

Impressão 3D de peças anatômicas como ferramentas de educação e auxílio na prática clínica

3D printing of anatomical parts as educational tools and aid in clinical practice

Impresión 3D de piezas anatómicas como herramientas educativas y ayuda en la práctica clínica

Recebido: 12/09/2022 | Revisado: 26/09/2022 | Aceitado: 28/09/2022 | Publicado: 06/10/2022

Thaís Ribeiro Garcia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5658-4151>
Universidade Evangélica de Goiás UniEVANGÉLICA, Brasil
E-mail: thaïrgarcia13@hotmail.com

Rafaela Melo Macedo

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

Guilherme Henrique Iaccino Borges

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

Igor Mundim Zendron

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

Jalsi Tacon Arruda

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

Resumo

O método tradicionalmente aplicado para o ensino-aprendizagem na disciplina de anatomia pode ser incrementado com o uso da tecnologia da impressão tridimensional (3D) que contribui e aprimora a qualidade da aprendizagem, oferecendo ao estudante um extenso e replicável banco de dados com riqueza de detalhes no formato tridimensional. A bioimpressão tem um importante papel também na prática clínica, como por exemplo, no desenvolvimento de próteses e estudo das variações anatômicas. Dessa forma, o presente trabalho analisou a importância da impressão 3D no processo ensino-aprendizagem, e avaliou sua aplicação na prática clínica. Foi realizada uma revisão de literatura, baseada em estudos publicados entre os anos de 2016 e 2022 pertinentes aos termos (DeCS/MeSH) “3D Printing” e “Anatomy”. Em relação a aplicabilidade da bioimpressão na anatomia, os modelos anatômicos podem ser usados para fins educacionais e treinamento médico. Quanto a prática clínica, existem diversas aplicações na medicina dentre elas destacam-se os modelos anatômicos para planejamento pré-operatório, investigação médica e implantes. Ressalta-se a importância de se desenvolver novas metodologias e materiais a partir da produção de modelos feitos por processos de modelagem digital e disponibilizar esses conhecimentos aos estudantes e aos médicos, beneficiando, diretamente, a população.

Palavras-chave: Anatomia; Bioimpressão; Educação; Ensino; Inovação.

Abstract

The method traditionally applied for teaching-learning in the anatomy discipline can be enhanced with the use of three-dimensional (3D) printing technology that contributes and improves the quality of learning, offering the student an extensive and replicable database with rich details. in three-dimensional format. Bioprinting also plays an important role in clinical practice, such as in the development of prostheses and the study of anatomical variations. Thus, the present work analyzed the importance of 3D printing in the teaching-learning process and evaluated its application in clinical practice. A literature review was carried out, based on studies published between 2016 and 2022 relevant to the terms (DeCS/MeSH) “3D Printing” and “Anatomy”. Regarding the applicability of bioprinting in anatomy, anatomical models can be used for educational purposes and medical training. As for clinical practice, there are several applications in medicine, among them anatomical models for preoperative planning, medical investigation, and implants. We emphasize the importance of developing new methodologies and materials from the production of

models made by digital modeling processes and making this knowledge available to students and doctors, directly benefiting the population.

Keywords: Anatomy; Bioprinting; Education; Innovation; Teaching.

Resumen

El método tradicionalmente aplicado para la enseñanza-aprendizaje en la disciplina de anatomía puede potenciarse con el uso de la tecnología de impresión tridimensional (3D) que contribuye y mejora la calidad del aprendizaje, ofreciendo al estudiante una base de datos amplia y replicable con gran riqueza de detalles en tres -formato dimensional. La bioimpresión también juega un papel importante en la práctica clínica, como en el desarrollo de prótesis y el estudio de variaciones anatómicas. Así, el presente trabajo analizó la importancia de la impresión 3D en el proceso de enseñanza-aprendizaje, y evaluó su aplicación en la práctica clínica. Se realizó una revisión bibliográfica, basada en estudios publicados entre 2016 y 2022 relacionados con los términos (DeCS/MeSH) "Impresión 3D" y "Anatomía". En cuanto a la aplicabilidad de la bioimpresión en anatomía, los modelos anatómicos se pueden utilizar con fines educativos y de formación médica. En cuanto a la práctica clínica, existen varias aplicaciones en medicina, entre ellas modelos anatómicos para planificación preoperatoria, investigación médica e implantes. Resaltamos la importancia de desarrollar nuevas metodologías y materiales a partir de la producción de modelos realizados por procesos de modelado digital y poner este conocimiento al alcance de estudiantes y médicos, beneficiando directamente a la población.

Palabras clave: Anatomía; Bioimpresión; Educación; Enseñando; Innovación.

1. Introdução

A impressão tridimensional ou também conhecida como impressão 3D, chamada de prototipagem rápida ou "tecnologia de fabricação adicional", é definida pela utilização de materiais sintéticos ou células e outros produtos biológicos na impressão por empilhamento para a montagem de tecidos e órgãos a partir da deposição de camadas, auxiliada por computador (Oliveira et al., 2017; Louredo et al., 2021). Essa técnica pode ser utilizada na medicina regenerativa e na reprodução de peças anatómicas mais detalhadas, as quais podem ser úteis na preparação pré-operatória e no ensino da anatomia, entre outras utilidades (Duarte et al., 2021). É um processo caracterizado pela criação de objetos físicos a partir de sua representação geométrica em um arquivo digital, pela adição sucessiva de diferentes materiais (Araujo et al., 2021).

Para a produção das peças a digitalização 3D funciona por meio de uma varredura – escaneamento, que mede a localização dos pontos no espaço (X, Y e Z). Um *scanner* 3D geralmente trabalha com a técnica de triangulação, se movimenta no plano X e Y através de comandos numéricos e, depois de finalizada a varredura do objeto a ser digitalizado, é obtido o mapeamento da superfície (Duarte et al., 2021). Assim, é gerada a malha tridimensional que é convertida em um modelo 3D (Araujo et al., 2021). Os digitalizadores tridimensionais, ou *scanners*, tradicionalmente utilizados no mercado são por sistema a laser, por luz branca ou por fotogrametria (Prim et al., 2018; Duarte et al., 2021).

Essa tecnologia tornou-se mais popular na educação médica, apresentando diferentes aplicações, incluindo os modelos anatómicos para fins educacionais, os quais têm como principal objetivo fornecer oportunidades para os estudantes, visto que, não teriam o mesmo acesso a espécimes físicos de outra forma. Escolas de medicina, hospitais e instituições de saúde podem usar os modelos 3D para melhorar a avaliação clínica de diversas patologias, além de serem utilizados no planejamento cirúrgico antes da operação, a exemplo da neurocirurgia (Matozinhos et al., 2017; Edelmers et al., 2021). Modelos tridimensionais têm sido inseridos na área da educação como uma ferramenta de ensino da anatomia e outras disciplinas, com o intuito de complementar as aulas. Isso se dá devido à dificuldade de aquisição de peças anatómicas humanas, bem como a manipulação restrita ao laboratório anatómico, limitando o processo ensino-aprendizagem dos acadêmicos de diversas áreas da saúde (Henrique, 2018; Wu et al., 2018).

A anatomia é uma disciplina que pode ser beneficiada com a impressão 3D. Sabe-se que o estudo dos ossos, como vértebras e ossos do crânio que engloba a neuroanatomia, é uma das disciplinas mais temidas por grande parte dos estudantes. Uma possível explicação para esse fato se deve a inúmeros fatores como o estudo segmentado, laboratórios com peças

anatômicas insuficientes ou a baixa qualidade devido a deterioração orgânica, e dificuldade no entendimento do assunto, culminando em desmotivação no processo de aprendizagem (Silva et al., 2017).

A relevância e a inovação da tecnologia de impressão 3D estão diretamente relacionadas ao fato de proporcionar aos acadêmicos formas ativas e didáticas, focadas no tato, na visualização de detalhes, no reconhecimento de fraturas ósseas e patologias associadas, além de colaborar amplamente para o desenvolvimento do raciocínio clínico e para o reconhecimento de alterações em exames de imagem, como a tomografia computadorizada e a ressonância magnética (Balestrini & Campo-Celaya, 2016). Dessa maneira, todos esses métodos podem contribuir efetivamente para a melhoria do processo de aprendizagem da anatomia e para uma formação de maior qualidade (Henrique, 2018).

A bioimpressão 3D é uma tecnologia capaz de apoiar a evolução contínua da medicina digital personalizada, criando um segmento digital que começa pelo processo de aquisição da imagem médica, sobre o planejamento do tratamento, o design do implante, a comunicação com o paciente e termina com a fabricação digital de um implante e instrumentação personalizados (Signor & Basmaji, 2020). Apesar das complexidades existentes (custos dos equipamentos), a impressão 3D é responsável por viabilizar novas abordagens terapêuticas, contribuir no processo ensino-aprendizagem, dinamizar procedimentos cirúrgicos, além de proporcionar um melhor prognóstico a muitos pacientes. Nesse contexto, difundir o conhecimento a respeito de tal tecnologia é fundamental para que a bioimpressão seja cada vez mais reconhecida e utilizada. Portanto, o presente estudo tem como objetivo analisar a importância da impressão 3D no processo ensino-aprendizagem, bem como avaliar sua aplicação na prática clínica.

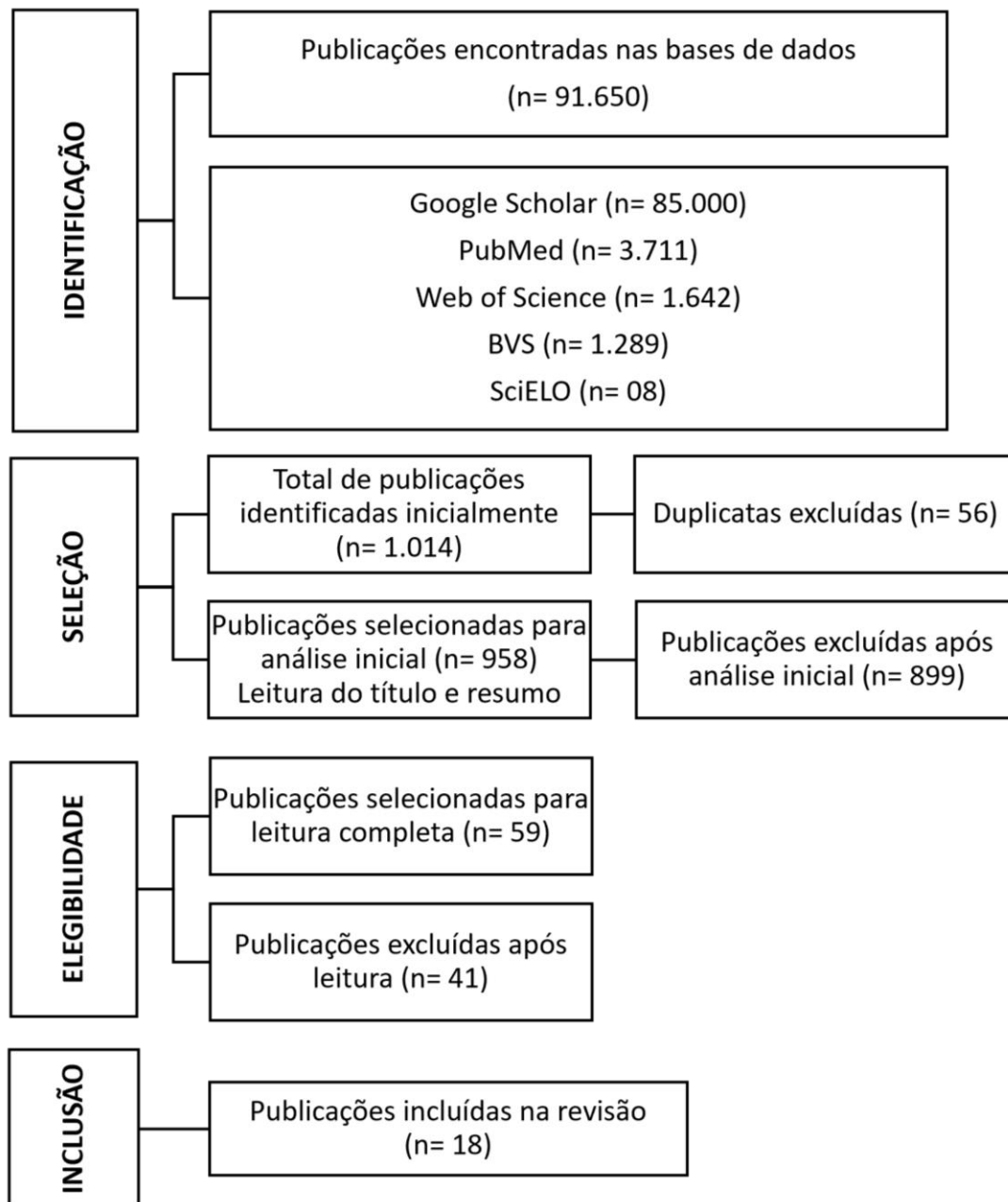
2. Metodologia

Foi realizada uma revisão integrativa de literatura que permite a síntese de diferentes estudos a respeito de uma área específica (Koche, 2011). É uma pesquisa de caráter descritivo, na qual foram seguidas as etapas: identificação do tema; seleção da questão de pesquisa, coleta de dados através de buscas nas bases de dados eletrônicas, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão para selecionar a amostra a ser analisada, avaliação dos estudos incluídos na revisão, interpretação dos resultados e apresentação dos dados evidenciados numa conclusão. Para atingir o objetivo de analisar a importância da impressão 3D no processo ensino-aprendizagem, bem como avaliar sua aplicação na prática clínica, a questão norteadora da pesquisa foi: “É possível utilizar a impressão 3D como ferramenta educacional e instrumento na prática clínica?”. Para obter resposta a essa questão realizou-se uma busca bibliográfica digital nas bases de dados eletrônicas: *National Library of Medicine and National Institutes of Health* (PubMed), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), *Web of Science* e Biblioteca Virtual de Saúde (BVS). Também foi utilizado o Google Acadêmico, com o método de pesquisa avançada. A busca dos estudos primários foi realizada no período de abril a junho de 2022.

A estratégia de busca por estudos desenvolvida foi utilizar os termos (DeCS/MeSH): “3D Printing” e “Anatomy”, com auxílio do operador Booleano (AND/OR), 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 (“3d”[All Fields] AND “printing”[All Fields]) OR “3d printing”[All Fields]) AND (“anatomy and histology”[MeSH Subheading] OR (“anatomy”[All Fields] AND “histology”[All Fields]) OR “anatomy and histology”[All Fields] OR “anatomy”[All Fields] OR “anatomy”[MeSH Terms] OR “anatomies”[All Fields]). 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 também relatos, comentários, cartas ao leitor, duplicatas e a literatura acadêmica (tese, dissertação, monografias, livros, protocolos, manuais, entre outros documentos não indexados). 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).

Figura 1. Fluxograma das etapas de seleção dos artigos encontrados nas buscas.



Fonte: Autores (2022).

Após todos os processos de seleção e análise dos estudos, esta revisão integrativa incluiu 18 artigos conforme a 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 tratar de abordagem com pessoas, porém foram respeitadas todas as ideias dos autores, conforme preconizado pela lei dos direitos autorais.

Tabela 1. Artigos incluídos nessa revisão integrativa.

AUTORES – ANO	OBJETIVO DO ESTUDO	DESFECHO – CONCLUSÃO
Edelmers et al., 2021	Desenvolver uma metodologia detalhada para a criação de modelos anatomicamente corretos e otimizados para impressão 3D a partir de dados radiológicos utilizando apenas softwares gratuitos e amplamente disponíveis.	28 modelos foram otimizados e impressos. A metodologia desenvolvida pode ser usada para criar modelos a partir do zero, que podem ser usados em diferentes áreas médicas e científicas – processos de simulação, antropologia, impressão 3D, bioimpressão e educação.
Manero et al., 2020	Examinar o papel da manufatura aditiva para agilizar a resposta as instituições médicas de apoio a partir de peças bioimpressas durante a pandemia da Covid-19.	A alta demanda por dispositivos fabricados tradicionalmente - Equipamentos de Proteção Individual (EPI), resultou em uma demanda por equipamentos fabricados aditivamente (impressos em 3D) para preencher a lacuna entre os ciclos de fabricação tradicionais. Esse método tem a capacidade única de girar em tempo real, enquanto a fabricação tradicional pode levar meses para alterar as execuções de produção. A impressão 3D tem sido usada para produzir uma variedade de equipamentos para hospitais, incluindo protetores faciais, máscaras e até componentes de ventiladores para lidar com o aumento.
Signor & Basmaji; 2020	Avaliar a nova estratégia de bioimpressão Nanoskin 3D no tratamento de feridas.	A impressão 3D é a tecnologia perfeita para apoiar a evolução contínua da medicina digital personalizada, criando um segmento digital que começa no processo de imagem médica, sobre o planejamento do tratamento, o design do implante, a comunicação do paciente e termina com a fabricação digital de um implante e instrumentação personalizados. Além disso, desenvolveu um novo equipamento para cicatrização de feridas usando impressão 3D, que produziu membranas naturais únicas com várias aplicações em medicina e odontologia. As membranas Nanoskin de impressão 3D se aplicam a úlceras diabéticas, com lesões significativas e necessidade de cicatrização de feridas.
Bento et al., 2019	Desenvolver uma técnica para produzir modelos de osso temporal que lhes permitam manter as características anatômicas externas e internas fiéis ao osso natural.	Conclui-se que é viável a utilização de biomodelos no treinamento cirúrgico de médicos especialistas. Após a dissecação do biomodelo ósseo, foi possível encontrar as estruturas anatômicas propostas, e reproduzir as abordagens cirúrgicas mais utilizadas na prática cirúrgica e treinamento de implantes.
Romeiro et al., 2019	Produzir peças anatômicas escaneadas por impressão 3D como ferramentas de educação.	A maior dificuldade encontrada durante o processo foi a configuração dos modelos tridimensionais para impressão, uma vez que houve a necessidade de testes para utilização do mínimo uso de suportes possível, já que compromete a fidelidade da superfície da peça em relação ao objeto real. Com uma eventual evolução no estado da arte, uma possível adição a pesquisa sobre impressão 3D de peças anatômicas seria uma forma de não utilizar suportes na impressão para evitar defeitos na superfície do objeto impresso. Possíveis testes seriam testar em diferentes tipos de impressora ou com diferentes materiais de impressão. E caso este resultado seja alcançado, experimentar também expandir o tipo de objeto impresso para abranger mais áreas da anatomia humana, como tecidos, se encontrado material que possa oferecer propriedades parecidas com o objeto real. Por fim realizar pesquisa com professores e alunos da área médica, a fim de discutir o uso de peças geradas por impressora 3D em laboratórios de anatomia para fins de estudo.

Zamborsky et al., 2019	Avaliar as perspectivas da tecnologia de impressão 3D em cirurgias ortopédicas.	A tecnologia inovadora não só auxilia a equipe médica, mas também é benéfica para os pacientes, pois os problemas médicos, que não eram curáveis no passado, agora são possíveis com tecnologia moderna.
César-Juárez et al., 2018	Analisar o uso e aplicação da tecnologia de impressão e bioimpressão 3D nos diversos campos da medicina.	A importância da aplicação da bioimpressão 3D na medicina reside em permitir a reprodução de um tecido ou órgão, com a qual se espera um impacto transcendental em múltiplas especialidades médicas (cirurgia plástica reconstrutiva, cirurgia maxilofacial, ortopedia, cirurgia da coluna vertebral, artroscopia, cirurgia de transplante, entre muitos outros). A expectativa na América Latina dessas tecnologias é que sejam um campo emergente em benefício dos pacientes com a geração de implantes ou órgãos personalizados que favoreçam o prognóstico e a evolução dos tratamentos concedidos.
Henrique, 2018	Confeccionar modelos vertebrais por impressão 3D a fim de serem utilizados nas aulas de anatomia como um complemento ao estudo das estruturas anatômicas vertebrais típicas, a partir de materiais que possibilitem escrita/pintura bem como sua remoção.	A confecção de modelos vertebrais por impressão 3D para uso didático em aulas de anatomia pode ser realizada conciliando-se técnicas de imagem radiológica, como a Tomografia Computadorizada, e modelagem 3D a partir de softwares disponibilizados gratuitamente na web. De modo que, ao serem utilizados em sala de aula, auxiliariam tanto alunos quanto professores.
Isaacson et al., 2018	Fabricar estruturas corneanas que se assemelhassem a estrutura do estroma corneano humano nativo, usando um modelo de córnea humana digital 3D existente e uma estrutura de suporte adequada.	O estudo fornece uma prova de conceito para o uso de bioimpressão 3D como um método rápido e eficaz para fabricar substitutos da córnea humana a partir de biotintas de baixa viscosidade. A realização bem-sucedida deste método atualmente depende de um esforço sustentado para facilitar a remodelação da matriz a longo prazo, a fim de validar a adequação clínica. Ao todo, essas descobertas demonstram uma grande promessa para a aplicação de bioimpressão 3D para aplicações de engenharia de tecidos da córnea.
Kim et al., 2018	Construir peças musculares esqueléticas humanas bioimpressas em 3D para restauração da função muscular.	O tecido muscular esquelético bioimpresso mostrou um feixe muscular de multicamadas altamente organizado feito por estruturas semelhantes a miofibras viáveis, densamente compactadas e alinhadas. Além disso, exames histológicos e imuno-histológicos indicaram que as construções musculares bioimpressas estavam bem integradas com as redes vasculares e neurais do hospedeiro. Demonstramos o potencial do uso do músculo esquelético bioimpresso em 3D com uma estrutura organizada espacialmente que pode reconstruir os extensos defeitos musculares.
Prim et al., 2018	Realizar testes para propor uma forma de desenvolvimento de um novo material de apoio para estudos na área de anatomia, de forma menos burocrática que a aquisição de novas peças cadavéricas.	Este trabalho contribui para área do design como apresentação de uma série de métodos a serem seguidos quando o projeto demanda que algum objeto real seja digitalizado e posteriormente replicado por meio de impressão 3D. E para área da educação e saúde como uma forma de poder se manter réplicas de peças anatômicas de forma acessível e pouco burocrática. Apesar de os resultados obtidos não serem suficientes para substituição do objeto real em sala de aula, em razão das falhas em superfícies em contato com o suporte, podendo ser utilizada em sala de aula como uma referência a peça, porém não substituindo os objetos reais quando estudos mais aprofundados forem necessários.
Wu et al., 2018	Desenvolver e avaliar o uso de modelos impressos em 3D para melhorar o ensino e aprendizagem de anatomia espacial óssea e fraturas para estudantes de graduação.	O modelo impresso em 3D pode melhorar a compreensão dos estudantes de medicina sobre anatomia espacial óssea e fraturas em alguns locais anatomicamente complexos.
Matozinhos et al., 2017	Revisar os atuais usos da tecnologia 3D na medicina e apontar suas inúmeras possibilidades	O campo da medicina exemplifica os avanços do uso da impressora 3D. Ainda são muitas as possibilidades de emprego

	de aplicações futuras.	das diferentes técnicas de impressão e vários os desafios relacionados à sua plena disseminação, todavia, é de se esperar sua presença no dia a dia dos profissionais da área da saúde.
Oliveira et al., 2017	Produzir miniórgãos com células tronco a partir da bioimpressão.	Com as pesquisas atuais, passos importantes já foram dados em direção à fabricação de tecidos anatomicamente moldados para aplicação no campo da medicina regenerativa. Contudo a seleção do polímero ideal para o componente de suporte na produção do arcabouço celular é crucial, uma vez que o seu processo de fabricação ou a utilização pode comprometer a forma e a viabilidade das estruturas alvos.
Silva et al., 2017	Confeccionar um modelo neuroanatômico humano funcional alternativo para as aulas práticas da disciplina de neuroanatomia.	Conclui-se que confeccionar modelo funcional neuroanatômico apresenta-se como uma ferramenta alternativa de fácil manipulação, a qual acredita-se contribuir com o ensino-aprendizagem das estruturas neuroanatômicas microscópicas e macroscópicas, já que demonstram a relação entre elas no interior do corpo humano. Quanto à confecção com material de baixo custo, frente à aquisição de modelos fabricados, reitera-se que é viável, tornando-se uma ferramenta pedagógica diante das dificuldades na compreensão da neuroanatomia. Além disso, baseando-se na literatura, a proposta apresenta-se como inovadora, diante dos diversos métodos utilizados no processo de ensino-aprendizagem do referido componente curricular nas Instituições de Ensino Superior.
Balestrini & Campo-Celaya, 2016	Avaliar a importância da impressão 3D nas faculdades de medicina.	Antigamente o aprendizado de anatomia era limitado à dissecação de cadáveres ou a dispendiosos modelos. A tecnologia 3D é rápida e acessível, com custo razoável, podendo oferecer ao estudante de medicina um recurso complementar, sendo considerado um valioso recurso didático.
Werner Júnior et al., 2016	Gerar modelos físicos de fetos utilizando imagens obtidas por ultrassonografia tridimensional (USG-3D), ressonância magnética (RM) e, em alguns casos, tomografia computadorizada (TC), para orientar a técnica de adição de camadas.	O uso da US3D, RM e TC pode ajudar para melhor compreensão das características físicas do feto. Essas técnicas podem ser usadas com fins didáticos para auxiliar na abordagem multidisciplinar e na melhor compreensão dos pais. As imagens podem ser segmentadas e aplicadas separadamente ou combinadas para construir modelos virtuais 3D e físicos.
Zhang et al., 2016	Empregar a engenharia e a impressão 3D para desenvolvimento de miocárdio endotelizado e coração em um chip.	Demonstramos que tal técnica poderia ser traduzida em cardiomiócitos humanos derivados de células-tronco pluripotentes induzidas para construir miocárdio humano endotelizado. Acreditamos que nosso método para geração de organoides endotelizados fabricados por meio de uma inovadora tecnologia de bioimpressão 3D pode encontrar aplicações generalizadas em medicina regenerativa, triagem de medicamentos e modelagem de doenças.

Fonte: Autores (2022).

3. Resultados e Discussão

Atualmente existem diversas aplicações médicas de impressões 3D dentre elas destacam-se os modelos anatômicos, planejamento pré-operatório, investigação médica e implantes (César-Juárez et al., 2018). Além disso, esses modelos anatômicos podem auxiliar o profissional da saúde a demonstrar a complexidade dos casos para os pacientes, bem como fazer com que entendam com maior clareza, a estrutura anatômica do órgão acometido por uma determinada doença. A impressão 3D vem sendo aplicada no desenvolvimento de implantes como próteses de joelho e de quadril, permitindo ao cirurgião uma experiência visual e tátil antes da cirurgia, antecipando, assim, complicações cirúrgicas. Dentre os materiais utilizados para a reconstrução óssea em pacientes, destacam-se os metais, as cerâmicas e os polímeros.

As principais tecnologias utilizadas para depositar e modelar materiais biológicos são: injeção, microextrusão e

impressão assistida a laser. As impressoras de injeção térmica aquecem eletricamente a cabeça de impressão para produzir pulsos de pressão de ar que forçam gotículas do bico, enquanto as impressoras acústicas usam pulsos formados por pressão piezoelétrica ou ultrassônica. Já as impressoras de microextrusão usam sistemas de distribuição pneumáticos ou mecânicos (pistão ou parafuso) para extrusão contínua de material e/ou células. Enquanto as impressoras assistidas por laser usam lasers focados em um substrato absorvente para gerar pressões que impulsionam materiais contendo células sobre um substrato coletor (César-Juárez et al., 2018).

Recentemente, a impressão 3D foi inserida no campo cirúrgico com o objetivo de colaborar na compreensão das patologias, melhorando a qualidade dos diagnósticos e auxiliando no planejamento pré-cirúrgico. A exemplo disso, pode-se citar a aplicação da impressão 3D em cirurgias craniofaciais e maxilofaciais, demonstrando haver uma melhora significativa no diagnóstico e tratamento, uma vez que se tem uma melhor visualização da estrutura afetada, com maior precisão e com a possibilidade de um planejamento prévio. A bioimpressão também abre novas oportunidades para atividades de pesquisa científica, podendo ajudar a entender com mais clareza os processos fisiológicos que ainda não são totalmente compreendidos (César-Juárez et al., 2018; Romeiro et al., 2019).

No mesmo sentido, Zamborsku et al. (2019) destacam a importância da impressão 3D em cirurgias ortopédicas e traumas. Segundo o estudo, a tecnologia é benéfica não só para a equipe médica, mas também para o paciente, pois a prototipagem rápida, apesar de não substituir totalmente os métodos de fabricação tradicionais, ajuda a reduzir o tempo de entrega, os custos com ferramentas, além de ser personalizada para cada paciente.

No campo da medicina regenerativa, a produção de modelos impressos 3D se baseia principalmente no uso de polímeros de origem natural como o alginato, a gelatina, o colágeno, a quitosana, a fibrina e o ácido hialurônico, frequentemente isolados de tecidos animais ou humanos, ou moléculas sintéticas como o polietilenoglicol. As vantagens dos polímeros naturais para a bioimpressão são a semelhança com a matriz extracelular humana e bioatividade inerente. Já a vantagem dos polímeros sintéticos é que eles podem ser adaptados para aplicações específicas. No entanto, os desafios no uso de polímeros sintéticos incluem a baixa biocompatibilidade, produtos de degradação tóxica e a perda de propriedades mecânicas durante a degradação (César-Juárez et al., 2018).

De acordo com Zhang et al. (2016), a bioimpressão de endotélio do miocárdio é uma tecnologia capacitadora para o desenvolvimento de órgãos humanos, sendo importante não apenas para substituir órgãos doentes, como também para minimizar a toxicidade cardiovascular induzida por medicamentos, melhorando, assim, a eficácia do tratamento. Além disso, essa tecnologia também permitiria testar a nanomedicina, por meio de interações entre as nanopartículas e as células do coração, bem como entre as nanopartículas e o endotélio, como, por exemplo, o vazamento endotelial induzido por nanopartículas, caracterizado por um efeito não tóxico de nanopartículas nas células endoteliais.

A bioimpressão 3D da córnea requer o uso de biomateriais de baixa viscosidade para a extrusão física de biotinta em altas resoluções. Esse estudo sugere que os equivalentes estromais da córnea carregados de queratócitos podem ser bioprintados utilizando biotintas de baixa viscosidade, especialmente desenvolvidas em altas resoluções usando o método FRESH (*bioprinting 3D Freefrom Reversible Embedding* de Hidrogéis Suspensos). Dentre os principais materiais utilizados na bioimpressão 3D para serem aplicados na córnea, destacam-se os hidrogéis devido à baixa toxicidade e propriedades biofísicas ajustáveis; o colágeno devido a capacidade de resistência a tração; e o alginato devido as propriedades biomecânicas. Foi observado que a velocidade de impressão, o diâmetro da agulha e a viscosidade da biotinta são parâmetros que devem ser observados para garantir a estabilidade mecânica e a precisão da bioimpressão para que o material seja usado como uma estrutura da córnea (Isacson et al., 2018).

Em relação a regeneração muscular, Kim et al. (2018), demonstraram que a bioimpressão 3D de músculo esquelético é uma estratégia importante. Esses músculos apresentaram as características estruturais e celulares de um músculo natural como

miofibrilas em conjunto, dispostas em multicamadas. Segundo o estudo dos autores Signor & Basmaji (2020), um novo equipamento para cicatrização de feridas usando impressão 3D foi desenvolvido, o qual produziu membranas naturais únicas com várias aplicações práticas em medicina e odontologia.

Em relação a medicina fetal, os modelos de impressão 3D são importantes para melhor compreensão dos pais sobre a gestação, possibilitando uma interação diferenciada com a gravidez, além de fornecer informações mais compreensíveis para as gestantes. Além disso, os modelos físicos têm importância no planejamento de intervenções médicas, podendo também ser utilizados com fins didáticos (Werner Júnior et al., 2016).

Considerando o momento pandêmico, segundo Manero et al. (2020), o rápido aumento do número de casos da COVID-19 pressionou a cadeia global de suprimentos de equipamentos médicos e equipamentos de proteção individual. Essa alta demanda por dispositivos fabricados tradicionalmente foi desafiada, fato que fomentou a demanda por equipamentos impressos em 3D, tais como protetores faciais, máscaras e componentes de ventiladores.

Dentre as limitações da impressão 3D destacam-se as dimensões do objeto, o tempo e o custo. Em relação ao tamanho do objeto, as impressoras ainda não são capazes de produzir modelos extremamente grandes, tendo, dessa forma, determinadas dimensões a serem atingidas. Uma saída para esse problema seria a impressão de um determinado modelo em miniatura ou a divisão do modelo em partes menores para posterior junção. Quanto ao tempo e ao custo, verifica-se que o tempo para a geração de um modelo 3D é grande o suficiente, não sendo, portanto, recomendado em cirurgias de emergência, por exemplo. Além disso, a produção desses modelos torna-se onerosa para o sistema de saúde público (César-Juárez et al., 2018).

Em contrapartida, segundo Bento et al. (2019), a tecnologia 3D é importante no ensino e na aprendizagem, visto que os modelos anatômicos bioprintados no estudo permitiram o treinamento de técnicas, tanto simples quanto complexas. Vale ressaltar, ainda, que os modelos desenvolvidos nesse estudo em questão, apresentaram as estruturas anatômicas fundamentais, além de reproduzirem características mecânicas, como resistência e densidade, similares ao osso temporal de um cadáver real.

Tais modelos são fundamentais para a melhoria do processo ensino-aprendizagem de anatomia e de técnicas cirúrgicas. Apesar das semelhanças com o modelo tradicional, os modelos em 3D possuem vantagens se comparados com os tradicionais, dentre elas: disponibilidade de peças, diminuição na produção de lixo biológico e diminuição das contaminações que ocorrem a partir de tecidos biológicos. Além disso, permite a reprodução de variações anatômicas e patologias estruturais, o que possibilita a previsão de situações cirúrgicas (Bento et al., 2019).

4. Considerações Finais

A impressão 3D possui um importante papel no processo ensino-aprendizagem, sobretudo nas aulas de anatomia dos cursos da área de saúde, uma vez que a realidade da maioria das universidades ainda é a aprendizagem utilizando-se as ilustrações de livros, principalmente devido à escassez de peças anatômicas físicas. Outrossim, resultados da técnica de bioimpressão na medicina permite a reprodução de um tecido ou órgão, sendo um meio facilitador em diversas especialidades médicas, tais como a cirurgia plástica reconstrutiva, cirurgia maxilofacial, ortopedia, cirurgia da coluna, artroscopia, transplantes, entre outras. A expectativa advinda do uso da bioimpressão 3D é que essa técnica beneficie os pacientes com a geração de implantes ou órgãos personalizados que favoreçam o prognóstico e a evolução dos tratamentos de diferentes patologias. No entanto, observa-se que essa tecnologia ainda é pouco utilizada na prática, infelizmente, visto que envolve estudos digitais específicos acerca do funcionamento da impressora, além de ser oneroso. Portanto, para que haja ampla utilização dessa inovação nas instituições de ensino e na prática médica, estudos futuros são necessários para que certifiquem a eficácia dos biomodelos na educação, bem como a segurança na prática médica, sobretudo quando se trata de inserção do material bioimpresso no organismo humano.

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>
- Balestrini, C., & Campo-Celaya, T. (2016). With the advent of domestic 3-dimensional (3D) printers and their associated reduced cost, is it now time for every medical school to have their own 3D printer? *Medical teacher*, 38(3), 312–313. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2015.1060305>
- Bento, R. F., Rocha, B. B. A., Freitas, E. L., & Balsalobre, F. A. (2019). Otobone®: Three-dimensional printed Temporal Bone Biomodel for Simulation of Surgical Procedures. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 23(04), 451-454. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1688924>
- César-Juárez, Á. A., Olivos-Mezad, A., Landa-Solís, C., Cárdenas-Soriaf, V. H., Silva-Bermúdez, P. S., Ahedog, C. S., Díaz, B. O., & Ibarra-Ponce de León, J. C. (2018). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Novedades en Medicina*, 61(6), 43-51. <http://dx.doi.org/10.22201.fm.24484865e.2018.61.6.07>
- 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>
- Edelmers, E., Kazoka, D., & Pilmane, M. (2021). Creation of Anatomically Correct and Optimized for 3D Printing Human Bones Models. *Applied System Innovation*, 4(3), 67. <https://doi.org/10.3390/asi4030067>
- Henrique, L. (2018). *Confecção de modelos vertebrais por impressão 3D para uso didático em aulas de anatomia*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Curso superior em Tecnólogo em Radiologia. 47p.
- Isaacson, A., Swioklo, S., & Connon, C. J. (2018). 3D bioprinting of a corneal stroma equivalent. *Experimental eye research*, 173, 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.05.010>
- Kim, J. H., Seol, Y. J., Ko, I. K., Kang, H-W., Lee, Y. K., Yoo, J. J., Atala, A., & Lee, S. J. (2018). 3D Bioprinted Human Skeletal Muscle Constructs for Muscle Function Restoration. *Scientific Reports*, 8, 12307. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29968-5>
- Koche, J. C. (2011). *Fundamentos de metodologia científica*. Rio de Janeiro, Petrópolis: Vozes.
- 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>
- Manero, A., Smith, P., Koontz, A., Dombrowski, M., Sparkman, J., Courbin, D., & Chi, A. (2020). Leveraging 3D Printing Capacity in Times of Crisis: Recommendations for COVID-19 Distributed Manufacturing for Medical Equipment Rapid Response. *International journal of environmental research and public health*, 17(13), 4634. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134634>
- 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.
- Oliveira, N. A., Roballo, K. C. S., Lisboa Neto, A. F. S., Sandini, T. M., Santos, A. C., Martins, D. S., & Ambrosio, C. E. (2017). Bioimpresão e produção de mini-órgãos com células tronco. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 37(09), 1032-1039. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2017000900020>
- Prim, G. S., Leal, G. Z., Romeiro, N. C., Campos, D. V., & Vieira, M. L. H. (2018). *Digitalização 3D de ossos humanos para ferramentas de estudo em anatomia*. Anais do 13º Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em Design. São Paulo: Blucher, 2019. DOI: 10.5151/pe2018-2.3_ACO_07
- Romeiro, N. C., Salomão, A., Prim, G. S., & Vieira, M. L. H. (2019). *Impressão 3D de peças anatômicas escaneadas como ferramenta de educação*. Anais do 9º Congresso Internacional de Design da Informação. Anais do 9º Congresso Nacional de Iniciação Científica em Design da Informação. Sociedade Brasileira de Design da Informação – SBDI Belo Horizonte. Brasil, 1936-1944.
- Signor, A. C., & Basmaji, P. (2020). Nova estratégia de Bioimpresão Nanoskin 3d no tratamento de feridas: um futuro brilhante pela frente. *Revista Ibero-Americana de Podologia*, 2(1), 146. DOI: <https://doi.org/10.36271/iajp.v2i1.26>
- Silva, Y. A., Silva Júnior, E. X., Silva, B. N., Rodrigues, G. P., Sousa, G. O., Novaes, W. A., Shiosaki, R. K., Silva, T. F. A., & Schwingel, P. A. (2017). Confecção de modelo neuroanatômico funcional como alternativa de ensino e aprendizagem para a disciplina de neuroanatomia. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, 12(3), 1674–1688. <https://doi.org/10.21723/riaee.v12.n.3.2017.8502>
- Werner Júnior, H., Santos, J. L., Belmonte, S., Ribeiro, G., Daltro, P., Gasparetto, E. L., & Marchiori, E. (2016). Aplicabilidade da tecnologia tridimensional na medicina fetal. *Radiologia Brasileira*, 49(5), 281-287. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-3984.2015.0100>
- 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. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.09.59>
- Zamborsky, R., Kilian, M., Jacko, P., Bernadic, M., & Hudak, R. (2019). Perspectives of 3D printing technology in orthopaedic surgery. *Bratislavske lekarske listy*, 120(7), 498–504. https://doi.org/10.4149/BLL_2019_079
- Zhang, Y. S., Arneri, A., Bersini, S., Shin, S. R., Zhu, K., Goli-Malekabadi, Z., Aleman, J., Colosi, C., Busignani, F., Dell'Erba, V., Bishop, C., Shupe, T., Demarchi, D., Moretti, M., Rasponi, M., Dokmeci, M. R., Atala, A., & Khademhosseini, A. (2016). Bioprinting 3D microfibrous scaffolds for engineering endothelialized myocardium and heart-on-a-chip. *Biomaterials*, 110, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2016.09.003>