

Impressão 3D no ensino de anatomia das doenças cerebrovasculares

3D printing in the teaching of anatomy of cerebrovascular diseases

La impresión 3D en la enseñanza de la anatomía de las enfermedades cerebrovasculares

Recebido: 27/09/2022 | Revisado: 07/10/2022 | Aceitado: 14/11/2022 | Publicado: 20/11/2022

Igor Mundim Zendron

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4179-0929>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: igorzendron@gmail.com

Guilherme Henrique Iaccino Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6878-4177>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: guilhermeehib@gmail.com

Matheus Hernandes Vieira Vaz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5703-0214>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: matheus_hernandes_1234@hotmail.com

Thaís Ribeiro Garcia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5658-4151>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: thaisrgarcia13@hotmail.com

Rafaela Melo Macedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8005-5236>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: melorafamed@gmail.com

Caroline Almeida Resplande

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3024-1513>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: carolineresplande@outlook.com

Larissa Schults Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3788-3014>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: larissaschultsteixeira@gmail.com

Guilherme Martins Tolini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5252-6053>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: guilherme.tolini1@gmail.com

Anna Laura Silva Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1398-7812>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: annalauradeoliveira@hotmail.com

Jackellyne Alves Peres Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6429-1009>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: gomes.jackxx@gmail.com

Marina Angélica Magalhães de Brito

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7021-566X>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: marinabrito16@hotmail.com

Jalsi Tacon Arruda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7091-4850>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: jalsitacon@gmail.com

Resumo

A produção de modelos a partir da impressão 3D é uma técnica extremamente inovadora para ser utilizada nas práticas de ensino. Além de replicar as peças já existentes no laboratório de anatomia, pode produzir outras peças baseadas em casos clínicos registrados a partir de exames de imagem, de forma detalhada. Assim, o presente estudo relata as aplicações técnicas da impressão tridimensional no ensino da anatomia das doenças cerebrovasculares. Trata-se de um estudo descritivo, baseado em uma revisão integrativa da literatura, utilizando artigos que abordaram o tema, encontrados a partir de buscar por estudos com os termos MeSH “three-dimensional printing” e “cerebrovascular diseases”. Nos cursos de ciências da saúde, a utilização de modelos tridimensionais vem sendo

cada vez mais comum. A construção de peças 3D pode ser usada como ferramenta para uma maior compreensão do paciente a respeito de sua condição, para melhorar o planejamento pré-operatório e ainda o ensino de técnicas cirúrgicas de alta complexidade, como nos procedimentos terapêuticos de malformações arteriovenosas e aneurismas cerebrais. Além da utilização da impressão 3D no processo de ensino aprendizagem de residentes e acadêmicos, os modelos tornaram-se uma ferramenta bastante eficaz no aumento da compreensão dos pacientes quanto as doenças cerebrovasculares.

Palavras-chave: Aneurisma; Bioimpressão; Educação médica; Inovação; Tecnologia.

Abstract

The production of models from 3D printing is an extremely innovative technique to be used in teaching practices. In addition to replicating the pieces already existing in the anatomy laboratory, it can produce other pieces based on clinical cases recorded from image exams, in a detailed way. Thus, the present study reports the technical applications of three-dimensional printing in teaching the anatomy of cerebrovascular diseases. This is a descriptive study, based on an integrative literature review, using articles that addressed the topic, found by searching for studies with the MeSH terms “three-dimensional printing” and “cerebrovascular diseases”. In universities of health sciences, the use of three-dimensional models has been increasingly common. The construction of 3D parts can be used as a tool for a greater understanding of the patient regarding their condition, to improve preoperative planning and even the teaching of highly complex surgical techniques, such as in therapeutic procedures for arteriovenous malformations and brain aneurysms. In addition to the use of 3D printing in the teaching-learning process of residents and academics, models have become a very effective tool in increasing patients' understanding of cerebrovascular diseases.

Keywords: Aneurysm; Bioprinting; Medical education; Innovation; Technology.

Resumen

La producción de modelos a partir de la impresión 3D es una técnica extremadamente innovadora para ser utilizada en las prácticas docentes. Además de replicar las piezas ya existentes en el laboratorio de anatomía, puede producir otras piezas a partir de casos clínicos registrados a partir de exámenes de imagen, de forma detallada. Así, el presente estudio reporta las aplicaciones técnicas de la impresión tridimensional en la enseñanza de la anatomía de las enfermedades cerebrovasculares. Se trata de un estudio descriptivo, basado en una revisión integrativa de la literatura, utilizando artículos que abordaban el tema, encontrados mediante la búsqueda de estudios con los términos MeSH “impresión tridimensional” y “enfermedades cerebrovasculares”. En las universidades de ciencias de la salud, el uso de modelos tridimensionales ha sido cada vez más común. La construcción de piezas 3D puede ser utilizada como herramienta para un mayor conocimiento del paciente en cuanto a su estado, para mejorar la planificación preoperatoria e incluso la enseñanza de técnicas quirúrgicas de alta complejidad, como en procedimientos terapéuticos de malformaciones arteriovenosas y aneurismas cerebrales. Además del uso de la impresión 3D en el proceso de enseñanza-aprendizaje de residentes y académicos, los modelos se han convertido en una herramienta muy eficaz para aumentar la comprensión de los pacientes sobre las enfermedades cerebrovasculares.

Palabras clave: Aneurisma; Bioimpresión; Educación médica; Innovación; Tecnología.

1. Introdução

A disciplina de anatomia humana é uma das mais antigas ciências não só da medicina, mas de todos os cursos da área da saúde. Está presente nos currículos de formação superior e técnica, visto que a compreensão da morfologia do organismo humano tem fundamental importância para o entendimento do seu funcionamento (Salbego et al., 2015; Mendonça et al., 2021). Observa-se que as atuais e ainda predominantes práticas de ensino, como a dissecação de cadáveres, apresentam algumas limitações (Wu et al., 2018).

Nota-se que na maioria das instituições de ensino há uma grande demanda por materiais orgânicos de estudo, visto a burocracia das leis brasileiras para aquisição de cadáveres, tornando a relação alunos/peças anatômicas desigual, o que pode prejudicar o aprendizado dos estudantes (Soares Neto et al., 2021; Ye et al., 2020). Outra importante limitação desse recurso de ensino é a depreciação natural das peças orgânicas, reduzindo a qualidade e a riqueza de detalhes na compreensão das estruturas anatômicas (Louredo et al., 2021).

Dessa forma, a produção de biomodelos a partir da impressão 3D é uma técnica extremamente inovadora para ser utilizada nas práticas de ensino, como uma forma de suprir parte das demandas apresentadas pelos cadáveres (Soares Neto et al., 2020). Essa metodologia pode, além de replicar as peças já existentes no laboratório de anatomia, produzir outras peças

baseadas em casos clínicos registrados a partir de exames de imagem, de forma detalhada ilustrando casos clínicos e variações anatômicas (Utiyama et al., 2014). Esse recurso viabiliza a produção de um extenso banco de dados que pode também ser disponibilizado online (Garcia et al., 2022). Nesse sentido, entende-se que essa tecnologia pode ser incorporada as práticas como um complemento para fortalecer a relação ensino-aprendizagem com novas metodologias ativas, visto que os alunos terão acesso a um banco de dados extenso e replicável, e conseguirão absorver o conhecimento a partir desses modelos práticos (Vukicevic et al., 2017).

Pensando nessa possibilidade da impressão 3D partindo de imagens obtidas nos exames médicos, os aneurismas intracranianos são protuberâncias adquiridas das artérias intracranianas (Soldozy et al., 2019). A ruptura de um aneurisma numa artéria cerebral média é considerada uma das principais causas de hemorragia subaracnóidea (Navratil et al., 2017), cursando com significativa morbimortalidade e grande impacto socioeconômico, uma vez que possui um complexo manejo e resulta em inúmeras sequelas para o paciente quando não tratada de forma rápida e eficaz (Daou et al., 2019). Diante disso, é importante que os acadêmicos e médicos tenham uma boa compreensão a respeito da rede arterial cerebral e da fisiopatologia dos aneurismas, o que muitas vezes não ocorre apenas com a visualização de exames de imagens, visto a dificuldade em realizar uma completa avaliação anatômica, principalmente no que tange as relações espaciais e dimensões cerebrovasculares reais (El Sabbagh et al., 2018).

Sendo assim, considerando o amplo espectro de aplicações e benefícios que a técnica de impressão tridimensional proporciona em diversas áreas do conhecimento, tem-se que sua inserção no processo de ensino-aprendizagem, principalmente na abordagem de um tema de alta relevância como as doenças cerebrovasculares, é crucial, devido ao grande potencial de aprimoramento na compreensão dos acadêmicos a respeito da anatomia e fisiopatologia dessas comorbidades (Gardin et al., 2020). Diante disso, o presente estudo tem como objetivo relatar as aplicações técnicas da impressão tridimensional no ensino da anatomia das doenças cerebrovasculares.

2. Metodologia

Trata-se de um estudo descritivo, baseado em uma revisão integrativa da literatura, a qual é um método de pesquisa que permite a síntese de múltiplos estudos e possibilita conclusões gerais a respeito de uma particular área de estudo (Koche, 2011). Foram utilizadas as seguintes etapas para a construção desta revisão: identificação do tema; seleção da questão de pesquisa; coleta de dados pela busca na literatura, nas bases de dados eletrônicas, com estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão para selecionar a amostra; elaboração de um instrumento de coleta de dados com as informações a serem extraídas; avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa; interpretação dos resultados e apresentação dos resultados evidenciados. A questão norteadora da pesquisa foi: “quais as aplicações da técnica de impressão tridimensional no ensino de anatomia das doenças cerebrovasculares?”

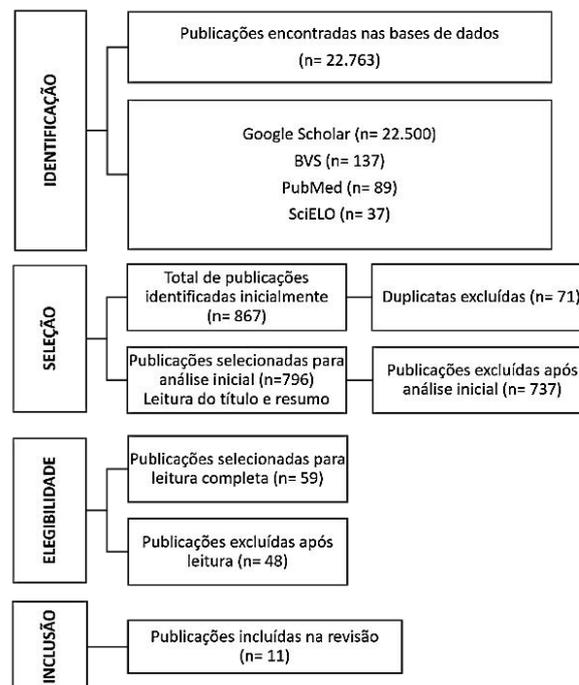
Para responder a tal questionamento termos MeSH foram estabelecidos para a busca de estudos que abordaram o tema: “three-dimensional printing” e “cerebrovascular diseases”, com auxílio do operador Booleano (AND/OR), utilizados em inglês e seus correspondentes em português. A combinação entre os termos utilizados foi a seguinte: (“printing, three dimensional”[MeSH Terms] OR (“printing”[All Fields] AND “three dimensional”[All Fields]) OR “three-dimensional printing”[All Fields] OR (“three”[All Fields] AND “dimensional”[All Fields] AND “printing”[All Fields]) OR “three dimensional printing”[All Fields]) AND (“cerebrovascular disorders”[MeSH Terms] OR (“cerebrovascular”[All Fields] AND “disorders”[All Fields]) OR “cerebrovascular disorders”[All Fields] OR (“cerebrovascular”[All Fields] AND “diseases”[All Fields]) OR “cerebrovascular diseases”[All Fields]).

Para obter resposta a essa questão realizou-se uma busca digital nas bases de dados eletrônicas bibliográficas: National Library of Medicine and National Institutes of Health (PubMed), Scientific Electronic Library Online (SciELO), e

Biblioteca Virtual da Saúde (BVS). Também foi utilizado o Google Acadêmico, com o método de pesquisa avançada. A busca dos estudos primários foi realizada no período de março a agosto de 2022, sem restrição de data da publicação. Os critérios de inclusão dos estudos foram: artigos originais e/ou revisões que atendiam a temática abordada de forma específica, estudos disponibilizados na íntegra; publicados em português ou inglês, sem restrição quanto a data de publicação. Foram incluídos durante as análises: relatos, comentários, cartas ao leitor, duplicatas e a literatura acadêmica (tese, dissertação, monografias, livros, protocolos, manuais, entre outros documentos não indexados). Numa análise inicial, foram excluídas as publicações que não abordavam a temática sobre a impressão tridimensional, ou abordavam seu uso em diferentes áreas, como engenharia, odontologia e algumas especialidades médicas que não corroboravam com a temática proposta neste estudo. Já em uma análise secundária, os estudos que não responderam à questão de pesquisa foram excluídos.

A investigação e seleção dos artigos foram realizadas por 02 pesquisadores independentes, de forma padronizada. Foram comparados os resultados obtidos e consenso entre os pesquisadores. Em casos de divergência, buscou-se um consenso com os demais pesquisadores envolvidos no estudo. O fluxograma apresentado abaixo descreve o processo de seleção dos artigos (Figura 1). Após os processos de seleção e análise dos estudos, esta revisão integrativa incluiu 11 artigos conforme o descrito na tabela 1. Na apresentação da revisão, os resultados foram descritos e discutidos comentando as informações a partir da literatura correlata ao tema do estudo. Por ser uma Revisão Integrativa da Literatura, essa pesquisa não foi submetida a um Comitê de Ética em Pesquisa por não se tratar de uma abordagem com pessoas. Entretanto, foram respeitadas todas as ideias dos autores, conforme preconizado pela lei dos direitos autorais.

Figura 1 - Fluxograma das etapas de seleção dos artigos encontrados nas bases de dados.



Fonte: Autores (2022).

Tabela 1 - Artigos incluídos no presente estudo.

AUTORES – ANO	OBJETIVO DO ESTUDO	DESFECHO – CONCLUSÃO
Li et al., 2020	Avaliar a viabilidade, eficácia e segurança da utilização da reconstrução multiplanar de superfície 3D combinada a tecnologia de impressão tridimensional no auxílio da microcirurgia do arco da sobrancelha no tratamento de aneurismas intracranianos.	Em comparação com a microcirurgia convencional de abordagem do arco de sobrancelha, a impressão tridimensional combinada a reconstrução multiplanar de superfície 3D mostrou-se mais segura e eficaz, com uma melhora recuperação pós-operatória e menos incidência de complicações.
Zhang et al., 2020	Investigar a eficácia e praticidade da cirurgia endoscópica guiada por modelo impresso em 3D para o tratamento da hemorragia dos gânglios da base.	O procedimento de evacuação endoscópica guiada por modelos faciais 3D no tratamento da hemorragia intracraniana, apresentou resultados satisfatórios quanto a segurança e eficácia. Porém, um grande estudo prospectivo é necessário para comprovar os achados do presente estudo.
Nagassa et al., 2019	Replicar, por meio da impressão tridimensional, a anatomia craniana específica do paciente, a patologia e as propriedades do tecido humano relevantes para a intervenção do aneurisma de artéria cerebral média.	A peça 3D foi desenvolvida e apresentou alto índice de fidelidade e precisão, sendo utilizado como simulador para os residentes de neurocirurgia.
Yi et al., 2019	Reproduzir a anatomia cerebral por meio da impressão 3D e utilizar os modelos construídos no ensino, comparando com o estudo a partir de imagens bidimensionais e tridimensionais.	O ensino a partir da metodologia tridimensional, seja por imagem ou com modelos impressos, mostrou uma eficácia maior em comparação com a metodologia bidimensional. Além disso, os alunos avaliaram de forma mais positiva o estudo a partir de modelos 3D quando comparado com imagens tridimensionais.
Dong et al., 2018	Avaliar a viabilidade de fabricação de modelos 3D, validar a fidelidade do modelo intraoperatório e o uso de modelos no planejamento cirúrgico, consulta ao paciente e treinamento de residentes.	Modelos 3D podem ser construídos com elevada fidelidade e provaram ser úteis em consultas pré-operatórias do paciente, no planejamento cirúrgico e no treinamento de residentes.
El Sabbagh et al., 2018	Destacar as aplicações da impressão 3D em doenças cardiovasculares e cerebrovasculares e discutir suas limitações e direções futuras.	A impressão 3D possibilita o reconhecimento espacial das complexas relações anatômicas dos pacientes, auxiliando no planejamento cirúrgico, complementando os exames de imagem convencionais. A técnica possui certas limitações, que provavelmente serão superadas no futuro.
Muniz & Moraes., 2018	Desenvolver modelos 3D da anatomia do sistema nervoso central e anatomia cerebrovascular e avaliar sua aplicabilidade como recurso em aulas de anatomia.	Os modelos 3D tiveram um ótimo feedback dos alunos em relação a dinâmica da aula, porém não foi possível afirmar que o uso de peças tridimensionais superou o ensino tradicional quanto ao resultado do teste pós aula.
Sullivan et al., 2018	Avaliar a eficácia da reconstrução 3D na simulação da inserção de um desviador de fluxo para tratamento de um aneurisma de artéria cerebral interna.	O ensaio pré-operatório utilizando o modelo 3D de alta fidelidade permitiu a detecção de problemas com um dos dispositivos devido alterações vasculares não percebidas nas imagens, além de um menor tempo operatório.
Wang et al., 2018	Construir modelos impressos em 3-D de aneurismas intracranianos, com base em angiografia por subtração digital (DSA), e analisar sua aplicação clínica.	Modelos de impressão tridimensional construídos com base em angiografia por subtração digital revelaram perfeitamente o aneurisma alvo, auxiliando os neurocirurgiões na seleção da melhor estratégia terapêutica, além de demonstrarem grande utilidade na educação e treinamento de residentes de neurocirurgia.
Sun & Lee., 2017	Analisar as aplicações da impressão 3D e avaliar seu valor clínico em doenças cardiovasculares e cerebrovasculares.	O uso de modelos impressos em 3-D mostrou-se útil tanto no diagnóstico, quanto na educação e planejamento pré cirúrgico de doenças cerebrovasculares e cardiovasculares.
Weinstock et al., 2015	Construir 4 modelos de malformações arteriovenosas cerebrais de 4 pacientes pediátricos utilizando a impressão 3D, avaliar o tempo de impressão necessário e a aplicabilidade clínico cirúrgica das peças produzidas.	Os modelos foram produzidos em menos de 24 horas e replicaram a anatomia cirúrgica e endovascular com altíssima fidelidade. O uso pré-operatório dos modelos tridimensionais também reduziu o tempo cirúrgico dos procedimentos, porém estudos mais aprofundados são necessários para explorar esse potencial benefício do uso da impressão 3D.

Fonte: Autores (2022).

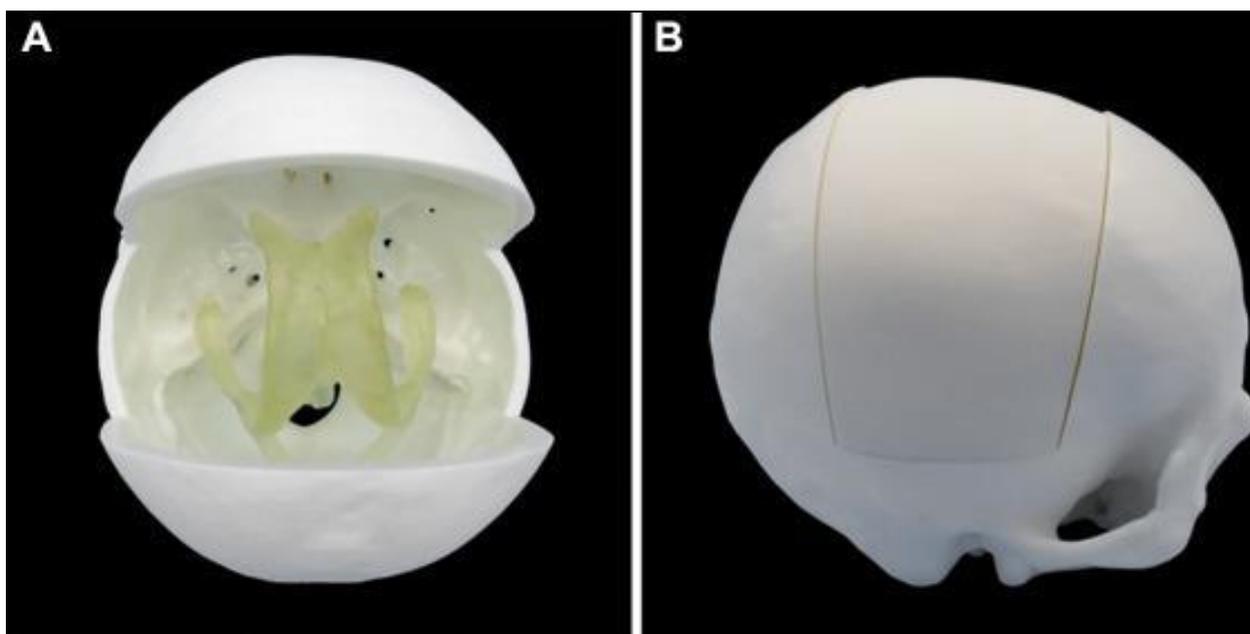
3. Resultados e Discussão

A impressão tridimensional é um importante objeto de estudo das ciências relacionadas a tecnologia. O rápido desenvolvimento da tecnologia relacionada a impressão 3D resultou na criação de computadores e softwares altamente especializados, os quais, a partir de exames de imagem, como Tomografia Computadorizada (TC), Ressonância Magnética (RM) ou Ultrassonografia (USG) são capazes de produzir modelos extremamente nítidos e realistas das estruturas anatômicas representadas nas imagens (Araujo et al., 2021; Duarte et al., 2021; Louredo et al., 2021).

No processo de ensino-aprendizagem a técnica de impressão tridimensional possui inúmeras vantagens como a minimização de problemas éticos e jurídicos presentes na aquisição de peças cadavéricas e principalmente a obtenção de módulos anatômicos autênticos, com a representação dos mínimos detalhes (Rocha et al., 2021). Além disso, impressões 3D permitem o manuseio de estruturas de difícil visualização em imagens 2D, como ossos pequenos, cavidades, variações anatômicas e patologias, oferecendo um engajamento visuoespacial e, conseqüentemente, uma maior compreensão anatomopatológica (Matozinhos et al., 2017).

Nos cursos de ciências da saúde, o uso de modelos tridimensionais vem sendo cada vez mais comum. Yi et al. (2019) realizaram um estudo controlado randomizado para testar o efeito do uso de peças 3D no processo de ensino e aprendizagem do sistema ventricular cerebral. Uma turma de acadêmicos de medicina foi dividida aleatoriamente em dois grupos. Um dos grupos estudou com modelos tridimensionais (Figura 2). Já o outro grupo estudou apenas por imagens bidimensionais. Após a aula de anatomia e o estudo com os métodos disponibilizados no teste, os acadêmicos foram avaliados e verificou-se que o grupo que estudou utilizando os modelos tridimensionais obteve melhores notas na avaliação, em comparação aos acadêmicos que utilizaram apenas as imagens bidimensionais. Isso evidencia um melhor aproveitamento no quesito ensino-aprendizagem quando se opta pelo uso de modelos 3D em comparação com a metodologia bidimensional como as imagens de livros.

Figura 2 - Impressão de modelo tridimensional do crânio e sistema ventricular utilizados no estudo da Fujian Medical University. (A) vista superior do sistema ventricular, (B) vista lateral da peça fechada.



Fonte: Yi et al. (2019).

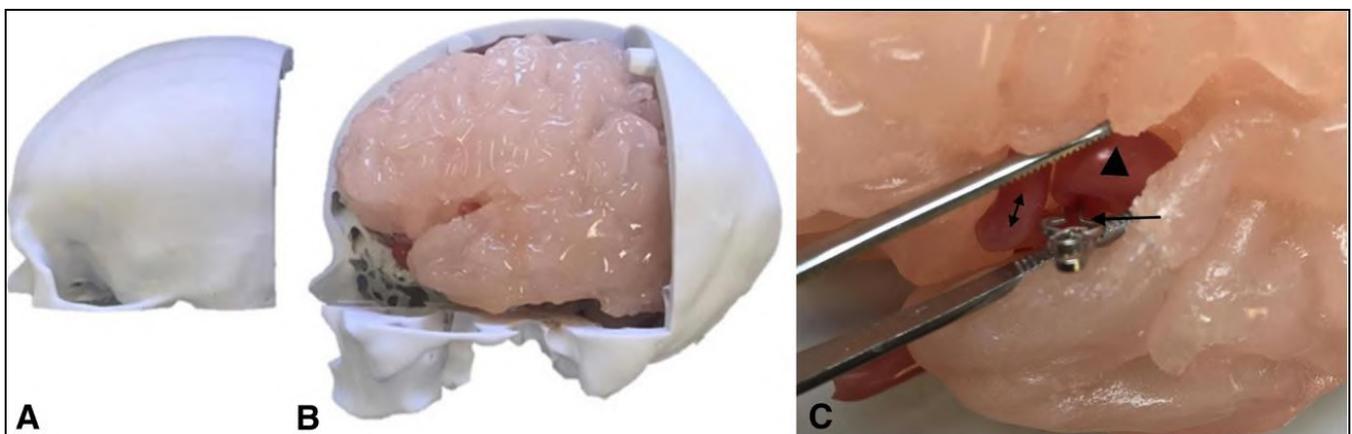
Bartikian et al. (2019) descreveram a impressão tridimensional de ossos do crânio, como temporal, occipital e esfenóide; com alta qualidade e detalhes anatômicos no curso de Medicina da Universidade de Lisboa. A escolha dessa forma

de ensino teve como fundamento a busca por uma abordagem mais realista, com uma noção visuoespacial dos ossos em questão e consequentemente um maior aprendizado dos acadêmicos.

Sobre o ensino de anatomia das doenças cerebrovasculares, o estudo do aneurisma intracraniano, que é uma doença na qual ocorre um alargamento anormal do lúmen do vaso sanguíneo decorrente de uma fraqueza da parede deste, é de extrema relevância; sendo muito importante compreender as estruturas anatômicas nas três dimensões: largura X altura X profundidade (Diagbouga et al., 2018). O rompimento do aneurisma resulta no extravasamento do sangue no tecido nervoso, o que pode levar a um quadro grave de hemorragia subaracnóide. Diante dessa possibilidade de um quadro grave como esse, é imprescindível médicos experientes para manejar essa condição de forma correta e rápida (Neifert et al., 2021).

O ensino da anatomia cerebrovascular e o treinamento de residentes de neurocirurgia é tradicionalmente obtido a partir da observação de cirurgias e pelo uso de cadáveres, os quais possuem elevado custo e ainda envolve a burocracia da legislação para aquisição. Perante isso, os modelos tridimensionais tornam-se cada vez mais atrativos para o ensino da anatomia e treinamento das técnicas cirúrgicas (Wu et al., 2018). No estudo de Nagassa et al. (2019) foi produzido um detalhado modelo tridimensional de um aneurisma de artéria cerebral média (Figura 3). A peça foi desenvolvida a partir de imagens adquiridas por tomografia computadorizada e angiografia associada a algumas imagens de ressonância magnética. O modelo abordou diversos tecidos do corpo, como pele, crânio, meninges, encéfalo, nervos cranianos e a vasculatura cerebral com o aneurisma de artéria cerebral média, o que possibilitou uma compreensão anatomopatológica completa e ainda de maneira palpável.

Figura 3. (a) Remoção de retalho ósseo com modelo de dura-máter aderido na superfície interior, expondo (b) hemisfério cerebral esquerdo com modelo pia-máter aderido. (c) Retração da fissura lateral (fissura de *Sylvius*) do modelo cerebral e aplicação de um clipe cirúrgico no pescoço do aneurisma do modelo vasculatura (setas).



Fonte: Nagassa et al. (2019).

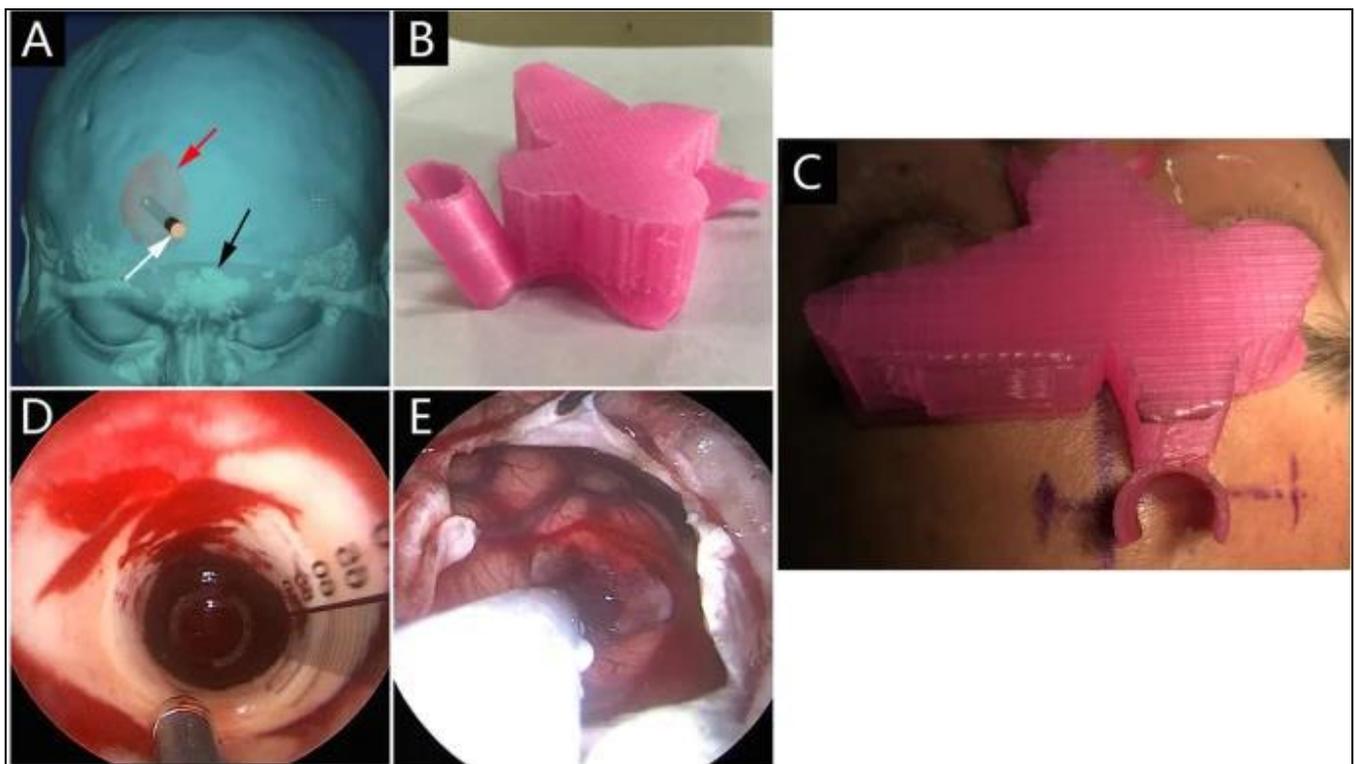
Na China, foram impressos modelos tridimensionais de malformações arteriovenosas cerebrais, as quais foram utilizadas para o estudo dos residentes de neurocirurgia, de forma que esses pudessem conhecer de forma mais detalhada a anatomia e patologia da malformação. As peças utilizadas no estudo demonstraram uma precisão de quase 100% em relação a anatomia cerebrovascular dos pacientes da pesquisa, possibilitando um alto rendimento na compreensão dos residentes quanto as complexidades da microvasculatura cerebral específica de cada paciente e ainda sobre as técnicas cirúrgicas que seriam indicadas para cada um dos casos (Dong et al., 2018).

Além da utilização da impressão tridimensional no processo de ensino aprendizagem de residentes e acadêmicos, os modelos tornaram-se uma ferramenta bastante eficaz no aumento da compreensão dos pacientes quanto as doenças

cerebrovasculares. A partir da visualização e manuseio de peças tridimensionais, que representam com alta precisão a patologia, os pacientes têm a oportunidade de adquirir um maior conhecimento sobre sua comorbidade e ainda em relação a maneira como será realizado o procedimento cirúrgico (Weinstock et al, 2015).

Os modelos 3D, por apresentarem uma anatomia muito realística e fidedigna, podem ser considerados instrumentos extremamente úteis no planejamento cirúrgico para tratamento de patologias cerebrovasculares (Sun & Lee, 2017). As peças tridimensionais exibem detalhes e variações anatômicas específicas dos pacientes de forma palpável, fornecendo dados de grande auxílio aos cirurgiões na decisão da técnica cirúrgica mais apropriada e na realização dos planos cirúrgicos, reduzindo significativamente a taxa de complicações intra e pós-operatórias, comparado com os pacientes expostos ao tratamento de aneurismas cerebrais sem o auxílio da impressão 3D (Li et al, 2020). Além disso, Zhang et al. (2020) utilizaram um modelo tridimensional no intraoperatório de uma evacuação endoscópica de um hematoma intracraniano. A peça produzida tinha como objetivo auxiliar na identificação do ponto de entrada apropriado, na trajetória para o hematoma e na profundidade do endoscópio e mostrou-se um instrumento eficaz, simples e rápido (Figura 4).

Figura 4. (A) A reconstrução 3D foi usada para planejar a trajetória da bainha endoscópica (seta branca). Seio frontal (seta preta), hematoma (seta vermelha). (B) O modelo facial impresso em 3D com orifício guia extracraniano. (C) O modelo facial 3D foi fixado na face do paciente. (D) Visão endoscópica do cateter de aspiração aproximando-se do leito do hematoma através da bainha. (E) Após a eliminação do hematoma, a bainha foi removida, o tecido cerebral ao redor do canal retraiu.



Fonte: Zhang et al., (2020).

Por fim, além das inúmeras aplicações da impressão tridimensional, a evolução dessa tem feito com que a construção de modelos a partir de materiais biológicos possua aplicações cada vez mais interessantes em engenharia de tecidos e medicina regenerativa. Alguns estudos relatam a possibilidade da utilização de células tronco pluripotentes humanas como matéria prima para a citoarquitetura e bioimpressão de tecidos reais, o que futuramente pode facilitar a compreensão e a terapia de certas doenças cerebrovasculares e outras patologias de todo o organismo (Salaris & Rosa, 2019).

4. Considerações Finais

A disciplina de anatomia humana tem passado por diversas mudanças ao longo dos anos. As metodologias tradicionais, como o estudo em cadáveres, apresenta algumas limitações como a burocracia para aquisição das peças cadavéricas, a manutenção das peças e a depreciação natural da peça orgânica. A impressão tridimensional apresenta-se como um método complementar, principalmente no ensino de subáreas de difícil compreensão, como a anatomia cerebrovascular, devido sua capacidade de produção de modelos fidedignos, detalhados, e que possibilitam uma noção visual e espacial de diversos vasos, órgãos e tecidos. Além disso, a construção de peças 3D pode ser usada como ferramenta para uma maior compreensão do paciente a respeito de sua condição, para melhorar o planejamento pré-operatório e ainda o ensino de técnicas cirúrgicas de alta complexidade, como nos procedimentos terapêuticos de malformações arteriovenosas e aneurismas cerebrais. Ainda assim, novos estudos sobre a impressão 3D vêm sendo realizados, uma vez que é uma metodologia que sofre intensa evolução e aprimoramento, principalmente no que tange o ensino de áreas complexas da saúde, como a neuroanatomia, e a bioimpressão de tecidos.

Agradecimentos

Ao Programa Bolsas de Iniciação Científica (PBIC) da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA.

Referências

- Araujo, M. C. E., Duarte, M. M. S., Louredo, L. M., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). Contribuições da engenharia reversa e produção de modelos 3D para o ensino médico. *Research, Society and Development*, 10(11), e385101119692. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19692>
- Bartikian, M., Ferreira, A., Gonçalves-Ferreira, A., & Neto, L. L. (2019). 3D printing anatomical models of head bones. *Surgical and radiologic anatomy: SRA*, 41(10), 1205–1209. <https://doi.org/10.1007/s00276-018-2148-4>
- Daou, B. J., Koduri, S., Thompson, B. G., Chaudhary, N., & Pandey, A. S. (2019). Clinical and experimental aspects of aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *CNS neuroscience & therapeutics*, 25(10), 1096–1112. <https://doi.org/10.1111/cns.13222>
- Diagbouga, M. R., Morel, S., Bijlenga, P., & Kwak, B. R. (2018). Role of hemodynamics in initiation/growth of intracranial aneurysms. *European journal of clinical investigation*, 48(9), e12992. <https://doi.org/10.1111/eci.12992>
- Dong, M., Chen, G., Li, J., Qin, K., Ding, X., Peng, C., Zhou, D., & Lin, X. (2018). Three-dimensional brain arteriovenous malformation models for clinical use and resident training. *Medicine*, 97(3), e9516. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000009516>
- Duarte, M. M. S., Araujo, M. C. E., Louredo, L. M., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). Aplicabilidades da técnica de fotogrametria no ensino de Anatomia Humana. *Research, Society and Development*, 10(11), e51101119328. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19328>
- El Sabbagh, A., Eleid, M. F., Al-Hijji, M., Anavekar, N. S., Holmes, D. R., Nkomo, V. T., Oderich, G. S., Cassivi, S. D., Said, S. M., Rihal, C. S., Matsumoto, J. M., & Foley, T. A. (2018). The Various Applications of 3D Printing in Cardiovascular Diseases. *Current cardiology reports*, 20(6), 47. <https://doi.org/10.1007/s11886-018-0992-9>
- Garcia, T. R., Macedo, R. M., Vaz, M. H. V., Borges, G. H. I., Zendron, I. M., & Arruda, J. T. (2022). Impressão 3D de peças anatômicas como ferramentas de educação e auxílio na prática clínica. *Research, Society and Development*, 11(13), e248111335234. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35234>
- Gardin, C., Ferroni, L., Latremouille, C., Chachques, J. C., Mitrečić, D., & Zavan, B. (2020). Recent Applications of Three Dimensional Printing in Cardiovascular Medicine. *Cells*, 9(3), 742. <https://doi.org/10.3390/cells9030742>
- Koche, J. C. (2011). *Fundamentos de metodologia científica*. Petrópolis: Vozes.
- Li, S. J., Wang, F., Chen, W., & Su, Y. (2020). Application of three dimensional (3D) curved multi-planar reconstruction images in 3D printing mold assisted eyebrow arch keyhole microsurgery. *Brain and behavior*, 10(10), e01785. <https://doi.org/10.1002/brb3.1785>
- Louredo, L. M., Duarte, M. M. S., Araújo, M. C. E., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). Uso de prototipagem rápida ou manufatura aditiva para estudos de casos clínicos e planejamento de técnica cirúrgica utilizando modelos 3D. *Research, Society and Development*, 10(12), e336101220403. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20403>
- Matozinhos, I. P., Madureira, A. A. C., Silva, G. F., Madeira, G. C. C., Oliveira, I. F. A., & Corrêa C. R. (2017). Impressão 3d: inovações no campo da medicina. *Revista Interdisciplinar Ciências Médicas*, 1(1), 143-162.
- Mendonça, C. R., Souza, K. T. O., Arruda, J. T., Noll, M., & Guimarães, N. N. (2021). Human Anatomy: Teaching–Learning Experience of a Support Teacher and a Student with Low Vision and Blindness. *Anatomical sciences education*. <https://doi.org/10.1002/ase.2058>

- Muniz, A. L., & Moraes, S. G. (2018). *Utilização de modelos 3D como recurso didático no ensino de embriologia do sistema nervoso central*. Anais Congresso internacional de educação e tecnologias, CIET:EnPED:2018. Disponível em: <https://cietenped.ufscar.br/submissao/index.php/2018/article/view/783>
- Nagassa, R. G., McMenamin, P. G., Adams, J. W., Quayle, M. R., & Rosenfeld, J. V. (2019). Advanced 3D printed model of middle cerebral artery aneurysms for neurosurgery simulation. *3D printing in medicine*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s41205-019-0048-9>
- Navratil, O., Duris, K., Juran, V., Neuman, E., Svoboda, K., & Smrcka, M. (2017). Middle cerebral artery aneurysms with intracerebral hematoma-the impact of side and volume on final outcome. *Acta neurochirurgica*, 159(3), 543–547. <https://doi.org/10.1007/s00701-016-3070-3>
- Neifert, S. N., Chapman, E. K., Martini, M. L., Shuman, W. H., Schupper, A. J., Oermann, E. K., Mocco, J., & Macdonald, R. L. (2021). Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: the Last Decade. *Translational stroke research*, 12(3), 428–446. <https://doi.org/10.1007/s12975-020-00867-0>
- Rocha, D. P., Silva, K. G. A., Montenegro, I. H. P. de M., & Schwingel, P. A. (2021). Métodos alternativos para o ensino da anatomia humana: revisão sistematizada. *Research, Society and Development*, 10(16), e370101623641. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23641>
- Salaris, F., & Rosa, A. (2019). Construction of 3D in vitro models by bioprinting human pluripotent stem cells: Challenges and opportunities. *Brain research*, 1723, 146393. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.146393>
- Salbego, C., Oliveira, E. M. D., Silva, M. A. R., & Bugança, P. R. (2015). Percepções Acadêmicas sobre o Ensino e a Aprendizagem em Anatomia Humana. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 39(1), 23-31. <https://doi.org/10.1590/1981-52712015v39n1e00732014>
- Soares Neto, J., Pinho, F. V. A., Matos, H. L., Lopes, A. R. O., Cerqueira, G. S., & Souza, E. P. (2021). Tecnologias de ensino utilizadas na Educação na pandemia COVID-19: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 10(1), e51710111974. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11974>
- Soares Neto, J., Santos, M. J. C., Cerqueira, G. S., & Souza, E. P. (2020). A Sequência Fedathi e o uso de tecnologias digitais 3D como recursos metodológicos para o ensino de anatomia humana: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 9(10), e3559108141. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8141>
- Soldozy, S., Norat, P., Elsarrag, M., Chatrath, A., Costello, J. S., Sokolowski, J. D., ... & Park, M. S. (2019). The biophysical role of hemodynamics in the pathogenesis of cerebral aneurysm formation and rupture. *Neurosurgical focus*, 47(1), E11.
- Sullivan, S., Aguilar-Salinas, P., Santos, R., Beier, A. D., & Hanel, R. A. (2018). Three-dimensional printing and neuroendovascular simulation for the treatment of a pediatric intracranial aneurysm: case report. *Journal of neurosurgery. Pediatrics*, 22(6), 672–677. <https://doi.org/10.3171/2018.6.PEDS17696>
- Sun, Z., & Lee, S. Y. (2017). A systematic review of 3-D printing in cardiovascular and cerebrovascular diseases. *Anatolian journal of cardiology*, 17(6), 423–435. <https://doi.org/10.14744/AnatolJCardiol.2017.7464>
- Utiyama, B., Hernandez, C., Senra, T., Gospos, M., Sá, R., Leme, J., Fonseca, J., Drigo, E., Leão, T., Pinto, I., & Andrade, A. (2014). *Construção de biomodelos por impressão 3D para uso na prática clínica: experiência do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia*. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB. Disponível em: https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_095.pdf
- Vukicevic, M., Mosadegh, B., Min, J. K., & Little, S. H. (2017). Cardiac 3D Printing and its Future Directions. *JACC. Cardiovascular imaging*, 10(2), 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.12.001>
- Wang, J. L., Yuan, Z. G., Qian, G. L., Bao, W. Q., & Jin, G. L. (2018). 3D printing of intracranial aneurysm based on intracranial digital subtraction angiography and its clinical application. *Medicine*, 97(24), e11103. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011103>
- Weinstock, P., Prabhu, S. P., Flynn, K., Orbach, D. B., & Smith, E. (2015). Optimizing cerebrovascular surgical and endovascular procedures in children via personalized 3D printing. *Journal of neurosurgery. Pediatrics*, 16(5), 584–589. <https://doi.org/10.3171/2015.3.PEDS14677>
- Wu, A. M., Wang, K., Wang, J. S., Chen, C. H., Yang, X. D., Ni, W. F., & Hu, Y. Z. (2018). The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study. *Annals of Translational Medicine*, 6(20), 403. doi: 10.21037/atm.2018.09.59
- Ye, Z., Dun, A., Jiang, H., Nie, C., Zhao, S., Wang, T., & Zhai, J. (2020). The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: a systematic review and meta-analysis. *BMC medical education*, 20(1), 335. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02242-x>
- Yi, X., Ding, C., Xu, H., Huang, T., Kang, D., & Wang, D. (2019). Three-Dimensional Printed Models in Anatomy Education of the Ventricular System: A Randomized Controlled Study. *World neurosurgery*, 125, e891–e901. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.204>
- Zhang, J., Cheng, H., Zhou, S., Huang, L., Lv, J., Wang, P., Chen, J., Jin, T., Zheng, G., Ye, H., Wang, X., Meng, B., Lu, D., & Li, Y. (2020). 3D-printed model-guided endoscopic evacuation for basal ganglia hemorrhage. *Scientific Reports*, 10, 5196. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62232-3>