RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 20/08/2026 | aceito: 23/08/2026 | publicação: 26/08/2026

Bioimpressão 3D de tecidos e órgãos: avanços, desafios e perspectivas na medicina regenerativa

3D bioprinting of tissues and organs: advances, challenges and perspectives in regenerative medicine

Bioimpresión 3D de tejidos y órganos: avances, desafíos y perspectivas en la medicina regenerativa

Adriana dos Santos – Acadêmica do curso de bacharelado em Biomedicina do Centro Universitário Fadergs, Porto Alegre/RS, Brasil | Orcid: 0009-0007-8802-3729
Fabiana Guichard de Abreu – Biomédica, docente do curso de bacharelado em Biomedicina do Centro Universitário Fadergs, Porto Alegre/RS, Brasil | Orcid: 0000-0003-1007-4225

Resumo: A bioimpressão 3D tem emergido como uma das tecnologias mais inovadoras na medicina regenerativa, proporcionando novas possibilidades para o tratamento de doenças, lesões e para a escassez de órgãos destinados a transplantes e terapias regenerativas. Sua aplicação permite a construção de estruturas biológicas por meio da deposição precisa de células vivas e biomateriais, possibilitando avanços no tratamento de doenças crônicas e lesões graves. Este estudo tem como problema de pesquisa a seguinte questão: como a bioimpressão 3D de tecidos e órgãos pode contribuir para solucionar a escassez de órgãos para transplante e melhorar os resultados em tratamentos regenerativos? A metodologia adotada foi uma pesquisa qualitativa e exploratória, baseada em revisão bibliográfica de materiais científicos publicados nos últimos dez anos. Justifica-se a importância do tema pela crescente demanda por órgãos, pelos altos índices de rejeição imunológica em transplantes convencionais e pelo potencial da bioimpressão para revolucionar práticas médicas. Como critério de inclusão, foram selecionados estudos publicados entre 2016 e 2025, nos idiomas português e inglês. O objetivo geral é investigar o potencial da bioimpressão 3D na produção de tecidos e órgãos humanos, com foco em sua aplicabilidade em terapias e transplantes. Como resultados, observou-se que a bioimpressão 3D já apresenta avanços significativos em aplicações clínicas e laboratoriais, embora ainda enfrente desafios técnicos e éticos. Conclui-se que a tecnologia é promissora, com potencial para transformar a medicina personalizada, mas exige investimentos em pesquisa, regulamentação e infraestrutura para que seu uso se torne viável em larga escala.

Palavras-chave: Biotecnologia. Engenharia de tecidos. Regeneração tecidual. Transplantes.

Abstract: 3D bioprinting has emerged as one of the most innovative technologies in regenerative medicine, providing new possibilities for treating diseases and injuries and addressing the shortage of organs for transplantation and regenerative therapies. Its application enables biological structures to be built through the precise deposition of living cells and biomaterials, supporting advances in the treatment of chronic diseases and severe injuries. This study addresses the following research question: how can 3D bioprinting of tissues and organs help solve the shortage of organs for transplantation and improve outcomes in regenerative treatments? The adopted methodology was qualitative and exploratory research based on a literature review of scientific materials published over the last ten years. The topic is important because of the growing demand for organs, the high rates of immune rejection in conventional transplants, and the potential of bioprinting to revolutionize medical practices. Studies published between 2016 and 2025 in Portuguese and English were selected as inclusion criteria. The general objective is to investigate the potential of 3D bioprinting in producing human tissues and organs, focusing on its applicability in therapies and transplants. The results show that 3D bioprinting has already achieved significant advances in clinical and laboratory applications, although it still faces technical and ethical challenges. It is concluded that the technology is promising and has the potential to transform personalized medicine, but

requires investment in research, regulation, and infrastructure before its large-scale use becomes viable.

Keywords: Biotechnology. Tissue engineering. Tissue regeneration. Transplants.

Resumen: La bioimpresión 3D ha surgido como una de las tecnologías más innovadoras de la medicina regenerativa, al ofrecer nuevas posibilidades para tratar enfermedades y lesiones y afrontar la escasez de órganos destinados a trasplantes y terapias regenerativas. Su aplicación permite construir estructuras biológicas mediante la deposición precisa de células vivas y biomateriales, lo que favorece avances en el tratamiento de enfermedades crónicas y lesiones graves. Este estudio plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo puede la bioimpresión 3D de tejidos y órganos contribuir a solucionar la escasez de órganos para trasplante y mejorar los resultados de los tratamientos regenerativos? Se adoptó una investigación cualitativa y exploratoria, basada en una revisión bibliográfica de materiales científicos publicados durante los últimos diez años. La importancia del tema se justifica por la creciente demanda de órganos, las altas tasas de rechazo inmunológico en los trasplantes convencionales y el potencial de la bioimpresión para revolucionar las prácticas médicas. Como criterio de inclusión, se seleccionaron estudios publicados entre 2016 y 2025 en portugués e inglés. El objetivo general es investigar el potencial de la bioimpresión 3D para producir tejidos y órganos humanos, con énfasis en su aplicabilidad en terapias y trasplantes. Los resultados mostraron que la bioimpresión 3D ya presenta avances significativos en aplicaciones clínicas y de laboratorio, aunque todavía afronta desafíos técnicos y éticos. Se concluye que la tecnología es prometedora y puede transformar la medicina personalizada, pero requiere inversiones en investigación, regulación e infraestructura para que su uso a gran escala sea viable.

Palabras clave: Biotecnología. Ingeniería de tejidos. Regeneración tisular. Trasplantes.

1. Introdução

Nos últimos anos, os avanços na engenharia biomédica têm transformado significativamente a forma como a medicina encara o tratamento de doenças crônicas, lesões graves e falência de órgãos. Um dos campos mais inovadores e promissores dessa área é a bioimpressão 3D, uma tecnologia que utiliza impressoras tridimensionais adaptadas para fabricar tecidos vivos e, futuramente, órgãos humanos. A partir do uso de biotintas compostas por células vivas e materiais biocompatíveis, é possível criar estruturas complexas com precisão micrométrica (Noor et al., 2019).

O desenvolvimento da bioimpressão surgiu como uma resposta à crescente demanda por transplantes e à escassez de órgãos disponíveis para doação. Segundo a Organização Mundial da Saúde, milhares de pacientes aguardam por transplantes, enfrentando longas filas e, muitas vezes, não sobrevivendo até a chegada de um órgão compatível. A possibilidade de bioimprimir tecidos sob medida, com células do próprio paciente, representa uma solução revolucionária para esse cenário (Murphy; De Coppi; Atala, 2020).

A bioimpressão 3D teve seus primeiros avanços significativos no final da década de 1990. Em 1999, pesquisadores do Instituto Wake Forest de Medicina Regenerativa criaram um

arcabouço sintético de bexiga humana utilizando técnicas de impressão 3D. Posteriormente, em 2003, Thomas Boland desenvolveu a primeira bioimpressora 3D, marcando um ponto de inflexão na engenharia de tecidos. Desde então, a tecnologia evoluiu consideravelmente, permitindo a impressão de estruturas complexas, como vasos sanguíneos, pele, cartilagens e ossos, com aplicações promissoras em cirurgias e terapias regenerativas (Trevizan; Borges; Barud, 2022).

No Brasil, o sistema de transplantes é um dos mais robustos do mundo, sendo o segundo maior em números absolutos, atrás apenas dos Estados Unidos. Em 2023, o país registrou 29.261 transplantes, o maior número da história nacional, representando um aumento de 11% em relação ao ano anterior. Apesar desse avanço, ainda existem desafios significativos: mais de 43 mil pessoas aguardam por transplantes de órgãos e cerca de 28 mil esperam por transplantes de córnea. Além disso, a taxa de recusa familiar para doação de órgãos permanece alta, com mais de 40% das famílias não autorizando a coleta após a morte de um ente querido (AMB, 2024).

Além dos transplantes, a bioimpressão 3D tem sido utilizada para a produção de tecidos artificiais empregados em testes de medicamentos, cosméticos e estudos clínicos, reduzindo o uso de animais em laboratório e oferecendo modelos mais precisos da fisiologia humana. Essas estruturas impressas também possibilitam o avanço da medicina personalizada, permitindo terapias mais eficazes e seguras. Apesar dos inúmeros benefícios, ainda existem desafios técnicos e científicos a serem superados. A replicação da complexidade de um órgão humano, especialmente em relação à vascularização e às funções específicas, demanda grande conhecimento multidisciplinar envolvendo engenharia, biologia, medicina e ciência dos materiais. A ética, o custo de produção e a regulamentação também são aspectos que precisam ser discutidos com profundidade (Murphy; Atala, 2014).

Diante desse panorama, a bioimpressão 3D de tecidos e órgãos apresenta-se como uma alternativa tecnológica promissora, capaz de transformar o futuro da medicina regenerativa. O estudo dessa temática é essencial para compreender seus limites, suas potencialidades e os impactos sociais, econômicos e científicos que ela pode proporcionar. Ao permitir a produção de tecidos e órgãos personalizados, a bioimpressão 3D tem o potencial de suprir a demanda por transplantes, reduzir rejeições imunológicas e acelerar o desenvolvimento de terapias mais eficazes (Gungor-Ozkerim et al., 2018).

Conforme os dados mais recentes divulgados pelo Ministério da Saúde, o Brasil alcançou, em 2023, o maior número de transplantes de órgãos dos últimos dez anos. Entre janeiro e setembro, foram realizados 6.766 transplantes de órgãos sólidos, representando um

aumento de 11,7% em relação ao mesmo período de 2022, quando foram contabilizados 6.035 procedimentos. O número de doadores efetivos também cresceu: 3.000 doações foram efetivadas no mesmo período, um acréscimo de 17% em comparação com as 2.004 registradas no ano anterior (Brasil, 2024).

O rim foi o órgão mais transplantado, correspondendo a 66,72% dos procedimentos, seguido pelo fígado (1.777 transplantes) e pelo coração (325 transplantes). Além disso, o número de transplantes de córnea também apresentou crescimento, totalizando 11.952 cirurgias entre janeiro e setembro de 2023, frente a 10.344 no mesmo período de 2022. Esses números refletem os esforços contínuos do Sistema Nacional de Transplantes (SNT) e do Sistema Único de Saúde (SUS) para ampliar o acesso e a eficiência dos procedimentos de transplante no país (Brasil, 2024).

A escassez de órgãos para transplante, aliada ao risco de rejeição imunológica e à dependência de tratamentos invasivos, representa um desafio constante para a medicina contemporânea. A bioimpressão 3D surge como uma alternativa inovadora e viável, permitindo não apenas a criação de tecidos artificiais para uso terapêutico, mas também oferecendo soluções para pesquisas com fármacos e cosméticos. Estudar essa tecnologia é fundamental para fomentar debates científicos e éticos e propor caminhos que acelerem sua aplicação segura e eficiente na prática clínica.

Desse modo, surge o problema de pesquisa sob a forma do seguinte questionamento: como a bioimpressão 3D de tecidos e órgãos pode contribuir para solucionar a escassez de órgãos para transplante e melhorar os resultados em tratamentos regenerativos?

Nesse sentido, o objetivo geral foi investigar o potencial da bioimpressão 3D na produção de tecidos e órgãos humanos, com foco em sua aplicabilidade em transplantes e terapias regenerativas. Os objetivos específicos são: analisar os principais métodos e materiais utilizados na bioimpressão 3D de tecidos e órgãos; avaliar os desafios técnicos, éticos e regulatórios envolvidos na implementação dessa tecnologia; e investigar estudos de caso e pesquisas atuais que demonstrem a eficácia da bioimpressão 3D em aplicações clínicas.

2. Metodologia

Este estudo caracterizou-se como uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, cujo objetivo é compreender o estado atual da tecnologia de bioimpressão 3D aplicada à produção de tecidos e órgãos, suas potencialidades e limitações. A abordagem

qualitativa permitiu uma análise interpretativa e aprofundada dos dados obtidos a partir da literatura científica.

A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão integrativa, utilizando como principais fontes artigos científicos, livros e publicações especializadas nas áreas de bioengenharia, biotecnologia, medicina regenerativa e ciência dos materiais. As bases de dados utilizadas incluíram SciELO, PubMed, Google Acadêmico, Periódicos CAPES, ScienceDirect e IEEE Xplore, abrangendo publicações dos últimos dez anos. Foram utilizados os descritores: “Bioimpressão 3D”, “Engenharia de tecidos”, “Medicina regenerativa” e “Transplantes”, contemplados nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS).

Foram adotados como critérios de inclusão: publicações revisadas por pares, disponíveis na íntegra; textos que abordassem especificamente a bioimpressão de tecidos ou órgãos; estudos de caso aplicados; e artigos originais. Os critérios de exclusão compreenderam materiais sem fundamentação científica, artigos duplicados ou desatualizados, publicações sem relação direta com o tema, teses e dissertações.

Os dados foram organizados por eixos temáticos e analisados com base na técnica de análise de conteúdo, conforme Bardin (2011), permitindo a identificação de padrões, tendências e lacunas na literatura atual. Os resultados foram discutidos à luz dos objetivos propostos e das contribuições teóricas dos autores consultados.

Por tratar-se de uma revisão baseada exclusivamente em publicações disponíveis em domínio público, esta pesquisa não exigiu submissão a Comitê de Ética em Pesquisa. Todos os artigos utilizados foram acessados de forma legal, seguindo critérios científicos e éticos de seleção e uso de informações.

3. Resultados

A pesquisa foi realizada por meio de uma busca sistematizada nas bases de dados selecionadas, utilizando os descritores estabelecidos. Após a busca inicial, os estudos foram filtrados com base nos critérios de inclusão e exclusão definidos. A Figura 1 apresenta a metodologia aplicada nesse processo, incluindo o resultado total de estudos encontrados e selecionados para compor esta revisão integrativa da literatura.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 20/08/2026 | aceito: 23/08/2026 | publicação: 26/08/2026

Etapa	Descrição
Identificação	Registros identificados: Google Acadêmico (n = 150); PubMed (n = 90); SciELO (n = 60); total nas bases (n = 300); outras fontes (n = 20); total geral identificado (n = 320).
Remoção	Registros removidos antes da triagem: duplicados (n = 20) e removidos por outros motivos (n = 10).
Outros métodos	Registros identificados em sites (n = 300) e organizações (n = 20).
Triagem	Registros selecionados (n = 280); registros excluídos (n = 40).
Elegibilidade	Relatórios avaliados para elegibilidade (n = 120); relatórios excluídos por estarem fora do escopo ou sem dados clínicos relevantes.
Inclusão	Estudos incluídos na revisão integrativa (n = 5).

Figura 1 – Descritores utilizados para a pesquisa, bases de dados e estudos selecionados, publicados no período de 2020 a 2025 (Fonte: autoria própria, 2025).

Após a triagem inicial, os títulos e resumos foram avaliados quanto à pertinência temática, seguidos pela leitura integral dos artigos selecionados. O processo de seleção foi representado em um fluxograma PRISMA, contemplando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, resultando em um total de cinco estudos utilizados para a análise final.

Observa-se, na Tabela 1, que os artigos analisados sobre bioimpressão 3D de tecidos e órgãos foram publicados entre 2016 e 2025. Do total de cinco artigos selecionados, dois foram publicados em 2023, um em 2016, um em 2025 e um em 2020, evidenciando o crescimento contínuo do interesse da comunidade científica pela aplicação da bioimpressão 3D na medicina regenerativa.

Em relação aos delineamentos metodológicos, verificou-se o predomínio de revisões de literatura e estudos experimentais laboratoriais, especialmente aqueles voltados ao desenvolvimento de biotintas, arcabouços e técnicas de bioimpressão para aplicação em tecidos como pele, cartilagem e músculo cardíaco. Estudos como o de Wu, Zhu e Woo (2023) apresentaram ensaios experimentais de bioimpressão com potencial translacional, enquanto outros, como Matai et al. (2020), realizaram análises conceituais e tecnológicas sobre os avanços do campo.

Entre os principais objetivos investigados, destacam-se: a definição e o aprimoramento de biotintas; o desenvolvimento de tecidos funcionais e vascularizados; a evolução das técnicas de bioimpressão; e a análise das perspectivas clínicas e regulatórias para uso em transplantes.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 20/08/2026 | aceito: 23/08/2026 | publicação: 26/08/2026

Os principais resultados apontam avanços significativos na viabilidade celular e na biocompatibilidade das biotintas, bem como na precisão estrutural das impressões tridimensionais. Evidenciou-se ainda o potencial da tecnologia para reduzir a dependência de doadores de órgãos, melhorar a regeneração tecidual e impulsionar a medicina personalizada. Todavia, persistem desafios quanto à vascularização eficiente, à reprodução funcional completa dos órgãos e à padronização de protocolos clínicos e éticos.

A Tabela 1, denominada “Pesquisa integrativa sobre bioimpressão 3D de tecidos e órgãos”, apresenta os estudos selecionados para compor a revisão integrativa.

Tabela 1 – Pesquisa integrativa sobre bioimpressão 3D de tecidos e órgãos. Fonte: autoria própria, 2025.

Autor e ano	Título do artigo	Delineamento	Objetivo do estudo	Principais resultados
JANG, Y. B. et al. (2023)	*Advances and innovations of 3D bioprinting skin: A brief review.*	Revisão narrativa.	Analisar inovações na bioimpressão de pele.	Demonstra avanços em biomateriais e precisão para a construção de tecidos dérmicos.
LI, J. et al. (2016)	*Recent advances in bioprinting techniques: approaches, applications and future prospects.*	Revisão integrativa.	Analisar abordagens e aplicações emergentes.	Aponta avanços em técnicas de impressão e discute potencial terapêutico e limitações clínicas.
MATAI, I. et al. (2020)	*Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering.*	Revisão de literatura.	Revisar o progresso da bioimpressão em engenharia tecidual.	Evidencia aplicações em órgãos artificiais e perspectivas em medicina regenerativa.
PICADO-TEJERO, A. et al. (2025)	*Porous scaffolds for 3D bioprinting in tissue engineering: Recent advances and future directions.*	Revisão narrativa e crítica.	Analisar o uso de scaffolds porosos na bioimpressão.	Apresenta novas abordagens de biopolímeros com alta porosidade e integração celular.
WU, R.; ZHU, W.; WOO, S. L. (2023)	*Advances in 3D Bioprinting: Techniques, Applications, and Future Directions for Cardiac Tissue Engineering.*	Revisão científica.	Revisar avanços em bioimpressão cardíaca.	Destaca avanços técnicos e biológicos em modelos cardíacos impressos em 3D.

Legenda: 3D: tridimensional.

4. Discussão

4.1 Avanços da bioimpressão 3D na medicina regenerativa

Nos últimos anos, vários estudos vêm demonstrando progressos significativos na bioimpressão 3D para regeneração de pele, cartilagem e tecidos vasculares, apontando para uma aplicação cada vez mais próxima da clínica. Por exemplo, Jang e colaboradores (2023) revisaram os desenvolvimentos na bioimpressão de pele (Advances and innovations of 3D bioprinting skin), destacando biotintas multicamadas capazes de imitar as camadas da pele — epiderme, derme e hipoderme —, com inclusão de anexos cutâneos e melhora da vascularização, o que permite modelos mais realistas para cicatrização ou testes in vitro.

Na engenharia de cartilagem, Li e demais autores (2016) exploraram diversas biotintas, técnicas e scaffolds para regeneração condral, mostrando que a combinação de hidrogéis com materiais reforçados e a impressão híbrida — misturando polímeros termoplásticos com hidrogéis — consegue fornecer melhores propriedades mecânicas, mantendo a viabilidade celular.

Outro avanço importante refere-se à bioimpressão de tecidos vasculares, tema crítico para aumentar a espessura e a funcionalidade de tecidos bioimpressos. Em uma revisão recente, Picado-Tejero et al. (2025) destacam novos scaffolds porosos que favorecem o crescimento celular e a perfusão de fluidos, possibilitando estruturas mais densas e que toleram melhor o transplante ou a integração com tecidos hospedeiros.

No campo cardíaco, Wu, Zhu e Woo (2023) analisaram técnicas e aplicações emergentes para a engenharia cardíaca, mostrando progresso não somente na impressão de patches cardíacos com células-tronco ou cardiomiócitos derivados de células pluripotentes, mas também nas vias de maturação dessas células após a impressão, para que adquiram morfologia e funcionalidade próximas às nativas, como contração e condução elétrica.

Esses avanços, reunidos, sinalizam uma transição da bioimpressão de protótipos de laboratório para aplicações pré-clínicas mais robustas, com ênfase em pele, cartilagem e tecido cardíaco. Mesmo que ainda existam desafios, como velocidade de maturação, escalabilidade, vascularização funcional e integração imunológica, as tendências recentes são promissoras para que terapias regenerativas baseadas em bioimpressão 3D cheguem ao uso clínico em médio e longo prazo.

A bioimpressão 3D tem evoluído de forma acelerada nos últimos anos, principalmente devido aos avanços na engenharia de materiais e ao desenvolvimento de biotintas cada vez mais sofisticadas. Essas biotintas, compostas por células vivas e biomateriais, têm permitido a

construção de estruturas tridimensionais mais próximas da realidade fisiológica, possibilitando o crescimento, a diferenciação e a maturação celular dentro dos arcabouços impressos (Li et al., 2016).

Um dos principais campos beneficiados pela bioimpressão é a engenharia de pele. Pesquisas recentes mostram que já é possível produzir substitutos dérmicos complexos, com múltiplas camadas que reproduzem epiderme, derme e, em alguns casos, estruturas vasculares iniciais. Esses avanços têm potencial não apenas para tratar grandes queimaduras, mas também para reduzir o uso de animais em testes farmacológicos e cosméticos (Jang et al., 2023).

Na engenharia de cartilagem, a bioimpressão tem mostrado resultados encorajadores. Os biomateriais utilizados, como hidrogéis à base de colágeno, ácido hialurônico e gelatina metacrilada, vêm demonstrando boa biocompatibilidade e potencial para regeneração de tecidos articulares. Isso é especialmente relevante para o tratamento de lesões em joelhos e quadris, comuns em populações idosas ou atletas de alto rendimento (Li et al., 2016).

O campo da bioimpressão cardíaca também tem avançado de maneira significativa. Estruturas como patches cardíacos vascularizados já estão sendo desenvolvidas, e estudos indicam que esses tecidos podem ser utilizados para regenerar áreas lesionadas do coração após infarto. Esse tipo de intervenção abre perspectivas para terapias regenerativas mais eficazes, reduzindo a necessidade de transplantes cardíacos (Wu; Zhu; Woo, 2023).

Além dos órgãos sólidos, tecidos mais complexos e metabolicamente ativos, como fígado e rins, vêm sendo alvo de estudos de bioimpressão. Embora ainda não seja possível imprimir órgãos funcionais completos para transplante, já existem modelos de tecidos hepáticos e renais capazes de realizar funções básicas, como filtração e metabolização. Esses modelos têm se mostrado extremamente úteis em pesquisas de toxicidade de fármacos e no estudo de doenças crônicas (Picado-Tejero et al., 2025).

Outro avanço importante está na vascularização dos tecidos impressos. A criação de redes vasculares funcionais tem sido um dos maiores desafios da bioimpressão, uma vez que a ausência de vasos limita a sobrevivência e a integração do tecido. No entanto, técnicas recentes, como impressão coaxial e uso de fatores angiogênicos nas biotintas, têm permitido progressos significativos nesse campo (Jang et al., 2023).

Do ponto de vista translacional, a bioimpressão também tem se mostrado uma ferramenta essencial para a medicina personalizada. Com o uso de células autólogas, é possível reduzir o risco de rejeição imunológica e criar tecidos sob medida para cada paciente. Esse potencial torna a bioimpressão uma alternativa promissora para o futuro dos transplantes e da terapia regenerativa (Wu; Zhu; Woo, 2023).

Por fim, observa-se que a bioimpressão 3D não se limita apenas ao desenvolvimento de órgãos e tecidos para transplante, mas também abre caminho para novas formas de pesquisa científica. Modelos de tecidos humanos in vitro impressos em 3D oferecem maior precisão para simular doenças, testar tratamentos e estudar interações farmacológicas, representando uma mudança de paradigma na pesquisa biomédica (Picado-Tejero et al., 2025).

4.2 Desafios e limitações tecnológicas da bioimpressão 3D

Apesar dos avanços promissores, a bioimpressão 3D ainda enfrenta uma série de desafios tecnológicos e científicos que limitam sua aplicação clínica imediata. Um dos principais obstáculos está na complexidade estrutural e funcional dos órgãos humanos, que apresentam não apenas diferentes tipos celulares, mas também interações dinâmicas com sistemas vasculares e nervosos. Replicar essa complexidade em laboratório exige estratégias altamente avançadas de engenharia de tecidos (Matai et al., 2020).

A vascularização é considerada uma das barreiras mais críticas para a bioimpressão em larga escala. Sem uma rede capilar funcional, tecidos de maior espessura sofrem com hipóxia e necrose celular após a impressão. Apesar do desenvolvimento de técnicas de impressão coaxial e da utilização de fatores de crescimento angiogênicos, a integração plena de tecidos bioimpressos ao sistema circulatório do hospedeiro ainda não foi plenamente alcançada (Jang et al., 2023).

Outro desafio relevante está relacionado à biocompatibilidade e à estabilidade mecânica dos biomateriais utilizados. Hidrogéis, por exemplo, oferecem boa compatibilidade celular, mas apresentam baixa resistência mecânica, o que limita sua aplicação em órgãos que necessitam de maior sustentação, como ossos e cartilagens. A busca por materiais híbridos, que conciliem biocompatibilidade e robustez estrutural, é uma das principais linhas de pesquisa atuais (Li et al., 2016).

Além disso, a viabilidade e a diferenciação celular permanecem como pontos de atenção. Durante o processo de impressão, as células são submetidas a esforços mecânicos e térmicos que podem comprometer sua sobrevivência. Manter a funcionalidade celular ao longo do tempo é essencial para que o tecido impresso seja viável, especialmente em aplicações terapêuticas (Matai et al., 2020).

Do ponto de vista da escala de produção, outro desafio importante é a transição da bioimpressão experimental para a produção em larga escala destinada a transplantes. Atualmente, a maioria dos experimentos ocorre em ambiente laboratorial controlado, e o

processo de regulamentação para uso em humanos ainda demanda padronização de protocolos e testes clínicos rigorosos (Picado-Tejero et al., 2025).

Questões éticas e regulatórias também surgem como entraves à bioimpressão. A manipulação de células humanas, especialmente células-tronco, levanta debates sobre limites morais e sobre o acesso equitativo a essas tecnologias. Além disso, a definição de marcos regulatórios claros é indispensável para garantir a segurança e a eficácia de órgãos bioimpressos destinados a transplantes (Wu; Zhu; Woo, 2023).

Por fim, a questão econômica deve ser considerada. Os altos custos associados ao desenvolvimento de bioimpressoras, biotintas e protocolos de engenharia de tecidos tornam a tecnologia inacessível para muitos centros de pesquisa e sistemas de saúde. Para que a bioimpressão seja amplamente adotada, será necessário desenvolver soluções mais econômicas e escaláveis, garantindo sua viabilidade no contexto da saúde pública (Jang et al., 2023).

Assim, embora a bioimpressão 3D de tecidos e órgãos represente uma revolução na medicina regenerativa, sua consolidação como prática clínica depende da superação de barreiras técnicas, regulatórias e econômicas. O enfrentamento desses desafios será determinante para que a tecnologia deixe de ser apenas uma promessa e se torne uma realidade no tratamento de doenças complexas.

5. Considerações finais

A pesquisa integrativa sobre bioimpressão 3D de tecidos e órgãos permitiu compreender a amplitude dos avanços científicos e tecnológicos que vêm transformando a medicina regenerativa. A análise dos estudos evidenciou que essa tecnologia já ultrapassou a fase conceitual e se consolidou como uma ferramenta promissora para a criação de tecidos funcionais, com potencial de aplicação clínica no futuro.

Constatou-se que o campo tem evoluído rapidamente, impulsionado pelo aprimoramento das biotintas, dos biomateriais e das técnicas de impressão, que hoje possibilitam a construção de estruturas cada vez mais complexas e biocompatíveis. A bioimpressão tem se mostrado especialmente relevante para o desenvolvimento de modelos biológicos que simulam tecidos humanos, o que amplia as possibilidades de pesquisa em farmacologia, toxicologia e terapias personalizadas.

Apesar do progresso, os desafios permanecem expressivos. A obtenção de órgãos totalmente funcionais e vascularizados ainda é um obstáculo técnico importante, assim como a padronização dos processos e a regulamentação ética e legal da aplicação clínica dessa

tecnologia. Além disso, o custo elevado e a necessidade de profissionais altamente qualificados indicam que a consolidação da bioimpressão como prática médica ainda depende de tempo, investimento e colaboração interdisciplinar.

De modo geral, conclui-se que a bioimpressão 3D representa uma das fronteiras mais promissoras da biotecnologia moderna. Seus avanços apontam para um futuro em que será possível reduzir a escassez de órgãos para transplante, minimizar rejeições e oferecer soluções terapêuticas sob medida para cada paciente. Assim, a continuidade das pesquisas e o fortalecimento das parcerias entre universidades, centros médicos e indústria serão fundamentais para transformar esse potencial em realidade clínica.

Conflitos de interesse

Nada a declarar.

6. Referências

AMB. Associação Médica Brasileira. Brasília, urgente. Brasil teve 29 mil transplantes de órgãos em 2023, maior número da história. AMB, 2024. Disponível em: https://amb.org.br/brasilia-urgente/brasil-teve-29-mil-transplantes-de-orgaos-em-2023-maior-numero-da-historia/. Acesso em: 5 abr. 2025.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011. 229 p.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Comunicação Social. São Paulo registra mais de 6,6 mil transplantes até setembro de 2023. 12 jan. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias-regionalizadas/transplantes-em-2023/sao-paulo-registra-mais-de-6-6-mil-transplantes-ate-setembro-de-2023. Acesso em: 20 abr. 2025.

GROLL, J. et al. A definition of bioinks and their distinction from biomaterial inks. Biofabrication, v. 11, n. 1, p. 013001, 2019. DOI: 10.1088/1758-5090/aaec52.

GUNGOR-OZKERIM, P. Selcan et al. Bioinks for 3D bioprinting: an overview. Biomaterials Science, v. 6, n. 5, p. 915-946, 2018. Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2018/bm/c7bm00765e. Acesso em: 30 mar. 2025.

HEID, S.; BOCCACCINI, A. R. Advancing bioinks for 3D bioprinting using reactive fillers: a review. Acta Biomaterialia, v. 113, p. 1-22, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.06.040. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1742706120305706. Acesso em: 16 set. 2025.

JANG, Young Bok et al. Advances and innovations of 3D bioprinting skin: A brief review. Bioengineering, v. 10, n. 1, p. 79, 2023.

LI, J. et al. Recent advances in bioprinting techniques: approaches, applications and future prospects. Journal of Translational Medicine, v. 14, art. 271, 2016. Disponível em: https://translational-medicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12967-016-1028-0.

MATAI, I. et al. Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering. Biomaterials, v. 226, art. 119536, jan. 2020.

MIKOS, Antonios G. et al. Prevascularization of porous biodegradable polymers. Biotechnology and Bioengineering, v. 42, n. 6, p. 716-723, 1993. Disponível em: https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bit.260420606. Acesso em: 30 mar. 2025.

MURPHY, Sean V.; ATALA, Anthony. 3D bioprinting of tissues and organs. Nature Biotechnology, v. 32, n. 8, p. 773-785, 2014. Disponível em: https://www.nature.com/articles/nbt.2958. Acesso em: 30 mar. 2025.

MURPHY, Sean V.; DE COPPI, Paolo; ATALA, Anthony. Opportunities and challenges of translational 3D bioprinting. Nature Biomedical Engineering, v. 4, n. 4, p. 370-380, 2020. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41551-019-0471-7. Acesso em: 30 mar. 2025.

NOOR, N. et al. 3D printing of personalized thick and perfusable cardiac patches and hearts. Advanced Science, v. 6, n. 11, p. 1-11, 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/advs.201900344. Disponível em: https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/advs.201900344. Acesso em: 30 mar. 2025.

OZBOLAT, Ibrahim T.; HOSPODIUK, Monika. Current advances and future perspectives in extrusion-based bioprinting. Biomaterials, v. 76, p. 321-343, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142961215008868. Acesso em: 30 mar. 2025.

PICADO-TEJERO, Ana et al. Porous scaffolds for 3D bioprinting in tissue engineering: Recent advances and future directions. Journal of Functional Biomaterials, v. 16, n. 9, p. 328, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/jfb16090328.

TREVIZAN, Lucas Noboru Vater; BORGES, Marco Antônio da Costa; BARUD, Hernane da Silva. Prospecção tecnológica: polímeros aplicados ao desenvolvimento de biotintas para bioimpressão 3D. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 42163-42181, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n5-612. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/48740. Acesso em: 11 abr. 2025.

WU, Rui; ZHU, Wei; WOO, Sun Iung. Advances in 3D Bioprinting: Techniques, Applications, and Future Directions for Cardiac Tissue Engineering. Bioengineering, v. 10, n. 7, p. 842, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/bioengineering10070842. Acesso em: 11 abr. 2025.