

Impressão de Protótipos Tridimensionais em Cardiopatias Congênitas

Three-Dimensional Model Printing in Congenital Heart Disease

Milton Benevides Freitas,¹ Jose Luiz Figueiredo,¹ Francisco Candido Cajueiro,¹ Rafaela Melo Lima,¹ Marcio Handerson Freitas,¹ Cristiane Maria Teixeira¹

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE),¹ Recife, PE – Brasil

Resumo

Introdução: A impressão tridimensional (3D) é um conjunto de métodos usados na criação de objetos sólidos 3D, partindo de arquivos digitais. A utilização de protótipos 3D pode melhorar a compreensão e o conhecimento sobre doenças cardíacas congênitas. Tem-se demonstrado sua utilidade no planejamento pré-operatório, na simulação de procedimentos intervencionistas e na tomada de decisões cirúrgicas. Este trabalho tem como objetivo oferecer uma revisão de literatura sobre os vários métodos da prototipagem rápida e sua aplicabilidade na prática médica, especialmente nas cardiopatias congênitas.

Métodos: Trata-se de um estudo de revisão da literatura, cujos dados para a discussão foram coletados a partir de consulta à base de dados eletrônica: LILACS, MEDLINE, SCOPUS, e a biblioteca Scientific Electronic Library Online.

Resultados: No período avaliado pelo estudo foram publicados um total 480 artigos abordando o tema de impressão 3D para cardiopatia, 196 artigos referem-se à impressão 3D para cardiopatia congênita. Destes, 22 foram incluídos no estudo.

Conclusão: A impressão em 3D é uma tecnologia em construção. Ela é capaz de auxiliar o clínico e a equipe cirúrgica na decisão terapêutica, no aprendizado do aluno da especialização e da pós-graduação, no treinamento de habilidades cirúrgicas e no esclarecimento aos familiares.

Palavras-chave: Cardiologia; Cirurgia Cardíaca; Cardiopatias Congênitas; Impressão Tridimensional

Abstract

Introduction: Three-dimensional (3D) printing refers to a set of methods used to create solid 3D objects, based on digital files. The use of 3D models can improve understanding and knowledge about congenital heart diseases. Their usefulness has been demonstrated in preoperative planning, simulation of interventional procedures, and in surgical decision-making. The objective of this study is to offer a review of the literature on the various rapid prototyping methods and their applicability in medical practice, especially in congenital heart diseases.

Methods: This is a literature review study. Data for discussion were collected by consulting the following electronic database: LILACS, MEDLINE, SCOPUS, and the Scientific Electronic Library Online.

Results: During the period evaluated by the study, a total of 480 articles were published addressing the topic of 3D printing (TDP) for heart disease, with 196 articles related to TDP for congenital heart disease. Of these, 22 were included in this study.

Conclusion: TDP is a technology that is still under construction. It has the potential to assist physicians and surgical teams in therapeutic decision-making, to promote learning for students in specialization and postgraduate studies, to contribute to surgical skills training, and to clarify information for family members.

Keywords: Cardiology; Thoracic Surgery; Congenital Heart Defects; Three-Dimensional Printing.

Full texts in English - <https://www.abcimaging.org/>

Correspondência: Milton Benevides Freitas •

Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235. CEP: 50670-901. Cidade Universitária, Recife, PE – Brasil

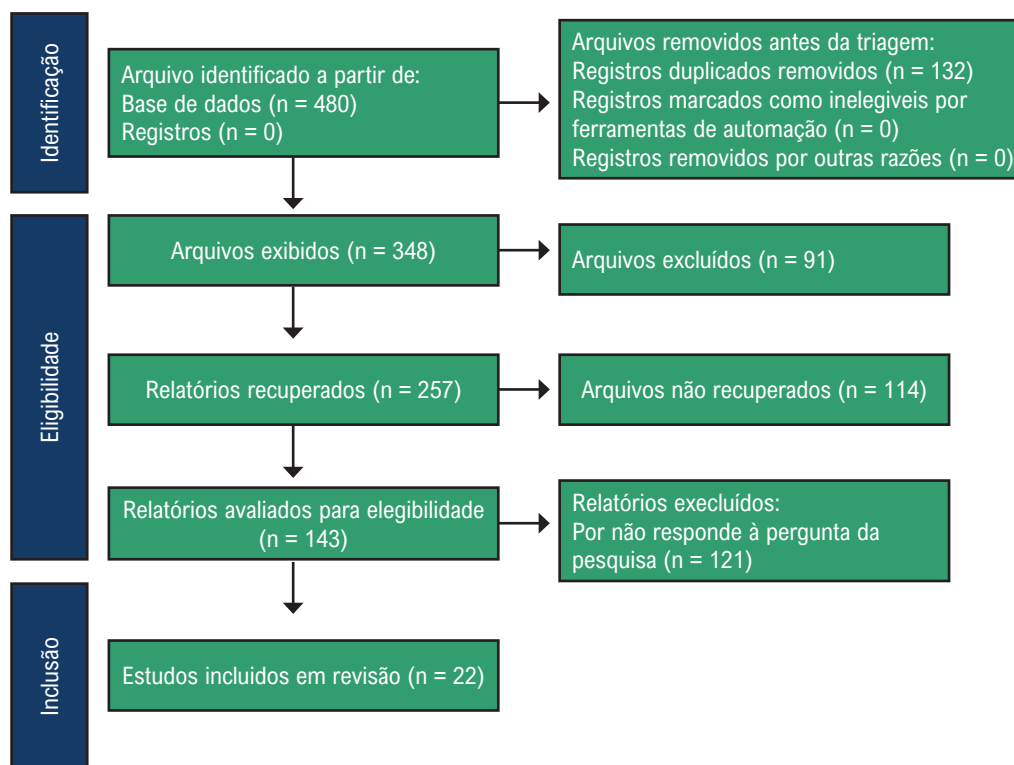
E-mail: miltonhalyson@gmail.com

Artigo recebido em 03/06/2023; revisado em 27/10/2023; aceito em 07/11/2023

Editor responsável pela revisão: Karen Saori Shiraishi Sawamura

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20230065>

Figura Central: Impressão de Protótipos Tridimensionais em Cardiopatias Congênitas



Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2023;36(4):e20230065

Fluxograma do processo de seleção dos artigos adaptado do PRISMA

Introdução

A impressão tridimensional (3D) ou prototipagem rápida é um conjunto de métodos usados na criação de objetos sólidos 3D (modelo ou protótipo), partindo de arquivos digitais. Existem diferentes formas de impressão 3D, sendo uma das mais populares a que usa a técnica de processamento aditivo, na qual o objeto é criado camada a camada, por sucessivas deposições de um polímero plástico de alta resistência. As imagens são adquiridas de exames do próprio paciente como ecocardiografia 3D (C3D), tomografia computadorizada (TC) ou ressonância magnética (RM). É possível criar peças personalizadas e de alta complexidade que não são factíveis usando técnicas de fabricação convencionais. Apesar do uso da tecnologia 3D ser um tópico recorrente da literatura médica desde 1988, 95% dos trabalhos sobre impressão 3D foram publicados a partir de 2012.¹

Nas últimas décadas, o uso dessa tecnologia na área médica vem apresentando crescimento exponencial devido à diminuição dos custos de produção, quebra de patentes, domínio do processo criativo pelos profissionais de saúde e investimento em pesquisas. A modelagem e impressão 3D é atualmente empregada em diversos cenários como na odontologia, engenharia de tecidos, fabricação de dispositivos médicos, formulação de novas drogas e criação

de modelos anatômicos para educação, treinamento e planejamento cirúrgico.²

Para as doenças cardiovasculares, a utilização de protótipos 3D (P3D) pode melhorar a compreensão e o conhecimento sobre doenças cardíacas congênitas. Estudos têm demonstrado sua utilidade no planejamento pré-operatório, na simulação de procedimentos intervencionistas e na tomada de decisões cirúrgicas intra-operatória de forma individualizada.^{3,4}

A maioria das imagens 3D para diagnóstico da cardíacas congênitas utilizadas atualmente na prática clínica são derivadas de métodos de alta resolução, como TC, RM e, em menor escala da C3D.⁵ Para a população pediátrica e para o binômio mãe/feto, modalidades de imagem que utilizam radiação, contraste e sedação, como a TC e RM, constituem fatores limitantes. O desenvolvimento das imagens em varreduras de ultrassom, tanto em 3D/4D, ampliou as capacidades de alcançar uma avaliação completa do coração fetal, geralmente entre 24 e 28 semanas de gestação, abrindo a possibilidade para a criação de excelentes modelos 3D.^{6,7}

Este trabalho tem como objetivo oferecer uma revisão de literatura sobre os vários métodos da prototipagem rápida e sua aplicabilidade na prática médica, abrindo novos horizontes e perspectivas na Medicina.

Métodos

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica. Para realizar a seleção dos artigos foram determinados como critérios de inclusão: abordar prototipagem 3D, cardiopatia congênita no título e/ou resumo, ser um trabalho original, disponível para leitura na íntegra, publicado em português, inglês ou espanhol. Foram excluídos: editoriais, carta ao leitor, estudos não disponíveis na íntegra e relato de caso. A delimitação temporal da busca foi do período de 2013 a 2022, permitindo evidenciar a evolução científica nesta temática.

Na investigação da literatura utilizou-se as bases de dados online: Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS); Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE), SCOPUS e a biblioteca virtual Scientific Electronic Library Online (SciELO).

A busca dos artigos indexados utilizou como base os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): “Crianças”, “Cirurgia Cardíaca”, “Cardiopatia Congênita” e “prototipagem 3D”. Adotou-se ainda os termos provenientes do Medical Subject Headings (MeSH): “Cardiac surgery”, “Congenital heart diseases” e “3D printing”. O planejamento guiou-se com base na junção dos operadores booleanos AND e OR, realizando a busca conjunta e individual para que não houvessem possíveis divergências.

A seleção dos estudos a serem utilizados foi realizada por dois pesquisadores de forma autônoma e não houve discordância. De início, teve-se a eliminação dos estudos duplicados, por meio da utilização do formulador de dados e referências Zotero. Em seguida, foi utilizado o software Rayyan® para organização e consulta dos títulos e resumos dos artigos por pares, almejando verificar os critérios de inclusão/exclusão. Posteriormente, efetuou-se a leitura na íntegra dos 22 artigos incluídos no estudo.

Em seguida, foi realizada uma análise mediante o grau de evidência, de acordo com a abordagem metodológica da Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ) e o sistema GRADE. Os estudos selecionados foram ordenados em uma tabela do Excel Microsoft®, incluindo os seguintes dados: base de dados, autor, ano de publicação, local e idioma, delineamento metodológico, nível e qualidade de evidência. A inquirição se deu a partir da leitura metódica dos estudos selecionados, priorizando a análise qualitativa.

Resultados

No período avaliado pelo estudo foram publicados um total 480 artigos abordando o tema de impressão 3D para cardiopatia, com 196 trabalhos relacionados à cardiopatia congênita. Destes, 22 foram selecionados para fazer parte do estudo (Tabela 1).

Etapas da impressão 3D

A prototipagem rápida compreende dois estágios de produção: primeiramente o estágio virtual e, em seguida, o estágio físico. O estágio virtual pode se utilizar de softwares de modulação sólida (*computer-aided design* – CAD) para obter a geometria virtual do biomodelo. Como alternativa, pode

ser feita a conversão de arquivos obtidos por scanners 3D, TC ou RM para obtenção da geometria virtual do protótipo.^{8,9}

A confecção dos P3D possui alguns passos no processo de impressão, sendo eles: aquisição da imagem, segmentação, criação de malha 3D, pós-processamento de malha 3D e impressão do modelo 3D (Figura 1). A confecção do P3D é realizada basicamente pela leitura de um código numérico (G Code) desenvolvido através de programas computacionais CAD e *computer-aided manufacturing* (CAM), os quais são capazes de segmentar e modelar estruturas.

O passo inicial para a impressão de objetos 3D é a aquisição da imagem. Considera-se esse o passo mais importante, visto que a qualidade dos modelos impressos depende diretamente da qualidade dos dados adquiridos (resolução da imagem).¹⁰ Este arquivo é obtido por meio da aquisição de imagens seccionais em equipamentos digitais, tais como RM, TC ou mesmo ultrassonografia 3D/4D.¹¹ O formato *digital imaging and communications in medicine* (DICOM) é hoje um padrão da indústria de equipamentos médicos e, por ser mundialmente aceito, é o que confere maior interoperabilidade entre sistemas computacionais e equipamentos médicos.

A segunda etapa é a segmentação da imagem que consiste na delimitação da área de interesse do estudo, podendo assim, determinar qual região será estudada. Para a determinação da região de interesse, deve-se levar em considerações alguns aspectos, tais como: área anatômica e tipos de tecidos a serem estudados. O objetivo da segmentação é isolar a área de interesse, dentro do conjunto de dados volumétricos que foi recolhido, extraindo uma superfície de dados segmentados, que permite gerar a malha de superfície (*mesh*). Existem vários programas de utilização livre e de código aberto que contêm uma variedade de ferramentas manuais e automáticas, permitindo assim manipular dados DICOM em arquivos prontos para impressão.

Entre as ferramentas disponíveis para a segmentação das imagens, o *threshold* é bastante utilizado em TC e baseia-se na definição de intervalos de densidade que expressem, por exemplo, somente os voxels que correspondam ao tecido estudado. Já na segmentação pela US3D, nem todos os softwares conseguem abrir blocos volumétricos como o que é realizado pelo 3D Slicer (software open source) e o Mimics (software pago), os quais geram ao final do processo um modelo virtual nos formatos *wavefront object* (WFO) e *standard triangular language* (STL), este último direcionado para impressão 3D. Em alguns casos, é necessária a edição manual das imagens, com ferramentas como cortar, apagar e selecionar.

Após a segmentação, inicia-se a criação da malha que consiste em realizar a reconstrução dos segmentos individualizados de 2D em uma interface de volume 3D. O processo de reconstrução consiste, basicamente, em se obter um modelo 3D dos objetos de interesse, possibilitando não apenas sua visualização, mas também uma melhor compreensão de sua estrutura através da extração e análise de parâmetros geométricos dos objetos.

A máquina de prototipagem rápida não pode processar diretamente as imagens adquiridas devido a duas razões

Tabela 1 – Resumo dos artigos incluídos no estudo

Autor(a)	Tipo de estudo	Resultados	Conclusões
Oliveira et al. ¹	Estudo de revisão sistemática	O total de 9.253 publicações de impressões 3D e 497 de impressões de coração 3D foram incluídos no estudo.	Impressões de modelos 3D estão ajudando cirurgiões no planejamento cirúrgico e favorecendo uma maior compreensão das patologias dos pacientes e familiares.
Liaw et al. ²	Estudo de revisão sistemática	As principais aplicações de impressão 3D são na odontologia, engenharia de tecidos, modelos anatômicos, dispositivos médicos e formulações de drogas. Atualmente, mais de 85 dispositivos médicos são impressos em 3D.	As novas tecnologias de impressões 3D estão ampliando sua utilização nas áreas médicas e reduzindo seus custos de produção.
Lau et al. ³	Estudo de revisão sistemática	O total de 28 estudos foram incluídos na revisão : 61% relatos de casos e 36% opiniões de especialistas.	O uso da impressão 3D em modelos de cardiopatia congênita apresenta aplicações no ensino, planejamento pré-operatório e simulações.
Han et al. ⁴	Estudo clínico	A utilização de protótipo 3D reduz o tempo cirúrgico, sem impacto em tempo de estadia hospitalar ou complicações.	O uso de P3D facilita o planejamento cirúrgico e reduz o tempo operatório.
Chen et al. ⁵	Estudo descritivo	Aquisição da imagem pelo Voluson E10 (USG) e utilização dos softwares Mimics e Meshmixer para segmentação e modelagem de P3D.	Primeira publicação que demonstra o método de impressão 3D de um coração fetal com imagem derivada de e cocardiografia.
Byrne et al. ⁶	Estudo de revisão sistemática	O total de 136 estudos foram incluídos no estudo : 1 estudo clínico, 80 artigos de jornal e 55 relatos de casos.	Os métodos de segmentação da imagem requerem um alto grau de conhecimento dos softwares e tempo do operador.
Olivieri et al. ⁷	Estudo de coorte	Nove pacientes foram submetidos a e cardiografia 3D para estudo de suas patologias. A partir das imagens foram confeccionados P3D.	Os P3D são tecnicamente factíveis de serem elaborados e refletem com acurácia as patologias.
Alves et al. ⁸	Estudo de coorte	A partir de imagem de TC de paciente, após segmentação e processamento, é confeccionado modelo 3D pela técnica de estereolitografia.	A utilização da prototipagem rápida é uma ferramenta de extremo valor no apoio da atividade médica. Partindo de imagens médicas bidimensionais provenientes de TC e RM é possível a obtenção de modelos tridimensionais.
Guo et al. ⁹	Estudo descritivo	Aquisição da imagem pelo Voluson (USG) e utilização dos softwares Mimics segmentação e modelagem de P3D. Os objetos 3D foram então gerados, suavizados e exportados como arquivos STL e , depois, impressos em resina.	Os P3D de tetralogia de Fallot são tecnicamente factíveis de ser elaborados e podem ser impressos em resina multicolorida.
Shui et al. ¹⁰	Estudo de coorte	A partir de imagem de TC, RM e ecocardiografia é possível produzir P3D.	A acurácia dos P3D é determinada principalmente pela qualidade das imagens obtidas.
Bagaria et al. ¹¹	Estudo de coorte multicêntrico	Cinquenta P3D foram produzidos para auxiliar casos cirúrgicos.	Todos os cirurgiões reportaram que os protótipos foram úteis para o planejamento, simulação e referência no campo cirúrgico.
Marro et al. ¹²	Estudo de revisão sistemática	O estudo detalha as etapas de confecção de P3D e as formas de impressão mais utilizadas.	Os P3D estão ampliando sua utilização em diversas áreas médicas à medida que novas tecnologias surgem.
Bagaria et al. ¹³	Estudo de revisão sistemática	O estudo detalha as evoluções da prototipagem e as aplicações no campo médico.	A utilização de impressão 3D, com o avanço tecnológico, vai permitir a produção de bioprotótipos, tecidos e órgãos.

Artigo de Revisão

Ryan et al. ¹⁴	Estudo de coorte	Estudo comparado variáveis cirúrgicas em 79 casos de patologias cardíacas congênitas com confecção de protótipos em relação a casos sem modelos 3D.	A utilização de modelos 3D reduziu o tempo cirúrgico na sala operatória por favorecer um melhor planejamento e referências anatômicas.
Rankin et al. ¹⁵	Estudo de revisão sistemática	O total de 261 estudos foram incluídos no estudo: 5% usavam DICOM, 38% TC, 20% R M, 28% USG e 9% bioprint.	A prototipagem 3D tem ampla utilização no planejamento, simulação e confecção de próteses. A simplificação dos softwares vai favorecer uma maior aplicação dessa tecnologia.
Fadero et al. ¹⁶	Estudo descritivo	O estudo descreve as etapas de processamento da imagem 3D a partir da TC e suas aplicações na medicina.	O processamento das imagens em 3D precisa ser simplificado para ampliar a utilização dessa tecnologia.
Bizzotto et al. ¹⁷	Estudo de coorte	No estudo foram confeccionados 40 protótipos e analisados seu impacto no planejamento cirúrgico e informação aos pacientes.	A utilização de P3D facilita o planejamento cirúrgico e aumenta a compreensão dos pacientes dos procedimentos realizados.
Karsenty et al. ¹⁸	Ensaio clínico	Avaliar a compreensão das cardiopatias dos estudantes dividindo em 2 grupos: um com modelos 3D e outro sem modelo.	A utilização de modelos 3D melhorou a compreensão dos estudantes e sua satisfação na aprendizagem.
Preece et al. ¹⁹	Ensaio clínico	Avaliou a compreensão das cardiopatias dos estudantes dividindo em 3 grupos: modelos 3D, livros de texto e modelos de computador.	O grupo de estudantes com P3D apresentou melhor compreensão de anatomia.
Biglino et al. ²⁰	Estudo transversal	A utilização de P3D facilitou a compreensão de estudantes: em relação à anatomia (86%), orientação espacial (70%) e complexidade anatômica (66%).	Os P3D são importantes ferramentas para compreensão das cardiopatias congênitas.
White et al. ²¹	Estudo transversal	A utilização de P3D facilita a compreensão de cardiopatias congênitas complexas (Fallot), mas não houve diferença em patologias como CIA e CIV.	Os P3D facilitam a compreensão dos estudantes, mas o impacto maior é em cardiopatias complexas.
Su W et al. ²²	Estudo transversal	Estudantes que tiveram contatos com P3D tiveram melhor compreensão sobre as cardiopatias congênitas.	A utilização de P3D aumenta o interesse dos estudantes e a aprendizagem das cardiopatias.

CIA: comunicação interatrial; CIV: comunicação interventricular; DICOM: digital imaging and communications in medicine; RM: ressonância magnética; STL: standard triangular language; TC: tomografia computadorizada; USG: ultrassonografia; P3D: protótipos 3D; 3D: tridimensional.

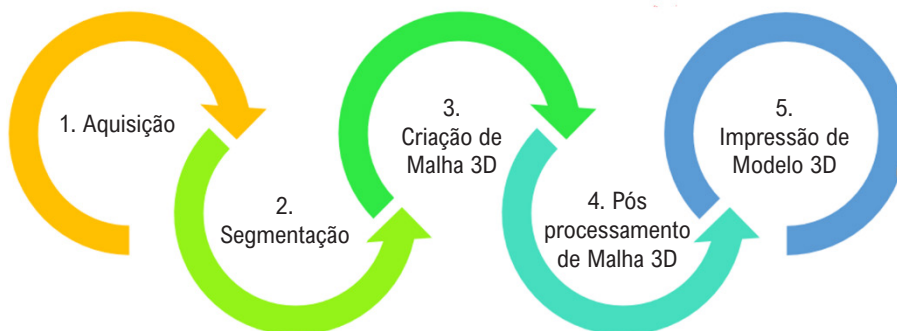


Figura 1 – Etapas necessárias à criação de modelos anatômicos baseados em exames de imagem e impressão 3D

principais: o formato de imagem fornecido e a espessura das imagens que é da ordem de 1 a 5 mm, enquanto que as fatias de imagens utilizadas nos processos de prototipagem rápida são em torno de 0,25 mm. Existem inúmeros métodos de reconstrução e visualização de objetos 3D a partir de suas seções transversais. Os principais métodos podem ser classificados em duas categorias, os métodos baseados em volume e baseados em superfície.¹²

Após a aquisição do objeto em 3D, é realizado o pós-processamento de malha do objeto 3D que consiste em torná-lo visualmente agradável e realçar as características necessárias à compreensão da peça. Nesta fase, 3 passos devem ser levados à risca para que o processo seja realizado da melhor forma possível: *repairing*, *cleaning* e *smoothing*. No *repairing* é fundamental localizar os locais onde há falhas na imagem e assim poder corrigi-las, tornando a superfície do objeto o mais regular possível. Um dos softwares mais usados atualmente para essa etapa é o Meshmixer, software gratuito do Autodesk, entretanto existe outros com ferramentas adicionais como o Mimics. No *cleaning*, usa-se um algoritmo para reduzir o ruído sem que haja perda das informações anatômicas. No *smoothing*, regulariza e alisa a superfície da imagem para melhorar a qualidade e a definição da imagem 3D a ser impressa.¹¹

Na impressão 3D, várias tecnologias são empregadas na fabricação de modelos 3D, entre elas: modelagem por

deposição de material fundido (ou modelação por extrusão de plástico ou modelação por fusão e deposição – FDM), estereolitografia (SLA), sinterização seletiva por laser (SLS), impressão tridimensional (TDP), fabricação de objetos por camadas (LOM), entre outros de maior especificidade, e inkjet. As mais utilizadas na área médica são a FDM, SLA e SLS.¹³

O FDM constrói as peças por deposição de um material termoplástico extrudido. A cabeça injetora traça os perímetros da sessão transversal e preenche-os construindo assim cada camada. Já o SLS permite a construção de modelos físicos utilizando materiais na forma de pó. O pó é processado em um ambiente inerte e termicamente controlado no interior de uma câmara. Ele atinge a temperatura de fusão (sinterização) por ação de um laser de CO₂. Depois de uma camada ser sinterizada, uma nova é depositada e assim sucessivamente até finalizar a construção da peça (Figuras 2 e 3). A técnica SLA tem como princípio a fotopolimerização da resina líquida, em que um feixe de laser traça um padrão na superfície da resina líquida que se solidifica e constrói a peça camada por camada. A SLA barateou e popularizou a impressão 3D, já que permite a produção de várias peças em um só tempo com alto grau de precisão.

Os custos para a produção de protótipos ou modelos 3D reduziram com a introdução dessas novas tecnologias e barateamento do material. Impressoras 3D de FDM custam

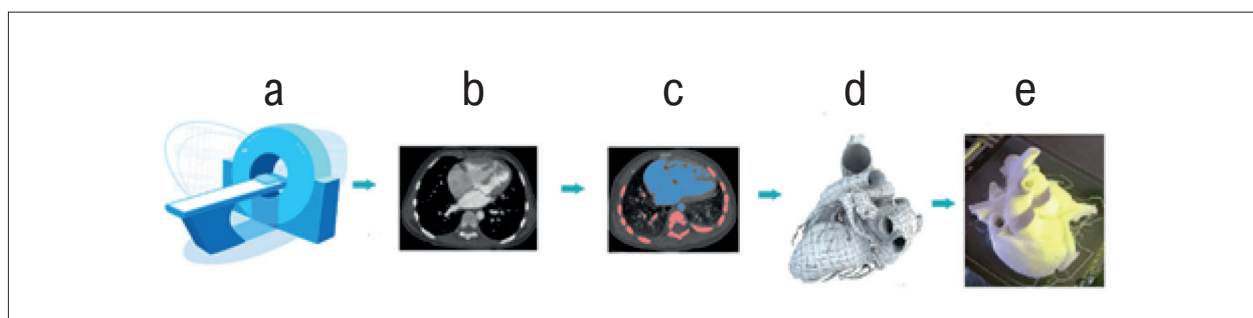


Figura 2 – Etapas da criação de modelos 3D: a) utilização de equipamento de produção de imagem; b) aquisição da imagem; c) segmentação da imagem; d) reconstrução de modelo 3D; e) impressão de modelo computacional pela impressora 3D (figuras próprias).



Figura 3 – Construção dos modelos 3D: a) *cleaning* e *smoothing* realizados no software; b) modelo estimado para confecção pela impressora; c) modelo produzido (figuras próprias).

Artigo de Revisão

1.000 reais brasileiros, já impressoras profissionais de SLS giram em torno de 25.000 reais. O material para as impressoras 3D custa de 250 a 500 reais por kg, já o material da SLS custa de 500 a 2.000 reais por kg.

Discussão

Nos últimos anos, houve avanço na aplicação dos sistemas de prototipagem rápida na medicina em diversas especialidades. Assim, torna-se necessário desenvolver uma revisão de literatura sobre a aplicabilidade da técnica nessa área da saúde, considerando-se a escassez de trabalhos na literatura que possam, de maneira sintética, auxiliar na confecção de modelos 3D.

Aplicação na medicina

A análise pré-operatória pode ser considerada uma das aplicações mais úteis da tecnologia de impressão 3D. Procedimentos cirúrgicos em áreas de anatomia complexa com alto risco de lesão de estruturas nobres são beneficiadas com a prototipagem rápida dos modelos 3D.¹⁵

Vários programas CAD permitem atualmente a realização de planejamento cirúrgico virtual (virtual surgical planning – VSP) com um entendimento melhor da geometria espacial, das relações anatômicas, e da possibilidade de se programar acessos cirúrgicos menos invasivos.¹⁶

Alguns trabalhos demonstram que a tecnologia de impressão 3D em planejamento e realização de procedimentos cirúrgicos leva: à diminuição do tempo cirúrgico, diminuição de perda de sangue no intraoperatório, diminuição do tempo de exposição à radiação ionizante durante o procedimento cirúrgico, redução de complicações e à provável melhora nos resultados cirúrgicos.¹³

Outro grande benefício da aplicação desta tecnologia encontra-se também na comunicação da equipe médica com pacientes e familiares. A utilização de modelos anatômicos para informar sobre o tipo de tratamento cirúrgico proposto promove um melhor entendimento da condição clínica do paciente, da programação cirúrgica, da reabilitação e maior adesão ao tratamento, contribuindo para melhora na relação médico-paciente.¹⁷

Importância dos P3D nas cardiopatias congênitas

A cardiopatia congênita é o mais comum dos defeitos ao nascimento ocorrendo em cerca de 9 a cada 1.000 nascidos vivos. Isso corresponde anualmente a 1,35 milhão de recém-nascidos com doenças no coração dos quais 70% necessitarão de tratamento durante o primeiro ano de vida.¹⁸ Esses pacientes necessitam de cuidados e acompanhamento durante toda a vida, do manejo interdisciplinar na atenção primária ao seguimento especializado com a cardiologia clínica, cardiologia intervencionista e cirurgia cardíaca pediátrica.

O ensino das cardiopatias congênitas é predominantemente baseado em representações 2D dos defeitos cardíacos. As ferramentas educacionais para o ensino nesse contexto incluem simples diagramas em livros, textos, imagens de ecocardiografia, angiografia ou até mesmo aquelas

adquiridas de modalidades avançadas de imagem como TC ou RM. A habilidade de traduzir imagens 2D em representações mentais 3D das lesões é um ponto crucial no aprendizado. A manipulação tátil e a utilização de vários sentidos é capaz de promover maior apreciação espacial e o entendimento de anatomias complexas.¹⁹

Iniciativas promissoras utilizando a tecnologia de modelagem e impressão 3D foram desenvolvidas para o melhor entendimento de anatomias cardíacas complexas. Biglino et al.²⁰ citam a importância dessa ferramenta no treinamento de profissionais de enfermagem cardiológica e reforçam a otimização dos protótipos através de tarjas, cores que destacam as lesões de importância e o uso de material educacional complementar. White et al.²¹ descrevem que a incorporação de modelos impressos em 3D durante sessões didáticas de ensino propicia maior entendimento imediato dos residentes de pediatria e emergência pediátrica. Su et al.²² em estudo controlado, utilizaram P3D de defeitos do septo ventricular como adjuvante no ensino de estudantes de medicina. Os resultados pós-teste evidenciaram melhores resultados nos domínios “aquisição de conhecimento” e “conceitualização estrutural” no grupo 3D reiterando a efetividade do uso dessa tecnologia para a educação médica.

Em recente revisão sistemática brasileira, Oliveira et al.¹ compilaram 9.253 publicações em “3-D printing” e 497 publicações em “heart 3-D printing” e concluíram que os modelos impressos em 3D estão auxiliando fellows, residentes e cirurgiões na prática e planejamento cirúrgico até mesmo de casos raros, ajudando os demais profissionais de saúde no melhor entendimento das doenças e aumentando a compreensão de pais e familiares sobre a patologia da criança.

Dentre as limitações desse estudo estão a heterogeneidade dos estudos selecionados, possíveis vieses de estudos individuais e rápida evolução dos métodos de prototipagem rápida, tornando alguns métodos pouco utilizados atualmente.

A maior parte dos estudos e modelos cardíacos 3D são obtidos a partir de angiotomografia ou RM, que em geral produzem imagem de melhor resolução. Entretanto, estruturas finas e móveis são melhor visualizadas pela C3D. A impressão 3D reproduz as diferenças entre os métodos de imagem a partir dos quais ela foi construída, portanto, defeitos septais e doenças valvares são melhor representados pela C3D e a anatomia dos grandes vasos e suas relações com as câmaras são bem representados pela TC e RM. Em alguns casos, pode-se lançar mão de biomodelos feitos a partir dos dois métodos.

Conclusão

A impressão em P3D é uma tecnologia em construção. Ela ainda apresenta limitações e desafios para garantir melhor qualidade ao produto. Entre elas, podemos destacar a precisão da montagem, a construção de modelos com mesmas propriedades mecânicas dos tecidos, o menor tempo de preparação e o custo econômico.

Os modelos de impressão em 3D de cardiopatias congênitas estão auxiliando fellows, residentes e cirurgiões na prática e planejamento cirúrgico, até mesmo de casos raros, ajudando os demais profissionais de saúde no melhor entendimento das doenças e aumentando a compreensão de pais e familiares sobre a patologia da criança.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa: Freitas MB; obtenção de dados: Freitas MB, Lima RM; análise e interpretação dos dados: Freitas MB, Figueiredo JL, Cajueiro FC, Lima RM; análise estatística: Cajueiro FC; redação do manuscrito: Freitas MB, Freitas MH; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Figueiredo JL, Freitas MH, Lima RM, Teixeira CM.

Referências

1. Oliveira MAB, Santos CAD, Brandi AC, Botelho PHH, Braille DM. Three-Dimensional Printing: is it Useful for Cardiac Surgery? *Braz J Cardiovasc Surg.* 2020;35(4):549-54. doi: 10.21470/1678-9741-2019-0475.
2. Liaw CY, Guvendiren M. Current and Emerging Applications of 3D Printing in Medicine. *Biofabrication.* 2017;9(2):024102. doi: 10.1088/1758-5090/aa7279.
3. Lau I, Sun Z. Three-Dimensional Printing in Congenital Heart Disease: a Systematic Review. *J Med Radiat Sci.* 2018;65(3):226-36. doi: 10.1002/jmrs.268.
4. Han F, Co-Vu J, Lopez-Colon D, Forder J, Bleiweis M, Reyes K, et al. Impact of 3D Printouts in Optimizing Surgical Results for Complex Congenital Heart Disease. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2019;10(5):533-8. doi: 10.1177/2150135119852316.
5. Chen SA, Ong CS, Hibino N, Baschat AA, Garcia JR, Miller JL. 3D Printing of Fetal Heart Using 3D Ultrasound Imaging Data. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2018;52(6):808-9. doi: 10.1002/uog.19166.
6. Byrne N, Forte MV, Tandon A, Valverde I, Hussain T. A Systematic Review of Image Segmentation Methodology, Used in the Additive Manufacture of Patient-Specific 3D Printed Models of the Cardiovascular System. *JRSM Cardiovasc Dis.* 2016;5:2048004016645467. doi: 10.1177/2048004016645467.
7. Olivieri LJ, Krieger A, Loke YH, Nath DS, Kim PC, Sable CA. Three-Dimensional Printing of Intracardiac Defects from Three-Dimensional Echocardiographic Images: Feasibility and Relative Accuracy. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(4):392-7. doi: 10.1016/j.echo.2014.12.016.
8. Alves L, Braga F. Protoclick: Prototipagem Rápida. Porto: Protoclick; 2001.
9. Guo YT, Hou N, Liang JH, Zhang ZK, Cao TS, Yuan LJ. Three-Dimensional Printed Multicolor Normal and Abnormal Fetal Hearts Based on Ultrasound Imaging Data. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2020;55(3):421-2. doi: 10.1002/uog.20392.
10. Shui W, Zhou M, Chen S, Pan Z, Deng Q, Yao Y, et al. The Production of Digital and Printed Resources from Multiple Modalities Using Visualization and Three-Dimensional Printing Techniques. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2017;12(1):13-23. doi: 10.1007/s11548-016-1461-9.
11. Bagaria V, Chaudhary K. A Paradigm Shift in Surgical Planning and Simulation Using 3Dgraphy: Experience of First 50 Surgeries Done Using 3D-Printed Biomodels. *Injury.* 2017;48(11):2501-8. doi: 10.1016/j.injury.2017.08.058.
12. Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-Dimensional Printing and Medical Imaging: a Review of the Methods and Applications. *Curr Probl Diagn Radiol.* 2016;45(1):2-9. doi: 10.1067/j.cpradiol.2015.07.009.
13. Bagaria V, Bhansali R, Pawar P. 3D Printing-Creating a Blueprint for the Future of Orthopedics: Current Concept Review and the Road Ahead!. *J Clin Orthop Trauma.* 2018;9(3):207-12. doi: 10.1016/j.jcot.2018.07.007.
14. Ryan J, Plasencia J, Richardson R, Velez D, Nigro JJ, Pophal S, et al. 3D Printing for Congenital Heart Disease: a Single Site's Initial Three-Year experience. *3D Print Med.* 2018;4(1):10. doi: 10.1186/s41205-018-0033-8.
15. Rankin TM, Wormer BA, Miller JD, Giovinco NA, Al Kassiss S, Armstrong DG. Image Once, Print Thrice? Three-Dimensional Printing of Replacement Parts. *Br J Radiol.* 2018;91(1083):20170374. doi: 10.1259/bjr.20170374.
16. Fadero PE, Shah M. Three Dimensional (3D) Modelling and Surgical Planning in Trauma and Orthopaedics. *Surgeon.* 2014;12(6):328-33. doi: 10.1016/j.surge.2014.03.008.
17. Bizzotto N, Tami I, Tami A, Spiegel A, Romani D, Corain M, et al. 3D Printed Models of Distal Radius Fractures. *Injury.* 2016;47(4):976-8. doi: 10.1016/j.injury.2016.01.013.
18. Karsenty C, Guitarte A, Dulac Y, et al. The usefulness of 3D printed heart models for medical student education in congenital heart disease. *BMC Med Educ.* 2021;21(1):480-8. doi: 10.1186/s12909-021-02917-z.
19. Preece D, Williams SB, Lam R, Weller R. „Let's Get Physical”: Advantages of a Physical Model Over 3D Computer Models and Textbooks in Learning Imaging Anatomy. *Anat Sci Educ.* 2013;6(4):216-24. doi: 10.1002/ase.
20. Biglino G, Capelli C, Konioridou D, Robertshaw D, Leaver LK, Schievano S, et al. Use of 3D Models of Congenital Heart Disease as an Education Tool for Cardiac Nurses. *Congenit Heart Dis.* 2017;12(1):113-8. doi: 10.1111/chd.12414.
21. White SC, Sedler J, Jones TW, Seckeler M. Utility of Three-Dimensional Models in Resident Education on Simple and Complex Intracardiac Congenital Heart Defects. *Congenit Heart Dis.* 2018;13(6):1045-9. doi: 10.1111/chd.12673.
22. Su W, Xiao Y, He S, Huang P, Deng X. Three-Dimensional Printing Models in Congenital Heart Disease Education for Medical Students: a Controlled Comparative Study. *BMC Med Educ.* 2018;18(1):178. doi: 10.1186/s12909-018-1293-0.

Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte de tese de Doutorado de Milton Benevides Freitas pela UFPE.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons