando comparado a outros derivados do petróleo, ainda que não seja ainda ideal do ponto de vista de biossustentabilidade ("The Environmental Impact of Corn-Based Plastics," 2018). O projeto se adequaria então à definição de CASA & MERCADO (ALMEIDA, 2018), segundo os quais, design social constitui:

> "(...) ferramenta de inovação e de comunicação, capaz de transformar necessidades e desejos humanos em produtos e sistemas de modo criativo e eficaz, adequados não somente do ponto de vista econômico, mas também, sociais, culturais e ecologicamente responsáveis."

O escopo do projeto também convida a discutir o conceito de "Design for Health" ou design para saúde em tradução livre. Nesta abordagem, o design, entendido como 3 pilares indissociáveis: "mindset", "skillset" (ou conjunto de habilidades) e processo (figura 35), expande a atuação dos profissionais de saúde proporcionando a eles novas perspectivas e novas maneiras de olhar desafios novos ou antigos em saúde, sendo uma alternativa ao método tradicional de resolver problemas em saúde pública que traçam um longo caminho entre a fase de pesquisa e aplicação.

Figura 35 - “Design for health”. centrado em 3 pilares e servindo como alternativa ao modo tradicional como se lida com problemas em saúde pública.



Fonte: IGI Global, 2017

O uso de conceitos do design em educação em saúde é relativamente recente. “Design thinking” é um termo visto de maneira cada vez mais corriqueira no mundo do empreendedorismo e no campo da educação e trata-se de trazer para áreas chave, o modo como

se processa o design ou como pensa o designer, para resolver às demandas do cotidiano. Segundo Cross, o “design thinking” é o ato de combinar maneiras criativas e inovadoras para responder a problemas complexos (Stewart, 2011). Apesar de ter seu uso mais amplamente difundido nas ciências sociais e humanas, alguns autores têm proposto utilizar elementos desta teoria nos currículos médicos (Gottlieb *et al.*, 2017; Grift, van de and Kroeze, 2016; McLaughlin *et al.*, 2019).

O uso de recursos do design perpassou todo o trabalho, a começar pela ideia, que foi proposta em reunião informal, com a presença de médicos e um designer, para discutir soluções para o ensino e treinamento de profissionais para atuar em cardiologia pediátrica, tomando por base uma iniciativa do pesquisador responsável de fazer modelos de cardiopatias congênitas em massas moldáveis. Nesta circunstância já se estabeleceu que seriam utilizados modelos impressos em 3D e que estes simulariam cortes ecocardiográficos para o ensino também da ecocardiografia neonatal e pediátrica.

O processo para a construção dos modelos também foi um exercício de design. A segmentação, em alguns casos, especialmente quando utilizado o InVesalius como software, demandou um extenso trabalho de identificação na imagem de estruturas desnecessárias e artefatos, que eram apagados ou “pintados” manualmente, nem sempre respeitando a anatomia real do paciente, mas visando-se que as estruturas de interesse estivessem expostas de maneira clara no modelo final.

No tocante ao pós processamento, a suavização da superfície dos modelos derivados de angiotomografia, e a incidência do corte para demonstrar a anatomia interna e ecocardiográfica foram grandes exercícios de paciência e abstração, visto que é necessário projetar naquele modelo o “caminho” onde passa o feixe de ultrassom.

Outro imenso desafio envolvendo o design dos modelos foram a quantidade de suportes nos modelos, especialmente nos mais complexos. Os suportes são estruturas impressas desde a primeira camada pela impressora para dar sustentação a partes da peça que serão impressas em camadas posteriores, mas que podem trazer instabilidade ao modelo. O coração por ter muitas irregularidades, mostrou-se também uma peça com muito suporte (FIGURA 36).

A melhor solução para contornar este problema foi mudar o material para ABS nos casos mais complexos e imprimir as peças em impressora com duplo extrusor, utilizando-se filamentos solúveis, como o HIPS. Nestes casos, as peças ficaram praticamente sem imperfeições (Figuras 36).

Figura 36 – Suporte em modelo de coração. Mostrando em “A, antes de remover, e em “B” após dissolver todo o suporte em soda cáustica.

Fonte: O autor

Após impressas, resolvemos outros dois problemas de ergonomia: a criação de suportes para manter o modelo em pé, onde foram utilizadas duas soluções: bases impressas de PLA e bases moldadas de Biscuit. As bases impressas tiveram resultado estético e funcional muito superior nesse caso. O último grande problema de design foi unir as faces ou peças dos modelos. Duas ideias principais surgiram, que foi a criação de encaixes no modelo para serem impressos junto a cada peça e a ideia que se mostrou mais factível que foi incluir imãs nos modelos. O trabalho artesanal demandado não permitiu que se fizesse isto para todas as peças (figuras 30 E 31).

Encontramos o ápice do processo de construção do modelo para ensino de ecocardiograma quando conseguimos segmentar e modelar um coração a partir das imagens de angiotomografia e corta-lo em poucas peças (sete no total), mas que permitiam, após articulado a visualização de 4 cortes ecocardiográficos básicos. (FIGURA 29). A articulação foi feita com imãs conforme explicado no resultado.

Fica claro que a participação de conceitos e metodologias de design foram essenciais para a produção dos modelos usados neste trabalho. A experiência de multidisciplinaridade a partir

da troca de conhecimentos entre profissionais das áreas do design e da saúde está na gênese deste trabalho e é certamente um dos melhores resultados obtidos.

7.1.2 A dimensão da técnica

A técnica de prototipagem rápida para uso em saúde já não é tão recente, conforme discutido no referencial teórico. No caso específico da cardiologia pediátrica, para que se tenha sucesso na técnica é necessário que se reúnam alguns atributos essenciais (Farooqi, [s.d.]):

- Conhecimento da anatomia cardíaca e das inter-relações entre as diversas estruturas;
- Conhecimento em avaliação e interpretação de imagens ditas avançadas" como tomografia e ressonância e ecocardiograma transtorácico e transesofágico 3D;
- Aparelhos de boa qualidade e resolução, com protocolos fixos de aquisição de imagens, para captação das imagens fonte, sejam através de tomografia, ressonância ou ecocardiograma 3D.

A escolha do melhor método para captar as imagens é muito dependente do que se pretende ver (por exemplo, a angiotomografia não é um exame que demonstre válvulas cardíacas com propriedade, sendo o eco 3D muito superior), mas sobretudo do que se tem disponível no serviço em que se atua.

A realidade do Nordeste brasileiro é de muita dificuldade em se realizar angiorressonância cardíaca e ecocardiograma 3D de pacientes com cardiopatia congênita. O INCOR em Natal, por outro lado, realiza mais de 300 exames de angiorressonância por ano, boa parte destes de pacientes com cardiopatia congênita. Pareceu natural que se escolhesse a angiotomografia como fonte para a experiência inicial.

Apesar de não termos radiologista cardiovascular compondo a equipe, o pesquisador responsável tem formação em cardiologia pediátrica e se dedica a estudar e se familiarizar com imagens de angiotomografia desde a residência. Na verdade, outro resultado que não pode ser mensurado do trabalho foi o aumento da experiência dos pesquisadores na avaliação de imagens avançadas.

A experiência com fatiamento e a impressão do arquivo no formato adequado veio do departamento de Design. Os primeiros corações não tiveram impressões bem-sucedidas, e foi necessário fazer ajustes na impressora 3D até que ao final da experiência não havia mais desperdício de peças por impressão errada.

O aprimoramento da técnica tanto de segmentação quanto de modelagem quanto da impressão foi constante e progressivo à medida que o grupo de trabalho ganhava experiência.

7.1.3 A dimensão da arte

"Vejam que imagem mais linda", é uma frase pronunciada de maneira recorrente nos serviços de cardiologia pediátrica, especialmente diante de exames de casos raros e complexos.

O sentimento diante de uma imagem bem capturada e trabalhada, que consiga demonstrar de maneira fiel a morfologia do paciente é percebida de maneira ligeiramente diferente pelos membros da equipe que prestam assistência a crianças com cardiopatia congênita, mas normalmente com algum grau de deslumbre: o clínico se emociona por aquele defeito demonstrado corresponder à sua anamnese e exame físico; O ecocardiografista ou radiologista, por ter capturado e conseguido dividir aquilo que percebeu na intimidade do coração do doente. Os membros da equipe cirúrgica, por terem a oportunidade de remodelar e modificar o objeto da imagem.

Pode ser estranho a alguém que não esteja habituado ao universo da cardiologia pediátrica, que profissionais consigam ver beleza em imagens de doenças graves. Acontece que esta sensação inusitada e completamente espontânea está intimamente conectada à possibilidade que temos hoje de melhorar ou curar estes defeitos. E se uma imagem pode causar deleite ou estimular de maneira prazerosa os sentidos de quem a vê, especialmente se contou com o esmero de um profissional na sua execução e preparo, então estamos sim falando de arte.

A história da cardiologia pediátrica é repleta de feitos extraordinários. Foi a expertise e capacidade criativa de clínicos, cirurgiões, estudiosos e entusiastas que permitiu ao longo dos anos que se encontrassem soluções para os mais complexos defeitos cardíacos. Sem dúvida este nicho da especialidade dedicado ao raciocínio e à imaginação cativou e cativa até hoje muitos daqueles que são apaixonados pela cardiologia pediátrica, ou como escreveu o prof. Shyam S Khotari (Kothari, 2011), em tradução livre:

> "O encantamento é um ingrediente essencial à arte e ciência da cardiologia pediátrica. Viver com senso de encantamento é viver com entusiasmo. Que nossa "tribo" (comunidade que cuida de pacientes com cardiopatia congênita) sempre viva com entusiasmo."

As expressões artísticas também estão diretamente ligadas ao ensino da cardiopatia congênita, e portanto, ao escopo deste trabalho. Na ausência de peças anatômicas adequadas, o estudo da anatomia cardíaca é extremamente dependente de representações artísticas em duas e três dimensões, como desenhos e gráficos, além de imagens ecocardiográficas, tomográficas, etc. (Costello et al., 2014). Além desses usos, é estudado o impacto de intervenções artísticas

no tratamento de pacientes com cardiopatia, sobretudo crianças e adolescentes. (Dolidze, Smith and Tchanturia, 2013; Hatem, Lira and Mattos, 2006; Wang et al., 2011).

Mesmo em se falando da impressão 3D, existem aspectos muito relacionados à concepção dita artística das variações anatômicas cardíacas normais ou alteradas. Alguns dos primeiros trabalhos com impressão 3D em cardiologia pediátrica não tiveram finalidade de auxiliar na conduta cirúrgica ou para educação médica, mas apenas para demonstrar que a técnica é exequível (Olivieri et al., 2015; Shiraishi et al., 2006). E ainda hoje tem trabalhos que questionam até que ponto estes modelos são uma representação real anatômica ou uma escultura com fins estéticos (Mathur, Patil and Bove, 2015)?

A arte, é na verdade, um aspecto presente na própria gênese deste trabalho, uma vez que remete a um trabalho inicial do pesquisador principal, com representações em 3D de cardiopatias congênitas, através de esculturas em massa de modelar e biscuit, no processo de ensino-aprendizagem de cardiopatia congênita. Os resultados deste trabalho foram publicados na Revista Brasileira de Educação Médica e serviram como ponto de partida para o desenvolvimento do projeto (ANEXO 5). (Amorim Junior et al., 2018)

O apego ao aspecto artístico está estampado em vários modelos que passaram por intervenções manuais, puramente artesanais para melhorar a qualidade do mesmo, realçar marcos anatômicos ou viabilizar a conexão entre as peças, como foi no caso dos modelos articulados. O trabalho de modelagem e implantação dos imãs foi completamente artesanal, bem como foi a confecção das bases para suporte dos modelos feitos em biscuit.

Outro exemplo de uso da arte foi na reconstrução do modelo da caixa torácica de um dos pacientes que foram discutidos em reunião. Neste caso, os arcos costais não tinham aderência aos corpos vertebrais do modelo, ameaçando descolar após a retirada do suporte do modelo. O pai do pesquisador principal, artesão que é, foi responsável pela delicada retirada manual do filamento de suporte e conexão das partes com resina sintética, com excelente resultado final (Figura 37)

Figura 37 – Acabamento em modelo com uso de espátula.

Fonte: O autor

O avanço tecnológico trouxe não só a impressão 3D, mas tantos outros métodos que vão impactar no ensino da cardiologia e ecocardiografia pediátrica como a realidade virtual, realidade aumentada e as simulações realísticas. Porém, em todas elas reside a dimensão da arte, produto e matriz do deslumbre que fascina todos aqueles que praticam essa bela especialidade no dia a dia.

7.2 O USO DA IMPRESSÃO 3D COMO FERRAMENTA DE ENSINO-APRENDIZAGEM EM CARDIOLOGIA E ECOCARDIOGRAFIA PEDIÁTRICA

As perguntas feitas na aplicação do questionário visam testar duas coisas: a acurácia dos modelos como simuladores de ecocardiograma nas duas primeiras perguntas em que o profissional responde o corte e o diagnóstico do coração impresso e também a avaliação dos participantes de características do modelo que o tornam ou não, bom instrumento para ensino na área. É importante lembrar que essa impressão é construída depois de uma breve explicação sobre o modelo, ou seja, uma intervenção de ensino.

A taxa de acertos geral não é considerada alta: apenas 59% das vezes os participantes conseguiram acertar o corte ecocardiográfico pretendido e em 62% das vezes apenas conseguiram definir corretamente o diagnóstico. Não foi observada significância estatística na avaliação dos cortes ecocardiográficos entre cardiopediatras e neonatologistas, porém houve uma diferença alta e significante do ponto de vista estatístico na capacidade de dar o diagnóstico nas peças entre os dois grupos e isto reflete basicamente a abordagem do curso de ecocardiograma funcional para neonatologistas que contempla mais a aquisição de imagens e a avaliação funcional em detrimento da avaliação anatômica.

Seguindo este mesmo raciocínio, os neonatologistas tiveram um desempenho melhor que os ecocardiografistas no modelo 3, de persistência do canal arterial, tanto na identificação do corte ecocardiográfico quanto no apontamento diagnóstico, sendo que estes são treinados para avaliarem canal arterial e o fazem no dia a dia na UTI neonatal, de maneira que ainda que surpreendente era um resultado possível. Vale salientar que não obteve também significância estatística.

No sentido inverso, os modelos dos casos 1 e 2, respectivamente simulando um corte supraesternal de arco aórtico de paciente com coarctação da aorta e um apical 4 câmaras de paciente com defeito do septo atrioventricular total, mostraram grande diferença na avaliação do diagnóstico por parte dos cardiopediatras, com significância estatística no caso numero 2 e com p valor de 0,08 no caso número 1.

As possíveis razões para que os modelos que simulam cortes ecocardiográficos não tenham obtido uma taxa alta de acertos são principalmente três:

Ausência de contato prévio com modelos impressos em 3D;

Maior familiaridade com imagens convencionais de ecocardiograma;

Capacidade reduzida do modelo 3D em simular adequadamente os cortes pretendidos.

A terceira opção, por mais que desabone a iniciativa, deve ser considerada, e provavelmente se relaciona com a doença ou o tipo de corte simulado, que podem exigir mais empenho do pesquisador em produzir peças mais fidedignas. Isto pode ser especialmente verdadeiro no caso 3, de persistência do canal arterial, e é o que mostra, inclusive, a avaliação da peça, especialmente na questão “o modelo auxilia na identificação das estruturas” que teve uma baixa taxa de concordância (gráfico 9).

Deve-se levar em consideração ainda , no que se refere especificamente ao caso 3, que a análise pelo doppler, tanto espectral quanto colorido, são de suma importância para o reconhecimento do canal arterial no exame, o que pode ter se refletido na baixa taxa de acerto da imagem parada observada no modelo 3D. Além disso, o canal arterial da imagem fonte é

curto. Possivelmente um canal arterial mais sinuoso poderia ter tudo maior percepção por parte dos participantes.

Apesar da taxa de acertos ser baixa, os modelos, com exceção somente do modelo 3, foram muito bem avaliados, sugerindo que estes melhoraram o entendimento da aquisição da imagem, facilitaram a identificação das estruturas cardíacas, auxiliaram na visão espacial do coração e que o são bonitos e acurados, o que sugere uma boa impressão dos participantes quanto ao uso do modelo para ensino.

Nota-se também uma tendência a melhora na taxa de acertos global quanto maior o tempo de experiência do participante, com um pico de acertos tanto do corte ecocardiográfico quanto do diagnóstico representado nos modelos entre 5 e 10 anos de experiência. Os ecocardiografistas considerados experts, com mais de 5 anos de experiência acertaram os cortes ecocardiográficos em 68% das vezes, contra 50% no caso dos menos experientes, e a diferença na precisão do diagnóstico foi de 75% entre os mais experientes contra 50% entre os menos, com significância estatística (p valor 0,034). Este é um dado que favorece a hipótese de que os modelos são bons simuladores da imagem ecocardiográfica, uma vez que espera-se em um bom simulador que, de fato, os profissionais mais experientes tenham mais acertos que os profissionais menos experientes (Weidenbach et al., 2009).

Para a American Heart Association, define-se como expert o professional que já fez mais de 1000 exames ou que faz mais de 30 exames por mês por um período mínimo de 5 anos (Quiñones et al., 2003), por isso a nossa amostra foi classificada em grupos maiores e menores que cinco anos de experiência. O nível intermediário encontra-se entre 100 e 1000 exames, ou entre 10 e 100 desde que os 10 tenham sido feitos no período de uma semana ou treinamento superior a 2 anos. São considerados iniciantes aqueles que fizeram menos de 10 exames ou entre 10 e 100 com menos de 10 exames por semana com treinamento inferior a 2 anos (Quiñones et al., 2003).

Existem diferentes maneiras de se avaliar a validade de um instrumento ou um método de simulação de maneira objetiva ou subjetiva, como a validade facial, de critério, de conteúdo e de constructo. A validade de constructo diz respeito a um processo pelo qual a medida se correlaciona com as variáveis de maneira consistente com a teoria (Pacagnella, Martinez and Vieira, 2009), e é tido como um requisito central em estudos de validação (Schijven and Jakimowicz, 2003). Quando aplicado a um modelo de simulação de teste diagnóstico, é entendido como o grau em que a sessão de treinamento realizada pelo participante com um modelo que simula o teste real reflete a expertise de cada participante (Weidenbach et al., 2009).

Neste caso, pode se verificar a validade de constructo dos modelos 3D enquanto simuladores eficazes do ecocardiograma convencional uma vez que haja um aumento na taxa de acertos proporcional ao nível de expertise dos participantes no método, o que de fato é verificado tanto na taxa de acertos do corte ecocardiográfico demonstrado quanto no diagnóstico, porém atingindo significância estatística apenas neste último (gráfico 2). Profissionais considerados experts pelo critério da American Heart Association tem 75% de acerto diagnóstico, enquanto iniciantes obtiveram apenas 41% de performance.

Além disso, também foi avaliada a chamada validade facial e de conteúdo dos modelos. Validade facial descreve o realismo de um instrumento ou simulador, e a validade de conteúdo a relevância deste instrumento (Weidenbach et al., 2009). Em outras palavras, a validade facial nos diz se o instrumento "parece" acurado ou se assemelha com o que quer simular, de acordo com a descrição subjetiva de quem o utiliza. Já a validade de conteúdo, também é uma descrição subjetiva, porém balizada pela experiência de quem é proficiente no que o instrumento se propõe a medir. A validade facial e de conteúdo foram determinadas pelos questionários respondidos pelos participantes, entre eles, especialistas.

Os questionários contemplam duas classes de perguntas: a avaliação subjetiva dos participantes a respeito dos modelos apresentados, onde participaram todos aqueles que tinham experiência em ecocardiografia e que preencheram o questionário 1 (n = 17), e a avaliação dos participantes a respeito da técnica "impressão 3D (n = 34)"e seu uso para ensino. A primeira avaliação contém mais questões representativas da validade facial e a segunda é muito centrada na validade de conteúdo. A diferença no número da amostra se deve ao fato que um segundo grupo de profissionais cardiologistas também preencheu o questionário de número 3, para uma pesquisa derivada com outros modelos. Foram incluídos nesta avaliação porque após terem tido contato com modelos 3D, julgamos aptos a responderem questões gerais sobre o método.

Foi observado que avaliação da validade facial e de conteúdo foi positiva em todos os grupos, sendo que os experts foram mais críticos em relação a amostra geral nas duas avaliações de validade como mostram os gráficos 5 e 11, ainda assim com resultados consistentemente positivos. O modelo 3, de canal arterial foi o mais mal avaliado, mas ainda assim, a avaliação global não foi prejudicada.

O aspecto com mais avaliações positivas em todos os modelos foi o aspecto da estética dos mesmos, com alto índice de concordância ao questionamento "o modelo é bonito?", mostrando que de fato existe um interesse relativo à estética de uma tecnologia que é relativamente recente (gráficos 6 a 10).

Os resultados mostraram, em resumo, uma taxa de identificação relativamente baixa na amostra geral do corte ecocardiográfico e do diagnóstico expostos nos modelos, porém com incremento desta acurácia com o aumento da experiência dos participantes, o que sugere validade de constructo para o instrumento. Além disso, as avaliações subjetivas das peças individual e globalmente e do método "impressão 3D", mostraram uma boa avaliação e alta taxa de aceitação e interesse entre os participantes, sugerindo validade facial e de conteúdo. Um modelo, representando um corte de eixo curto de via de saída do ventrículo direito de paciente com canal arterial não foi bem avaliada, provavelmente por questões relacionadas à técnica de modelagem e fatiamento do modelo. Os resultados sugerem, portanto, que os modelos impressos em 3D podem simular cortes ecocardiográficos e auxiliar no ensino-aprendizagem da disciplina para profissionais em treinamento.

7.3 O USO DA IMPRESSÃO 3D COMO INSTRUMENTO DE AUXÍLIO TERAPÊUTICO.

Dentre os muitos usos da técnica de impressão 3D de modelos de coração a partir de imagens avançadas de angiotomografia, angiorressonância e ecocardiograma 3D, a utilização dos modelos para auxílio terapêutico, na programação cirúrgica de cardiopatias complexas, é certamente o que mais reverbera na literatura, com muitas evidências de benefício em diversos defeitos cardíacos.

Revisão sistemática de 2018 de I. Lau, mostra que a grande maioria dos estudos sobre a efetividade do método são relatos de caso, não tendo a literatura ainda reunido grandes séries de caso ou estudos controlados que demonstrem de maneira controlada e reprodutível o potencial da impressão 3D em melhorar o resultado cirúrgico em cardiopatias complexas (Lau and Sun, 2018).

Outra revisão sistemática publicada em 2019 mostra resultados muito satisfatórios com relação às medições anatômicas e a acurácia dos modelos em diversos estudos publicados, porém ressalta a dificuldade em se documentar a evidência de benefício do método uma vez que de fato, é difícil de se desenhar um estudo prospectivo e controlado para tal. A nível de relatos e séries de caso, a técnica tem sido útil para melhor descrever os defeitos e auxiliar na decisão terapêutica (Batteux, Haidar and Bonnet, 2019; Garekar *et al.*, 2016; Yoo and Arsdell, van, 2018).

Algumas cardiopatias parecem se beneficiar mais da técnica, como é o caso da dupla via de saída do ventrículo direito ou outras cardiopatias em que se tuneliza o fluxo intracardíaco entre uma cavidade e um grande vaso (Farooqi *et al.*, 2015).

Em 2018 a Radiological Society of North America publicou os primeiros guidlines em impressão 3D, visando orientar os serviços sobretudo quanto às melhores indicações do método nas diversas especialidades. Na cardiologia pediátrica, casos de truncus arteriosus, drenagem anômala de veias pulmonares parcial e total, dupla via de saída do ventrículo direito, tetralogia de Fallot com grandes colaterais sistêmico pulmonares, defeito de septo atrioventricular desbalanceado, transposição de grandes artérias entre outras (Chepelev *et al.*, [s.d.]).

Durante o período em que decorreu o estudo, mesmo durante a curva de aprendizado, houve algumas oportunidades de se imprimir modelos de coração em 3D para o uso no planejamento pré-operatório de casos mais desafiadores.

O primeiro modelo que o grupo de trabalho conseguiu efetivamente imprimir, após passar de maneira bem-sucedida pelas etapas de segmentação, fatiamento e impressão, foi um caso de duplo arco aórtico. À época desta primeira experiência, não conseguíamos aplicar as técnicas de pós processamento para demonstrar a anatomia interna cardíaca e cortar o modelo virtual em peças que se complementavam e as peças demonstravam apenas o aspecto externo do coração.

A grande verossimilhança com a imagem fonte, motivou o grupo a usar o modelo na discussão do caso, de maneira bem-sucedida. Esta experiência pavimentou o caminho para que outros casos também se beneficiassem da tecnologia, enquanto caminhava o projeto principal, o que também tenta atender a um outro objetivo informal que é o de iniciar e disseminar a tecnologia de impressão 3D no Nordeste brasileiro.

Todos os casos utilizados para este fim foram levados para as discussões em reunião clínico-cirúrgica ou em outros ambientes do hospital, com alguns dos modelos sendo levados ao centro cirúrgico para auxiliar na visualização da morfologia cardíaca e os resultados estão resumidos na tabela 5.

Aqui deve-se salientar que a técnica de impressão 3D não é um método diagnóstico, mas sim um complemento, com a finalidade de se aumentar o nível de detalhamento e poder melhor visualizar as relações entre as estruturas, especialmente em se tratando de profissionais que não são especialistas em diagnostico por imagem. Sempre que o modelo sugerir uma possibilidade de mudança de diagnóstico, é essencial que se retorne à imagem fonte para fazer a revisão.

Em conformidade com a literatura, devido às dificuldades metodológicas, este trabalho também não se propõe a fazer um estudo prospectivo e controlado sobre o uso da técnica de impressão 3D , mas apenas mostrar a experiência inicial do método e a impressão subjetiva do grupo que teve esta mesma experiência no INCOR, na cidade de Natal-RN

A técnica foi usada em vários casos diferentes de cardiopatia congênita no espaço de um ano e, de uma maneira geral o resultado foi muito favorável com o uso dos modelos, indicando um benefício na indicação cirúrgica, na técnica utilizada, e na via de acesso.

8 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO

8.1 DIFICULDADES TÉCNICAS – CURVA DE APRENDIZADO

Uma das principais dificuldades técnicas foi o fato de não haver profissionais no eixo Pernambuco-Rio Grande do Norte que trabalhassem com impressão 3D em cardiologia pediátrica, de maneira que o grupo de trabalho necessitou aprender por conta própria as referências e mesclar com técnicas e experiências vindas de outras áreas, em especial do design e da engenharia biomédica que já tem iniciativas de impressão 3D em saúde no Rio Grande do Norte, em especial na odontologia, ortopedia e cirurgia bucomaxilo-facial. Muitas peças, sobretudo as primeiras, falharam em uma ou mais etapas entre a segmentação à impressão, com melhora significativa com a curva de aprendizado.

8.2 DIFICULDADES NA SELEÇÃO DOS PARTICIPANTES E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Uma das dificuldades mais surpreendentes do estudo foi a dificuldade em se aplicar o questionário a colegas médicos cardiopediatras e ecocardiografistas, em razão sobretudo da alta carga horária de trabalho destes profissionais e da recusa voluntária em participar.

Entre aqueles que participaram da pesquisa, era notório por vezes o constrangimento em responder as perguntas diretas de diagnostico, e a frustação ao descobrir que errou uma das perguntas após o feedback pretendido. Muitos participantes solicitaram aos pesquisadores que apagassem ou mudassem resposta já previamente registradas.

8.3 CUSTOS

Uma grata surpresa foi descobrir que o processo de impressão, considerando-se apenas os custos com material não é exatamente caro. A literatura estima um custo entre 55 e 810 dólares por modelo, podendo ser até mais barato dependendo sobretudo do material e da impressora utilizada (Lau and Sun, 2018). Certamente os custos associados aos honorários dos poucos especialistas na área e relativos à licença do software líder de mercado são os fatores que agregam maior custo à produção de modelos deste tipo. A licença anual deste programa pode chegar a cifras próximas a $ 10.000. Nosso grupo necessitou buscar outras alternativas abertas e free-source, porém esta escolha demanda uma maior curva de aprendizado, visto que não são tão intuitivos.

9 CONCLUSÕES

A impressão 3D já é uma realidade, e tem o potencial de fazer cada vez mais parte de nossas vidas e de nossa rotina à medida em que as tecnologias se tornam mais baratas e mais compactas, e sobretudo, à medida em que o conhecimento na área se dissemina entre os vários campos da medicina. A utilização desta tecnologia para melhorar ou baratear a formação de profissionais em cardiologia e ecocardiografia pediátrica ainda não está claro na literatura, uma vez que os vários estudos têm públicos alvos e metodologias diversas.

Este trabalho contribui para tentar alcançar esta resposta, uma vez que demonstra que é viável produzir modelos que simulem cortes ecocardiográficos para treinamento de profissionais na área e que estes modelos são bem avaliados e tem validade enquanto simuladores, já que é alta a identificação da imagem da peça com a imagem real de ecocardiograma (validade de constructo), fato verificado tanto pelo aumento no índice de acerto com o aumento da experiência dos participantes. Além disso, a avaliação positiva dos modelos e do método, feita pelos participantes do trabalho, sugerem validade facial e de conteúdo.

A experiência inicial da utilização de modelos impressos para discussão cirúrgica também se mostrou muito válida, ainda que não tenha sido avaliada por parâmetros objetivos, como influência na mortalidade, no tempo de internação e nas lesões residuais.

Estudos prospectivos, que avaliem os modelos (validados como bons simuladores de ecocardiograma) em uso no ambiente de ensino são fundamentais como o próximo passo para a implantação deste instrumento na rotina do treinamento de profissionais em ecocardiografia neonatal e pediátrica.

9.1 PERSPECTIVAS FUTURAS

- Avaliar o desempenho dos modelos em um cenário real de ensino de ecocardiografia, em aulas expositivas, cursos e no treinamento dos residentes de cardiologia e ecocardiografia neonatal e pediátrica;
- Iniciar um trabalho prospectivo e controlado para avaliar a eficácia dos modelos 3D na programação de cirurgias complexas, especificamente dupla via de saída do ventrículo esquerdo e transposição de grandes artérias.
- Trabalhar com outras tecnologias associadas à reconstrução volumétrica de imagens de angiotomografia, como realidade virtual e realidade aumentada com vistas a melhorar a experiência imersiva no treinamento em cardiopatias congênitas.

REFERÊNCIAS

AIELLO, V. D.; CANÊO, L. F.; JATENE, M. B.; RISO, A. A.; ATIK, E.; AFIUNE, J. Y.; LEAL, S. M. B.; LOPES, A. A. B.; OLIVEIRA, S. A. DE; RAMIRES, J. A. F.; BARBERO-MARCIAL, M. Uma proposta para nomenclatura dos defeitos congênitos do sistema cardiovascular. **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 17, n. 1, p. 01–05, 2002.

ALMEIDA, M. V. L. DE. Design Social : definição constituída no complexo social Social Design : definition constituted in the social complex. **13 Congresso de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, 2018.

AMORIM JUNIOR, R. F. DE; SEVERI, R.; MOSER, L. D.; MATTOS, S. DA S. A Arte no Ensino da Cardiologia: Relato da Experiência do Uso de Massas Moldáveis no Aprendizado da Anatomia Normal e Patológica do Coração. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 42, n. 4, p. 103–108, Dec. 2018.

ANDERSON, R. H.; BAKER, E. J.; PENNY, D.; REDINGTON, A. N.; RIGBY, M. L.; WERNOVSKY, G. **Paediatric Cardiology**. 3rd. ed. [s.l: s.n.].

ANDERSON, R.; SHIRALI, G. Sequential segmental analysis. **Annals of Pediatric Cardiology**, v. 2, n. 1, p. 24–35, 2009.

BATTEUX, C.; HAIDAR, M. A.; BONNET, D. 3D-printed models for surgical planning in complex congenital heart diseases: A systematic review. **Frontiers in Pediatrics**, v. 7, n. FEB, p. 1–8, 2019.

BIGLINO, G.; CAPELLI, C.; KONIORDOU, D.; ROBERTSHAW, D.; LEAVER, L.-K.; SCHIEVANO, S.; TAYLOR, A. M.; WRAY, J. Use of 3D models of congenital heart disease as an education tool for cardiac nurses. **Congenital Heart Disease**, v. 12, n. 1, p. 113–118, Jan. 2017.

BÜLTHOFF, I.; BÜLTHOFF, H.; SINHA, P. Top-down influences on stereoscopic depth-perception. **Nature neuroscience**, v. 1, n. 3, p. 254–257, 1998.

CATARINO, C. F.; GOMES, M. A. DE S. M.; GOMES, S. C. D. S.; MAGLUTA, C. Registros de cardiopatia congênita em crianças menores de um ano nos sistemas de informações sobre nascimento, internação e óbito do estado do Rio de Janeiro, 2006-2010. **Epidemiologia e servicos de saude : revista do Sistema Unico de Saude do Brasil**, v. 26, n. 3, p. 535–543, 2017.

CHEPELEV, L. *et al.* Radiological Society of North America (RSNA) 3D printing Special Interest Group (SIG): guidelines for medical 3D printing and appropriateness for clinical scenarios and RSNA Special Interest Group for 3D Printing. [s.d.].

COMMISSION, E. Echocardiography training for non - cardiologists. **British Journal of Hospital Medicine**, v. 75, n. 6, p. 346–349, 2014.

COSTELLO, J. P.; OLIVIERI, L. J.; KRIEGER, A.; THABIT, O.; MARSHALL, M. B.; YOO, S.-J.; KIM, P. C.; JONAS, R. A.; NATH, D. S. Utilizing Three-Dimensional Printing

Technology to Assess the Feasibility of High-Fidelity Synthetic Ventricular Septal Defect Models for Simulation in Medical Education. **World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery**, v. 5, n. 3, p. 421–426, 23 Jul. 2014.

CROTI, U. A.; MATTOS, S. S.; PINTO JÚNIOR, V. C.; AIELLO, V. D.; MOREIRA, V. DE M. **Cardiologia e Cirurgia Cardiovascular Pediatrica**. 2nd. ed. [s.l.] Grupo Editorial Nacional, 2013.

DOLIDZE, K.; SMITH, E. L.; TCHANTURIA, K. A clinical tool for evaluating emotional well-being: Self-drawings of hospitalized children. **Journal of Pediatric Nursing**, v. 28, n. 5, p. 470–478, 2013.

EIDEM, B. W.; CETTA, F.; O'LEARY, P. W. **Ecocardiografia nas Cardiopatias Congênitas das Crianças e dos Adultos**. 1st. ed. [s.l: s.n.].

ELLIS, H. Anatomy of fetal circulation. **Anaesthesia and Intensive Care Medicine**, v. 6, n. 3, p. 73, 2005.

FAROOQI, K. M. **Rapid Prototyping in Cardiac Disease**. [s.l: s.n.].

FAROOQI, K. M.; NIELSEN, J. C.; UPPU, S. C.; SRIVASTAVA, S.; PARNESS, I. A.; SANZ, J.; NGUYEN, K. Use of 3-Dimensional Printing to Demonstrate Complex Intracardiac Relationships in Double-Outlet Right Ventricle for Surgical Planning. **Circulation: Cardiovascular Imaging**, v. 8, n. 5, p. 1–4, 2015.

GAREKAR, S.; BHARATI, A.; CHOKHANDRE, M.; MALI, S.; TRIVEDI, B.; CHANGELA, V. P.; SOLANKI, N.; GAIKWAD, S.; AGARWAL, V. Clinical Application and Multidisciplinary Assessment of Three Dimensional Printing in Double Outlet Right Ventricle With Remote Ventricular Septal Defect. **World journal for pediatric & congenital heart surgery**, v. 7, n. 3, p. 344–350, 2016.

GOTTLIEB, M.; WAGNER, E.; WAGNER, A.; CHAN, T. Applying Design Thinking Principles to Curricular Development in Medical Education. **AEM Education and Training**, v. 1, n. 1, p. 21–26, 2017.

GRIFT, T. C. VAN DE; KROEZE, R. Design Thinking as a Tool for Interdisciplinary Education in Health Care. **Academic Medicine**, v. 91, n. 9, p. 1234–1238, Sep. 2016.
HATEM, T. P.; LIRA, P. I. C.; MATTOS, S. S. The therapeutic effects of music in children following cardiac surgery. **Jornal de Pediatria**, v. 82, n. 3, p. 186–192, 2006.

HERMSEN, J. L.; BURKE, T. M.; SESLAR, S. P.; OWENS, D. S.; RIPLEY, B. A.; MOKADAM, N. A.; VERRIER, E. D. Scan, plan, print, practice, perform: Development and use of a patient-specific 3-dimensional printed model in adult cardiac surgery. **Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, v. 153, n. 1, p. 132–140, 2017.

JONES, T. W.; SECKELER, M. D. Use of 3D models of vascular rings and slings to improve resident education. **Congenital Heart Disease**, v. 12, n. 5, p. 578–582, 2017.

KATUMBA-LUNYENYA, J. L. Neonatal/infant echocardiography by the non-cardiologist: a personal practice, past, present, and future. **Archives of Disease in Childhood Fetal &**

Neonatal Edition, v. 86, n. 1, p. F55-7, 2002.

KIM, S. S.; UTSUNOMIYA, H.; KOSKI, J. A.; WU, B. M.; CIMA, M. J.; SOHN, J.; MUKAI, K.; GRIFFITH, L. G.; VACANTI, J. P. Survival and Function of Hepatocytes on a Novel Three-Dimensional Synthetic Biodegradable Polymer Scaffold With an Intrinsic Network of Channels. **Annals of Surgery**, v. 228, n. 1, p. 8–13, Jul. 1998.

KIRALY, L.; KIRALY, B.; SZIGETI, K.; TAMAS, C. Z.; DARANYI, S. Virtual museum of congenital heart defects: Digitization and establishment of a database for cardiac specimens. **Quantitative Imaging in Medicine and Surgery**, v. 9, n. 1, p. 115–126, 2019.
KOTHARI, S. A ′sense′ of history and pediatric cardiology. **Annals of Pediatric Cardiology**, v. 4, n. 1, p. 1, 2011.

LAU, I.; SUN, Z. Three-dimensional printing in congenital heart disease: A systematic review. **Journal of Medical Radiation Sciences**, 2018.

LOPES, L. **Ecocardiografia Pediátrica**. 1st. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

DE ALMEIDA, L.R.; PEÑA, C. M. Síntese de Evidências para Políticas de Saúde: Diagnóstico precoce de cardiopatias congênitas. *In*: **Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Ciência e Tecnologia.** [s.l: s.n.].

MAHLE, W. T.; NEWBURGER, J. W.; MATHERNE, G. P.; SMITH, F. C.; HOKE, T. R.; KOPPEL, R.; GIDDING, S. S.; BEEKMAN, R. H.; GROSSE, S. D. Role of pulse oximetry in examining newborns for congenital heart disease: A scientific statement from the American Heart Association and American Academy of Pediatrics. **Circulation**, v. 120, n. 5, p. 447–458, 2009.

MARRO, A.; BANDUKWALA, T.; MAK, W. Three-Dimensional Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications. **Current Problems in Diagnostic Radiology**, v. 45, n. 1, p. 2–9, 2016.

MATHUR, M.; PATIL, P.; BOVE, A. The Role of 3D Printing in Structural Heart Disease. **JACC: Cardiovascular Imaging**, v. 8, n. 8, p. 987–988, 2015.

MATTOS, S. *et al.* A telemedicine network for remote paediatric cardiology services in north-east Brazil. n. October 2014, p. 1–10, 2015.

MCBRIEN, A.; SANDS, A.; CRAIG, B.; DORNAN, J.; CASEY, F. Impact of a regional training program in fetal echocardiography for sonographers on the antenatal detection of major congenital heart disease. **Ultrasound in obstetrics & gynecology : the official journal of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology**, v. 36, n. 3, p. 279–84, Sep. 2010.

MCLAUGHLIN, J. E.; WOLCOTT, M. D.; HUBBARD, D.; UMSTEAD, K.; RIDER, T. R. A qualitative review of the design thinking framework in health professions education. **BMC Medical Education**, v. 19, n. 1, p. 1–8, 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA NO20, DE 10 DE JUNHO DE 2014**, [s.d.].

Disponível em:
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/sctie/2014/prt0020_10_06_2014.html>
___. Nota Técnica Nº 7 / 2018-Cgscam / Dapes / Sas / Ms. p. 7–10, 2018.

MOTTL-LINK, S. *et al.* Physical Models Aiding in Complex Congenital Heart Surgery. **Annals of Thoracic Surgery**, n. 86, p. 273–277, 2008.

MURARU, D.; VERONESI, F.; MADDALOZZO, A.; DEQUAL, D.; FRAJHOF, L.; RABISCHOFFSKY, A.; ILICETO, S.; BADANO, L. P. 3D printing of normal and pathologic tricuspid valves fromtransthoracic 3D echocardiography data sets. **European Heart Journal Cardiovascular Imaging**, v. 18, n. 7, p. 802–808, 2017.

OLIVIERI, L. J.; KRIEGER, A.; LOKE, Y. H.; NATH, D. S.; KIM, P. C. W.; SABLE, C. A. Three-dimensional printing of intracardiac defects from three-dimensional echocardiographic images: Feasibility and relative accuracy. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 28, n. 4, p. 392–397, 2015.

OLIVIERI, L. J.; SU, L.; HYNES, C. F.; KRIEGER, A.; ALFARES, F. A.; RAMAKRISHNAN, K.; ZURAKOWSKI, D.; MARSHALL, M. B.; KIM, P. C. W.; JONAS, R. A.; NATH, D. S. "Just-In-Time" Simulation Training Using 3-D Printed Cardiac Models After Congenital Cardiac Surgery. **World journal for pediatric & congenital heart surgery**, v. 7, n. 2, p. 164–168, 2016.

PACAGNELLA, R. C.; MARTINEZ, E. Z.; VIEIRA, E. M. Construct validity of a Portuguese version of the Female Sexual Function Index | Validade de construto de uma versão em português do Female Sexual Function Index. **Cadernos de Saude Publica**, v. 25, n. 11, p. 2333–2344, 2009.

PINTO JÚNIOR, V. C.; BRANCO, K. M. P. C.; CAVALCANTE, R. C.; CARVALHO JUNIOR, W.; LIMA, J. R. C.; FREITAS, S. M. DE; FRAGA, M. N. D. O.; SOUZA, N. M. G. DE. Epidemiology of congenital heart disease in Brazil Approximation of the official Brazilian data with the literature. **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 30, n. 2, p. 219–224, 2015.

PINTO JÚNIOR, V. C.; DAHER, C. V.; SALLUM, F. S.; JATENE, M. B.; CROTI, U. A. Situação das cirurgias cardíacas congênitas no Brasil. **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 19, n. 2, p. 2000–2003, 2004.

QUIÑONES, M. A. *et al.* ACC/AHA clinical competence statement on echocardiography. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 41, n. 4, p. 687–708, Feb. 2003.

ROBERTA DIDIER NUNES MOSER, L.; CRISTINA PINHEIRO DIOGENES, T.; OLIVEIRA PACÍFICO DE SOUZA, V.; RANACI FLORÊNCIO DE OLIVEIRA, A.; ALVES MOURATO, F.; SILVA MATTOS, S. DA. NOVO MODELO DE TELETRIAGEM DAS CARDIOPATIAS CONGÊNITAS. **Jornal Brasileiro de Telemedicina**, v. 3, n. 1, p. 229–231, 2014.

RYAN, T.; BERLACHER, K.; LINDNER, J. R.; MANKAD, S. V.; ROSE, G. A.; WANG, A. COCATS 4 Task Force 5: Training in Echocardiography. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 28, n. 6, p. 615–627, 2015.

SAYASATHID, J.; SUKONPAN, K.; SOMBOO, N. Epidemiology and Etiology of Congenital Heart Diseases. *In*: **Congenital Heart Disease - Selected Aspects**. [s.l.] InTech, 2012. .

SCHIEVANO, S.; MIGLIAVACCA, F.; COATS, L.; KHAMBADKONE, S.; CARMINATI, M.; WILSON, N.; DEANFIELD, J. E.; BONHOEFFER, P.; TAYLOR, A. M. Percutaneous Pulmonary Valve Implantation Based on Rapid Prototyping of Right Ventricular Outflow Tract and Pulmonary Trunk from MR Data. **Radiology**, v. 242, n. 2, p. 490–497, Feb. 2007.

SCHIJVEN, M.; JAKIMOWICZ, J. Construct validity: experts and novices performing on the Xitact LS500 laparoscopy simulator. **Surgical Endoscopy**, v. 17, n. 5, p. 803–810, 1 May 2003.

SESLAR, S. P.; SHEPARD, C. W.; GIROUD, J. M.; AIELLO, V. D.; COOK, A. C.; SPICER, D. E.; ST LOUIS, J. D.; FRANKLIN, R. C. G.; JACOBS, J. P.; ANDERSON, R. H. Lost treasures: A plea for the systematic preservation of cadaveric heart specimens through three-dimensional digital imaging. **Cardiology in the Young**, v. 25, n. 8, p. 1457–1459, 2015.

SHIRAISHI, I.; KAJIYAMA, Y.; YAMAGISHI, M.; HAMAOKA, K. Stereolithographic biomodeling of congenital heart disease by multislice computed tomography imaging. **Circulation**, v. 113, n. 17, p. 733–734, 2006.

SODIAN, R.; SCHMAUSS, D.; MARKERT, M.; WEBER, S.; NIKOLAOU, K.; HAEBERLE, S.; VOGT, F.; VICOL, C.; LUETH, T.; REICHART, B.; SCHMITZ, C. Three-Dimensional Printing Creates Models for Surgical Planning of Aortic Valve Replacement After Previous Coronary Bypass Grafting. **Ann Thorac Surg**, v. 85, p. 2105–9, 2008.

SODIAN, R.; WEBER, S.; MARKERT, M.; RASSOULIAN, D.; KACZMAREK, I.; LUETH, T. C.; REICHART, B.; DAEBRITZ, S. Stereolithographic Models for Surgical Planning in Congenital Heart Surgery. [s.d.].

STEWART, S. C. Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work. **Design Studies**, v. 32, n. 6, p. 608–609, 2011.

SUN, Z. A systematic review of 3-D printing in cardiovascular and cerebrovascular diseases. **The Anatolian Journal of Cardiology**, p. 423–436, 2017.

The Environmental Impact of Corn-Based Plastics. **Scientific America**, 2018.

VIÑALS, F.; MANDUJANO, L.; VARGAS, G.; GIULIANO, A. Prenatal diagnosis of congenital heart disease using four-dimensional spatio-temporal image correlation (STIC) telemedicine via an Internet link: A pilot study. **Ultrasound in Obstetrics and Gynecology**, v. 25, n. December 2004, p. 25–31, 2005.

WAGNER, R.; RAZEK, V.; GRÄFE, F.; BERLAGE, T.; JANOUŠEK, J.; DAEHNERT, I.; WEIDENBACH, M. Effectiveness of simulator-based echocardiography training of noncardiologists in congenital heart diseases. **Echocardiography**, v. 30, n. 6, p. 693–698, 2013.

WANG, Q.; HAY, M.; CLARKE, D.; MENAHEM, S. Adolescents' drawings of their cardiac abnormality. **Cardiology in the young**, v. 21, n. 5, p. 556–61, 2011.

WANG, Z.; LIU, Y.; LUO, H.; GAO, C.; ZHANG, J.; DAI, Y. Is a three-dimensional printing model better than a traditional cardiac model for medical education? A pilot randomized controlled study. **Acta Cardiologica Sinica**, v. 33, n. 6, p. 664–669, 2017.

WEIDENBACH, M.; RÁZEK, V.; WILD, F.; KHAMBADKONE, S.; BERLAGE, T.; JANOUSEK, J.; MAREK, J. Simulation of congenital heart defects: a novel way of training in echocardiography. **Heart (British Cardiac Society)**, v. 95, n. 8, p. 636–41, 2009.

WEINHAUS, A. J.; ROBERTS, K. P. Anatomy of the human heart. *In*: **Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices**. 2nd editio ed. [s.l: s.n.]. p. 51–79.

WHITE, S. C.; SEDLER, J.; JONES, T. W.; SECKELER, M. Utility of three-dimensional models in resident education on simple and complex intracardiac congenital heart defects. **Congenital Heart Disease**, v. 13, n. 6, p. 1045–1049, 2018.

XU, J.-J.; LUO, Y.-J.; WANG, J.-H.; XU, W.-Z.; SHI, Z.; FU, J.-Z.; SHU, Q. Patient-specific three-dimensional printed heart models benefit preoperative planning for complex congenital heart disease. **World Journal of Pediatrics**, n. 0123456789, 2019.

YOO, S.-J.; ARSDELL, G. S. VAN. 3D Printing in Surgical Management of Double Outlet Right Ventricle. **Frontiers in Pediatrics**, v. 5, n. January, p. 1–6, 2018.

YOO, S. J.; SPRAY, T.; AUSTIN, E. H.; YUN, T. J.; ARSDELL, G. S. VAN. Hands-on surgical training of congenital heart surgery using 3-dimensional print models. **Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, v. 153, n. 6, p. 1530–1540, 2017.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1 VALIDADE FACIAL E DE CONSTRUCTO

PULSAR+C | POR UMA LEITURA SISTEMATIZADA DA ANATOMIA DO RECÉM NASCIDO - MÓDULO CARDIOVASCULAR
QUESTIONÁRIO 1

_____

_____

Número de entrevistado **Número da imagem**

Você verá receberá agora um modelo de coração que foi impresso em 3D a partir do exame de angiotomografia de um caso real e cortado para simular um corte ecocardiográfico. Analise a peça e responda as perguntas abaixo.

IMAGEM 1:
Pergunta 1: Que corte ecocardiográfico você está visualizando?
( ) A. Apical 4 câmaras;
( ) B. Apical 5 câmaras;
( ) C. Paraesternal eixo longo de ventrículo esquerdo;
( ) D. Paraesternal eixo curto de via de saída do ventrículo direito;
( ) E. Paraesternal eixo curto dos ventrículos;
( ) F. Supraesternal arco aórtico;
( ) G. Subcostal corte dos átrios
( ) H. Não é um corte habitual de ecocardiograma

Pergunta 2*: Que estruturas você consegue visualizar neste modelo?
( ) A. Átrio direito
( ) B. Valva tricúspide
( ) C. Átrio esquerdo
( ) D. Valva mitral;
( ) E. Septo interatrial
( ) F. Ventrículo direito

( ) G. Ventrículo esquerdo;
( ) H. Septo interventricular;
( ) I. Valva aórtica;
( ) J. Valva pulmonar
( ) K. Aorta ascendente;
( ) L. Artéria pulmonar
( ) M. Ramo direito da artéria pulmonar
( ) N. Ramo esquerdo da artéria pulmonar;
( ) O. Arco aórtico;
( ) P. Canal arterial;

Pergunta 3: Você sugere algum diagnóstico específico?
( ) A. Coração normal
( ) B. Comunicação interatrial
( ) C. Comunicação interventricular
( ) D. Persistência de canal arterial
( ) E. Tetralogia de Fallot
( ) F. Estenose pulmonar supravalvar/Bandagem de artéria pulmonar
( ) G. Transposição dos grandes vasos;
( ) H. Coarctação da aorta;
( ) I. Outro: especifique: _____

4 – O modelo 3D auxiliou a entender a aquisição das imagens adquiridas (posição do transdutor na pele em relação à posição do coração)

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

5 – O modelo 3D auxiliou a identificar melhor as estruturas visualizadas em cada corte ecocardiográfico:

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

6 – O modelo 3D ajudou a entender melhor as relações espaciais entre as estruturas demonstradas no corte ecocardiográfico e aquelas que não são demonstradas neste corte (visão geométrica do coração):

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

7 – Este modelo 3D é uma bela representação do coração (Tem alto valor estético).

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

8 – Este modelo 3D é uma acurada representação do coração.

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 3, VALIDADE DE CONTEÚDO

PULSAR+C | POR UMA LEITURA SISTEMATIZADA DA ANATOMIA DO RECÉM NASCIDO - MÓDULO CARDIOVASCULAR

QUESTIONÁRIO 3

_____

_____

Número de entrevistado **Número da imagem**

Questionário para avaliação subjetiva da experiência com as peças impressas em 3D no ensino-aprendizagem de ecocardiografia e na compreensão da anatomia cardíaca.

1 – Considero que seria interessante utilizar os modelos 3D para ensinar **ANATOMIA** normal e patológica cardiovascular para profissionais em formação em cardiologia e ecocardiografia pediátrica

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

2 – Considero que seria interessante utilizar os modelos 3D para ensinar **ECOCARDIOGRAFIA** para profissionais em formação em cardiologia e ecocardiografia pediátrica

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

3 – Considero o modelo 3D como método importante para auxílio no ensino / na compreensão da anatomia patológica do coração pelo paciente / familiares:

a. Concordo muito

b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

4 – Tenho interesse no uso de modelos 3D na prática clínica:

a. Concordo muito
b. Concordo um pouco
c. Não concordo nem discordo
d. Discordo um pouco
e. Discordo muito

5 – Minha formação é em:

_____

6 – Meu tempo de formação é de:

_____

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
LIKA - Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami
Programa de Pós Graduação em Biologia Aplicada a Saúde

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa (**PULSAR+C | POR UMA LEITURA SISTEMATIZADA DA ANATOMIA DO RECÉM NASCIDO - MÓDULO CARDIOVASCULAR**), que está sob a responsabilidade do pesquisador **Raimundo Francisco de Amorim Júnior**, residente em R Estrela do Mar, n 195, Casa 49, Nova Parnamirim, Parnamirim-RN, e-mail: raimundomorim@gmail.com , Tel: (84) 99840-3540. Também participam desta pesquisa os pesquisadores: **Prof. Dr. Walter Franklin Marques Correia**, Telefone para contato: (81) 999218866 e **Prof. Dr. Fábio Ferreira da Costa Campos**, telefone (81) 98176-2626, e está sob a orientação da **Dra. Sandra da Silva Mattos**, Telefone: (81) 98131-4848, e-mail ssmattos@gmail.com.

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Descrição da pesquisa: Esta pesquisa objetiva avaliar a eficácia do uso de modelos de coração impressos em 3D a partir de imagens tomográficas de casos reais, no ensino da anatomia das cardiopatias congênitas e de ecocardiografia neonatal e pediátrica pediátrica.

Os participantes desta pesquisa são profissionais médicos e não médicos que atuam em cardiologia ou ecocardiografia pediátrica ou estão em treinamento na especialidade.

Os participantes irão avaliar peças impressas em 3D para tentar interpretar os achados nos cortes apresentados à luz dos seus conhecimentos prévios, bem como avaliar a impressão individual do uso de modelos impressos no ensino aprendizagem de cardiologia e ecocardiografia pediátrico.

A coleta de dados se dará através do preenchimento de 3 questionários, orientado pelo pesquisador responsável por aplicar os instrumentos de coleta.

- **Esclarecimento do período de participação do voluntário na pesquisa, início, término e número de visitas para a pesquisa**:
  - A sua participação será concluída após o término da sessão que deve durar em torno de 20-30 minutos, em uma única aplicação. Não serão necessárias visitas adicionais ou novo encontro para coleta de dados após o preenchimento dos questionários.
- **RISCOS diretos para o voluntário:**
  - Invasão de privacidade;
  - Discriminação e estigmatização a partir do conteúdo revelado;
  - Divulgação de dados confidenciais (registrados no TCLE);
  - Tomar o tempo do sujeito ao responder ao questionário/entrevista;
  - Constrangimento em grupo, visto que o instrumento da pesquisa será aplicado a mais de um participante ao mesmo tempo.

Como forma de minimizar os riscos, os pesquisadores se comprometem a:

- Garantir o acesso aos resultados individuais, visto que após a exposição de cada caso, será feito uma pequena discussão em cima do modelo impresso, permitindo ao participante um momento de aprendizado a auto avaliação das suas percepções ao caso exposto;
- Acesso aos resultados coletivos na forma dos resultados da tese de mestrado do pesquisador principal, que ficará a disposição na UFPE, ou através de solicitação por e-mail ao pesquisador principal;
- Garantir local reservado na aplicação dos questionários e liberdade para não responder questões constrangedoras;
- Garantir que os pesquisadores sejam habilitados ao método de coleta dos dados, com simulação prévia da aplicação dos instrumentos de pesquisa;
- Estar atento aos sinais verbais e não verbais de desconforto;
- Assegurar a confidencialidade e a privacidade, a proteção da imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo das

pessoas e/ou das comunidades, inclusive em termos de autoestima, deprestígio e/ou econômico – financeiro;

- Assumir a responsabilidade de dar assistência integral, inclusive mediante indenização, às complicações e danos comprovadamente decorrentes dos riscos previstos;
- Assegurar a inexistência de conflito de interesses entre o pesquisador e os sujeitos da pesquisa;
- Garantir que os dados obtidos na pesquisa serão utilizados exclusivamente para a finalidade prevista no seu protocolo e conforme acordado no TCLE.

- **BENEFÍCIOS diretos e indiretos para os voluntários.**
  - Conhecer ou aumentar o conhecimento em impressão 3D para fins de educação médica em cardiologia e ecocardiografia neonatal e pediátrica, uma vez que nesta que é uma técnica relativamente nova em nosso meio;
  - Participar de discussão clínica de casos selecionados utilizando a tecnologia proposta, permitindo um olhar diferente sobre casos do dia a dia do cardiologista e ecocardiografista pediátrico.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa, se constituem essencialmente de questionários aplicados aos participantes que voluntariamente participarem da entrevista, com a exposição das peças impressas em 3D. Este material ficará armazenado em pastas de arquivo, sob a responsabilidade do pesquisador responsável, no endereço Rua Estrela do Mar, número 195, casa 49, Nova Parnamirim, município de Parnamirim, CEP 59151-120, pelo período de mínimo 5 anos". Os modelos 3D também serão armazenados em caixas no mesmo endereço e pelo mesmo período, podendo ser usadas eventualmente em exposições ou eventos científicos que envolvam a pesquisa. Os dados digitais dos exames ficarão armazenados no computador pessoal do pesquisador no mesmo endereço e pelo mesmo prazo.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: **(Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cepccs@ufpe.br).**

_____

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo PULSAR+C | POR UMA LEITURA SISTEMATIZADA DA ANATOMIA DO RECÉM NASCIDO - MÓDULO CARDIOVASCULAR, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Impressão digital (opcional)

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

APÊNDICE D – PROPOSTA DE PATENTE DE MODELO ARTICULADO

PROPOSTA DE PATENTE

Modelo articulado de coração para ensino de anatomia e ecocardiografia obtido através de impressão 3D

Classificação internacional de patentes:
A61M 1/10
G09B 23/28
G09B 23/30
G09B 23/34

Aplicantes:
Raimundo Francisco de Amorim Júnior
Sandra da Silva Mattos
Leandro
Walter
Jose Luiz

RESUMO

O presente pedido de patente de invenção e processo (mista) trata de um modelo articulado de coração obtido através de impressão 3D com a finalidade de simular cortes ecocardiográficos para ensino de profissionais em treinamento de ecocardiografia e o processo para aquisição destes modelos.

CAMPO DA INVENÇÃO

O presente pedido de patente de invenção trata da criação de um modelo de coração para ensino de ecocardiografia transtorácica e transesofágica, desenvolvido a partir de prototipagem rápida e impressão 3D de imagens adquiridas de angiotomografia, angiorressonância ou ecocardiograma 3D de pacientes com ou sem doença cardíaca, congênitas ou adquiridas, através de softwares de reconstrução de imagens de tomografia (segmentação) e de modelagem 3D.

Estes modelos virtuais são seccionados em softwares de CAD (do inglês “computed aided design”), simulando a posição pretendida pelo examinador com o feixe de ultrassom com

a intenção de obter cortes ecocardiográficos que possam ser reconhecidos na peça, dessa maneira, facilitando o entendimento do aluno quanto ao processo de aquisição da imagem naquele corte específico e as estruturas anatômicas que podem ser identificadas, uma vez que é possível observar todo o restante da peça para rever as relações anatômicas na peça em 3D, o que não é possível de se fazer ao se adquirir as imagens no modo bidimensional do ecocardiograma.

As imagens utilizadas para a confecção dos modelos são de casos reais de corações normais ou com cardiopatia (congênita ou adquirida), permitindo melhor acurácia na reconstrução de defeitos que peças esculpidas, especialmente nos casos complexos.

A visualização de um determinado corte ecocardiográfico exige a impressão de ao menos duas peças. Para que seja possível visualizar todos os cortes básicos de ecocardiograma pretendidos em um único modelo 3D (apical 4 câmaras, paraesternal eixo longo, paraesternal eixo curto e supraesternal arco aórtico), acaba-se criando algo em torno de 7 peças para cada coração, que são articuladas como em um quebra cabeça tridimensional, com a ajuda de peças de encaixe ou imãs. A ideia é que quando se retire um determinado conjunto de peças do modelo, no conjunto restante permitir-se-á a visualização do desenho de um corte específico de ecocardiograma.

O presente pedido de patente se situa no campo da medicina e biotecnologia, mais especificamente no campo da cardiologia adulta e pediátrica, radiologia e impressão 3D em medicina.

ANTESCEDENTES DA INVENÇÃO

A utilização de modelos em 3D para cardiologia pediátrica encontra amparo na dificuldade que muitos estudantes e profissionais que atuam com cardiologia infantil e cirurgia cardíaca têm em imaginar o coração normal tridimensionalmente, visto que o cérebro humano tem dificuldades em reconhecer em 3 dimensões objetos com formatos aos quais não está habituado ou mesmo de conseguir um adequado entendimento ao visualizar um órgão em 3 dimensões em uma tela bidimensional (Farooqui 2017). Por causa desta limitação, simuladores virtuais e modelos físicos para treinamento em cardiologia, cirurgia cardiovascular e ecocardiografia vem sendo criados para auxiliar no ensino destas disciplinas, como os que seguem.

A patente 5,634,797 U.S de Montgomery, cria modelos de corações com cardiopatia congênita com circulação de fluido através de tubos conectados aos grandes vasos, sendo possível incidir o feixe de ultrassom diretamente sobre o boneco para simular um exame de ecocardiograma. Este modelo, ainda que a finalidade seja a mesma (ensino de ecocardiografia) não toma por base corações de pacientes reais e nem tem em sua premissa cortar o coração do modelo para análise das estruturas tridimensionais pelo aluno.

A patente US 2013/0288218, de Mallin et al trata da criação de modelos cardíacos, mais especificamente atriais, a partir de imagens de angiotomografia, com posterior impressão 3D, para simulações hemodinâmicas e de procedimentos a nível atrial, não para o ensino de eco

A patente US 7,083,418 de Baldauf, de forma semelhante, propõe a criação de um modelo tridimensional, com cortes em posições estratégicas para simular procedimentos cirúrgicos e auxiliar em treinamentos. Não toma por base modelos de pacientes reais, nem impressão 3D nem objetiva treinar profissionais em ecocardiografia.

A patente US 2012/0128218, de Amyot et. Al descreve um método para simular cortes de ultrassom ou ecocardiografia em um volume 3D, modelado digitalmente, que pode ser cortado para simular os cortes. Não considera a utilização de imagens de casos verdadeiros, adquiridos por angiotomografia nem a impressão 3D.

As patentes EP 2 538 398, de Kempny et. Al e US 2009/0162820, de Tada et al. são dois exemplos de simuladores de ecocardiograma transesofágico que utilizam interfaces físicas (modelos simulando o corpo humano e as estruturas por onde passam o transdutor de ultrassom), com sistemas que permitem detectar o ângulo e a posição do transdutor e visualizar em uma tela os cortes, através de imagens tridimensionais que são seccionadas digitalmente. Não tratam também da aquisição de modelos físicos.

É possível verificar na literatura de patentes, que há uma preocupação em criar simuladores práticos para o ensino de ecocardiografia, especialmente tendo-se em vista que o coração tem uma anatomia e um arranjo tridimensional muito complexos, além do que, muitas das doenças em cardiologia pediátrica são raras, podendo o médico em treinamento nesta área sequer ter contato com muitas delas em um período normal de treinamento como 2 anos.

Nenhuma das patentes disponíveis nos bancos de dados descrevem um modelo físico adquirido através de prototipagem rápida de imagens de angiotomografia, angiorressonância ou ecocardiograma 3D para o ensino de ecocardiografia transtorácica ou transesofágica.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

Trata-se de um modelo de coração para ensino de ecocardiografia transtorácica ou transesofágica, consistindo em duas ou mais peças que simulam cortes ecocardiográficos, adquiridas pelo método de prototipagem rápida, a partir de exames de angiotomografia de coração e aorta, ressonância magnética cardíaca ou ecocardiograma 3D. Tais peças, após impressas, são articuladas para formar um único modelo através de imãs ou sistemas de encaixes.

A proposta é que quando as peças estão articuladas, é possível demonstrar o aspecto externo daquele coração normal ou patológico e quando se desarticulam uma ou mais peças do conjunto, é possível visualizar no conjunto das peças restantes, determinado corte ecocardiográfico (Figuras...).

As etapas para a confecção do modelo são expostas na Figura 1 e são descritas a seguir:

Etapa 1: Aquisição de imagens de alta qualidade para impressão 3D através de boas práticas para realização de angiotomografia de coração, ressonância magnética cardíaca e ecocardiograma 3D;

Etapa 2: Seleção das áreas de interesse das imagens adquiridas e construção de um volume em três dimensões utilizando recursos de programas de segmentação de imagens.

Etapa 3: Pós processamento do arquivo gerado em software de CAD (Computer aiding design), visando reconstruir as cavidades e estruturas intracardíacas e detalhar os defeitos caso haja. Nessa etapa também, são realizados “cortes”, que simulam a passagem do feixe de ultrassom pelo coração, visando a aquisição de uma imagem clássica de ecocardiograma naquele coração normal ou patológico, como apical 4 câmaras, paraesternal eixo curto, paraesternal eixo longo ou supraesternal arco aórtico.

O mínimo nessa etapa é a aquisição de duas peças, quando se objetiva demonstrar apenas um corte ecocardiográfico (Figura 4), podendo-se dividir o coração em mais peças para que se tenha a oportunidade de mostrar cortes diferentes. Após as divisões no programa de CAD, espera-se que o modelo final contenha em torno de 7 peças se o objetivo for demonstrar os 4 cortes básicos citados no parágrafo anterior, em um único modelo (Figura 3).

Vários tipos de modelos são possíveis dependendo do corte que se quer expor. Outra possibilidade é demonstrar os vários cortes possíveis com o transdutor em posição apical, como vias de entrada, via de saída do ventrículo esquerdo e via de saída do ventrículo direito (Figura

5), ou ainda os cortes possíveis a partir do paraesternal eixo curto como o eixo curto da via de saída do ventrículo direito, dos planos das valvas atrioventriculares e eixo curto dos ventrículos.

Etapa 4: Impressão 3D com impressora FDM, SLA ou similares no mercado, preferencialmente, mas não obrigatoriamente, em impressora com duplo extrusor usando suporte solúvel, variando-se as configurações como escala e tamanho da camada caso a caso.

Etapa 5: Articulação entre as peças de um modelo através da interposição de imãs ou pinos plásticos e encaixes. Cada peça é articulada com sua(s) correspondentes através de ao menos dois encaixes ou dois pares de imãs, colocados principalmente nas extremidades das peças para melhorar a aderência e a estabilidade da peça. (Figuras 3,4 e 5)

Etapa 6: Replicação do modelo através de nova impressão 3D ou de moldes de silicone com manufatura de cópias em outros materiais como resina ou látex, visto que na grande maioria dos casos, ter moldes de silicone do modelo que permita realizar cópias do mesmo de resina ou outros materiais pode tornar o processo muito mais barato e rápido que imprimir cópias em impressora 3D.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS FIGURAS:

Figura 1 mostra o fluxograma do processo entre a aquisição das imagens e a produção dos modelos em 3D de cortes ecocardiográficos.

Figura 2A mostra vista anterior de modelo completo e articulado impresso em 3D.

Figura 2B mostra vista superior de modelo completo e articulado impresso em 3D.

Figura 2C mostra vista póstero-lateral de modelo completo e articulado impresso em 3D.

Figura 3A mostra as peças que compõem o modelo mostrado na figura 2 desarticulados e as relações entre as peças **30, 31, 32, 33, 34, 35, 36**.

Figura 3B mostra o modelo da figura 2, cortado conforme o corte apical 4 câmaras da ecocardiografia, obtida ao se articular duas peças **30, 31**, através de imãs ou encaixes nas posições indicadas em **301.**

Figura 3C mostra o aspecto externo das peças demonstradas na figura 3B **30,31.**

Figura 3D mostra o modelo da figura 2, cortado conforme o corte paraesternal eixo longo da ecocardiografia, obtida ao se articular três peças **30, 32, 34**, através de imãs ou encaixes nas posições indicadas em **301.**

Figura 3E mostra o modelo da figura 2, cortado conforme o corte paraesternal eixo curto de via de saída de ventrículo, obtida ao se articular quatro peças **30, 31, 32, 33** através de imãs ou encaixes nas posições indicadas em **301.**

Figura 3F mostra o modelo da figura 2, cortado conforme o corte supraesternal arco, obtido ao se articular seis peças **30, 31, 32, 33, 34, 35** através de imãs ou encaixes nas posições indicadas em **301**, ou de outra maneira, apenas retirando do modelo completo uma peça **36**, correspondente ao arco aórtico.

Figura 4 mostra outro modelo impresso em 3D, composto de 2 peças, simulando o corte apical 4 câmaras, articulado por imãs ou encaixes nas posições indicadas em **301**. É o mesmo corte visto na figura 3B, derivado das imagens do mesmo paciente, porém em um modelo que objetiva demonstrar um único corte, e não quatro como na figura 3, sendo necessárias portanto, apenas 2 peças **41 e 42.**

Figura 5A mostra outro modelo impresso em 3D, a partir das mesmas imagens que geraram os modelos das figuras 3 e 4, composto de 3 peças **51,52,53,** articuladas por imãs ou encaixes nas posições indicadas em **301,** permitindo demonstrar 2 cortes possíveis na posição apical.

Figura 5B mostra corte apical 4 câmaras demonstrado na peça mais basal **51** do modelo descrito em Figura 5A.

Figura 5C mostra corte apical 5 câmaras quando se articulam duas peças, **51 e 52,** das descritas em Figura 5ª.

QUADRO REINVINDICATÓRIO:

1 – um modelo de coração para treinamento de ecocardiografia transtorácica ou transesofágica, consistindo em:

a. duas ou mais peças articuladas, que quando juntas, permitem a visualização da anatomia externa do coração e quando separadas expõem a anatomia interna do coração, simulando cortes básicos de ecocardiograma transtorácico ou transesofágico.
b. Zonas articuladas nas extremidades de cada peça do modelo, composto por um conjunto de dois imãs em cada articulação, ou um sistema de encaixe, pré moldada no programa de CAD ou construídas manualmente.

2 – Processo para confecção da reinvindicação 1, que consiste em:

a. Aquisição da imagem de pacientes com coração normal ou cardiopatias congênitas;
b. Segmentação das imagens em softwares de segmentação;
c. Pós processamento e cortes do modelo em software de CAD, simulando o corte realizado pelo feixe de ultrassom na incidência que se quer demonstrar;
d. Impressão 3D de todas as peças derivadas do modelo;
e. Articulação entre as peças utilizando-se imãs ou encaixes;
f. Replicação do modelo através de nova impressão 3D ou de moldes de silicone com manufatura de cópias em outros materiais como resina ou látex.

3 – Modelo de coração conforme reinvindicação 1, consistindo em 2 peças para demonstrar único corte ecocardiográfico, simulando a posição que o feixe de ultrassom atravessa o coração em posições características:

a. Apical 4 câmaras,
b. Paraesternal eixo longo;
c. Paraesternal eixo curto da via de saída do ventrículo direito;
d. Supraesternal arco aórtico;

4 - Modelo de coração conforme reinvindicação 1, consistindo em várias peças (em torno de 7) para demonstrar, em um único modelo, os 4 cortes ecocardiográficos básicos (Apical 4 câmaras, paraesternal eixo longo; paraesternal eixo curto da via de saída do ventrículo direito, supraesternal arco aórtico)

5 - Modelo de coração conforme reinvindicação 1 e 4, consistindo em várias peças (em torno de 4) para demonstrar, em um único modelo, os diferentes cortes possíveis estando o examinador na posição apical (vias de entrada, via de saída do ventrículo esquerdo, via de saída do ventrículo direito);

6 - Modelo de coração conforme reinvindicação 1 e 4, consistindo em várias peças (em torno de 4) para demonstrar, em um único modelo, os diferentes cortes possíveis estando o examinador na posição paraesternal eixo curto (via de saída do ventrículo direito, plano das valvas atrioventriculares e eixo curto dos ventrículos);

7 - Modelo de coração conforme reinvindicação 1 e 4, consistindo em várias peças (em torno de 4) para demonstrar, em um único modelo, os diferentes cortes possíveis estando o examinador na posição paraesternal eixo longo (via de saída do ventrículo esquerdo, oblíquo da valva tricúspide e oblíquo para tronco pulmonar);

8 - Modelo de coração conforme reinvindicação 1 e 4, consistindo em várias peças (em torno de 4) para demonstrar, em um único modelo, os diferentes cortes possíveis em outras posições que tenham sido omitidas neste quadro reivindicatório como subcostal e supraesternal;

APÊNDICE E – ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO MÉDICA

A Arte no Ensino da Cardiologia: Relato da Experiência do Uso de Massas Moldáveis no Aprendizado da Anatomia Normal e Patológica do Coração

Learning Cardiology through Art: Modeling Hearts to Understand Normal and Abnormal Anatomy

Raimundo Francisco de Amorim Junior[I]
Rossana Severi[I]
Lucia Didier Moser[I]
Sandra da Silva Mattos[I]

PALAVRAS-CHAVE

– Cardiologia.
– Cardiopatias Congênitas.
– Medicina na Arte.

RESUMO

INTRODUÇÃO: *A anatomia e a fisiologia do coração humano há muito tempo despertam curiosidade, dada a complexidade da morfologia cardíaca, a sua importância para a manutenção da vida e seu grande valor simbólico. O entendimento da fisiologia cardíaca e sua representação nas diversas modalidades artísticas têm ajudado até hoje na formação de profissionais de saúde que trabalham com cardiologia e também na comunicação com familiares. Este artigo apresenta a experiência de um especializando em um serviço de referência no ensino de cardiologia pediátrica, na construção de modelos de corações normais e patológicos em massa de modelar e massa de biscuit, e as implicações no processo de ensino-aprendizagem do grupo de preceptores e residentes da instituição.* ***RELATO DE EXPERIÊNCIA:*** *Um residente do primeiro ano de cardiologia pediátrica, sem treinamento ou experiência prévia com artes plásticas, foi estimulado pela preceptoria do programa a moldar corações normais e com cardiopatias congênitas para fins de aprendizado da anatomia interna e externa do órgão. Os materiais utilizados foram massa de modelar e massa de biscuit.* ***RESULTADOS:*** *Dez peças foram produzidas ao longo de um ano de especialização, com melhora progressiva nos aspectos artísticos e anatômicos. Entre os modelos patológicos, foram produzidas peças representativas de tetralogia de Fallot, transposição dos grandes vasos, persistência do canal arterial e comunicação interventricular.* ***CONCLUSÃO:*** *A experiência proporcionou três efeitos positivos constatados pela equipe: maior entendimento da anatomia cardíaca normal e patológica por parte do especializando envolvido, o qual se refletiu, por exemplo, em melhor compreensão de imagens médicas, como ecocardiografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética cardíacas, maior aproximação dos residentes do programa com as artes plásticas em uma especialidade que sempre teve uma relação muito estreita com o desenho e a escultura, e produção de modelos em três dimensões de estruturas normais e patológicas que podem ser usadas em aulas e encontros científicos para discussão da disciplina.*

[I] *Hospital Português de Beneficência (UCMF-RHP). Recife, Pernambuco, Brasil.*

 http://dx.doi.org/10.1590/1981-52712015v42n4RB20180073

KEY-WORDS

- Cardiology.
- Heart Defects, Congenital.
- Medicine in the Arts.

ABSTRACT

INTRODUCTION: *The anatomy and physiology of the human heart has long captivated the curiosity of human beings, due to its complexity, its importance for maintaining life, and its great symbolic value. The understanding of cardiac physiology and its representations in different art forms has assisted in the training of health professionals, particularly those working in cardiology, as well as communication with families. This article presents the experience of a pediatric cardiology resident using modeling clays to build normal and abnormal heart models, and discusses the implications of this practice in the teaching-learning process among staff and trainees of the institution.* ***CASE REPORT:*** *A first year paediatric cardiology resident, with no previous training or experience in the plastic arts, was encouraged by Head of Department to mould hearts with normal anatomy and with congenital heart disease for the purpose of teaching the internal and external anatomy of the organ. The materials used were plasticine and cold porcelain clay.* ***RESULTS:*** *Ten anatomical pieces were produced over a one-year period, with progressive improvements in artistic and anatomical aspects. Among the pathological models, there were pieces demonstrating the tetralogy of Fallot, transposition of the great vessels, patent ductus arteriosus, and ventricular septal defect.* ***CONCLUSION:*** *The experience lead to three positive effects noted by the medical team: a better understanding of normal and abnormal cardiac anatomy by the residents, evidenced by their rapid improvement in interpreting medical images such as echocardiography, computerized tomography and nuclear magnetic resonance images; greater access of residents to the plastic arts, in a medical specialty that has always benefited from close proximity with drawings and sculpture; and the production of very low-cost 3D models of normal and abnormal cardiac anatomy that can be used for lectures, clinical-surgical and scientific meetings, and teaching future students.*

Recebido em: 10/4/18

Aceito em: 18/7/18

INTRODUÇÃO

A anatomia e a fisiologia do coração humano há muito tempo despertam curiosidade, dada a complexidade da morfologia desse órgão, a sua importância para a manutenção da vida e seu grande valor simbólico, derivados de características como a pulsatilidade e sua localização central no corpo humano. Na tentativa de compreender o coração ou reproduzir simbolicamente o órgão, artistas têm se utilizado do desenho, da pintura e da escultura desde a pré-história até os dias atuais[1-3].

O entendimento da anatomia cardíaca e sua representação nas diversas modalidades artísticas têm ajudado até hoje na formação de profissionais de saúde que trabalham com cardiologia e também na comunicação com familiares. Na ausência de peças anatômicas adequadas, o estudo da anatomia cardíaca é extremamente dependente de representações artísticas em duas e três dimensões, como desenhos e gráficos, além de imagens ecocardiográficas, tomográficas, etc.[4]. Além desses usos, é estudado o impacto de intervenções artísticas no tratamento de pacientes com cardiopatia, sobretudo crianças e adolescentes[5-7].

O surgimento de métodos modernos de imagem, simuladores e modelos nos permite questionar se ainda há espaço para a arte no ensino médico. Poucos trabalhos e estudos de caso demonstram que estudantes de Medicina tiram proveito de intervenções que aproximem o ensino da anatomia e as manifestações artísticas, sobretudo o desenho e a pintura[8-11].

Existem ainda poucos trabalhos na literatura acerca da influência da escultura de materiais como argila, massa de modelar e cera no processo de ensino-aprendizagem na área de saúde, nenhum deles com foco específico no ensino da cardiologia[12-14].

Este trabalho relata a experiência de um serviço de referência no ensino de cardiologia pediátrica que estimulou um especializando sem treinamento prévio em artes plásticas a construir modelos de corações normais e patológicos em massa de modelar e massa de *biscuit*, e as implicações no processo de ensino-aprendizagem do grupo de preceptores e residentes da instituição.

RELATO DE EXPERIÊNCIA

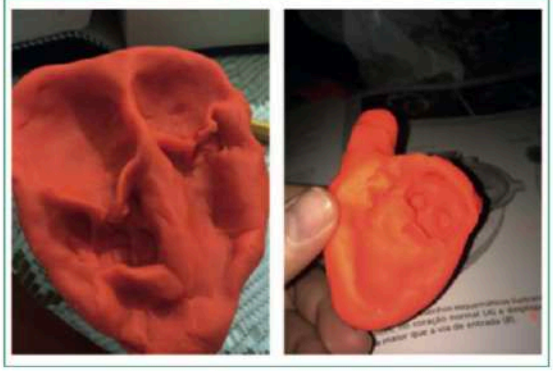
Um residente do primeiro ano de cardiologia pediátrica sem treinamento ou experiência prévia com escultura foi estimulado pela preceptoria do programa a moldar corações normais e

 http://dx.doi.org/10.1590/1981-52712015v42n4RB20180073

com cardiopatias congênitas para fins de aprendizado da anatomia interna e externa do órgão. O material utilizado inicialmente foi massa de modelar.

Os dois primeiros modelos fabricados foram um corte apical quatro câmaras e um corte que demonstra a via de saída do ventrículo esquerdo (Figura 1). Nota-se a preocupação com as relações entre as cavidades e as estruturas cardíacas entre si, como o posicionamento da valva atrioventricular direita em situação mais apical, a banda moderadora no ventrículo direito e a continuidade fibrosa mitro-aórtica.

Figura 1
Representação de corte quatro câmaras e via de saída de VE em massa de modelar. Primeiras peças fabricadas sem preocupação com refinamento de bordas ou detalhes anatômicos



Após os primeiros trabalhos, manteve-se o estímulo positivo para a manutenção da produção artística. Com a experiência, os modelos subsequentes apresentaram melhor qualidade técnica e mais precisão nos detalhes anatômicos (Figura 2). Algumas peças, uma vez finalizado o aspecto externo do coração, eram cortadas para reproduzir a anatomia interna do órgão (Figura 3).

Os modelos em massa de modelar não apresentavam boa durabilidade, uma vez que se deformavam facilmente durante a manipulação e o transporte. A maioria das peças construídas com este material foi desprezada. O passo seguinte, portanto, foi procurar um material que permitisse maior durabilidade dos modelos, tendo sido escolhida a massa de *biscuit*, que, após seca, adquire consistência rígida. A mudança permitiu o transporte e a exposição das peças em demonstrações e aulas.

Peças de órgãos com defeitos cardíacos congênitos, como comunicação interventricular, canal arterial patente, transposição dos grandes vasos da base e tetralogia de Fallot, também foram moldadas em massa de *biscuit* (Figura 4).

Figura 2
Aspecto externo do coração normal em massa de modelar

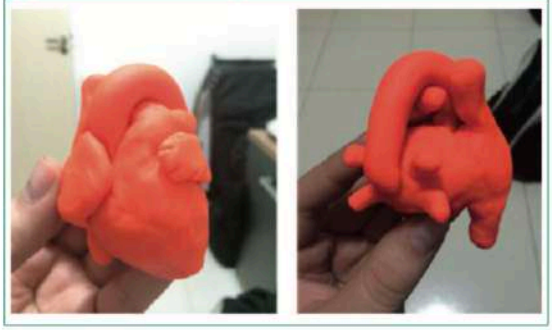
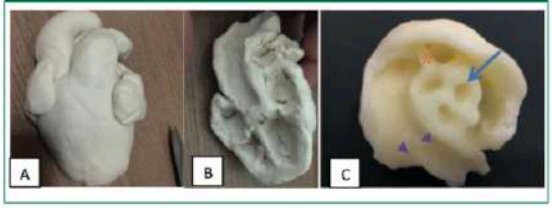


Figura 3
Cortes de coração normal em massa de modelar e massa de *biscuit*. A – Anatomia externa; B – Corte apical mostrando via de saída do ventrículo esquerdo, moldada a partir de "A"; C – Corte em "eixo curto" de coração normal mostrando valva aórtica (seta), valva pulmonar (asterisco) e ramos pulmonares emergindo do tronco pulmonar (cabeças de seta).

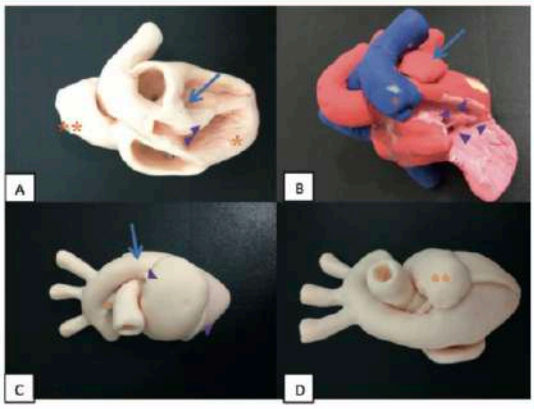


O trabalho proporcionou resultados além do esperado, promovendo ao menos três efeitos positivos:

- Maior entendimento da anatomia cardíaca normal e patológica por parte do estudante e dos seus pares, que analisaram e opinaram na criação das peças, além de maior familiaridade com as estruturas e defeitos cardíacos e sua posição espacial no órgão, o que se refletiu, por exemplo, em melhor compreensão de imagens médicas, como ecocardiografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética cardíacas pelos residentes;
- Maior aproximação entre os residentes do programa e as artes plásticas numa especialidade que sempre teve relação muito estreita com o desenho e a escultura;

 http://dx.doi.org/10.1590/1981-52712015v42n4RB20180073

FIGURA 4
Corações patológicos: A – Tetralogia de Fallot. CIV subaórtica (seta), com desvio anterior do septo infundibular e estenose da via de saída do VD (cabeça de seta), hipertrofia do ventrículo direito (*) e aorta dextroposta (**); B – Múltiplas CIVs musculares (cabeças de seta) vistas através do VD, que teve a parede livre rebatida; Tronco pulmonar (*) e apêndice atrial esquerdo (seta) C – Transposição de grandes artérias. Aorta anterior e à direita da artéria pulmonar (seta), canal arterial patente (*). Artéria coronária direita (cabeça de seta); D – Visão esquerda da mesma peça, visualizando-se a artéria coronária esquerda (**).



– Produção de modelos em três dimensões de estruturas normais e patológicas que poderão ser usadas em aulas e encontros científicos para discussão da disciplina.

DISCUSSÃO

A representação mais antiga de um coração de mamífero data de 30 mil anos atrás, do período Paleolítico, numa imagem pintada em vermelho no tórax de um elefante, na caverna Pindal, em Astúrias, na Espanha[1]. Os egípcios, que usavam amplamente o coração em sua mitologia, tendo sido um dos primeiros povos a considerar o coração como "o centro da alma", também legaram ao mundo gravuras e hieroglifos, datados de até 2000 a.C., com corações humanos[1,15]. A primeira representação de um coração com preocupação anatômica data de 1200-900 a.C., sendo uma escultura do povo Olmec, que habitou o México, mostrando um coração humano dividido em duas câmaras, com três grandes vasos emergindo da peça que se apoia numa figura humana desproporcionalmente pequena[1,16].

Outro grande marco no uso da arte para entendimento do coração humano se dá na Renascença europeia, sobretudo nas obras de Leonardo da Vinci e, pouco tempo depois, com a obra-prima de Andreas Versalius, *De Humanis Corporis Fabrica*. Da Vinci foi um dos primeiros anatomistas a retratar o coração com quatro câmaras cardíacas e detalhou a anatomia das valvas semilunares e da circulação coronariana. É provável que Versalius tenha travado conhecimento com seu trabalho, uma vez que escreveu o clássico *De Humanis Corporis Fabrica* 21 anos após o falecimento de Da Vinci. Não há registros, entretanto, de que tenha havido tal contato[3,17,18].

No campo das cardiopatias congênitas, a arte sempre foi a maior aliada no entendimento dos aspectos, por vezes bastante complexos, que norteiam as inúmeras variações da anatomia normal. No século XIX, grandes anatomistas, como John Richard Farré, Karl, Freiherr von Rokitansky, John Keaing e William Edwards, descreveram a circulação fetal e ilustraram anomalias como *truncus arteriosus*, tetralogia de Fallot e coarctação de aorta com tal riqueza de detalhes que impressionam até os dias de hoje[19].

A habilidade e o treinamento nas mais diversas modalidades artísticas são características compartilhadas pela maioria dos grandes anatomistas do passado e também da era moderna, como Frank Netter. Seus trabalhos têm auxiliado até hoje o ensino da anatomia humana normal e patológica.

A escultura também teve papel importante na demonstração de corações normais e patológicos, com destaque para as esculturas em cera. Algumas peças são armazenadas e expostas em universidades, e alguns autores questionam se elas possuem hoje maior valor artístico ou científico, dada a beleza e o realismo das peças[20]. Existem relatos de uso da massa de modelar no ensino da anatomia. O material pode ser usado para estudar a anatomia descritiva, topográfica e segmentação de diversos órgãos. Quando comparadas com outros métodos que não a análise da peça anatômica de cadáver, as intervenções descritas na literatura têm se mostrado benéficas ao aprendizado[12,14].

Atualmente, diversos métodos de análise da anatomia cardíaca são disponíveis, além das ilustrações médicas e do estudo de peças anatômicas, como imagens cardíacas em alta definição de ecocardiograma bi- e tridimensional, tomografia e ressonância magnética cardíacas, simuladores e ferramentas audiovisuais. Entre estes, destacam-se os métodos que permitem visualizar o coração em três dimensões, como a reconstrução em 3D de imagens cardíacas. É descrita a dificuldade de estudantes e profissionais em treinamento em cardiologia em elaborar uma imagem mental em três dimensões do órgão, uma vez que o cérebro humano tem dificuldades em reconhe-

cer em três dimensões objetos com formatos aos quais não está habituado[21-23].

Na cardiologia infantil, bem como em outras áreas, a impressão em três dimensões de modelos normais e patológicos, a partir de exames de tomografia, ressonância magnética e, mais recentemente, ecocardiografia 3D, vem sendo usada para o ensino da anatomia e correlações clínico-cirúrgicas com bons resultados[4,22,24].

A experiência de construir modelos em massa de modelar e *biscuit* para simular corações normais e com cardiopatias congênitas mostrou-se extremamente proveitosa para o aprendizado da disciplina e ajudou sobremaneira os envolvidos a compreender as relações anatômicas das câmaras cardíacas entre si e com os grandes vasos da base além da circulação coronariana.

Foi percebido também que, a partir de um modelo normal bem construído e trabalhado, é possível predizer e moldar diversas anomalias congênitas, como comunicação interatrial e interventricular, tetralogia de Fallot, transposição dos grandes vasos da base, persistência do canal arterial e coarctação da aorta. Por vezes, moldar o defeito torna-se intuitivo quando se está construindo o modelo.

É possível também concluir que, mesmo sem treinamento formal em artes plásticas, não existe impedimento para a construção de modelos de relativa semelhança com a peça anatômica, sendo os materiais usados de fácil acesso e de baixo custo.

Apesar dos avanços tecnológicos na área e do grande potencial que guardam para o ensino da cardiologia, a arte parece andar junto da disciplina e ainda continuará auxiliando a formação de novos profissionais, bem como continuará a produzir grandes obras para o deleite dos olhos e do imaginário de todos aqueles que trabalham com cardiologia.

REFERÊNCIAS

1. Bendersky G. The Olmec Heart Effigy: Earliest Image od the Human Heart. Perspect Biol Med. 1997;40(3):348–61.
2. Bestetti RB, Restini CBA, Couto LB. Development of anatomophysiologic knowledge regarding the cardiovascular system: from Egyptians to Harvey. Arq Bras Cardiol [Internet]. 2014;103(6):538-45. Available from: http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4290745&tool=pmcentrez&rendertype=abstract
3. Mesquita ET, Souza Júnior CV de, Ferreira TR. Andreas Vesalius 500 years – A Renaissance that revolutionized cardiovascular knowledge. Rev Bras Cir Cardiovasc [Internet]. 2015;260-5. Available from: http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1678-9741.20150024
4. Costello JP, Olivieri LJ, Krieger A, Thabit O, Blair Marshall M, Yoo S-J, et al. Utilizing Three-Dimensional Printing Technology to Assess the Feasibility of High-Fidelity Synthetic Ventricular Septal Defect Models for Simulation in Medical Education.
5. Wang Q, Hay M, Clarke D, Menahem S. Adolescents' drawings of their cardiac abnormality. Cardiol Young [Internet]. 2011;21(5):556–61. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21554829
6. Hatem TP, Lira PIC, Mattos SS. The therapeutic effects of music in children following cardiac surgery. J Pediatr (Rio J). 2006;82(3):186–92.
7. Dolidze K, Smith EL, Tchanturia K. A clinical tool for evaluating emotional well-being: Self-drawings of hospitalized children. J Pediatr Nurs [Internet]. 2013;28(5):470-8. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.pedn.2013.02.026
8. Bell LTO, Evans DJR. Art, anatomy, and medicine: Is there a place for art in medical education? Anat Sci Educ [Internet]. 2014 Sep 10;7(5):370-8. Available from: http://doi.wiley.com/10.1002/ase.1435
9. Phillips PS. Running a life drawing class for pre-clinical medical students. Med Educ. 2000;34(12):1020–5.
10. Pickering JD. Taking human anatomy drawings for teaching outside the classroom. Surg Radiol Anat. 2014;36(9):953-4.
11. Liou KT, George P, Baruch JM, Luks FI. Clinical Sketches: teaching medical illustration to medical students. Med Educ. 2014;48(5):525.
12. Myers DL, Arya LA, Verma A, Polseno DL, Buchanan EM. Pelvic anatomy for obstetrics and gynecology residents: An experimental study using clay models. Obstet Gynecol. 2001;97(2):321-4.
13. Waters JR, Van Meter P, Perrotti W, Drogo S, Cyr RJ. Cat dissection vs. sculpting human structures in clay: an analysis of two approaches to undergraduate human anatomy laboratory education. Adv Physiol Educ. 2005;29(1):27-34.
14. Oh CS, Kim JY, Choe YH. Learning of cross-sectional anatomy using clay models. Anat Sci Educ. 2009;2(4):156-9.
15. Ferrari R. The Story of the Heartbeat II. Eur Heart J. 2012;33(2):152-3.
16. Phoon CK. The Olmec heart effigy revisited: A highly accurate, ancient depiction of the human heart. Perspect Biol Med [Internet]. 1998;41(4):540–8. Available from: http://search.proquest.com/docview/233166166?accountid=15533
17. Shoja MM, Agutter PS, Loukas M, Benninger B, Shokouhi G, Namdar H, et al. Leonardo da Vinci's studies of the heart. Int J Cardiol [Internet]. 2013;167(4):1126-33. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.09.078

18. Sterpetti A V. The revolutionary studies by Leonardo on blood circulation were too advanced for his times to be published. J Vasc Surg [Internet]. 2015;62(1):259–63. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2015.03.036
19. Evans WN, Acherman RJ, Anderson RH. One hundred years of texts describing congenitally malformed hearts from 1814 to 1914. Cardiol Young [Internet]. 2009;19(1):12-29. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19079849
20. Ballestriero R. Anatomical models and wax Venuses: Art masterpieces or scientific craft works? J Anat. 2010;216(2):223-34.
21. Bülthoff I, Bülthoff H, Sinha P. Top-down influences on stereoscopic depth-perception. Nat Neurosci. 1998;1(3):254-7.
22. Mottl-Link S, Hübler M, Kühne T, Rietdorf U, Krueger JJ, Schnackenburg B, et al. Physical Models Aiding in Complex Congenital Heart Surgery. Ann Thorac Surg. 2008;(86):273-7.
23. Wagner R, Razek V, Gräfe F, Berlage T, Janoušek J, Daehnert I, et al. Effectiveness of simulator-based echocardiography training of noncardiologists in congenital heart diseases. Echocardiography. 2013;30(6):693-8.
24. Olivieri LJ, Krieger A, Loke YH, Nath DS, Kim PCW, Sable CA. Three-dimensional printing of intracardiac defects from three-dimensional echocardiographic images: Feasibility and relative accuracy. J Am Soc Echocardiogr [Internet]. 2015;28(4):392–7. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2014.12.016

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos contribuíram de maneira igual.

CONFLITO DE INTERESSES

Nenhum.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Raimundo Francisco de Amorim Junior
Rua Walter Duarte Pereira, 1560
Capim Macio – Natal
CEP 59082-470 – RN
E-mail: raimundomorim@gmail.com

(cc) BY This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.