REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2025, Vol. 15, No. 31
DOI 10.23972/det2025iss31pp01-09

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Explorando o potencial da impressão 3D na educação médica: inovações e perspectivas para o ensino da anatomia

Bruno S. S. Farias[1]; Karina P. Bomtempo[1]; Carla C. Menezes2; Ramon F. de O. Costa[3] José E. Sereno[3]

1 *Departamento de Desenho e Tecnologia da UFMA*

2 *Departamento de Medicina de Pinheiro da UFMA*

3 *Discente UFMA*

RESUMO

A anatomia humana constitui o pilar fundamental da formação em saúde; entretanto, o ensino tradicional enfrenta obstáculos crescentes, como a escassez de espécimes cadavéricos, dilemas éticos e a limitação de atlas bidimensionais na representação fidedigna da tridimensionalidade orgânica. Este estudo piloto investigou a viabilidade e a eficácia pedagógica de modelos anatômicos cardíacos produzidos via manufatura aditiva, visando validar um novo recurso didático-tecnológico para o ensino médico. A metodologia seguiu um fluxo de design que integrou a modelagem manual em argila, a digitalização 3D por luz estruturada e o processamento digital no software *Blender* para a criação de "modelos cegos" — estruturas morfológicas simplificadas que funcionam como guias háticos para a subsequente aplicação da Técnica de Modelagem do Coração (TMC). A materialização dos protótipos utilizou a tecnologia de Fabricação por Filamento Fundido (FFF) em polímero PLA (ácido polilático). A intervenção foi aplicada a uma amostra de nove discentes do curso de medicina, que executaram as etapas de blocagem e escultura detalhada sobre os modelos impressos. A avaliação da experiência ocorreu por meio de um instrumento estruturado em escala Likert de 5 pontos (onde 1 representa "excelente") e análise de feedbacks qualitativos discursivos. Os resultados indicaram alta satisfação e eficácia percebida, com médias estatísticas situadas entre 1,0 e 1,4. Destacaram-se a clareza do suporte pedagógico via videoaulas e a utilidade do modelo físico na compreensão de volumes, sulcos e estruturas vasculares complexas. A discussão, amparada por evidências da literatura internacional recente, demonstra que a manipulação de modelos háticos personalizados reduz a carga cognitiva e estimula habilidades manuais, a propriocepção e a capacidade de observação anatômica. Conclui-se que a impressão 3D, aliada ao design instrucional, atua como uma ferramenta mediadora eficaz, capaz de democratizar o acesso a materiais de alta fidelidade e promover o aprendizado ativo em ambientes descentralizados. Embora o caráter piloto limite generalizações imediatas, os achados validam o protocolo tecnológico-pedagógico e justificam a expansão do método em currículos médicos modernos e interdisciplinares.

PALAVRAS-CHAVE

Design;
Recursos didáticos;
Impressão 3D.

Exploring the potential of 3D printing in medical education: innovations and perspectives for teaching anatomy

ABSTRACT

Human anatomy constitutes the fundamental pillar of healthcare education; however, traditional teaching faces growing obstacles, such as the scarcity of cadaveric specimens, ethical dilemmas, and the limitations of two-dimensional atlases in the reliable representation of organic three-dimensionality. This pilot study investigated the viability and pedagogical efficacy of cardiac anatomical models produced via additive manufacturing, aiming to validate a new didactic-technological resource for medical teaching. The methodology followed a design workflow that integrated manual clay modeling, structured light 3D scanning, and digital processing in *Blender* software to create "blind models"—simplified morphological structures that function as haptic guides for the subsequent application of the Heart Modeling Technique (HMT). The materialization of the prototypes utilized Fused Filament Fabrication (FFF) technology with PLA (polylactic acid) polymer. The intervention was applied to a sample of nine medical students, who executed the blocking and detailed sculpting stages over the printed models. The experience was evaluated through a structured 5-point Likert scale instrument (where 1 represents "excellent") and the analysis of qualitative discursive feedback. The results indicated high satisfaction and perceived efficacy, with statistical means between 1.0 and 1.4. Key highlights included the clarity of pedagogical support via video lessons and the utility of the physical model in understanding complex volumes, sulci, and vascular structures. The discussion, supported by evidence from recent international literature, demonstrates that the manipulation of personalized haptic models reduces cognitive load and stimulates manual skills, proprioception, and anatomical observation capacity. It is concluded that 3D printing, combined with instructional design, acts as an effective mediating tool, capable of democratizing access to high-fidelity materials and promoting active learning in decentralized environments. Although the pilot nature limits immediate generalizations, the findings validate the technological-pedagogical protocol and justify the expansion of the method in modern, interdisciplinary medical curricula.
.

KEYWORDS

Design;
Educational Resources;
3D Printing.

CONTATO: Bruno S. S. Farias – *fabiogt@ufrgs.br*

© 2025 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

A anatomia humana constitui o pilar fundamental da formação dos profissionais de saúde, sendo essencial para a compreensão das estruturas e funções complexas do organismo. Historicamente, o estudo anatômico é pautado na dissecção cadavérica; entretanto, essa prática enfrenta desafios contemporâneos significativos, como a escassez de espécimes, custos elevados de manutenção de biotérios, questões éticas rigorosas e a dificuldade de representar patologias raras ou estruturas de difícil visualização em modelos preservados. Conforme aponta Bartellas (2016), a transição do conhecimento teórico de atlas bidimensionais para a compreensão espacial tridimensional é um dos maiores obstáculos cognitivos enfrentados pelos discentes no início da graduação.

Nesse contexto, a tecnologia de manufatura aditiva surge como uma alternativa revolucionária, permitindo a materialização de objetos complexos a partir de modelos digitais com precisão sem precedentes. Popularmente conhecida como impressão 3D, essa tecnologia compreende diferentes processos, como a Estereolitografia (SLA), que utiliza resinas fotopolimerizáveis; a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), baseada em materiais em pó; e a Fabricação por Filamento Fundido (FFF). Esta última, aplicada nesta pesquisa, baseia-se na extrusão de filamento termoplástico (como o PLA) camada por camada. Optou-se pela nomenclatura técnica FFF em detrimento da sigla comercial FDM (Fused Deposition Modeling) por tratar-se de um termo tecnicamente preciso em publicações científicas e de domínio público, evitando o uso de marcas registradas.

A aplicação da impressão 3D na área da saúde tem demonstrado eficácia não apenas na fabricação de próteses e órteses personalizadas, mas também na criação de modelos anatômicos háticos que aumentam a acurácia de procedimentos cirúrgicos (CARREIRA; MANSO; MONTEIRO, 2022). No âmbito educacional, evidências científicas robustas, como a meta-análise conduzida por Ye et al. (2020), comprovam que a manipulação de modelos impressos em 3D melhora significativamente a aquisição de conhecimento e a retenção de longo prazo em comparação aos métodos tradicionais. Além disso, a tecnologia permite a democratização do acesso a materiais didáticos de alta fidelidade em instituições que enfrentam barreiras logísticas para a obtenção de cadáveres (ABOUHASHEM et al., 2015).

Tal abordagem alinha-se às tendências modernas de metodologias ativas, transformando o papel do estudante de receptor passivo em agente ativo no processo de aprendizagem. A modelagem de órgãos humanos, conforme destacado por Menezes e Sereno (2020), oferece uma percepção espacial aprimorada, motiva os discentes e desenvolve habilidades manuais e de observação cruciais para a prática clínica futura. A integração do design com a medicina abre caminhos para a personalização de recursos educacionais e a experimentação de materiais inovadores, exigindo uma colaboração multidisciplinar que identifica e resolve problemas complexos nos processos educativos.

Em razão disso, o presente estudo piloto objetiva avaliar a viabilidade e a eficácia pedagógica de modelos anatômicos cardíacos produzidos por manufatura aditiva (FFF). O foco reside na investigação de como a utilização de "modelos cegos" — estruturas simplificadas que privilegiam a forma macroscópica — pode auxiliar estudantes na compreensão de volumes e relações espaciais complexas do coração. Ao explorar o potencial desta tecnologia, busca-se consolidar a impressão 3D como uma ferramenta valiosa, tornando o ensino da anatomia mais acessível, envolvente e eficaz na medicina moderna.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de impressão 3D, tecnicamente denominado Manufatura Aditiva (MA), oferece um potencial disruptivo para a inovação em diversos campos, transcendendo a prototipagem rápida para alcançar a fabricação de produtos finais funcionais. A capacidade de produzir geometrias complexas e personalizadas permite o design de componentes otimizados, maximizando a funcionalidade e a durabilidade, ao passo que reduz o desperdício de matéria-prima (Ford; Despeisse, 2016).

Para compreender este potencial, é necessário distinguir as principais tecnologias de MA, que variam conforme o método de deposição e o estado do material:

- Estereolitografia (SLA): Utiliza resinas fotopolimerizáveis curadas por laser, oferecendo alta precisão e acabamento superficial superior.
- Sinterização Seletiva a Laser (SLS): Baseia-se na fusão de pós (geralmente polímeros ou metais) através de um laser de alta potência, dispensando estruturas de suporte devido ao leito de pó circundante.
- Fabricação por Filamento Fundido (FFF): Consiste na extrusão de filamentos termoplásticos aquecidos. Por ser a tecnologia de menor custo operacional e maior facilidade de manutenção, tornou-se a mais difundida em ambientes educativos. Ressalta-se a opção pelo termo técnico FFF em detrimento da sigla comercial FDM (*Fused Deposition Modeling*), visando preservar o rigor acadêmico e evitar o uso de marcas registradas.

2.1 A Impressão 3D como Ferramenta de Aprendizagem Ativa

Vários autores (Silveira neto et al., 2019; Maciel; Arruda; Oliveira, 2022) destacam que a MA atua como um catalisador para metodologias ativas e o movimento *Maker*. O impacto desta tecnologia na promoção de métodos de ensino interativos manifesta-se em diversas frentes:

- Educação Inclusiva: A capacidade de converter dados digitais em formas tangíveis permite criar modelos táteis essenciais para pessoas com deficiência visual. Isso amplia o alcance pedagógico, transformando conceitos abstratos em artefatos físicos compreensíveis pelo toque.
- Inovação no Design e Desenvolvimento de Produtos: No design, a MA permite o ciclo de prototipagem rápida, onde o erro é encarado como parte do processo iterativo. Isso viabiliza o desenvolvimento de protótipos ergonômicos com requisitos de conforto e segurança otimizados, reduzindo drasticamente os custos e o tempo entre a concepção e a validação.
- Educação Visual e Percepção Espacial: A visualização de estruturas tridimensionais engaja alunos em problemas concretos. Segundo Ye et al. (2020) e Yammine e Violato (2016), modelos 3D melhoram significativamente a percepção espacial — habilidade crítica em áreas como engenharia e saúde — superando as limitações de visualização impostas por atlas e telas 2D.

2.2 Eficácia Pedagógica no Ensino de Anatomia

No campo da saúde, a literatura reforça que a impressão 3D atua como um recurso didático de alta fidelidade que democratiza o acesso a materiais práticos. Este avanço é particularmente vital diante da escassez global de espécimes

cadavéricos e dos dilemas éticos associados (Abouhashem et al., 2015).

A manipulação de modelos háticos oferece uma ponte vital entre a teoria anatômica e a prática clínica. Abouhashem et al. (2015) ressaltam que a MA permite a replicação infinita de estruturas anatômicas a um custo inferior à manutenção de laboratórios de anatomia tradicionais. Complementarmente, Bartellas (2016) evidencia que o uso desses modelos transcende o ensino básico, sendo uma ferramenta valiosa no treinamento cirúrgico de residentes, pois melhora a confiança e a compreensão de patologias complexas e variações anatômicas raras.

O fluxo de trabalho na área médica geralmente envolve a conversão de exames de imagem (como tomografias e ressonâncias) em modelos digitais, que são então fatiados para a impressão, garantindo uma fidelidade anatômica paciente-específica.

2.3 Desafios de Implementação e Sustentabilidade

Apesar dos avanços, a implementação sistêmica da MA nas instituições de ensino enfrenta barreiras. Existe a necessidade de absorver custos iniciais de equipamentos e, principalmente, de capacitar pessoal especializado para operar o fluxo digital (modelagem, fatiamento e pós-processamento). No design, a necessidade de entender as propriedades mecânicas e térmicas dos materiais aumenta a curva de aprendizado (DfAM - *Design for Additive Manufacturing*).

Além disso, a sustentabilidade tornou-se uma preocupação central. Designers e educadores devem priorizar alternativas sustentáveis, como o uso de filamentos biodegradáveis (ex: PLA - Ácido Polilático) e a busca por métodos de reciclagem de resíduos de impressão. É vital equilibrar o uso da tecnologia com métodos pedagógicos que promovam o pensamento crítico, garantindo que a ferramenta não substitua a reflexão intelectual, mas a potencialize através da materialização de ideias.

3. O PROCESSO PROJETUAL

No contexto da impressão 3D, o design assume um papel estratégico que transcende a forma, atuando diretamente na reestruturação da cadeia de valor. Ao converter produtos tradicionalmente complexos em componentes consolidados, a manufatura aditiva permite a redução do número de peças (part consolidation), simplificando a montagem e minimizando falhas estruturais. Essa transformação resulta em cadeias de suprimentos mais curtas, descentralizadas e sustentáveis, uma vez que a produção pode ocorrer no local de demanda (point-of-need), reduzindo custos logísticos e emissões de carbono (Despeisse et al., 2017).

Entretanto, o processo de redesign exige um novo conjunto de competências. A interdependência entre a geometria projetada e as propriedades intrínsecas dos materiais (polímeros, resinas ou metais) impõe desafios de validação técnica. Para avançar rumo a uma economia circular, o designer deve prever não apenas a funcionalidade, mas a reciclabilidade dos suportes e a durabilidade dos materiais, experimentando novos polímeros biobaseados que atendam aos requisitos de resistência e biocompatibilidade (Despeisse et al., 2017).

Com base na literatura de autores como Silveira Neto et al. (2019), Wengerkiewicz e Fontana (2022) e Maciel, Arruda e Oliveira (2022), o processo projetual adaptado a este estudo pode ser detalhado e ampliado conforme as seguintes etapas técnicas:

1. Design, Segmentação e Modelagem 3D: A fase inicial envolve a definição geométrica. No campo da saúde, essa etapa é precedida pela segmentação de imagens médicas. Dados volumétricos de exames (DICOM) são processados para isolar a estrutura de interesse (como o miocárdio), convertendo-os em modelos de malha (STL ou OBJ). O design deve garantir que a malha esteja "fechada" (manifold) e pronta para a manipulação digital, onde o designer pode simplificar áreas complexas para criar o "modelo cego", focando na eficácia pedagógica.
2. Preparação e Fatiamento (Slicing): Nesta transição do digital para o físico, utiliza-se a tecnologia de Fabricação por Filamento Fundido (FFF). O software fatiador (como o Ultimaker Cura) gera o código de comando (G-code). Parâmetros como a densidade de preenchimento (infill) e o padrão de preenchimento (ex: grid, gyroid) são cruciais; eles determinam o equilíbrio entre o custo (tempo e material) e a resistência mecânica necessária para o manuseio constante pelos estudantes. A altura da camada define a resolução do modelo, influenciando diretamente a percepção de detalhes anatômicos.
3. Impressão e Pós-processamento Crítico: A manufatura ocorre por adição de camadas, o que pode gerar o "efeito escada" (staircase effect) em superfícies curvas. O pós-processamento, portanto, é uma etapa de design de acabamento. A remoção de suportes deve ser planejada ainda na fase de fatiamento para evitar danos à peça. Acabamentos manuais ou químicos e a aplicação de selantes ou tintas não servem apenas à estética, mas à propriocepção e resposta tátil, permitindo que o modelo simule diferentes texturas teciduais.
4. Testes de Validação e Acurácia: O protótipo é submetido a uma inspeção de acurácia dimensional. No ensino médico, a validação não é apenas técnica, mas pedagógica: verifica-se se a representação visual e tátil é suficiente para a identificação correta dos acidentes anatômicos. Testes de usabilidade com o público-alvo (discentes) medem a eficácia do modelo como ferramenta de apoio à aprendizagem.
5. Ciclos de Iteração e Ajustes: O design na manufatura aditiva é inerentemente iterativo. O feedback coletado (ex: "o modelo é muito leve" ou "a superfície é escorregadia") retorna ao início do ciclo. Ajustes na modelagem original ou recalibragem dos parâmetros de extrusão permitem o refinamento contínuo, garantindo que as versões subsequentes do material didático sejam cada vez mais otimizadas para o ambiente de ensino.

4. O PROCESSO TECNOLÓGICO

A impressão 3D está reconfigurando a distribuição da atividade manufatureira, transformando o paradigma historicamente centralizado em um processo descentralizado, graças ao surgimento de tecnologias avançadas de manufatura digital. Esse avanço cria a possibilidade de uma produção mais localizada e economicamente viável. A visão futura baseada em tais processos sugere uma paisagem diversificada, incluindo cadeias de suprimentos curtas e espaços de produção local (Ford; Despeisse, 2016).

Nesse cenário, a logística passa a focar mais no compartilhamento de arquivos digitais do que no transporte físico de produtos, reduzindo significativamente os impactos ambientais. Entre as vantagens, destaca-se a viabilidade econômica de pequenos lotes personalizados e a produção direta a partir de modelos CAD 3D, eliminando a necessidade de moldes. O processo aditivo também garante economia de material, com altas taxas de reaproveitamento em certas tecnologias (Ford; Despeisse, 2016). No entanto, a

sobreposição de camadas gera o chamado "efeito de escada", muitas vezes exigindo pós-processamento para melhorar a qualidade superficial.

Apesar de revolucionária, a impressão 3D enfrenta limitações técnicas e de design que afetam sua eficácia. Vários autores (Silveira neto et al., 2019; Wengerkiewicz; Fontana, 2022; Maciel; Arruda; Oliveira, 2022) categorizam esses desafios da seguinte forma:

- Volume de Impressão e Materiais: A dimensão máxima dos objetos é restrita pelo "envelope de construção" da impressora, o que limita a produção de peças anatômicas grandes (como um fêmur ou coluna completa) em uma única sessão. Além disso, a variedade de filamentos e resinas, embora crescente, ainda limita as propriedades mecânicas e estéticas da peça final.
- Necessidade de Pós-processamento: A remoção manual de estruturas de suporte e o acabamento de superfície (lixamento/pintura) aumentam o tempo e o custo. Em modelos médicos, esse processo é crítico para garantir que detalhes internos não sejam perdidos.
- Precisão e Resolução: A fidelidade do modelo impresso em relação ao arquivo digital original é desafiadora. Fatores como a contração térmica do material e a resolução da altura da camada podem limitar a percepção de detalhes complexos e texturas orgânicas.
- Durabilidade e Estabilidade Térmica: Questões relacionadas à resistência mecânica e ao envelhecimento dos polímeros utilizados podem restringir a aplicabilidade dos objetos produzidos em condições de uso intenso ou exposição a agentes de esterilização.

5. IMPRESSÃO 3D NA EDUCAÇÃO E NO DESIGN

A educação com impressão 3D (em substituição à sigla impressão 3D, conforme as normas de redação técnica) visa adaptar o aprendizado às necessidades e capacidades individuais dos estudantes, enfatizando uma metodologia centrada no aluno. Esta abordagem incentiva o engajamento ativo no desenvolvimento de projetos, integrando objetos físicos e digitais em ambientes colaborativos (Blikstein; Valente, 2020). A personalização do ensino através dessa tecnologia fomenta competências do século XXI, criando um ambiente de aprendizagem inclusivo e focado na resolução de problemas práticos.

Para avaliar o impacto desse processo na educação, adotam-se os conceitos de Rayna e Striukova (2016) sobre os componentes de valor, adaptando-os ao contexto deste estudo:

- Valor de Proposição: Refere-se à promessa de entrega da instituição. Na educação médica, isso se traduz na oferta de modelos háticos de alta fidelidade que resolvem a escassez de espécimes cadavéricos (YE et al., 2020).
- Valor de Criação: Envolve a combinação de tecnologia e inovação para atender desejos do público. Aqui, destaca-se a técnica de Fabricação por Filamento Fundido (FFF), que permite a prototipagem rápida de anatomias complexas com baixo custo.
- Valor de Logística: Diz respeito à entrega do valor. A impressão 3D permite a descentralização da produção, onde arquivos digitais são distribuídos e impressos localmente, superando barreiras geográficas.
- Valor de Captura: Refere-se à geração de valor sustentável. A captura ocorre ao reduzir custos operacionais de laboratórios tradicionais e aumentar a eficiência do aprendizado (ABOUHASHEM et al., 2015).
- Valor de Comunicação: Relacionado à forma como a instituição demonstra os avanços pedagógicos e a eficácia das novas ferramentas aos estudantes e à comunidade científica.

A partir desse framework, reflete-se sobre a aplicação da impressão 3D na intersecção entre design e educação:

- Proposição: Reduz custos e promove materiais didáticos personalizados. Permite que designers e professores explorem conceitos anatômicos de forma tátil, o que, segundo Bartellas (2016), aumenta significativamente a compreensão espacial em comparação a atlas tradicionais.
- Criação: Estimula a autonomia e a experimentação. Facilita a produção de modelos "cegos" ou patológicos, incentivando o desenvolvimento criativo e a prática de habilidades manuais essenciais na formação médica.
- Logística: Aumenta a eficiência ao atender demandas específicas rapidamente. Modelos podem ser produzidos sob demanda no próprio ambiente acadêmico, eliminando tempos de espera de fornecedores externos.
- Captura: Redefine o modelo educacional ao permitir itens customizados a custos menores. Desafia métodos convencionais e promove a personalização em escala, melhorando a gestão de recursos das faculdades de medicina.
- Comunicação: Melhora a transparência e a eficiência pedagógica. A visualização física de patologias complexas melhora a comunicação entre instrutor e aluno, alinhando as expectativas de aprendizado aos resultados práticos observados.

6. TÉCNICA DE MODELAGEM DO CORAÇÃO (TMC)

A TMC teve como referência a técnica de modelagem do coração descrita por Menezes e Sereno (2020). Inicialmente partiu-se para o estudo do modelo cego, no qual foram identificados os volumes correspondentes às câmaras cardíacas (ventrículos direito e esquerdo; átrios direito e esquerdo), às aurículas (direita e esquerda) e vasos da base (artéria tronco pulmonar, artéria aorta, veia cava superior, veia cava inferior, veias pulmonares (superiores e inferiores, direitas e esquerdas). Também se identificou a base do coração, o ápice, suas faces (esternocostal, pulmonar e diafragmática), bem como os sulcos: interventricular anterior, interventricular posterior e coronário.

Em seguida, foi realizada a blocagem do modelo cego-etapa assim denominada para designar o acréscimo de massa de modelar ao modelo cego. A blocagem foi realizada por regiões, considerando a forma de cada uma, a situação e suas inter-relações. Dessa forma, nesse momento da técnica já obtivemos o modelo com a configuração geral do órgão.

Com o modelo cego devidamente blocado, partiu-se para a modelagem propriamente dita de cada região, com acréscimo ou retirada de material, para dar forma ao órgão, mantendo a situação e a interrelação correta dos elementos. Utilizou-se principalmente a retirada de material no entorno dos sulcos, o que permitiu evidenciar e individualizar as estruturas adjacentes.

O material removido em torno dos ventrículos deu-lhes forma convexa. A aurícula direita, situada lateralmente ao sulco coronário, foi evidenciada separando-a da artéria aorta, da artéria tronco pulmonar e veia cava superior.

A artéria tronco pulmonar foi modelada em forma de um pequeno cilindro logo na saída do ventrículo direito.

Material foi retirado em torno da aurícula esquerda, mantendo a posição correta entre ela e a artéria tronco pulmonar (à direita), o ventrículo esquerdo (abaixo) e o átrio esquerdo (atrás).

Para representar a artéria aorta foi construído um pequeno cilindro, individualizando-o das estruturas adjacentes: artéria tronco pulmonar (à frente e à esquerda), aurícula direita (lateralmente) e veia cava superior (à direita e atrás).

O material removido em torno do átrio direito deu-lhe a forma de uma bolsa arredondada (seio das veias cavas) localizada póstero-inferiormente à aurícula direita. A veia cava superior foi representada como um pequeno cilindro na parte superior da bolsa, posicionado entre a artéria aorta (à esquerda), e a aurícula direita (à frente e à direita). Na parte inferior do átrio direito foi feita uma depressão circular que correspondeu ao óstio da veia cava inferior.

De maneira similar, foi realizada a modelagem do átrio esquerdo, em formato de bolsa com extensão látero-lateral, na base do coração. A extremidade direita da bolsa relaciona-se com a parte superior do seio das veias cavas (à direita) e sua extremidade esquerda é contínua com a aurícula esquerda (à frente).

Quatro pequenos cilindros, foram construídos e posicionados em cada extremidade do átrio esquerdo, sendo um superior e o outro inferior. Cada um corresponde respectivamente, no lado direito, à veia pulmonar superior e inferior direitas; e no lado esquerdo, à veia pulmonar superior e inferior esquerdas.

Por fim, foram modelados dois cilindros para representar os ramos da artéria tronco pulmonar: a artéria pulmonar esquerda e direita. A primeira, em sua origem, situa-se logo acima da veia pulmonar superior esquerda. A artéria pulmonar direita segue seu trajeto acima primeiramente, do átrio esquerdo e logo depois, acima da veia pulmonar superior direita.

7. O PROJETO

Foram desenvolvidos pré-modelos em 3D a partir de um protótipo em argila, moldado manualmente para representar a estrutura básica de um coração humano (Figura 1). Este modelo, denominado "modelo cego", apresenta as proporções reais do órgão e suas subdivisões simplificadas, sem o detalhamento anatômico completo, o que favorece a aprendizagem ativa e o foco na morfologia macroscópica. A transição do meio físico para o digital foi realizada através de um scanner 3D de mesa giratória EinScan-SE (Shining3D), que possui precisão de 0,01 mm e utiliza tecnologia de luz branca de LED.

Devido à baixa reflexão de luz pelo material cerâmico cru da argila, foi necessário recobrir o modelo com uma camada branca uniforme e fosca utilizando um spray revelador, otimizando a captura da geometria. O escaneamento foi executado em duas posições distintas, com oito paradas em cada ciclo, utilizando pontos de controle para garantir o alinhamento preciso das nuvens de pontos. O arquivo gerado (extensão .STL) foi processado no software Blender, onde foram removidas imperfeições e marcas dos pontos de controle através da ferramenta de suavização (smooth), preparando o modelo definitivo para o fatiamento.

A preparação da peça para a materialização utilizou o software Ultimaker Cura, compatível com a impressora utilizada (Creality Ender 3). A técnica empregada foi a de impressão 3D por filamento fundido (Fused Filament Fabrication – FFF). Optou-se por essa nomenclatura técnica em detrimento da sigla comercial FDM (Fused Deposition Modeling), que é protegida por marca registrada, garantindo a precisão terminológica acadêmica. Os parâmetros definidos no fatiador foram:

- Densidade do preenchimento (Infill): 10%
- Espessura da parede: 0.8 mm
- Padrão de preenchimento: Grid (Grelha)
- Suporte: Tipo Árvore (Tree Support)
- Temperatura do bico: 200 °C
- Temperatura da mesa: 50 °C

O material utilizado foi o PLA (Ácido Polilático), o polímero mais comum nos processos de impressão 3D por sua facilidade de uso e propriedades mecânicas adequadas para modelos didáticos. O tempo médio de impressão para cada exemplar do coração foi de aproximadamente 5 horas e 10 minutos.



Figura 1 Fase do desenvolvimento – Modelo em argila, escaneamento, modelo em PLA

Em seguida, nove alunos ($n=9$) integrantes da disciplina Eixo 2 do curso de medicina (UFMA – Campus Pinheiro) foram selecionados por conveniência para participar deste estudo piloto de viabilidade. A adoção de uma amostra reduzida justifica-se pelo caráter exploratório da pesquisa, que visa validar o fluxo de trabalho e a usabilidade dos modelos antes de uma aplicação em larga escala. Os critérios de inclusão compreenderam estar regularmente matriculado na referida disciplina e ter disponibilidade para participar das atividades síncronas e assíncronas; como critério de exclusão, considerou-se a não entrega do modelo finalizado ou do questionário de avaliação.

O processo foi estruturado como uma inovação pedagógica para aprimorar o entendimento prático da anatomia cardíaca, seguindo estas etapas:

1. Planejamento e Implementação: Inicialmente, distribuíram-se os "modelos cegos" (representações simplificadas impressas em FFF). Estes serviram como base para a técnica de modelagem manual, permitindo que os estudantes focassem na morfologia macroscópica sem a distração de detalhes complexos iniciais.
2. Processo Educacional: Foram disponibilizadas videoaulas (Figura 2) que guiavam os estudantes pelas fases da modelagem. O conteúdo focava na morfologia externa e na orientação espacial do órgão. O aprendizado foi gerenciado via Google Meet e Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), garantindo o suporte necessário para a execução sequencial das tarefas.
3. Avaliação e Feedback (Instrumento): A avaliação deu-se por um questionário estruturado com questões qualitativas e quantitativas (Escala Likert de 5 pontos). O instrumento abordou variáveis como "facilidade de manuseio do modelo" e "percepção de ganho de conhecimento espacial". Os dados quantitativos foram submetidos à análise estatística descritiva (cálculo de média ± desvio padrão), fornecendo indicadores sobre a eficácia da técnica. Adicionalmente, fotografias dos modelos finais foram enviadas para avaliação visual pela docente.
4. Interações e Comunicação: Durante o estudo, manteve-se uma comunicação frequente através do AVA, com feedbacks contínuos sobre o progresso das modelagens e lembretes de prazos, assegurando a aderência dos alunos ao protocolo pedagógico.
5. Resultados e Validação: Os resultados foram discutidos em sessão online dedicada à avaliação dos modelos. O sucesso desta etapa piloto permitiu identificar grupos aptos a participar de um Projeto de Validação da Tecnologia Educacional, consolidando o método para investigações futuras com grupos controle.

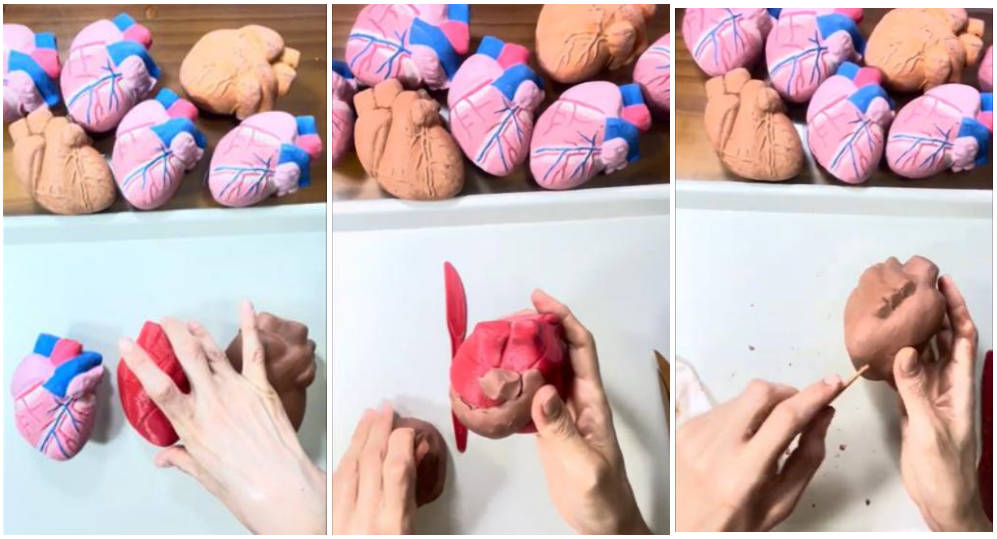


Figura 2 Vídeo aulas.

Tabela 1 Cronograma das atividades

Data	Atividade	Descrição/Notas
Outubro	1. Introdução ao Projeto	Lançamento do projeto, entrega do material didático e explicação do processo de modelagem com modelo cego.
	2. Distribuição do Kit de Modelagem	Entrega dos kits de modelagem aos alunos.
	3. Entrega dos Modelos Cegos	Distribuição dos modelos cegos para iniciar a modelagem.
	4. Primeiro Encontro Remoto	Encontro para discussão das primeiras impressões e esclarecimento de dúvidas sobre o projeto e a técnica de modelagem.
Novembro	5. Segundo Encontro Remoto	Encontro para revisão do progresso e dicas de modelagem. Link do encontro distribuído na plataforma.
	6. Envio das Fotos dos Modelos	Prazo final para o envio das fotografias dos modelos de coração em quatro vistas diferentes.
	7. Avaliação dos Modelos e Feedback	Análise das fotos enviadas pelos grupos, feedback da professora e recomendações para aprimoramento.
Dezembro	8. Distribuição do Formulário de Avaliação	Envio do formulário de avaliação da técnica de modelagem
	9. Agradecimento e Encerramento do Semestre	Aviso de agradecimento pela participação e colaboração de todos, e votos de ótimas festas de fim de ano.

(Fonte: Elaborado pelos autores)

As etapas presenciais, mediadas por tecnologia, compreenderam dois encontros síncronos para demonstração da técnica e resolução de dúvidas. O fluxo de execução do estudo piloto, desde a introdução dos conceitos até a coleta final de dados, está detalhado no cronograma de atividades (Tabela 1).

A aplicação prática da técnica resultou na materialização de estruturas anatômicas pelos discentes, cujos resultados qualitativos podem ser observados na Figura 3, que ilustra o nível de fidelidade alcançado a partir do uso do modelo impresso em 3D como guia hático.



Figura 3 Resultado dos discentes

Após o encerramento das etapas práticas, os discentes ($n=9$) consentiram em responder ao instrumento de pesquisa, fornecendo subsídios para avaliar a eficácia pedagógica da intervenção. O questionário buscou mensurar a experiência dos estudantes a partir de variáveis quantitativas e qualitativas, estruturadas nos seguintes eixos de análise:

1. Eficácia do Recurso Hático: Utilidade do "modelo cego" (impresso em FFF) como guia para a compreensão espacial.
2. Qualidade Pedagógica: Adequação da linguagem e clareza das videoaulas como suporte ao aprendizado autodirigido.
3. Desenvolvimento de Competências: Percepção de ganho em habilidades manuais, capacidade de observação anatômica e retenção de conhecimento morfológico.
4. Fidelidade Representativa: Grau de realismo alcançado no modelo final em comparação à anatomia cardíaca real.
5. Avaliação Crítica: Identificação de pontos fortes e oportunidades de aprimoramento para futuras iterações da técnica.

Os dados coletados permitiram uma análise multidimensional, cruzando a percepção técnica do design (usabilidade do objeto impresso) com a eficácia educacional (aprendizado da anatomia), conforme discutido a seguir.

8. VALIDAÇÃO DO PROCESSO E DISCUSSÃO

A avaliação do estudo piloto foi estruturada para mensurar a eficácia da intervenção pedagógica sob perspectivas quantitativas e qualitativas. A amostra ($n=9$) apresentou um perfil demográfico jovem, com idades entre 18 e 46 anos (predomínio da faixa de 18 a 22 anos), composta integralmente por discentes de medicina.

Os dados coletados via escala de Likert (onde 1 representa "Excelente" e 5 representa "Ruim") revelaram um alto índice de

satisfação e percepção de utilidade. As médias obtidas situaram-se entre 1,0 e 1,4, indicando que a tecnologia e a metodologia foram amplamente aprovadas (Tabela 2).

Tabela 2 Perguntas avaliativas

Questões avaliativas	Média
Modelo preliminar quanto à aderência da massa de modelar	1,4
Vídeo aulas quanto à nitidez das imagens e à qualidade dos materiais apresentados	1,4
Modelo preliminar similar a do coração	1,3
Modelo preliminar quanto à dureza necessária para realizar a blocagem com segurança	1,3
TM quanto ao estudo da anatomia do coração, considerando também o aprimoramento da capacidade de observação e da habilidade manual, e ainda de forma lúdica	1,3
Modelo preliminar como ferramenta de suporte para a realização da TM	1,2
Modelo preliminar obtenção de um modelo final na forma aproximada do órgão	1,1
As vídeo aulas nos aspectos do conteúdo e da sequência de apresentação	1,1
Etapas apresentado para a execução da TM	1,1
Estilo de linguagem no que se refere à acessibilidade e clareza de informações	1,0
Grau de correspondência entre o estilo de linguagem e o nível de conhecimento do público-alvo	1,0
Modelo do coração em cerâmica, que serviu de referência para a modelagem	1,0

(Fonte: Elaborado pelos autores)

8.1 Discussão e Feedback Qualitativo

A análise das respostas discursivas permitiu aprofundar o entendimento sobre os resultados quantitativos. Os pontos positivos e as sugestões de melhoria foram categorizados para refletir o impacto da impressão 3D na educação médica:

- Efetividade do "Modelo Cego" e Percepção Espacial: Os discentes enfatizaram que a estrutura simplificada do modelo serviu como um "mapa hático". Esse resultado corrobora a tese de Bartellas (2016), que defende que modelos físicos reduzem a carga cognitiva e facilitam a transição da teoria para a prática tridimensional. A similaridade (média 1,3) valida o processo de digitalização e impressão em FFF como técnica fiel para fins didáticos.
- Aprendizado Ativo e Engajamento: O feedback indicou que a técnica estimulou a "busca ativa de conhecimento". Este engajamento é um indicador de eficácia pedagógica, conforme discutido por Ye et al. (2020), cujos estudos demonstram que a manipulação de modelos 3D aumenta a retenção de conhecimento a longo prazo em comparação com métodos puramente visuais.
- Apoio Multimodal (Videoaulas): A clareza da linguagem e a sequência de etapas (médias 1,0 e 1,1) mostram que a integração entre o objeto físico e o suporte digital é fundamental. A autonomia proporcionada pelas videoaulas permitiu o aprendizado no ritmo do estudante, um pilar da educação personalizada (Blikstein; Valente, 2020).

8.2 Reflexões sobre o Framework de Valor

A convergência dos dados com o modelo de Rayna e Striukova (2016) permite concluir que:

1. Valor de Proposição e Criação: A técnica reduziu a complexidade do ensino anatômico ao oferecer protótipos de baixo custo e alta fidelidade. A sugestão discente de aumentar o detalhamento interno dos modelos aponta para o próximo ciclo de iteração do design, visando uma "proposição" ainda mais robusta.
2. Logística e Captura: A eficiência na distribuição do conhecimento foi potencializada pela descentralização permitida pela manufatura aditiva. A capacidade de produzir modelos sob demanda elimina gargalos de fornecimento e democratiza o acesso ao material prático (Abouhashem et al., 2015).
3. Avanços no Design Educacional: A técnica desafia os métodos tradicionais de ensino (atlas e cadáveres) ao promover uma redefinição do design pedagógico focado na personalização e na autonomia do aluno.

9. CONCLUSÃO

A integração da impressão 3D na educação médica, especificamente por meio da técnica de Fabricação por Filamento Fundido (FFF), representa uma transformação significativa nas metodologias de ensino. Este estudo piloto demonstrou que a materialização de modelos anatômicos personalizados permite uma compreensão hática e interativa da anatomia humana, superando limitações de atlas bidimensionais. Como evidenciado pela percepção discente e corroborado pela literatura (YE et al., 2020; BARTELLAS, 2016), a manipulação dessas estruturas fortalece a retenção de conhecimento e aprimora a percepção espacial, competência crucial para a prática clínica e cirúrgica.

A versatilidade da tecnologia enfatiza a necessidade de uma abordagem interdisciplinar entre designers, educadores e profissionais de saúde. O design, neste contexto, atua como o elo que traduz dados complexos em recursos didáticos ergonômicos e funcionais. Embora os resultados imediatos sejam promissores, reconhece-se que este estudo é uma etapa exploratória. Investigações futuras devem focar no acompanhamento longitudinal dos estudantes para mensurar o impacto dessa formação na competência profissional a longo prazo, comparando o desempenho de egressos expostos a modelos físicos com grupos submetidos apenas ao ensino tradicional.

No que tange aos desafios, a rápida evolução tecnológica exige atualizações curriculares constantes para evitar a obsolescência de métodos e materiais. É imperativo que futuras pesquisas explorem a otimização do fluxo digital e a inclusão de modelos táteis adaptados para estudantes com deficiências, promovendo uma educação verdadeiramente inclusiva.

Por fim, ressaltam-se os aspectos éticos e ambientais intrínsecos à manufatura aditiva. A reprodução de anatomias

baseadas em exames de imagem reais deve seguir rigorosos protocolos de anonimização e consentimento informado. Quanto à sustentabilidade, o uso de polímeros como o PLA utilizados nesta pesquisa representa um avanço, mas o campo demanda o desenvolvimento de materiais ainda mais eco-friendly e processos energeticamente eficientes. A consolidação da impressão 3D como componente fundamental da educação moderna dependerá da capacidade de alinhar inovação tecnológica com responsabilidade ética e ambiental, preparando os estudantes para um cenário de prática médica personalizada e inovadora.

REFERÊNCIAS

1. ABOUHASHEM, Y. et al. The application of 3D printing in anatomy education. **Medical Education Online**, [s. l.], v. 20, n. 1, 29847, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.3402/meo.v20.29847. Acesso em: 22 dez. 2025.
2. BARTELLAS, M. Three-dimensional printing and medical education: a narrative review of the literature. **University of Ottawa Journal of Medicine**, Ottawa, v. 6, n. 1, p. 38-43, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.18192/uojm.v6i1.1515. Acesso em: 22 dez. 2025.
3. BLIKSTEIN, P.; VALENTE, J. A.; MOURA, É. M. Educação Maker: onde está o currículo?. **Revista e-Curriculum**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 523-544, abr./jun. 2020. Disponível em: http://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum. Acesso em: 22 dez. 2025.
4. CARREIRA, A. S.; MANSO, D. G. S.; MONTEIRO, G. G. A utilização e aplicação da impressora 3D na área de saúde. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 8, n. 9, p. 1952-1968, set. 2022. Disponível em: https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/6896. Acesso em: 11 ago. 2023.
5. DESPEISSE, M. et al. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 115, p. 75-84, fev. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.021. Acesso em: 22 dez. 2025.
6. FORD, S.; DESPEISSE, M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 137, p. 1573-1587, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/jjclepro.2016.04.150. Acesso em: 22 dez. 2025.
7. MENEZES, C. C.; SERENO, J. E. **Modelagem Anatômica em Modelos Cegos**. São Luís: Trema E-books, 2020.
8. RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 102, p. 214-224, jan. 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.011. Acesso em: 22 dez. 2025.
9. SILVEIRA NETO, W. D.; SANTOS, C. T.; BRANDÃO, C. S. P. Método de ensino de software CAD 3D - O vídeo como elemento facilitador da aprendizagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 13., 2018, Joinville. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 850-864.
10. WENGERKIEWICZ, S. C.; FONTANA, I. M. Estudo de Impressão 3D em Materiais Têxteis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 14., 2022. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2022. p. 2100-2117.
11. YAMMINE, K.; VIOLATO, C. 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature. **Health Professions Education**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 46-52, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.hpe.2016.05.002. Acesso em: 22 dez. 2025.
12. YE, Z. et al. The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: a systematic review and meta-analysis. **BMC Medical Education**, [s. l.], v. 20, n. 335, p. 1-12, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12909-020-02242-x. Acesso em: 22 dez. 2025.