

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

ADRIELLE BRAGA GONÇALVES

O USO DE IMPRESSÃO 3D EM PRÓTESES, ÓRTESES E ÓRGÃOS

UBERLÂNDIA – MG

2025

ADRIELLE BRAGA GONÇALVES

O USO DE IMPRESSÃO 3D EM PRÓTESES, ÓRTESES E ÓRGÃOS

Projeto de fim de curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências da graduação na Faculdade de Engenharia Mecânica, para obtenção do título de Engenheira Mecatrônica.

Área de concentração: Impressão 3D

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

UBERLÂNDIA – MG

2025

ADRIELLE BRAGA GONÇALVES

O USO DE IMPRESSÃO 3D EM PRÓTESES, ÓRTESES E ÓRGÃOS

Projeto de fim de curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências da graduação na Faculdade de Engenharia Mecânica, para obtenção do título de Engenheira Mecatrônica.

Área de concentração: Impressão 3D

Uberlândia, 21/05/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva - UFU - Orientador

Prof. Dr. Luciano José Arantes - UFU

Msc. Felipe dos Anjos Rodrigues Campos - UFU

Msc. Felipe Chagas Rodrigues de Souza – UFU

RESUMO

Este trabalho investiga o uso da tecnologia de impressão tridimensional na fabricação de próteses, órteses e órgãos artificiais, considerando sua aplicação crescente na área da saúde. O estudo tem como objetivo analisar as principais técnicas de impressão 3D aplicadas ao setor biomédico, destacando seus materiais, vantagens, limitações e perspectivas. Para isso, adota-se uma metodologia de revisão bibliográfica sistemática, com seleção e análise de artigos científicos, patentes e relatórios técnicos publicados entre 2018 e 2024. A pesquisa organiza e classifica os dados encontrados conforme a finalidade das aplicações, os métodos de impressão empregados e os materiais utilizados, como o ácido polilático, resinas fotopolimerizáveis e polímeros biocompatíveis. Os resultados indicam que as técnicas mais utilizadas envolvem a modelagem por deposição fundida e o processamento digital de luz, com destaque para a produção de dispositivos personalizados, eficientes e de baixo custo. Além disso, a bioimpressão surge como tendência promissora na engenharia de tecidos, especialmente em estudos experimentais voltados para a regeneração de órgãos. O estudo conclui que a impressão 3D oferece soluções inovadoras para a medicina personalizada, favorecendo a acessibilidade de dispositivos médicos e promovendo avanços significativos na área da saúde. Apesar dos benefícios observados, a pesquisa aponta desafios relacionados à regulamentação, padronização de processos e validação clínica, que precisam ser superados para a consolidação dessa tecnologia no ambiente hospitalar.

Palavras-chave: impressão tridimensional; próteses; órteses; bioengenharia; saúde.

ABSTRACT

This study investigates the use of three-dimensional printing technology in the manufacturing of prostheses, orthoses, and artificial organs, considering its growing application in the healthcare sector. The objective is to analyze the main 3D printing techniques applied to the biomedical field, highlighting their materials, advantages, limitations, and future perspectives. A systematic literature review methodology was adopted, selecting and analyzing scientific articles, patents, and technical reports published between 2018 and 2024. The research organizes and classifies the data according to application purposes, printing methods, and materials used, such as polylactic acid, photopolymerizable resins, and biocompatible polymers. The results indicate that the most widely used techniques involve fused deposition modeling and digital light processing, with emphasis on the production of personalized, efficient, and low-cost devices. Furthermore, bioprinting emerges as a promising trend in tissue engineering, especially in experimental studies focused on organ regeneration. The study concludes that 3D printing offers innovative solutions for personalized medicine, enhancing the accessibility of medical devices and promoting significant advances in the healthcare area. Despite the observed benefits, the research highlights challenges related to regulation, process standardization, and clinical validation that must be overcome to consolidate this technology in hospital environments.

Keywords: three-dimensional printing; prostheses; orthoses; bioengineering; healthcare.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira impressão 3D do mundo.	15
Figura 2 - Modelo de impressão 3D na atualidade.	16
Figura 3 - Filamento de acrilonitrila butadieno estireno (ABS).....	20
Figura 4 - Filamento PLA – ácido polilático – que é biodegradável e de origem vegetal.	20
Figura 5 - Próteses de membros inferiores.	25
Figura 6 - Próteses de membros superiores.....	25
Figura 7 - Modelo de prótese dentária.	26
Figura 8 – Próteses 3D.....	26
Figura 9 - Detalhes próteses 3D	27
Figura 10 – Exemplos de órteses.	29
Figura 11 - Órtese Fix it 3D.....	30
Figura 12 - Órtese para áxilo-palmar.	31
Figura 13 - Metodologia de Scaffolds LBL.	34
Figura 14 - Modelo representativo da técnica de avaliação dos efeitos do tecido 3D bioartificial.....	35
Figura 15 - Técnicas de bioimpressão 3D.....	36
Figura 16 - Quantidade de artigos revisados por ano de publicação.	44
Figura 17 - Tipos de impressões utilizadas.....	45
Figura 18 - Tipos de materiais utilizados.....	48
Figura 19 - Tipos de aplicações.....	51
Figura 20 - Tipos de impressão e materiais mais utilizados.....	54
Figura 21 - Tipos de impressão e suas aplicações.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Marcos da história da impressão 3D.....	17
Quadro 2 - Materiais utilizados na impressão 3D.	18
Quadro 3 - Classificação e tipo de próteses.	24
Quadro 4 - Classificação e tipo de órteses.	30
Quadro 5 - Aplicações da bioimpressão.	34
Quadro 6 - Benefícios e limitações na utilização da impressão 3D na saúde.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concordância de estudos dos tipos de impressões.	17
Tabela 2 - Concordância de estudos dos tipos de materiais	18
Tabela 3 - Concordância de estudos dos tipos de aplicações.....	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno

DPL – Procedimento digital de luz

EBM - Fusão de feixe de elétrons

FDM - Modelagem por Fusão e Deposição

FN - Fibronectina

G - Gelatina

LBL - Layer-by-layer

LOM - Fabricação de objetos laminados

MEC - Matriz extracelular

PLA - Ácido polilático

RM - Ressonância magnética

SLA - Estereolitografia

SLM - Fusão seletiva a laser

SLS - Sinterização seletiva a laser

TA - Tecnologias assistivas

TC - Tomografia computadorizada

TIJ - Impressão a jato de tinta térmico

TPU - Poliuretano Termoplástico

VPP - Fotopolimerização em cuba

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	OBJETIVO GERAL	12
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	CONCEITOS E HISTÓRICO DA IMPRESSÃO 3D	14
2.2	MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPRESSÃO 3D	18
2.3	IMPRESSÃO 3D NA SAÚDE	21
2.4	PRÓTESES	23
2.4.1	PRODUÇÃO DE PRÓTESE PARA MEMBROS SUPERIORES	27
2.5	ÓRTESES	29
2.5.1	PRODUÇÃO DE ÓRTESE 3D	32
2.6	BIOIMPRESSÃO	33
2.7	BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DO USO DA IMPRESSÃO 3D NA SAÚDE	39
2.8	IMPRESSÃO 3D DE ÓRGÃOS HUMANOS: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS FUTURAS	41
2.9	MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPRESSÃO 3D DE PRÓTESES, ÓRTESES E ÓRGÃOS	42
3	METODOLOGIA	43
3.1	TIPO DE ESTUDO	43
3.2	DEFINIÇÃO DO ESCOPO	44
3.3	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	44
3.4	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	44
3.5	PROCEDIMENTO DE SELEÇÃO DE ESTUDOS	45
3.6	ANÁLISE E SÍNTESE DE DADOS	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diversos avanços tecnológicos impactaram profundamente a engenharia, possibilitando a criação de novas metodologias abrangentes para os mais determinados fins. A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, revolucionou a fabricação de objetos ao permitir a criação de estruturas tridimensionais a partir de modelos digitais, contrastando técnicas de manufatura tradicionais, que muitas vezes envolvem a remoção de material de um bloco maior, como a manufatura subtrativa (MURR, 2016; BARCZEWSKI et al., 2022).

Durante a impressão, ocorre o processo de adição de camadas de material sucessivamente até formar a peça física desejada. Dentre as técnicas utilizadas na impressão 3D estão a sinterização seletiva a laser (SLS), o jato de material, a estereolitografia (SLA), a extrusão de material e o jato de ligante, cada uma oferecendo vantagens específicas dependendo do material e da aplicação (LIRA, 2021).

O sucesso dessa tecnologia na produção de peças complexas e na economia de material e tempo, devido à produção em alta velocidade, torna a impressão 3D uma opção atraente para diversos setores. Segundo Salmi (2001), a tecnologia dentro da medicina permitiu o desenvolvimento de técnicas cirúrgicas aprimoradas, o uso de materiais biocompatíveis, a precisão aumentada na engenharia e a utilização de imagens médicas, que pavimentaram o caminho para a adoção da impressão 3D na área da saúde.

A capacidade de criar próteses personalizadas e a possibilidade de bioimpressão de tecidos e órgãos são apenas algumas das aplicações que demonstram o potencial transformador da impressão 3D (JIN, 2021). Devido à rapidez e a custos reduzidos, oferece novas possibilidades para tratamentos e reabilitação de pacientes, elevando o nível de qualidade de vida e reduzindo a dependência de processos tradicionais (FIGUEIREDO e CESAR, 2022). Além disso, a tecnologia está sendo explorada para a reparação ou substituição de órgãos defeituosos, como rins e coração, e a criação de órgãos que desempenhem as mesmas funções biológicas dos originais (SHAPIRA e DEVIR, 2021).

Diante do exposto, neste estudo serão introduzidas as diferentes técnicas de impressão 3D, destacando suas propriedades superiores e aplicações em diversas áreas biomédicas. E serão abordados os benefícios dessa tecnologia, os desafios atuais que precisam ser superados, bem como as tendências e oportunidades futuras nas aplicações biomédicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma revisão da literatura sobre o uso de impressoras 3D na fabricação de próteses, órteses e órgãos, com o intuito de identificar os avanços tecnológicos, aplicações práticas, benefícios e desafios dessa tecnologia.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais avanços tecnológicos na impressão 3D de próteses, órteses e órgãos
- Revisar estudos e artigos científicos que descrevem as inovações e melhorias na tecnologia de impressão 3D aplicada à saúde.
- Analisar as novas técnicas e materiais utilizados na impressão de dispositivos médicos.
- Explorar as aplicações práticas da impressão 3D na fabricação de próteses e órteses personalizadas.
- Examinar os benefícios e desafios associados ao uso de impressoras 3D na produção de órgãos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa deste estudo residiu na observação de vários fatores que abrangeram aspectos técnicos, sociais e econômicos relacionados ao uso de

impressoras 3D na fabricação de próteses, órteses e órgãos. Inicialmente, os avanços tecnológicos e a inovação na saúde destacaram-se como elementos centrais.

A impressão 3D surgiu como uma das inovações mais significativas na área da saúde, permitindo a criação de dispositivos médicos que atendiam às necessidades específicas de cada paciente (BUCKING et al., 2017). Morimoto et al. (2021) ressalta que essa personalização não apenas melhora o conforto e a funcionalidade dos dispositivos, mas também potencializa os resultados dos tratamentos e a qualidade de vida dos pacientes.

A redução de custos e a acessibilidade proporcionadas pela impressão 3D são significativas, e Lacerda et al. (2020) afirma que os métodos tradicionais de fabricação de próteses e órteses são expressivos em quesitos de tempo e financeiro, envolvendo processos complexos e a necessidade de materiais de difícil acesso. Em contraste, a impressão 3D permite uma produção rápida e eficiente, utilizando materiais mais acessíveis, o que reduz significativamente os custos para pacientes e sistemas de saúde (MONTMARTIN et al., 2015).

A bioimpressão, uma subcategoria da impressão 3D, abre novas fronteiras na medicina regenerativa, com a capacidade de imprimir tecidos e órgãos funcionais, e representam uma esperança para milhares de pacientes que aguardam transplantes, reduzindo a dependência de doadores e os riscos associados à rejeição de órgãos (VANELLI e MABA, 2020). Sendo assim, este estudo justifica-se devido a capacidade transformadora da impressão 3D de melhorar os tratamentos médicos, tornar os dispositivos de saúde mais acessíveis, promover avanços na medicina regenerativa, enfrentar desafios técnicos e regulamentares, e gerar impacto positivo na economia e na sociedade. O aprofundamento do conhecimento sobre a aplicação dessa tecnologia emergente é essencial para maximizar seus benefícios e mitigar seus desafios, contribuindo assim para a evolução contínua da saúde.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo conta com o capítulo introdutório, que apresenta a justificativa e os objetivos desta pesquisa sobre o uso de impressoras 3D na fabricação de próteses, órteses e órgãos. Estruturalmente, o texto está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 2 - Fundamentação Teórica: Este capítulo aborda a fundamentação teórica relevante para o tema da pesquisa, incluindo uma análise das técnicas de impressão 3D, suas aplicações na medicina, e a evolução dos materiais e métodos utilizados na fabricação de próteses, órteses e órgãos.
- Capítulo 3 - Metodologia: A metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema proposto será detalhada neste capítulo. Serão descritos os procedimentos utilizados para realizar a revisão da literatura, com a abordagem adotada para garantir a precisão e a eficácia dos resultados obtidos.
- Capítulo 4 - Resultados e Discussão: Os resultados obtidos após a análise da revisão da literatura são apresentados aqui, onde são analisados os dados coletados, o desempenho das próteses e órteses impressas, e a relevância dos resultados em comparação com as expectativas e estudos anteriores. A discussão incluirá a interpretação dos pontos principais encontrados nos estudos já publicados e a identificação de possíveis implicações práticas e teóricas.
- Capítulo 5 - Considerações Finais: O capítulo final apresentará as conclusões deste trabalho, resumindo os principais achados e suas contribuições para o campo da impressão 3D na saúde. Além disso, serão propostas sugestões para futuros estudos e pesquisas que possam expandir o conhecimento e aprimorar as aplicações da tecnologia na área médica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS E HISTÓRICO DA IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D, ou manufatura aditiva, é uma técnica moderna de produção que permite a criação de peças com formas complexas diretamente a partir de um modelo 3D gerado por computador, com a capacidade de desenvolver protótipos funcionais rapidamente, reduzir o intervalo entre o design e a prototipagem, e melhorar o planejamento através de um processo de design iterativo (GIBSON et al., 2021).

Segundo Formiga e Carneiro (2021), a aplicação da impressão 3D permite um melhor alinhamento dentro das organizações, acelera a tomada de decisões, diminui a necessidade de trabalho manual, reduz o desperdício de materiais e altera a cadeia

de suprimentos convencional, viabilizando a fabricação de produtos mais próximos do ponto de uso quando necessário, o que otimiza o tempo de entrega.

A história da impressão 3D remonta ao início da década de 1980. Em 1981, Hideo Kodama, do Instituto Municipal de Pesquisa Industrial de Nagoya, situado no Japão, desenvolveu um processo para criar protótipos rápidos utilizando uma técnica de fotopolimerização (VIEIRA, 2007). Contudo, o grande marco foi em 1984, quando Charles Hull inventou a estereolitografia (SLA), um dos primeiros métodos de impressão 3D. Hull fundou a 3D Systems Corporation e patenteou a SLA, que usa um laser ultravioleta para solidificar camadas de resina líquida (RODRIGUES, 2020), vista na Figura 1.

Figura 1 - Primeira impressão 3D do mundo.



Fonte: Portella (2023).

Em 1980 a tecnologia SLS (sinterização por laser seletivo) foi desenvolvida por Carl Deckard e seu professor Joe Beaman na Universidade do Texas em Austin, que utiliza o calor de um laser para sinterizar vários tipos de materiais de base polimérica, sob a forma de pó. Na década de 1990, a tecnologia de impressão 3D começou a se expandir com a introdução de novas técnicas e a diminuição dos custos das impressoras. Em 1992, a Stratasys lançou a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), uma técnica que utiliza a extrusão de um filamento plástico, depositado em camadas na composição da peça. A impressão 3D ganhou reconhecimento mais amplo no início dos anos 2000 com o surgimento de impressoras 3D de baixo custo e a popularização da fabricação digital (MORANDINI e DEL VECHIO, 2020). Ao longo

dos anos, a impressão 3D se democratizou, com a introdução de impressoras de baixo custo e a expansão de suas aplicações, desde a criação de protótipos rápidos até a impressão de alimentos, tecidos biológicos e estruturas arquitetônicas (ELHADAD et al., 2023).

Os avanços na tecnologia permitiram que a manufatura aditiva se tornasse uma ferramenta versátil e acessível, capaz de impactar significativamente os mais diferentes âmbitos, desde a engenharia, até a medicina e construção e muitos outros campos, com a capacidade de criar objetos personalizados, reduzir desperdícios e acelerar o desenvolvimento de produtos destacou-a como uma solução inovadora para os desafios modernos de fabricação e design (WHITAKER, 2014). Na Figura 2 tem-se um modelo de impressora atual.

Figura 2 - Modelo de impressão 3D na atualidade.



Fonte: George et al. (2017).

Desde a sua criação até a atualidade, houve diferentes momentos na história da impressão 3D que possibilitou maior desenvolvimento da tecnologia, como a utilização destas para a área da medicina. No Quadro 1, tem-se os principais eventos do desenvolvimento deste tipo de manufatura.

Quadro 1 - Marcos da história da impressão 3D.

ANO	MARCO
1981	Desenvolvimento do processo inicial para prototipagem rápida usando fotopolimerização no Japão.
1984	Charles Hull inventa a estereolitografia (SLA) e funda a 3D Systems Corporation. O SLA usa laser UV para solidificar resina líquida
1991	A 3D Systems lança a primeira impressora 3D comercial baseada em SLA
1992	Stratasys introduz a FDM, que utiliza filamentos de plástico derretido para construir objetos.
1999	Emergem as primeiras impressoras 3D de baixo custo, facilitando o acesso à tecnologia para um público mais amplo
2000	A impressão 3D começa a ganhar reconhecimento mais amplo e se torna uma ferramenta comum na fabricação digital
2005	Surge o projeto RepRap, um projeto open-source que visa criar uma impressora 3D capaz de auto-replicar partes de si mesma
2008	A MakerBot lança uma impressora 3D acessível para o consumidor doméstico, tornando a tecnologia ainda mais acessível.
2010	A impressão 3D começa a ser usada para criar próteses personalizadas e modelos anatômicos para planejamento cirúrgico
2012	Início da impressão 3D de alimentos, explorando a criação de produtos alimentícios personalizados
2013	A construção de estruturas arquitetônicas e casas utilizando impressão 3D começa a ser explorada.
2015	Avanços significativos na impressão 3D de tecidos biológicos e órgãos para aplicações médicas e de pesquisa
2020	A tecnologia de impressão 3D é utilizada para fabricar rapidamente EPIs durante a pandemia de COVID-19.

Fonte: Elaboração própria (2025), adaptado de Berman (2012), George et al. (2017) e Shin (2022).

À medida que a impressão 3D se consolidou e novas inovações emergiram, previu-se que essa tecnologia continuaria a expandir suas aplicações e benefícios. Com uma capacidade notável de adaptação às novas demandas e desafios, a tecnologia de manufatura prometia não apenas transformar significativamente os processos de fabricação e design de uma vasta gama de objetos, mas também visava

inaugurar uma era de práticas mais eficientes e sustentáveis em diversas áreas. Assim, tornou-se fundamental para o futuro da manufatura e do design, impactando de maneira crescente vários setores e redefinindo a forma como se abordava a produção e o consumo de recursos.

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPRESSÃO 3D

A tecnologia de impressão 3D possibilita a fabricação de objetos físicos a partir de modelos digitais, empregando diversos materiais, que confere características distintas ao objeto, como durabilidade, flexibilidade, aparência e adequação para diferentes usos (SAADI et al., 2022). Segundo Gibson (2021), a seleção do material é determinada pelo método de impressão empregado e pelas necessidades específicas do projeto e estes podem ser plásticos, resinas, metais, materiais compostos, biocompatíveis e para construção, apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Materiais utilizados na impressão 3D.

Grupo	Material	Descrição
Plásticos	Ácido Polilático	Biodegradável e fácil de usar, ideal para protótipos e modelos iniciais. Oferece uma boa qualidade de impressão e é disponível em várias cores.
	Acrilonitrila Butadieno Estireno	Resistente e durável, usado em peças que precisam de resistência mecânica e térmica. Comumente utilizado em peças funcionais e protótipos.
	Tereftalato de Polietileno Glicol	Combina a facilidade de impressão do PLA com a resistência do ABS. É resistente a impactos e umidade.
	Nylon	Muito forte e flexível, ideal para peças funcionais e duráveis. Utilizado em aplicações que exigem resistência ao desgaste e ao impacto.

Resinas	Resina de Fotopolímero	Usada em impressoras baseadas em estereolitografia (SLA) ou processamento digital de luz (DLP). Oferece alta resolução e detalhes precisos, ideal para joias, modelos dentários e protótipos detalhados.
	Resina flexível	Possui propriedades elásticas, permitindo a criação de peças flexíveis e deformáveis, úteis para peças que requerem alguma elasticidade ou amortecimento.
Metais	Aço Inoxidável	Usado em impressoras 3D de metal para criar peças fortes e duráveis, comumente aplicado na indústria automotiva.
	Titânio	Extremamente leve e resistente, ideal para aplicações em que a combinação de força e baixo peso é crucial, como em componentes aeroespaciais e biomédicos.
	Alumínio	Leve e com boa condutividade térmica, é usado em diversas indústrias, incluindo a automotiva e a de manufatura.
Materiais compostos	Filamentos Reforçados com Fibra de Carbono	Plásticos como o PLA ou o Nylon são misturados com fibras de carbono para aumentar a resistência e rigidez, aplicados em peças que requerem alta performance.
	Filamentos Reforçados com Fibra de Vidro	Adiciona resistência e durabilidade ao material base, utilizados em peças que precisam suportar cargas maiores.
Materiais Biocompatíveis	Polímeros Biocompatíveis	Usados em aplicações médicas e odontológicas, como implantes e próteses. Esses materiais são projetados para serem compatíveis com o corpo humano e não causarem reações adversas.
Materiais para Construção	Betão	Utilizado em impressoras 3D para construção, permite criar estruturas e edifícios com resistência e durabilidade.
	Argila e Cerâmica	Usados para criar peças artísticas ou funcionais com acabamento de alta qualidade e propriedades térmicas.

Fonte: Adaptado de Dizon et al. (2018) e NGO et al. (2021).

A diversidade de materiais disponíveis para impressão 3D amplia significativamente as possibilidades e aplicações desta tecnologia. Desde plásticos e resinas até metais e compostos avançados, a escolha do material é fundamental para alcançar os resultados desejados em termos de desempenho, estética e funcionalidade. As Figuras 3 e 4 evidenciam tipos de filamentos comumente utilizados neste tipo de manufatura.

Figura 3 - Filamento de Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS).



Fonte: Tublogen 3D (2021).

Figura 4 - Filamento PLA – ácido polilático – que é biodegradável e de origem vegetal.



Fonte: Tublogen 3D (2021).

2.3 IMPRESSÃO 3D NA SAÚDE

A tecnologia de impressão tridimensional vem promovendo uma revolução no setor da saúde, introduzindo soluções inovadoras que aprimoram a precisão dos tratamentos, a personalização dos cuidados e a eficiência dos procedimentos médicos. De acordo com Rengier et al. (2010), esta tecnologia possibilita a criação de modelos, dispositivos e até mesmo tecidos e órgãos, trazendo avanços significativos em diagnóstico, planejamento cirúrgico e recuperação dos pacientes.

Primeiramente, a impressão 3D permite a elaboração de modelos anatômicos personalizados a partir de imagens de tomografia computadorizada (TC) ou ressonância magnética (RM). Segundo Ventola (2014) e Salmi (2021), esses modelos detalhados são utilizados por profissionais da saúde para os mais diversos fins, seja para estudar a anatomia geral do corpo humano até o estudo de casos específicos antes de realizar procedimentos complexos, facilitando o planejamento cirúrgico, a prática de técnicas e a comunicação com pacientes e equipes médicas.

Murr et al. (2010) discutia sobre a fabricação de implantes médicos personalizados, como placas ósseas e implantes dentários, também se beneficia neste setor, e Zopf et al. (2013) conclui que os implantes são projetados para se ajustar exatamente à anatomia do paciente, melhorando a eficácia do tratamento e acelerando a recuperação. Kumar et al. (2021) ressaltam que esses modelos ajudam os cirurgiões a visualizar melhor as estruturas complexas, contribuindo para a precisão e segurança dos procedimentos.

Silva (2019) complementa essa ideia, enfatizando que a impressão 3D permite simulações cirúrgicas antes das operações reais, diminuindo riscos e melhorando os resultados. Além disso, a impressão 3D facilita a produção rápida e econômica de ferramentas e instrumentos cirúrgicos personalizados, que podem ser adaptados para atender às necessidades específicas de cada cirurgia, aumentando a precisão e a eficácia dos procedimentos, e possibilitando a prototipagem e o teste de novos designs e tecnologias (HOY, 2013)

A tecnologia também tem um papel importante na educação e treinamento, ao possibilitar a criação de modelos anatômicos e simuladores cirúrgicos que auxiliam na formação de médicos e estudantes de medicina. Em 2009, Ibrahim et al., compreendia que esses modelos proporcionam uma visualização tátil e prática da anatomia

humana e das técnicas cirúrgicas, aprimorando a formação e a preparação dos profissionais de saúde, afirmando a utilidade na reprodução precisa da anatomia humana para fins educativos. De acordo com a pesquisa de Segaran et al. (2021), o uso de modelos impressos em 3D melhora a compreensão das anomalias anatômicas, possibilitando uma abordagem cirúrgica mais precisa e menos invasiva. Isso não só aumenta a taxa de sucesso das cirurgias, mas também reduz o tempo de operação e a recuperação do paciente.

Outra aplicação relevante é a fabricação de próteses personalizadas, que viabiliza a criação de próteses adaptadas às necessidades e ao formato do corpo do paciente, proporcionando maior conforto e funcionalidade, devido sua grande especificidade. A capacidade de produzir próteses rapidamente reduz tanto o tempo de espera quanto os custos associados aos métodos tradicionais de produção (BANGA et al., 2020).

Sun (2018) aponta que a impressão 3D também permite a rápida prototipagem de próteses, reduzindo o tempo de produção e, conseqüentemente, os custos. A capacidade de fabricar dispositivos em questão de horas ou dias, em vez de semanas, é uma vantagem significativa que pode ser crucial para pacientes que precisam de adaptações rápidas. Kumar et al. (2021) destacam que a impressão 3D pode integrar características personalizadas, como padrões estéticos e funcionalidades específicas, tornando as próteses não apenas funcionais, mas também visualmente agradáveis.

A tecnologia também se estende a confecção de órteses e dispositivos de assistência personalizados, como suportes e cadeiras de rodas adaptadas, que são projetados para oferecer suporte específico e melhorar a mobilidade e a qualidade de vida dos pacientes, atendendo às suas necessidades individuais de maneira mais eficaz (BARRIOS-MURIEL et al., 2020). Segundo Lima et al. (2024), a personalização oferecida pela impressão 3D não só melhora a qualidade de vida dos pacientes, mas também pode reduzir os custos associados a tratamentos prolongados. Com a impressão 3D, profissionais de saúde podem criar próteses que atendem especificamente às necessidades individuais, levando em consideração fatores como o nível de atividade e o tipo de lesão.

Em termos de impressão de tecidos e órgãos, embora ainda esteja em fase de pesquisa e desenvolvimento, esta área representa uma das mais promissoras na biotecnologia. Tecnologias emergentes estão permitindo a criação de estruturas

biológicas utilizando células vivas e biomateriais, o que pode levar a avanços significativos na regeneração de tecidos e na produção de órgãos para transplantes, potencialmente reduzindo a dependência de doadores e aumentando a disponibilidade de órgãos compatíveis (JIN et al., 2021).

Conforme discutido por Kolesky et al. (2016), a bioimpressão tem o potencial de transformar a medicina regenerativa, oferecendo alternativas para a escassez de órgãos para transplante. Embora ainda esteja em estágios iniciais de desenvolvimento, a bioimpressão tem demonstrado resultados promissores em estudos laboratoriais, permitindo a formação de estruturas tridimensionais que mimetizam tecidos humanos.

2.4 PRÓTESES

As próteses são dispositivos artificiais projetados para substituir uma parte do corpo perdida devido a amputação, trauma, doença ou defeito congênito, onde seu principal objetivo é restaurar a funcionalidade, a estética e a mobilidade, ajudando os pacientes a retomar atividades diárias e melhorar sua qualidade de vida (RUBIN e COHEN, 1988). Estas podem ser classificadas em diferentes categorias, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação e tipo de próteses.

Categoria	Tipo de Próteses	Descrição
Próteses de Membros	Membros Superiores	Incluem braços, mãos e dedos artificiais, podendo ser mecânicas (com cabos e ganchos) ou avançadas (com sensores e controle eletrônico para movimentos naturais e precisos).
	Membros Inferiores	Incluem pernas e pés artificiais, projetadas para diferentes níveis de amputação (abaixo ou acima do joelho) e podem incorporar sistemas avançados de suspensão e amortecimento.
Próteses Dentárias	Dentaduras	Substituem dentes ausentes em uma arcada completa ou parcial, melhorando a função mastigatória e a estética facial.
	Implantes Dentários	Fixados no osso maxilar ou mandibular para substituir dentes individuais, oferecendo uma base estável para coroas, pontes ou dentaduras.
Próteses Articulares	Articulações de Substituição	Incluem próteses para quadril, joelho e ombro, usadas para aliviar a dor e restaurar a função em pacientes com artrite avançada ou lesões articulares.
Próteses Oculares e Auriculares	Oculares	Substituem um olho perdido, ajudando a restaurar a aparência estética do paciente.
	Auriculares	Dispositivos auditivos que melhoram a audição e o conforto em pessoas com perda auditiva significativa.

Fonte: Adaptado de Otoni e Borba (2018) e Morimoto et al. (2021).

Os benefícios das próteses são amplamente reconhecidos no contexto da reabilitação e na melhoria da qualidade de vida dos pacientes. Historicamente, as próteses desempenharam um papel fundamental na restauração da funcionalidade dos indivíduos, permitindo-lhes recuperar a capacidade de realizar atividades diárias que, de outro modo, seriam difíceis ou extremamente limitantes (SUGIO et al., 2019).

Além de restaurar a funcionalidade, as próteses também contribuíram para a melhoria da mobilidade e da independência dos pacientes. Ao substituir membros ou articulações ausentes, essas tecnologias permitiram que os indivíduos se movessem com maior facilidade e mantivessem a autonomia, reduzindo a necessidade de assistência de terceiros (TEIXEIRA et al., 2008), como mostra a Figura 5 e 6.

Figura 5 - Próteses de membros inferiores.



Fonte: Andbem (2023)

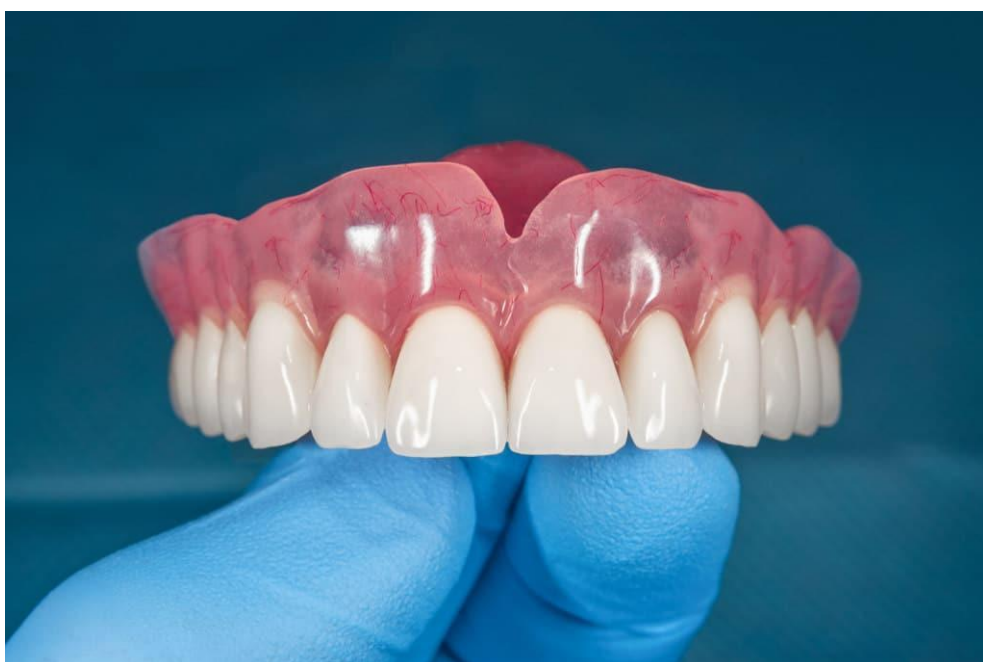
Figura 6 - Próteses de membros superiores.



Fonte: Bionicenter (2022).

A implementação de próteses trouxe um impacto positivo significativo na qualidade de vida dos pacientes. A restauração da função, aliada à melhoria estética proporcionada pelas próteses, contribuiu para o aumento da autoestima e da confiança dos indivíduos. Barreto et al. (2019) destacam que essas melhorias impactaram diretamente a qualidade de vida geral dos pacientes, permitindo-lhes integrar-se melhor às atividades sociais e profissionais, como é o caso da prótese dentária, visualizada na Figura 7.

Figura 7 - Modelo de prótese dentária.



Fonte: Mendes (2022).

O uso de próteses também facilitou a reabilitação e a adaptação a novas condições de vida, pois pacientes frequentemente experimentaram uma melhoria no processo de ajuste, recebendo suporte psicológico e físico essencial durante a adaptação às novas condições proporcionadas pelas próteses (TEIXEIRA et al., 2008). Além disso, o campo das próteses foi impulsionado por inovações tecnológicas contínuas, com o desenvolvimento de tecnologias avançadas, como impressão 3D, sensores e inteligência artificial, permitiu a criação de soluções cada vez mais eficientes e personalizadas. Essas inovações melhoraram significativamente os resultados para os pacientes, oferecendo dispositivos que são não apenas

funcionalmente eficazes, mas também altamente adaptáveis às necessidades individuais (BANGA et al., 2020).

Os benefícios das próteses transcendem a simples restauração funcional, englobando a melhoria da mobilidade, da autoestima e da independência e o contínuo avanço tecnológico na área de próteses promete oferecer soluções ainda mais personalizadas e eficazes, atendendo de forma mais precisa às necessidades individuais dos pacientes (MORIMOTO et al., 2021).

2.4.1 PRODUÇÃO DE PRÓTESE PARA MEMBROS SUPERIORES

O uso da impressão 3D na confecção de próteses tem resultado em diversos casos de sucesso, sendo amplamente aplicado, especialmente na produção de próteses para membros superiores. Um exemplo é a parceria estabelecida entre a Fundação de Amparo à Pesquisa e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) e o Instituto Internacional Despertando Vocações, que proporcionou um programa de extensão tecnológica para a produção de prótese para membros superiores a partir de manufatura aditiva. O projeto também contou com a ajuda da ONG e-Nable, que oferece próteses gratuitas para pessoas com amputações, seguindo um processo estruturado para garantir qualidade e adaptação adequada ao paciente.

Segundo Paredes, et al. (2022), para a execução do projeto, o primeiro passo é o contato inicial através da ONG, realizado por e-mail ou WhatsApp, para obter informações básicas. Em seguida, um profissional da saúde (como fisioterapeuta ou terapeuta ocupacional) mede o membro amputado e o sadio, presencialmente ou por videochamada, garantindo precisão no dimensionamento da prótese. Após as medições, os arquivos da prótese são modelados digitalmente no software OpenScad e preparados para impressão no Ultimaker Cura. A peça é então fabricada por meio da impressão 3D, exigindo verificação de materiais, alinhamento da mesa e controle de temperatura. A montagem envolve a integração de mecanismos para movimentação do ombro, cotovelo e pulso, seguida por testes de qualidade e funcionalidade. Simulações dinâmicas são realizadas para avaliar o desempenho da prótese, garantindo a usabilidade.

Na etapa final, Paredes, et al. (2022) relata que a prótese é entregue ao paciente, o mesmo é acompanhado por sessões de telereabilitação ou orientações presenciais, conduzidas por fisioterapeutas, para garantir uma boa adaptação e evitar lesões. O processo conta com uma equipe multidisciplinar, incluindo profissionais da saúde e estudantes de áreas técnicas e universitárias. Além disso, são necessários recursos como computadores, impressoras 3D, filamentos de PLA e softwares específicos para configuração e dimensionamento das próteses. Esse método possibilita a fabricação acessível de próteses funcionais, promovendo inclusão e melhoria na qualidade de vida dos beneficiados.

Figura 8 – Próteses 3D



Fonte: PAREDES et al., 2022

Figura 9 – Detalhes próteses 3D



Fonte: PAREDES et al., 2022

O projeto de Paredes et al., (2022) foi implementado e aplicado para 7 pacientes no ano de 2021 com a ajuda de empresas parceiras e patrocínios. O custo estimado para a fabricação de uma prótese com cerca de 400g foi de R\$ 115,00. Na época, esse valor representou aproximadamente 2% do preço de mercado de uma prótese estética comercial, considerando apenas o material utilizado e desconsiderando outros insumos necessários para a produção. Com os resultados obtidos a empresa parceira manifestou interesse em expandir a iniciativa, visando a comercialização de novos produtos baseados em manufatura aditiva para a área da fisioterapia e concluiu-se que a manufatura aditiva apresenta um grande potencial para substituir, especialmente no caso de crianças, as próteses convencionais de membros superiores. A tecnologia se mostrou segura, eficaz, ágil e versátil, proporcionando benefícios diretos aos pacientes devido à rapidez na produção, à possibilidade de customização e ao baixo custo em comparação às próteses tradicionais.

2.5 ÓRTESES

Órteses são dispositivos externos projetados para suportar, alinhar, corrigir ou melhorar a função de uma parte do corpo. Diferentemente das próteses, que

substituem partes ausentes do corpo, as órteses são usadas para tratar ou prevenir condições ortopédicas e neuromusculares, apoiando e estabilizando estruturas anatômicas existentes (ASSAD et al., 2017). Elas são frequentemente usadas em reabilitação, prevenção de lesões e gestão de condições crônicas, com suas categorias evidenciadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação e tipo de órteses.

Categoria	Tipo de Órteses	Descrição
Órteses para Membros Superiores	Braçadeiras e Munhequeiras	Usadas para fornecer suporte e limitar o movimento em condições como tendinite, síndrome do túnel do carpo e lesões musculoesqueléticas.
	Órteses de Mão e Dedos	Projetadas para corrigir deformidades, proteger após lesões ou cirurgias e melhorar a função em casos de artrite ou paralisia.
Órteses para Membros Inferiores	Órteses de Joelho	Usadas para estabilizar e apoiar o joelho em condições como artrite, lesões dos ligamentos ou após cirurgias, proporcionando alívio da dor e melhorando a mobilidade.
	Órteses de Tornozelo	Oferecem suporte ao tornozelo para prevenir entorses e lesões, além de auxiliar na recuperação após trauma ou cirurgia.
Órteses Espinhais	Coletes Ortopédicos	Usados para estabilizar e suportar a coluna vertebral em condições como escoliose, fraturas vertebrais e pós-cirurgias, ajudando a manter a postura correta e reduzir a dor.

Fonte: Adaptado de Grandim e Paiva (2018).

As órteses desempenharam um papel fundamental no tratamento e na gestão de condições ortopédicas e neuromusculares, proporcionando benefícios significativos que impactaram diretamente a qualidade de vida dos pacientes. Burnfield (2010) discute sobre como esses dispositivos fornecem suporte e estabilização essenciais às áreas corporais afetadas, auxiliando no alinhamento e na estabilização das estruturas para aliviar a dor e melhorar a função, tendo grande relevância em situações que envolvem lesões, fraturas e doenças crônicas, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Exemplos de órteses.



Fonte: Revista Saúde (2018).

Negriti et al. (2015) reforça sobre o papel que muitas órteses desempenham na correção postural e no alinhamento corporal, sendo indispensáveis no tratamento de condições como escoliose e outras deformidades espinhais. Esses benefícios contribuem para prevenir a progressão de deformidades e aprimorar a postura geral dos pacientes.

Outro aspecto importante das órteses é a capacidade de aliviar a dor, uma vez que elas oferecem suporte e restringem movimentos prejudiciais. Isso é especialmente vantajoso em casos de artrite, lesões esportivas e problemas musculoesqueléticos, proporcionando alívio significativo dos sintomas (RAJA; DEWAN, 2011). A melhora da mobilidade é também um benefício notável, com as órteses permitindo que os pacientes realizem atividades diárias com mais facilidade, promovendo uma maior independência e autonomia, particularmente em indivíduos com condições neuromusculares ou que estão se recuperando de lesões (JACOBS et al., 2013).

Por fim, os avanços tecnológicos têm possibilitado a personalização das órteses, garantindo que elas se ajustem perfeitamente ao corpo do paciente. O uso de materiais flexíveis e designs ergonômicos adaptados às necessidades individuais proporciona maior conforto e eficácia no tratamento, contribuindo significativamente

para a reabilitação, prevenção de lesões e melhoria da qualidade de vida dos pacientes (DEMARCHI et al., 2017).

2.5.1 PRODUÇÃO DE ÓRTESE 3D

Atualmente, a aplicação mais comum e comercializada da impressão 3D na área da saúde é a fabricação de órteses, devido à sua praticidade, baixo custo e rápida produção. A Fix it é uma healthtech, uma startup que desenvolve soluções tecnológicas para o setor da saúde, especificamente a confecção de órteses em 3D utilizando plástico termo moldável e biodegradável. Foi fundada em 2015 no modelo de negócios descentralizado com apenas 9 licenciados e em 2021 atingiram mais de 80 cidades no Brasil, Argentina, Paraguai e Suíça.

As órteses da Fix It oferecem diversas vantagens, sendo duráveis, confortáveis, leves, higienizáveis e removíveis. Com uma vida útil de três anos, podem ser remodeladas até quatro vezes após a aplicação inicial. Possuem um design vazado que evita odores, enquanto o material plástico leve reduz a fadiga do membro imobilizado. Além disso, são à prova d'água, permitindo o uso durante o banho e facilitando a higienização. Diferente do gesso, as órteses são removíveis, sendo fixadas apenas com velcro, o que possibilita seu uso de forma intermitente conforme recomendação médica.

Figura 11 – Órtese Fix it 3D



Fonte: Exame (2021)

A startup cria placas termoplásticas projetadas de acordo com a estrutura do membro ao qual se destinam. Os protótipos são inicialmente impressos em 3D utilizando o PLA, um material termoplástico, sendo posteriormente aquecidos e moldados conforme a anatomia do paciente. (Fix it, 2019)

Um exemplo de caso em que a órtese 3D se mostrou mais eficaz que as tradicionais, foi em um paciente que fraturou o braço em um acidente de moto e foi submetido a uma cirurgia, necessitando usar a órtese na recuperação para imobilizar a região áxilo-palmar. Durante a recuperação foi solicitado um exame radiológico que pode ser realizado sem a necessidade de remoção da órtese, otimizando o processo. Além disso o paciente relatou muito conforto e liberdade. (Fix it, 2022)

Figura 12 – Órtese para áxilo-palmar



Fonte: Fix it (2022)

2.6 BIOIMPRESSÃO

A bioimpressão, que se refere à impressão 3D de órgãos e tecidos, é uma tecnologia emergente que utiliza impressoras 3D para depositar camadas de células vivas e biomateriais em padrões específicos, com o objetivo de criar estruturas tridimensionais que imitam a arquitetura dos tecidos e órgãos humanos. Este processo envolve a combinação de células, biomateriais e fatores de crescimento para formar

estruturas que, teoricamente, podem se desenvolver em órgãos funcionais (MURPHY e ATALA, 2014).

As principais aplicações e benefícios desta tecnologia incluem a modelagem e o planejamento cirúrgico, a impressão de tecidos, a criação de estruturas vasculares, o desenvolvimento de órgãos funcionais e o avanço na pesquisa científica, evidenciado no Quadro 5.

Quadro 5 - Aplicações da bioimpressão.

Aplicação	Descrição
Modelagem e Planejamento Cirúrgico	A bioimpressão permite a criação de modelos anatômicos personalizados dos órgãos dos pacientes. Estes modelos facilitam o planejamento e a prática de procedimentos cirúrgicos complexos, melhorando a precisão e a segurança das operações.
Impressão de Tecidos	A bioimpressão tem sido aplicada com sucesso na criação de tecidos cartilagosos e ósseos, que podem ser utilizados em reparos e substituições. Esses tecidos auxiliam na regeneração de áreas danificadas, como lesões articulares ou fraturas ósseas.
Criação de Estruturas Vasculares	Um dos grandes desafios da bioimpressão é a criação de redes vasculares funcionais dentro dos tecidos impressos. A impressão 3D possibilita a formação de estruturas vasculares complexas, essenciais para fornecer nutrientes e oxigênio aos tecidos e permitir o desenvolvimento de órgãos viáveis.
Desenvolvimento de Órgãos Funcionais	Pesquisadores estão explorando a criação de órgãos em miniatura, conhecidos como órgãos "modelos", que são utilizados para testes e desenvolvimento de novos tratamentos.
Pesquisa e Desenvolvimento	A bioimpressão também contribui para a pesquisa científica, permitindo a criação de tecidos e órgãos para estudar doenças, testar medicamentos e desenvolver novas terapias, sem a necessidade de utilizar tecidos humanos reais.

Fonte: Fang et al. (2022).

A impressão 3D de órgãos e tecidos é um campo de pesquisa promissor com o potencial para revolucionar a medicina e a terapia regenerativa (BORGES et al., 2023). Embora a tecnologia ainda esteja em desenvolvimento e distante de fornecer órgãos inteiros e funcionais para transplante, os avanços contínuos na bioimpressão estão ampliando as possibilidades para a criação de tecidos e estruturas que podem

aprimorar o tratamento de doenças e lesões (CROOK, 2020). O progresso na modelagem anatômica, na regeneração de tecidos e na criação de estruturas vasculares está pavimentando o caminho para um futuro em que a impressão 3D desempenha um papel fundamental na medicina personalizada e na engenharia de tecidos.

Tais avanços estão aproximando a produção de tecidos e órgãos personalizados dos padrões clínicos, tornando essa inovação um tema cada vez mais presente nas discussões médicas e hospitalares. No entanto, segundo Wang, X. (2017), ainda existem diversos desafios a serem superados, especialmente no que diz respeito à construção bioartificial de tecidos complexos. A integração de diferentes tipos celulares com os componentes naturais do tecido são um dos principais obstáculos, pois é essencial para criar uma estrutura tridimensional funcional que possa ser reproduzida e utilizada.

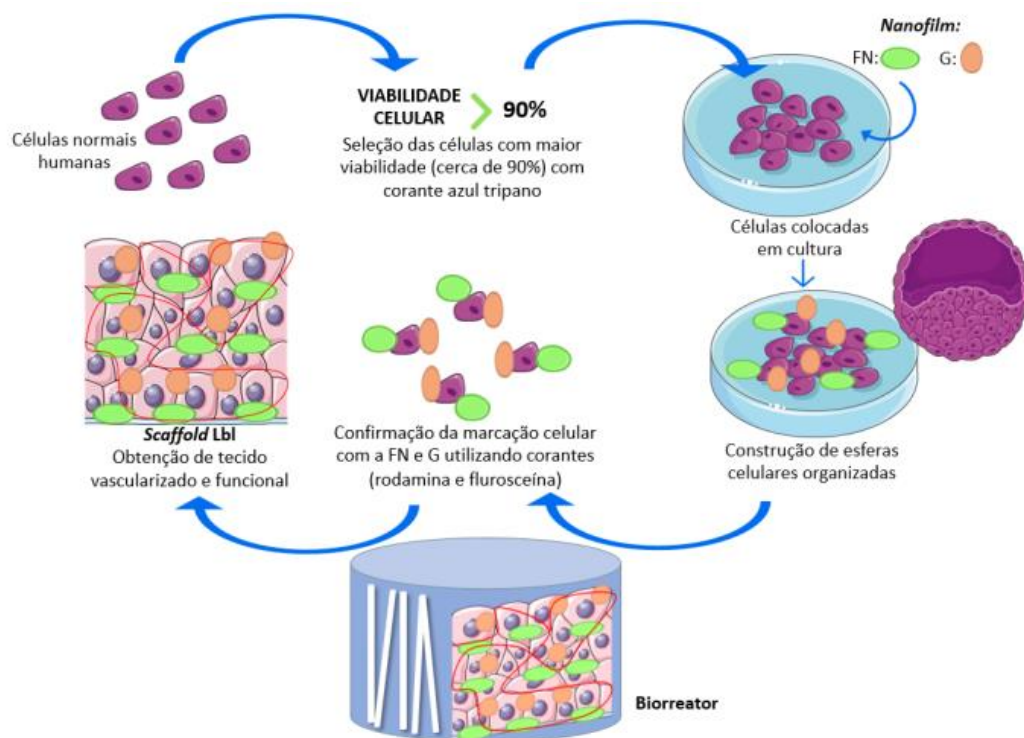
O processo de síntese bioartificial de tecidos e órgãos com propriedades físicas e biológicas adequadas envolve um conjunto de métodos sintéticos que imitam a formação natural de tecidos e órgãos no local anatômico apropriado, sendo que grande parte das estruturas celulares 3D bioartificiais são compostas por esferas celulares organizadas. (YANNAS, I. V., 2004)

Segundo Faulk, D. M. et al. (2014), a produção sintética in vitro de tecidos e órgãos geralmente requer uma estrutura de suporte para as células, conhecida como Scaffold layer-by-layer (LBL). Essa técnica, amplamente utilizada em aplicações clínicas, consiste em uma rede macromolecular feita de polímeros de hidrogel combinados com proteínas da matriz extracelular (MEC), como fibronectina (FN) e gelatina (G) e o resultado é a formação de nanofilmes altamente porosos, que atuam como análogos da MEC, favorecendo a regeneração biológica e bloqueando processos contráteis.

Além disso, o processo inclui uma cultura celular composta por células-tronco pluripotentes, epiteliais, endoteliais ou fibroblastos humanos, organizadas conforme o tecido ou órgão a ser sintetizado. Esse sistema é complementado por um biorreator, que fornece os biofatores necessários para estimular o desenvolvimento do tecido. (FERNANDES et al., 2018). A LBL se destaca por sua simplicidade, pois não exige equipamentos sofisticados nem processos complexos. Sua aplicação consiste

basicamente na imersão de células em soluções proteicas da MEC, permitindo a formação de diversos tipos de tecidos funcionais. (SASAKI, K. et al., 2017)

Figura 13 – Metodologia de Scaffolds LBL



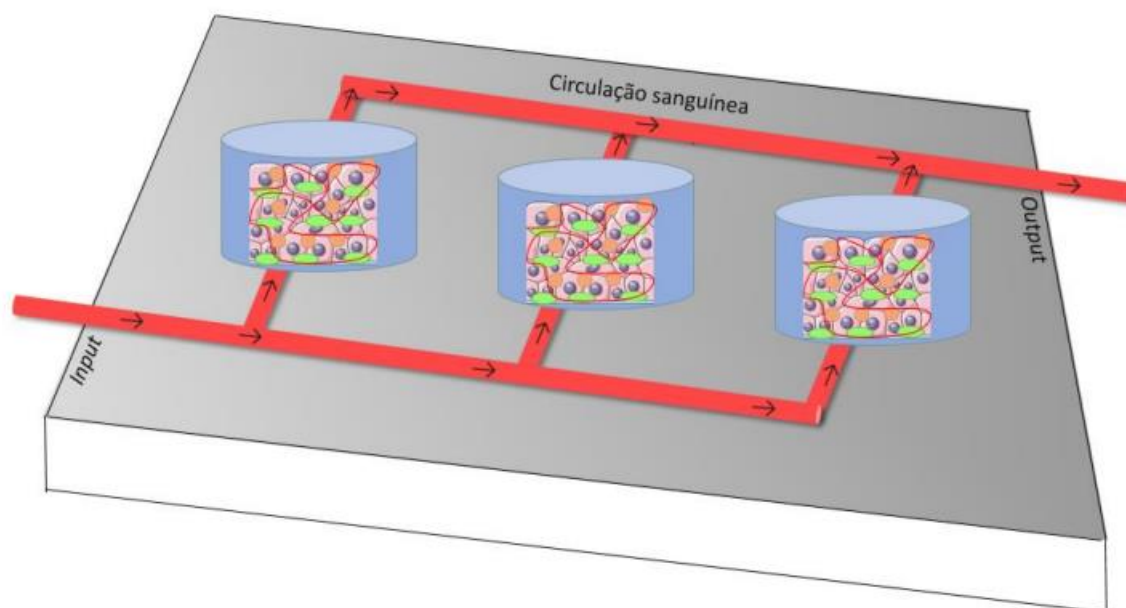
Fonte: Egítania Sciencia (2018)

O campo da engenharia de tecidos tem registrado avanços significativos nos últimos anos, possibilitando o desenvolvimento e a produção de diversos tecidos e órgãos, como: tecido cardíaco, válvulas cardíacas, vasos sanguíneos, traqueia, pele, nervos periféricos, nariz, orelha, fígado, pâncreas, bexiga, entre outros.

Segundo Gao, G. et al. (2018), com o surgimento da técnica de bioimpressão, que consiste na impressão de biomateriais a partir de imagens radiológicas convertidas em padrões com células vivas, torna-se viável o posicionamento preciso de células em materiais LBL, garantindo elevado rendimento no processo. Portanto, a partir de TC e MRI é possível realizar bioimpressões LBL 3D.

Para que tecidos e órgãos sintéticos possam ser utilizados é necessário realizar testes de biocompatibilidade e avaliar simultaneamente a capacidade de integração dessas estruturas no organismo do hospedeiro receptor. (FERNANDES et al., 2018)

Figura 14 – Modelo representativo da técnica de avaliação dos efeitos do tecido 3D bioartificial



Fonte: Egítania Sciencia (2018)

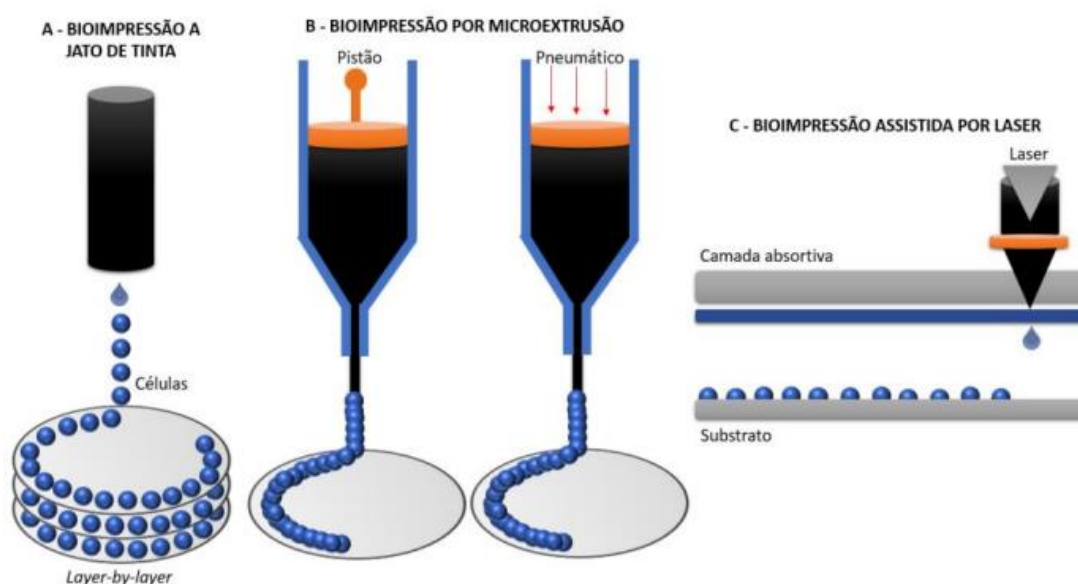
De acordo com a pesquisa de Fernandes et al. (2018), atualmente as técnicas de bioimpressão 3D de tecidos e órgãos mais avançadas são a bioimpressão a jato de tinta, por microextrusão e bioimpressão assistida por laser, mas cada uma destas está sendo rigorosamente estudadas pois ainda demonstram muitas defasagens. A bioimpressão a jato de tinta, implementada no século XX, utiliza um sistema de impressão por gotas para a produção de materiais orgânicos que aplica a abordagem técnica Scaffold LBL empregada nas biotintas, juntamente com células vivas humanas e outras substâncias biológicas que compõem o tecido. As gotas impressas possuem tamanho microscópico, correspondendo a uma única célula, a velocidade e resolução são controladas eletronicamente, porém a gama de viscosidade compatível com o processo ainda é limitada, podendo levar a entupimento do dispensador da gota. Portanto, entre as vantagens da técnica, destacam-se sua rapidez, versatilidade e viabilidade econômica, por outro lado, algumas limitações incluem a falta de precisão na direcionalidade das gotas, o tamanho reduzido da impressão e os riscos de entupimento do dispensador.

Ainda segundo Fernandes et al. (2018), a bioimpressão por microextrusão é adequada à maioria das biotintas utilizadas na bioimpressão, apresenta uma maior gama de viscosidade, tem sua velocidade controlada por pressão pneumática e

também produz grânulos contínuos para depósitos utilizando LBL e formando estruturas 3D. Essa técnica permite a aplicação de materiais com maior densidade, porém ainda há o entupimento do dispensador e ao aumentar a pressão de extrusão compromete significativamente a viabilidade celular. Por isso, equilibrar a manutenção da viabilidade celular em níveis aceitáveis e a obtenção de impressões com alta viscosidade durante o processo de bioimpressão por extrusão é um dos maiores desafios dessa técnica.

Por fim, a pesquisa de Fernandes et al. (2018) explica a bioimpressão assistida por laser, cujo princípio de funcionamento é a transferência direta induzida por laser e sua resolução depende da energia emitida, da espessura da camada, da viscosidade das biotintas e da distância entre as camadas dadoras do coletor. Sua vantagem é que não há o entupimento do dispensador pois não apresenta orifícios de saída, apresentando uma viabilidade celular considerada excelente, porém as estruturas teciduais apresentam eficiência reduzida, tornando essencial o acoplamento de um biorreator cuidadosamente projetado. Dessa forma, a bioimpressão assistida por laser ainda apresenta limitações na produção de tecidos, mas sua aplicação já inclui a criação e construção de pele em modelos de camundongo, in vivo. Essa experimentação pode representar um passo inicial para avanços mais promissores no desenvolvimento e fabricação de tecidos.

Figura 15 – Técnicas de bioimpressão 3D



Fonte: Egítania Scienza (2018)

2.7 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DO USO DA IMPRESSÃO 3D NA SAÚDE

A impressão 3D tem revolucionado o campo da saúde, oferecendo novas possibilidades para tratamento, diagnóstico e planejamento cirúrgico. Contudo, como qualquer tecnologia, apresenta tanto benefícios quanto limitações. O método vem se destacando pela sua eficiência econômica e pela redução de custos, visto que a tecnologia permite a fabricação rápida e econômica de dispositivos médicos, como próteses e instrumentos cirúrgicos, diminuindo significativamente o tempo e o custo em comparação com os métodos tradicionais (PANDA et al., 2023). Outro ponto relevante é a eficiência no uso dos materiais: a fabricação aditiva utiliza apenas a quantidade necessária de material para produzir o dispositivo ou estrutura, resultando em menos desperdício (CARDOSO, 2019).

Em relação aos desafios, embora a tecnologia tenha avançado consideravelmente, replicar todas as características e funções dos órgãos reais, como a vascularização e a integração funcional, é um processo tecnicamente complexo. Segundo Debnath (2021), a produção de estruturas que imitam com precisão a funcionalidade de órgãos humanos requer avanços contínuos na tecnologia de impressão e na biologia dos materiais utilizados. Outro aspecto crucial é a precisão e qualidade da impressão, pois a eficácia dos dispositivos médicos impressos em 3D está fortemente relacionada à qualidade da impressora e dos materiais empregados. Problemas com a resolução e a integridade dos modelos podem comprometer a segurança e a eficácia dos dispositivos, exigindo uma atenção rigorosa à qualidade dos equipamentos e materiais (JAMROZ et al., 2018).

O custo inicial de implementação da impressão 3D pode ser elevado, o que representa uma barreira para muitas instituições, especialmente aquelas com orçamentos mais restritos. Segundo Duarte (2019), o investimento necessário para adquirir impressoras de alta qualidade e materiais especializados pode limitar a adoção da tecnologia em alguns contextos. Além disso, a manutenção e a necessidade de expertise são considerações importantes, visto que o funcionamento eficaz da impressão 3D exige não apenas manutenção regular, mas também uma equipe treinada para operar as impressoras e interpretar os resultados (LOGES e TIBERIUS, 2022).

A regulamentação da impressão 3D na área da saúde ainda está em desenvolvimento. Pires et al. (2023) afirma que as autoridades regulatórias estão constantemente atualizando os padrões para garantir que os dispositivos impressos atendam aos requisitos de segurança e eficácia, visto que este processo contínuo é crucial para a confiança e a aceitação da tecnologia. Além disso, a bioimpressão, especialmente a criação de tecidos e órgãos artificiais, levanta questões éticas significativas, pois a pesquisa sobre as implicações éticas da criação e do uso de tecidos humanos artificiais está em curso, e há um esforço contínuo para definir as melhores práticas e regulamentações para garantir o uso responsável dessa tecnologia (LACERDA et al., 2020).

À medida que a tecnologia avança e soluções para essas limitações são desenvolvidas, é esperado que a impressão 3D desempenhe um papel cada vez mais crucial na medicina. Datta e Barué (2024) discutem como este progresso não só promoverá melhorias contínuas na qualidade dos cuidados de saúde, como também potencializará a eficácia dos tratamentos, estabelecendo novos padrões para a personalização e a precisão na medicina.

O contínuo desenvolvimento e a superação das dificuldades atuais são essenciais para maximizar o impacto positivo da impressão 3D na prática médica e na pesquisa científica. No Quadro 6, estão resumidos os principais benefícios e limitações do uso de impressoras 3D na fabricação de próteses e órteses.

Quadro 6 - Benefícios e Limitações na utilização da impressão 3D na saúde.

Benefícios		Limitações	
Personalização	Permite a fabricação de dispositivos sob medida para cada paciente, aumentando o conforto e a funcionalidade.	Custo inicial	O investimento inicial em impressoras 3D e materiais pode ser alto.
Redução de Custos	Elimina intermediários e várias etapas de produção, tornando as próteses mais acessíveis.	Limitações de materiais	Nem todos os materiais disponíveis para impressão 3D são adequados para aplicações médicas ou têm a durabilidade necessária.

Tempo de Produção Rápido	A produção pode ser concluída em horas ou dias, em vez de semanas ou meses.	Regulamentação	A aprovação regulatória para dispositivos médicos impressos em 3D pode ser complexa e demorada.
Inovação em Materiais	Permite o uso de materiais alternativos que podem ser mais leves e biocompatíveis.	Experiência do usuário	A aceitação do usuário pode variar, especialmente para novos materiais e designs.
Design Complexo	Possibilita a criação de designs complexos que melhoram a funcionalidade e a estética.	Manutenção e suporte técnico	A manutenção das impressoras 3D e a necessidade de suporte técnico podem ser um desafio.

2.8 IMPRESSÃO 3D DE ÓRGÃOS HUMANOS: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS FUTURAS

A bioimpressão de órgãos humanos representa uma fronteira inovadora na medicina regenerativa, embora ainda esteja em fase de desenvolvimento. Nos últimos anos, os avanços nessa área têm sido notáveis, com pesquisas focadas na criação de estruturas biológicas simples, como vasos sanguíneos e tecidos, que são fundamentais para o sucesso da impressão de órgãos inteiros e funcionais.

Alguns estudos têm explorado diversas técnicas de bioimpressão, utilizando uma variedade de biomateriais que imitam a matriz extracelular dos tecidos humanos. Por exemplo, a impressão de estruturas vasculares tem sido um foco principal, uma vez que a vascularização é essencial para a sobrevivência de tecidos e órgãos após a implantação, como visto por Kolesky et al. (2016), onde os autores demonstram que a impressão 3D pode ser utilizada para criar vasos sanguíneos funcionais que suportam o crescimento celular e a perfusão.

Além disso, a bioimpressão de tecidos, como pele e cartilagem, tem avançado significativamente. Segundo Huang et al. (2017), técnicas de impressão têm sido aplicadas para gerar estruturas de pele que podem ser utilizadas em tratamentos para queimaduras e outras lesões, proporcionando uma alternativa viável aos enxertos de pele tradicionais. Apesar dos avanços, a impressão de órgãos complexos ainda enfrenta vários desafios. A heterogeneidade celular, a complexidade estrutural e a necessidade de integração funcional com o corpo humano são questões que

requerem mais pesquisa e inovação. Além disso, a obtenção de células-tronco adequadas e a criação de ambientes que favoreçam a diferenciação celular e a maturação tecidual são aspectos críticos que precisam ser abordados, conforme discutido por Ma et al. (2023).

A capacidade de imprimir órgãos completos poderia, no futuro, resolver a escassez de órgãos disponíveis para transplantes, revolucionando completamente o campo da medicina. Estudos recentes, como os de Moroni et al. (2018), sugerem que a combinação de bioimpressão com biotecnologia pode facilitar a criação de órgãos funcionais, potencialmente eliminando a lista de espera para transplantes e melhorando a qualidade de vida dos pacientes. Além disso, a impressão 3D de órgãos poderia permitir a realização de testes de medicamentos e toxicidade em modelos mais representativos, diminuindo a dependência de modelos animais e aumentando a eficácia e segurança de novas terapias.

A bioimpressão de órgãos humanos está avançando rapidamente, com pesquisas promissoras que podem transformar a medicina regenerativa. Embora os desafios sejam significativos, as perspectivas futuras são encorajadoras, indicando que a impressão 3D de órgãos pode se tornar uma realidade, trazendo benefícios substanciais para a saúde humana.

2.9 MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPRESSÃO 3D DE PRÓTESES, ÓRTESES E ÓRGÃOS

A impressão 3D de dispositivos médicos, incluindo próteses, órteses e órgãos, emprega uma ampla gama de materiais que atendem a diferentes necessidades funcionais e biocompatibilidade. Esses materiais variam de plásticos e polímeros a metais e biomateriais, cada um com suas características específicas que os tornam adequados para aplicações clínicas.

Para a fabricação de próteses e órteses, materiais como o PLA (ácido polilático) e o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) são amplamente utilizados. O PLA é um biopolímero derivado do amido de milho e é valorizado por sua biodegradabilidade e biocompatibilidade, tornando-o uma escolha popular em aplicações de saúde (SHAH et al., 2023). O ABS, por sua vez, é conhecido por sua durabilidade, resistência ao

impacto e facilidade de impressão, o que o torna ideal para a produção de dispositivos médicos personalizados (BEDIAN et al., 2017).

Além desses, outros materiais plásticos, como o TPU (poliuretano termoplástico), têm sido utilizados na impressão 3D de órteses devido à sua elasticidade e resistência à abrasão, proporcionando conforto e funcionalidade (GRIFFIN et al., 2019). A escolha do material é frequentemente guiada pela necessidade de balancear resistência, flexibilidade e peso, a fim de atender às necessidades específicas do paciente.

Na bioimpressão, que visa replicar tecidos humanos, biopolímeros como a gelatina e o colágeno são comumente utilizados. A gelatina, derivada do colágeno, é amplamente empregada devido à sua excelente biocompatibilidade e capacidade de suportar a adesão celular, tornando-a ideal para a criação de scaffolds para engenharia de tecidos (WANG et al., 2017). O colágeno, por sua vez, é um componente crucial da matriz extracelular nos tecidos humanos e é frequentemente utilizado na impressão de estruturas que imitam as propriedades mecânicas e funcionais de tecidos naturais (ZHANG et al., 2017). Além dos biopolímeros, outros biomateriais avançados, como os hidrogéis, têm sido explorados na impressão 3D de tecidos. Hidrogéis à base de alginato e fibrina são utilizados devido à sua capacidade de reter água e permitir a troca de nutrientes, o que é fundamental para o crescimento celular e a formação de tecidos (LEE e YEONG, 2020).

A impressão 3D de metais também tem sua aplicação em próteses, especialmente em dispositivos que exigem alta resistência mecânica, como próteses de quadril e joelho. Materiais como titânio e ligas de cobalto-cromo são frequentemente utilizados devido à sua biocompatibilidade e propriedades mecânicas superiores (MA et al., 2023). Essas ligas permitem a fabricação de estruturas complexas que são leves e, ao mesmo tempo, robustas. A diversidade de materiais utilizados na impressão 3D de próteses, órteses e órgãos reflete a complexidade e a inovação na área da medicina regenerativa.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO

Este estudo é uma revisão sistemática da literatura científica existente sobre o uso de impressoras 3D em próteses, órteses e órgãos. A revisão sistemática é uma abordagem metodológica que busca identificar, avaliar e sintetizar de forma objetiva toda a evidência disponível sobre um tema específico.

3.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

As perguntas norteadoras desta revisão são:

- Como a impressão 3D tem sido aplicada na criação de próteses e órteses?
- Quais são os avanços mais recentes na bioimpressão de órgãos?
- Quais são os benefícios e limitações identificados na literatura?

3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Foram considerados artigos de pesquisa primária, revisões sistemáticas e estudos de caso que abordem o uso da impressão 3D em próteses, órteses e órgãos. A revisão abrangeu estudos publicados entre 2010 e 2025, para garantir a inclusão das tecnologias mais recentes e relevantes.

Neste estudo, estão incluídos artigos publicados em inglês e português, com o objetivo de assegurar uma ampla acessibilidade aos dados. As fontes de dados foram restritas a publicações científicas indexadas em bases de dados, como PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar.

3.4 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Foram descartados artigos que não abordavam diretamente a impressão 3D ou que se concentravam exclusivamente em áreas não relacionadas, como técnicas de impressão 3D fora do contexto da saúde. Também foram excluídos estudos publicados antes de 2010, pois não refletiam os avanços mais recentes na tecnologia

de impressão 3D. Estudos publicados em idiomas diferentes do inglês e português foram excluídos devido à limitação de recursos para tradução e análise. Além disso, foram considerados inadequados os estudos com baixa qualidade metodológica ou com dados insuficientes para uma análise substancial.

3.5 PROCEDIMENTO DE SELEÇÃO DE ESTUDOS

A busca bibliográfica foi conduzida por meio de uma abordagem sistemática nas bases de dados selecionadas, utilizando palavras-chave relacionadas à impressão 3D, próteses, órteses e órgãos. Foram empregadas palavras-chave como "3D printing", "prosthetics", "orthotics", "bioprinting" e "organs".

Durante a triagem, foi realizada uma avaliação inicial dos títulos e resumos para selecionar os estudos que atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos. Os estudos considerados relevantes foram analisados na íntegra para determinar sua elegibilidade final. Na etapa de extração de dados, foram coletadas informações relevantes dos estudos selecionados, incluindo o tipo de impressão 3D utilizada, as aplicações específicas, os benefícios relatados e as limitações identificadas.

3.6 ANÁLISE E SÍNTESE DE DADOS

Para esta metodologia, foi conduzida uma análise qualitativa que consistiu na sumarização e descrição dos principais achados dos estudos revisados, destacando as aplicações da impressão 3D em próteses, órteses e órgãos, assim como os benefícios e limitações relatados.

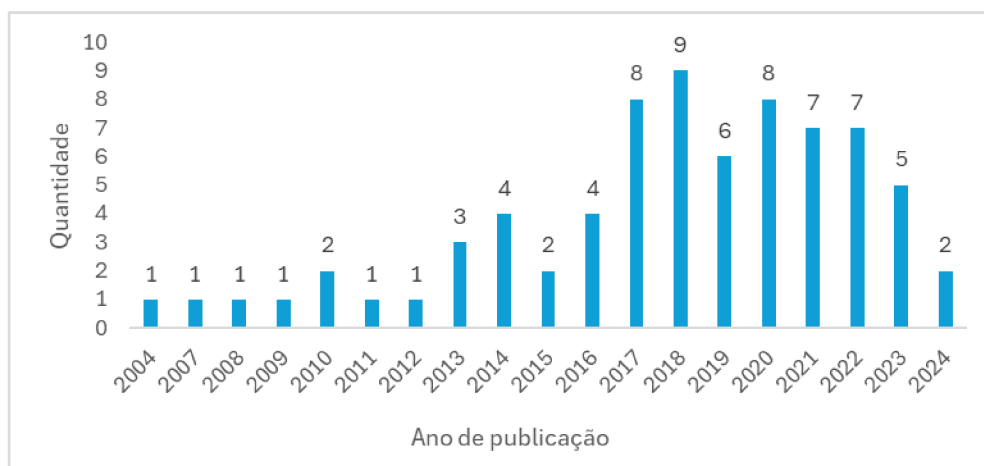
Quando aplicável, foi realizada uma análise quantitativa por meio de meta-análise, com o objetivo de combinar os resultados de diferentes estudos e fornecer uma visão quantitativa dos efeitos e resultados associados à impressão 3D.

A síntese das evidências envolveu a organização dos dados para identificar padrões, tendências e lacunas na literatura existente, oferecendo uma visão abrangente das aplicações da impressão 3D na área da saúde.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta perspectiva, na Figura 16 podemos visualizar os anos de publicação dos artigos avaliados.

Figura 16 – Quantidade de artigos revisados por ano de publicação



A revisão contemplou estudos publicados ao longo de diferentes anos, permitindo uma análise da evolução temporal do uso da impressão 3D na fabricação de órteses, próteses e órgãos. Conforme ilustrado na Figura 16, observa-se um crescimento gradual das publicações a partir de 2013, com um pico em 2018, ano em que foram registrados nove estudos sobre o tema. A partir de então, o número de publicações manteve-se relativamente elevado, com pequenas variações anuais, o que demonstra o crescente interesse da comunidade científica na aplicação da impressão 3D na área da saúde nos últimos anos.

A Figura 17 mostra os principais tipos de impressões utilizadas com a concordância dos estudos na Tabela 1.

Figura 17 – Tipos de impressões utilizadas



Tabela 1 – Concordância de estudos dos tipos de impressões

Tipo de impressões	Autores relacionados
Bioimpressão	(Luis Bedian,2017); (Isabelli Laiane Borges,2023); (Jeremy M. Crook,2020); (Yongcong Fang,2022); (Denver M. Faulk,2013); (Guifang Gao,2018); (Ying Huang,2017); (Zhongboyu Jin,2021); (David B. Kolesky,2014); (Tayla Figueiredo Lacerda,2020); (Jia Min Lee,2016); (Hong Ma,2023); (Moroni, L., Burdick,2018); (Sean V Murphy,2014); (SANJAY K. NIGAM,2013); (Assaf Shapira,2021); (Alicia Shin,2022); (Cristiano Mariano Vanelli,2020);

	(Ioannis V. Yannas,2004); (Xiaohong Wang,2017)
DPL	(Xiaohong Wang, 2017)
EBM	(Xiaohong Wang, 2017); (Lawrence E. Murr, 2010)
FDM	(Danielle Aline Barata Assad,2017); (Harish Kumar Banga,2020); (Bianca Figueiredo Barczewski,2022); (Jorge Barrios-Muriel,2020); (Thore M. Bücking,2017); (Gustavo Scussel Demarchi,2017); (Jessica Alexandra Bento Duarte,2019); (Caio Vinicius Efigenio Formiga,2021); (Elizabeth George,2017); (Matthew B. Hoy,2013); (Pankaj Kumar,2021); (Letícia Gonçalves LIMA,2024); (Albert Manero,2019); (Lawrence E. Murr,2016); (Ellen K. O'Brien,2016)
FFF	(Raquel Sudbrack da Fonte, 2022); (Griffin Michelle, 2020)
LBL	(Alexandra Silva Fernandes, 2018); (KAZUKI SASAK, 2017)
LOM	(KAZUKI SASAK, 2017)
Miscellaneous	(Bruno Filipe Mendes Cardoso, 2019); (John Ryan C. Dizon, 2018); (Nicole Segaran, 2021)
SLA	(WHITAKER, Matthew,2014); (Helena Dodziuk,2016); (Beatriz Beca Figueiredo,2022); (Moisés Miranda Morandini,2020); (Tuan D. Ngo,2018); (RENGIER, Fabian,2010); (Mika Salmi,2021)
SLM	(Mika Salmi,2021)
SLS	(Mika Salmi,2021); (Danilo IBRAHIM,2009); (Witold Jamróz,2018); (Klara Loges,2022); (C. Lee Ventola,2014)
TIJ	(C. Lee Ventola,2014)
VPP	(Amir A. Elhadad,2023); (Mussadiq Shah, 2023)

A análise dos artigos selecionados revela que os tipos de impressão 3D mais frequentemente estudados foram a FDM (Modelagem por Fusão e Deposição), com 20,35% das ocorrências, e a Bioimpressão, com 19,47%. Em seguida, destacam-se a SLA (Estereolitografia) e a SLS (Sinterização Seletiva a Laser), ambas com 11,5%. Esses métodos se destacam por sua ampla aplicação na área da saúde, especialmente na produção de modelos anatômicos, próteses personalizadas e tecidos biofabricados.

Um dado relevante é que 15,93% dos estudos não especificaram o tipo de tecnologia de impressão utilizada, adotando uma abordagem mais generalista. Esse número pode indicar ou uma limitação metodológica nesses estudos ou um foco mais conceitual sobre as aplicações da impressão 3D, sem detalhamento técnico.

Além disso, observa-se que uma parcela significativa dos artigos analisou mais de uma tecnologia de impressão, o que sugere uma tendência de integração entre diferentes métodos, visando otimizar resultados conforme as necessidades específicas de cada aplicação.

As demais tecnologias – como SLM, LOM, EBM, VPP, TJI, LBL, FFF e DPL – aparecem com menor frequência (cada uma abaixo de 4%), o que pode refletir sua aplicação mais restrita, menor disseminação no meio acadêmico ou custo mais elevado, o que limita seu uso em pesquisas.

Essa distribuição evidencia não apenas quais tecnologias estão mais consolidadas na literatura científica atual, mas também aponta potenciais lacunas de investigação em métodos menos explorados, abrindo espaço para futuros estudos comparativos entre diferentes técnicas de impressão 3D no contexto biomédico.

Através da Figura 18 podemos analisar os principais tipos de materiais utilizados, bem como a Tabela 2 com a discretização dos dados.

Figura 18 – Tipos de materiais utilizados

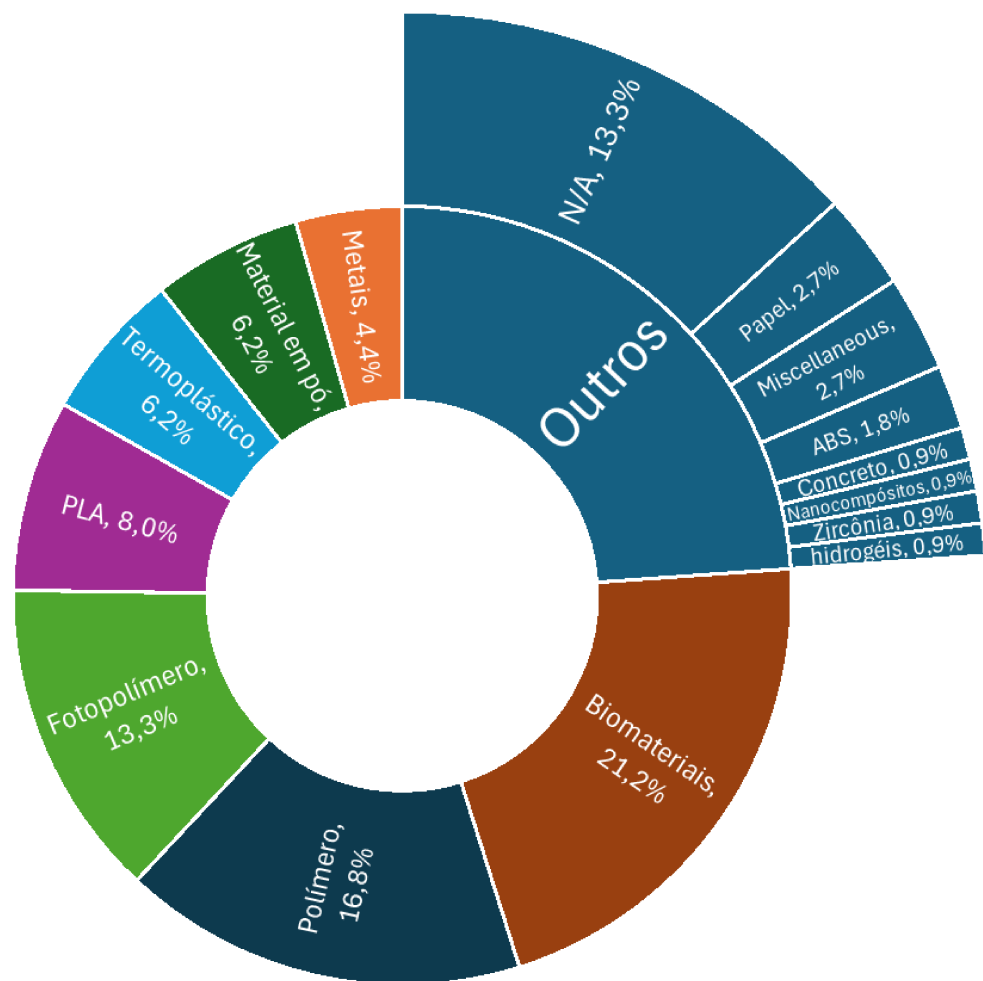


Tabela 2 – Concordância de estudos dos tipos de materiais

Materiais	Autores relacionados
ABS	(Jorge Barrios-Muriel, 2020); (Jorge Barrios-Muriel, 2021)
Biomateriais	(Luis Bedian,2017); (Isabelli Laiane Borges,2023); (Jeremy M. Crook,2020); (Yongcong Fang,2022); (Denver M. Faulk,2013); (Guifang Gao,2018); (Ying Huang,2017); (Zhongboyu Jin,2021); (David B. Kolesky,2014); (Jia Min Lee,2016); (Hong Ma,2023); (Moroni, L., Burdick,2018); (Sean V Murphy,2014); (SANJAY K. NIGAM,2013); (Assaf Shapira,2021); (Alicia

	Shin,2022);(Cristiano Mariano Vanelli,2020); (Ioannis V. Yannas,2004); (Lawrence E. Murr,2010); (Alexandra Silva Fernandes,2018); (KAZUKI SASAKI,2017)
Concreto	(Caio Vinicius Efigenio Formiga, 2021)
Fotopolímero	(Caio Vinicius Efigenio Formiga,2021); (Caio Vinicius Efigenio Formiga,2014); (Helena Dodziuk,2016); (Beatriz Beca Figueiredo,2022); (Moisés Miranda Morandini,2020); (Tuan D. Ngo,2018); (RENGIER, Fabian,2010); (Mika Salmi,2021); (Mika Salmi,2014); (Amir A. Elhadad,2023)
Hidrogéis	(Xiaohong Wang, 2017)
Material em pó	(C. Lee Ventola, 2014); (Xiaohong Wang, 2010); (Xiaohong Wang, 2021); (Xiaohong Wang, 2022)
Metais	(Harish Kumar Banga, 2020); (Harish Kumar Banga, 2021); (C. Lee Ventola, 2017);
Miscellaneous	(Harish Kumar Banga, 2017); (Bruno Filipe Mendes Cardoso, 2019); (Nicole Segaran, 2021)
Nanocompósitos de polímero	(Mussadiq Shah, 2023)
Papel	(Mussadiq Shah, 2017)
PLA	(Thore M. Bücking,2017); (Jessica Alexandra Bento Duarte,2019); (Pankaj Kumar,2021); (Pankaj Kumar,2024); (Pankaj Kumar,2019); (Raquel Sudbrack da Fonte,2022); (Sandra Yoshie Uraga Morimoto,2021); (Beatriz Paredes do Nascimento,2022)
Polímero	(Danielle Aline Barata Assad,2017); (Bianca Figueiredo Barczewski,2022); (Gustavo Scussel Demarchi,2017); (Matthew B. Hoy,2013); (Letícia Gonçalves LIMA,2024); (Albert Manero,2019); (Lawrence E. Murr,2016); (Ellen K. O'Brien,2016); (Griffin Michelle,2020); (John Ryan C. Dizon,2018); (John Ryan C. Dizon,2020); (John Ryan C. Dizon,2021); (Danilo IBRAHIM,2009); (Witold Jamróz,2018); (Klara Loges,2022)

Termoplástico	(Klara Loges,2019); (Elizabeth George,2017); (Elizabeth George,2013); (Elizabeth George,2016); (Elizabeth George,2020); (Aline Tenório Domingues da Silva, 2019); (Aline Tenório Domingues da Silva, 2021)
Ziorcônia	(R. Ottoni, 2018)

Conforme demonstrado na Figura 18, observa-se uma ampla diversidade de materiais utilizados nos estudos analisados, refletindo a versatilidade da impressão 3D na área da saúde. Os materiais mais frequentemente mencionados foram os biomateriais (21,2%), seguidos por polímeros (16,8%) e fotopolímeros (13,3%), evidenciando a predominância de compostos orgânicos e biocompatíveis nas aplicações voltadas para dispositivos médicos, próteses, órteses e engenharia de tecidos. Outros materiais de destaque incluem o PLA (ácido polilático) com 8,0%, amplamente utilizado por ser biodegradável e de baixo custo, além dos termoplásticos (6,2%), materiais em pó (6,2%) e metais (4,4%), geralmente aplicados em estruturas de suporte, implantes e componentes de maior resistência mecânica.

Um dado relevante é a presença de 13,3% de estudos que não especificaram o tipo de material utilizado (N/A), o que pode indicar abordagens mais conceituais ou falta de detalhamento metodológico. Além disso, a categoria "Outros" engloba materiais menos comuns, como papel, concreto, nanocompósitos, zircônia e hidrogéis, todos com participações inferiores a 3%. Apesar de sua baixa frequência, esses materiais representam nichos promissores para inovações futuras, sobretudo no desenvolvimento de soluções personalizadas e sustentáveis.

A distribuição apresentada sugere que, embora haja uma forte preferência por materiais amplamente testados e biocompatíveis, o campo da impressão 3D continua se expandindo e diversificando, com potencial para incorporar novas classes de materiais à medida que a tecnologia e a pesquisa avançam.

Além do mais, avaliaram-se os principais usos da impressão 3D mencionados pelos autores, conforme a Figura 19 e a Tabela 3.

Figura 19 – Tipos de aplicações

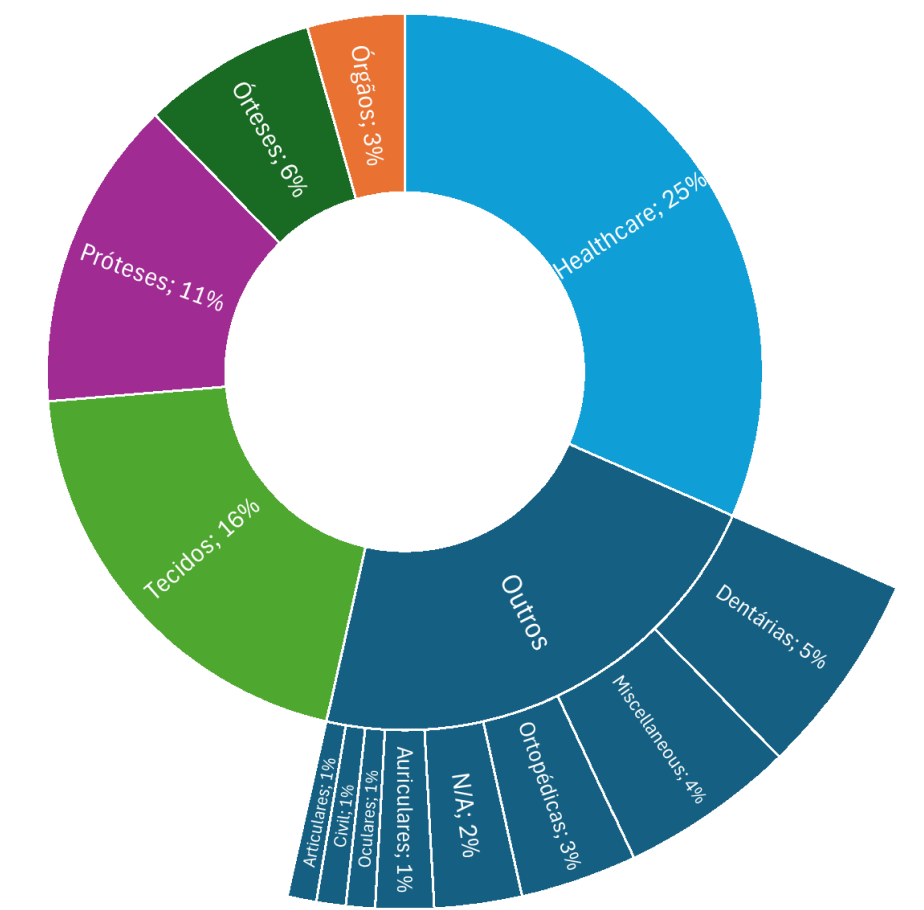


Tabela 3 – Concordância de estudos dos tipos de aplicações

Aplicação	Autores relacionados
Articulares	(Danielle Aline Barata Assad, 2017)
Auriculares	(Helena Dodziuk, 2016); (Adriane Ribeiro Teixeira, 2008)
Civil	(Caio Vinicius Efigenio Formiga, 2021)
Dentárias	(Caio Vinicius Efigenio Formiga,2021); (Caio Vinicius Efigenio Formiga,2017); (Jaqueline Oliveira Barreto,2019); (Jaqueline Oliveira Barreto,2024); (Jaqueline Oliveira Barreto,2022); (Danilo IBRAHIM,2009); (Klara Loges,2022)

Healthcare	(Klara Loges,2022); (Klara Loges,2017); (Klara Loges,2014); (Klara Loges,2016); (Klara Loges,2018); (RENGIER, Fabian,2010); (Mika Salmi,2021); (Mika Salmi,2014); (Amir A. Elhadad,2023); (Amir A. Elhadad,2010); (Amir A. Elhadad,2021); (Amir A. Elhadad,2022); (Amir A. Elhadad,2017); (Bruno Filipe Mendes Cardoso,2019); (Nicole Segaran,2021); (Barry Berman,2012); (Sudipto Datta,2024); (M. Montmartin,2015); (Zhonghua Sun,2018); (WHITAKER, Matthew,2014); (WHITAKER, Matthew,2017)
Miscellaneous	(Elizabeth George, 2020); (Tuan D. Ngo, 2018); (Tuan D. Ngo, 2016); (Tuan D. Ngo, 2017); (Tuan D. Ngo, 2021); (Tuan D. Ngo, 2022)
Oculares	(Bianca Figueiredo Barczewski, 2022)
Órgãos	(Zhongboyu Jin,2021); (SANJAY K. NIGAM,2013); (Alicia Shin,2022); (Xiaohong Wang,2017)
Órteses	(Luma Carolina Câmara Gradim,2018); (Kavitha Raja,2011); (Sandra Yoshie Uraga Morimoto,2021); (Gustavo Scussel Demarchi,2017); (ALINE TENÓRIO DOMINGUES DA SILVA,2019); (Jorge Barrios-Muriel,2020); (Tayla Figueiredo Lacerda,2020); (Maria Eugênia Paula Pires,2023); (Maria Eugênia Paula Pires,2021)
Ortopédicas	(ALINE TENÓRIO DOMINGUES DA SILVA, 2022); (NEGRINI, Stefano, 2015); (Pankaj Kumar, 2021); (Pankaj Kumar, 2018);
Proteses	(Pankaj Kumar,2021); (Beatriz Beca Figueiredo,2022); (C. Lee Ventola,2014); (Harish Kumar Banga,2020); (Carolina Yoshi Campos Sugio,2019); (Carolina Yoshi Campos Sugio,2017); (Raquel Sudbrack da Fonte,2022); (Beatriz Paredes do Nascimento,2022); (Albert

	Manero,2019); (Albert Manero,2021); (R. Ottoni,2018); (Jorge Barrios-Muriel,2020); (Tayla Figueiredo Lacerda,2020); (Maria Eugênia Paula Pires,2023); (Maria Eugênia Paula Pires,2021)
Tecidos	(Luis Bedian,2017); (Isabelli Laiane Borges,2023); (Jeremy M. Crook,2020); (Yongcong Fang,2022); (Denver M. Faulk,2013); (Guifang Gao,2018); (Ying Huang,2017); (David B. Kolesky,2014); (Jia Min Lee,2016); (Hong Ma,2023); (Moroni, L., Burdick,2018); (Sean V Murphy,2014); (Sean V Murphy,2014); (Assaf Shapira,2021); (Cristiano Mariano Vanelli,2020); (Ioannis V. Yannas,2004); (Lawrence E. Murr,2010); (Alexandra Silva Fernandes,2018); (KAZUKI SASAK,2017); (KAZUKI SASAK,2014); (Mussadiq Shah,2023)

Conforme representado na Figura 19, a maior parte das aplicações analisadas concentra-se no setor de Healthcare (25%), que abrange impressões tridimensionais voltadas à assistência médica de maneira ampla. Dentre essas aplicações, destaca-se a utilização de modelos anatômicos 3D gerados a partir de imagens médicas, os quais desempenham papel fundamental tanto em contextos educacionais, como no ensino da anatomia, quanto como ferramenta de apoio em procedimentos cirúrgicos complexos, permitindo melhor visualização de estruturas internas específicas.

Em seguida, observam-se aplicações significativas na bioimpressão de tecidos (16%), próteses (11%), órteses (6%) e órgãos (3%). A bioimpressão de tecidos surge como um dos focos mais promissores, em virtude de seu potencial na engenharia tecidual e na medicina regenerativa. Já a impressão de órgãos representa, embora ainda incipiente, uma extensão direta das pesquisas com tecidos, indicando avanços em direção à replicação funcional de estruturas mais complexas, como fígados, rins e corações artificiais, ainda que em fase experimental.

As órteses e próteses, por sua vez, destacam-se como os segmentos com maior maturidade tecnológica e aplicabilidade prática, sendo amplamente adotadas em reabilitação e assistência a pessoas com deficiência física, devido à sua

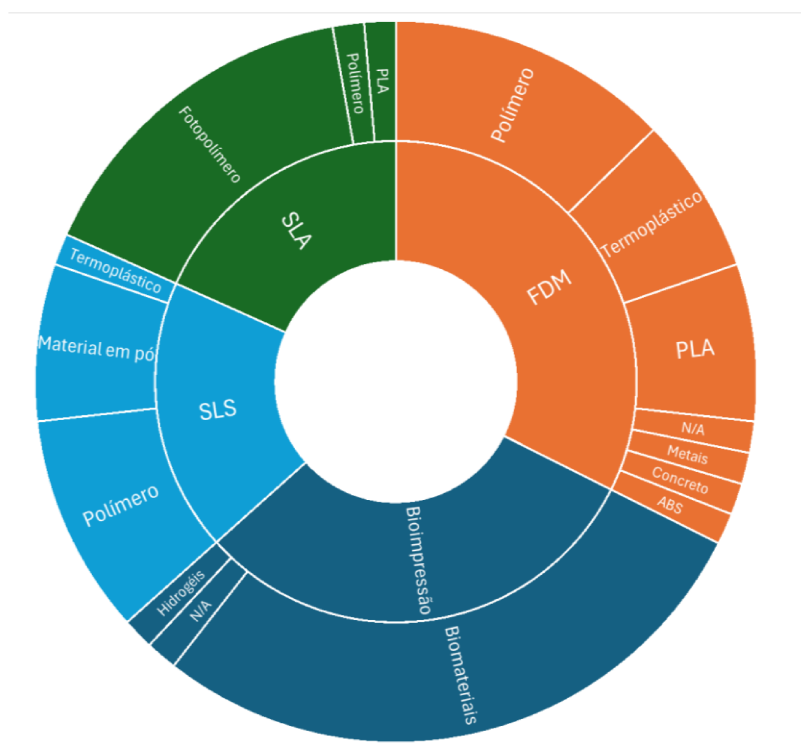
personalização, leveza e custo reduzido em comparação aos métodos tradicionais de fabricação.

Além dessas categorias principais, é possível identificar uma diversidade de aplicações específicas, como na área odontológica (5%), ortopédica (3%), e outras áreas menos frequentes como aparelhos auriculares e dispositivos articulares, que embora com menor representatividade percentual, demonstram o potencial de expansão da impressão 3D para nichos altamente especializados da medicina.

Por fim, destaca-se que 2% dos estudos analisados não especificaram a aplicação da tecnologia, o que pode indicar abordagens exploratórias ou revisão de caráter mais generalista. A diversidade de categorias identificadas reforça a ampla aplicabilidade da impressão 3D na saúde, bem como seu potencial de transformação nos métodos tradicionais de diagnóstico, planejamento e tratamento médico.

A seguir, a Figura 20 apresenta a correlação entre os principais tipos de impressão 3D utilizados nos estudos analisados e os materiais empregados em cada um deles.

Figura 20 – Tipos de impressão e materiais mais utilizados



A técnica FDM destaca-se como a mais utilizada, sendo associada principalmente ao uso de polímeros, termoplásticos e ao PLA, materiais amplamente disponíveis e com propriedades adequadas para prototipagem, dispositivos médicos

e peças de uso geral. A associação da FDM a materiais acessíveis e de fácil processamento pode explicar sua popularidade e ampla adoção nos estudos revisados. A Bioimpressão aparece em segundo plano, com forte associação aos biomateriais, incluindo hidrogéis, que são essenciais para a engenharia tecidual e aplicações regenerativas. Essa correlação reforça o caráter inovador da bioimpressão, voltado à replicação de tecidos e estruturas biológicas complexas, embora ainda restrita a contextos experimentais e acadêmicos, devido à sua complexidade técnica e exigência de materiais biocompatíveis. No caso da SLA, a utilização predominante de fotopolímeros e polímeros em geral é coerente com sua aplicação em impressões de alta precisão, como próteses dentárias, moldes e componentes que exigem detalhamento fino. Já a técnica SLS é associada ao uso de material em pó, polímeros e termoplásticos, o que condiz com sua aplicação na fabricação de peças com boa resistência mecânica e liberdade de geometria.

Outro ponto relevante do gráfico é a diversidade de materiais associados às diferentes técnicas, indicando uma crescente especialização e adaptação da impressão 3D às necessidades específicas de cada aplicação. Por exemplo, embora o ABS, concreto e metais apareçam com menor frequência, sua presença denota uma busca por materiais alternativos e multifuncionais, especialmente em pesquisas mais exploratórias. Por fim, nota-se que algumas entradas foram classificadas como “N/A”, o que sugere que determinados estudos não especificaram o tipo de material empregado, possivelmente por se tratar de revisões teóricas ou abordagens metodológicas que não envolvem diretamente a experimentação prática.

Assim, este gráfico evidencia não apenas as tecnologias de impressão mais utilizadas, mas também a forte interdependência entre os métodos e os materiais empregados, sendo um indicativo da maturidade técnica da área e das tendências emergentes em manufatura aditiva para aplicações biomédicas e tecnológicas.

A Figura 21 apresenta a correlação entre as principais técnicas de impressão 3D e suas respectivas aplicações no setor biomédico, revelando importantes tendências de uso e especialização tecnológica.

Figura 21 – Tipos de impressão e suas aplicações



As principais aplicações associadas à FDM concentram-se em modelos para healthcare, bem como em próteses, órteses e tecidos, evidenciando sua versatilidade tanto em soluções externas quanto em avanços na engenharia de tecidos. Observa-se também a diversificação para nichos específicos, como aplicações oculares, dentárias e articulares, demonstrando o potencial de adaptação dessa tecnologia. A Bioimpressão aparece em segundo lugar em termos de representatividade, sendo majoritariamente voltada à impressão de tecidos e órgãos. Essa correlação reforça o papel promissor da bioimpressão no desenvolvimento de soluções regenerativas e personalizadas, especialmente no contexto da medicina regenerativa. Ainda que com menor participação relativa em comparação à FDM, a bioimpressão desponta como uma área estratégica para pesquisas avançadas e aplicações clínicas futuras.

Já a técnica SLS mostra-se fortemente associada a aplicações ortopédicas, dentárias, de próteses e em healthcare em geral. A capacidade do SLS de produzir peças com boa resistência mecânica e liberdade geométrica torna-o ideal para componentes médicos estruturais, especialmente em situações que exigem personalização com durabilidade. A técnica SLA, por sua vez, aparece relacionada a aplicações mais detalhadas, como auriculares, dentárias e articulares, além de aplicações gerais em healthcare. Sua alta resolução e acabamento superficial

favorecem o uso em componentes que exigem precisão estética e dimensional, como moldes odontológicos, dispositivos auditivos e guias cirúrgicos.

Outro ponto relevante observado é a presença de categorias classificadas como "Miscellaneous" e "N/A", que indicam aplicações variadas ou não especificadas nos estudos analisados. Isso pode sugerir tanto a existência de estudos ainda em estágio exploratório quanto a dificuldade de categorização de algumas aplicações que envolvem múltiplas finalidades ou abordagens híbridas.

Dessa forma, conclui-se que há uma relação direta entre a técnica de impressão 3D empregada e o tipo de aplicação biomédica escolhida, refletindo tanto os avanços tecnológicos quanto as limitações e características específicas de cada método. A predominância da FDM nas aplicações práticas, aliada ao crescimento da bioimpressão em áreas mais experimentais, sinaliza uma dualidade entre maturidade tecnológica e inovação transformadora, elementos que caminham juntos na evolução da manufatura aditiva voltada à saúde.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo explorou a aplicação da impressão 3D na fabricação de próteses, órteses e órgãos, analisando seus benefícios, desafios e avanços tecnológicos. Os resultados evidenciam que essa tecnologia exerce um impacto significativo na área da saúde, viabilizando a produção de dispositivos personalizados, acessíveis e eficientes, o que promove maior inclusão e melhora da qualidade de vida dos usuários. As análises gráficas realizadas reforçam esses achados, indicando que os materiais mais utilizados são os polímeros, fotopolímeros e biomateriais, com destaque para o PLA e os termoplásticos, amplamente empregados nas técnicas de FDM e SLA. Do ponto de vista das aplicações, a maioria dos estudos concentra-se no setor de healthcare, com especial atenção à produção de tecidos, próteses e órteses, o que demonstra a aderência da impressão 3D às demandas clínicas. Além disso, observou-se que a bioimpressão vem se consolidando como um campo em expansão, com foco predominante em tecidos e, de forma emergente, em órgãos.

A manufatura aditiva tem se mostrado uma alternativa promissora para a criação de próteses de membros superiores, oferecendo soluções adaptáveis às

necessidades individuais dos pacientes. No caso das órteses, observa-se o desenvolvimento de modelos cada vez mais funcionais, como os produzidos por startups como a Fix It, que utiliza termoplásticos duráveis e moldáveis. Já no campo da bioimpressão, embora ainda em estágio de desenvolvimento, os avanços são notáveis, com potencial para revolucionar a medicina regenerativa e a fabricação de tecidos e órgãos artificiais. Apesar dos benefícios, ainda existem desafios a serem superados, como a regulamentação, a biocompatibilidade dos materiais e a complexidade na reprodução funcional dos órgãos. Por isso, recomenda-se que futuras pesquisas explorem novos materiais, aprimorem as técnicas de bioimpressão e desenvolvam estratégias para viabilizar a produção em escala industrial, com foco na segurança, eficácia e acessibilidade.

Conclui-se, portanto, que a impressão 3D se configura como uma tecnologia transformadora e promissora na área da saúde. Com o avanço contínuo das pesquisas e o fortalecimento das aplicações práticas evidenciadas nos gráficos analisados, esta tecnologia tende a se tornar uma ferramenta essencial na reabilitação, na medicina personalizada e na medicina regenerativa, contribuindo para um futuro mais inclusivo e tecnicamente avançado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDBEM. Próteses de membros inferiores. Portfólio. 2023. Disponível em: <<https://www.andbem.com.br/portfolio/proteses-membros-inferiores/>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

ASSAD, Danielle Aline Barata et al. Órtese com impressão 3D para ombro: relato de caso. **Acta Fisiátrica**, v. 24, n. 3, p. 154-159, 2017.

BANGA, Harish Kumar et al. Design and fabrication of prosthetic and orthotic product by 3D printing. Em: **Prosthetics and orthotics**. IntechOpen, 2020.

BARCZEWSKI, Bianca Figueiredo et al. Aplicações da manufatura aditiva em oftalmologia. **Revista brasileira de oftalmologia**, v. 81, p. e0052, 2022.

BARRETO, Jaqueline Oliveira et al. Impactos psicossociais da estética dentária na qualidade de vida de pacientes submetidos a próteses: revisão de literatura. **Arch. health invest**, p. 48-52, 2019.

BARRIOS-MURIEL, Jorge et al. Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: a technology review. **Materials**, v. 13, n. 2, p. 295, 2020.

BEDIAN, Luis et al. Bio-based materials with novel characteristics for tissue engineering applications—A review. **International journal of biological macromolecules**, v. 98, p. 837-846, 2017.

BERMAN, Barry. 3-D printing: The new industrial revolution. **Business horizons**, v. 55, n. 2, p. 155-162, 2012.

BERSCH, Rita. Introdução à tecnologia assistiva. 2017. Disponível em: <www.assistiva.com.br>, Acesso em: 10 dez. 2024.

BIONICENTER. Próteses para membros superiores: quais os tipos? 2022. Disponível em: <<https://bionicenter.com.br/2022/08/10/protese-para-membros-superiores-quais-os-tipos-como-funcionam/>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

BORGES, Isabelli Laiane et al. Biotecnologia: Aplicações da engenharia tecidual na regeneração de órgãos e tecidos humanos-revisão bibliográfica. **Research, society and development**, v. 12, n. 13, p. e111121344279-e111121344279, 2023.

BÜCKING, Thore M. et al. From medical imaging data to 3D printed anatomical models. **PloS one**, v. 12, n. 5, p. e0178540, 2017.

BURNFIELD, M. Gait analysis: normal and pathological function. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 9, n. 2, p. 353, 2010.

CARDOSO, Bruno Filipe Mendes. **Indústria 4.0: manufatura aditiva e o seu potencial de inovação**. 2019. Dissertação de mestrado. Universidade da Beira Interior (Portugal).

CROOK, Jeremy M. 3D bioprinting. **methods in molecular biology; Humana: New York, NY, USA**, v. 2140, 2020.

DATTA, Sudipto; BARUA, Ranjit. 3D printing in modern healthcare: An overview of materials, methods, applications, and challenges. **Emerging technologies for health literacy and medical practice**, p. 132-152, 2024.

DEBNATH, Sujit Kumar et al. Intervention of 3D printing in health care: transformation for sustainable development. **Expert opinion on drug delivery**, v. 18, n. 11, p. 1659-1672, 2021.

DEMARCHI, Gustavo Scussel et al. O Desenho paramétrico como facilitador na personalização de órteses para Tecnologia Assistiva. **Blucher design proceedings. Blucher**, 2017.

DIZON, John Ryan C. et al. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. **Additive manufacturing**, v. 20, p. 44-67, 2018.

DODZIUK, Helena. Applications of 3D printing in healthcare. **Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska/Polish Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, v. 13, n. 3, p. 283-293, 2016.

DUARTE, Jessica Alexandra Bento. **Impressão 3D de máscaras de imobilização para terapêutica: análise radiológica, mecânica e financeira**. 2019. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa-Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa.

ELHADAD, Amir A. et al. Applications and multidisciplinary perspective on 3D printing techniques: Recent developments and future trends. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 156, p. 100760, 2023.

FANG, Yongcong et al. Advances in 3D bioprinting. **Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers**, v. 1, n. 1, p. 100011, 2022.

FAULK, D. M., JOHNSON, S. A., ZHANG, L., & BADYLAK, S. F. Role of the extracellular matrix in whole organ engineering. **Journal of cellular physiology**, v. 229, p. 984-989, 2014.

FERNANDES, Alexandra; RODRIGUES, Francisco. Produção 3D Bioartificial de tecidos e órgãos – uma revisão. **Egitania Scientia**, v. 2 n. 23, 2018.

FIGUEIREDO, Beatriz Beca; CESAR, Francisco Ignácio Giocondo. Um estudo da utilização da impressora 3D na Engenharia e na Medicina. **RECISATEC-REVISTA CIENTÍFICA SAÚDE E TECNOLOGIA-ISSN 2763-8405**, v. 2, n. 1, p. e2170-e2170, 2022.

FIX IT. Relato de caso: Órtese 3D da Fix it em fratura da diáfise do úmero e utilização do fio de Kirschner devido a dissociação rádio ulnar distal. 2022. Disponível em : <<https://usefixit.com.br/relatos-de-casos/relato-de-caso/>>, Acesso em: 23 jan. 2025.

FIX IT. Tecnologia assistiva e a impressão 3D. 2019. Disponível em : <<https://usefixit.com.br/impressao-3d/tecnologia-assistiva-e-a-impressao-3d/>>, Acesso em: 23 jan. 2025.

FONTE, Raquel Sudbrack da. A utilização da fabricação digital para personalização de próteses mamárias externas para mulheres pós-mastectomizadas. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre. 2022.

FORMIGA, Caio Vinicius Efigenio; CARNEIRO, Marcos Lajovic. Impressão 3D para construção civil: revisão da literatura e desafios. **Revista de Engenharia e tecnologia**, v. 13, n. 4, 2021.

GAO, G., HUANG, Y., SCHILLING, A. F., HUBBELL, K., & CUI, X. Organ bioprinting: are we there yet?. **Adv.healthcare mater**, v. 7, p. e1701018, 2018.

GEORGE, Elizabeth et al. Measuring and establishing the accuracy and reproducibility of 3D printed medical models. **Radiographics**, v. 37, n. 5, p. 1424-1450, 2017.

GIBSON, Ian et al. **Additive manufacturing technologies**. Cham, Switzerland: Springer, 2021.

GRADIM, Luma Carolina Câmara; PAIVA, Gisele. Modelos de órteses para membros superiores: uma revisão da literatura. **Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional**, v. 26, n. 02, p. 479-488, 2018.

GRIFFIN, Michelle et al. The current versatility of polyurethane three-dimensional printing for biomedical applications. **Tissue Engineering Part B: Reviews**, v. 26, n. 3, p. 272-283, 2020.

HOY, Matthew B. 3D printing: making things at the library. **Medical reference services quarterly**, v. 32, n. 1, p. 93-99, 2013.

HUANG, Ying et al. 3D bioprinting and the current applications in tissue engineering. **Biotechnology journal**, v. 12, n. 8, p. 1600734, 2017.

IBRAHIM, Danilo et al. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet™ models in the reproduction of mandibular anatomy. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 37, n. 3, p. 167-173, 2009.

JACOBS, MaryLynn A. et al. **Orthotic intervention for the hand and upper extremity: splinting principles and process**. Lippincott Williams & Wilkins, 2013.

JAMRÓZ, Witold et al. 3D printing in pharmaceutical and medical applications—recent achievements and challenges. **Pharmaceutical research**, v. 35, p. 1-22, 2018.

JIN, Zhongboyu et al. 3D printing of physical organ models: recent developments and challenges. **Advanced Science**, v. 8, n. 17, p. 2101394, 2021.

KOLESKY, David B. et al. 3D bioprinting of vascularized, heterogeneous cell-laden tissue constructs. **Advanced materials**, v. 26, n. 19, p. 3124-3130, 2014.

KUMAR, Pankaj et al. 3D printing technology for biomedical practice: a review. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 30, n. 7, p. 5342-5355, 2021.

LACERDA, Tayla Figueiredo et al. Aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 620-625, 2020.

LEE, Jia Min; YEONG, Wai Yee. Design and printing strategies in 3D bioprinting of cell-hydrogels: A review. **Advanced healthcare materials**, v. 5, n. 22, p. 2856-2865, 2016.

LIMA, Letícia Gonçalves et al. Impressão 3D de medicamentos: benefícios da personalização, desafios regulatórios e perspectivas para a otimização do cuidado em saúde. **Revista Brasileira de Farmácia Hospitalar e Serviços de Saúde**, v. 15, n. 2, p. e1176-e1176, 2024.

LIRA, Valdemir Martins. **Processos de fabricação por impressão 3D: Tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D**. Editora Blucher, 2021.

LOGES, Klara; TIBERIUS, Victor. Implementation challenges of 3D printing in prosthodontics: a ranking-type delphi. **Materials**, v. 15, n. 2, p. 431, 2022.

MA, Hong et al. Integrated design and fabrication strategies based on bioprinting for skeletal muscle regeneration: current status and future perspectives. **Materials & Design**, v. 225, p. 111591, 2023.

MANERO, Albert et al. Implementation of 3D printing technology in the field of prosthetics: Past, present, and future. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 9, p. 1641, 2019.

MONTMARTIN, M. et al. 3D printing in health care facilities: What legislation in France?. **Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale**, v. 116, n. 5, p. 302-307, 2015.

MORANDINI, Moisés Miranda; DEL VECHIO, Gustavo Henrique. Impressão 3D, tipo e possibilidades: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 67-77, 2020.

MORIMOTO, Sandra Yoshie Uraga et al. Upper limbs orthosis and prostheses printed in 3D: an integrative review. **Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional**, v. 29, p. e2078, 2021.

MORONI, Lorenzo et al. Biofabrication strategies for 3D in vitro models and regenerative medicine. **Nature Reviews Materials**, v. 3, n. 5, p. 21-37, 2018.

MURPHY, Sean V.; ATALA, Anthony. 3D bioprinting of tissues and organs. **Nature biotechnology**, v. 32, n. 8, p. 773-785, 2014.

MURR, Lawrence E. et al. Next-generation biomedical implants using additive manufacturing of complex, cellular and functional mesh arrays. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 368, n. 1917, p. 1999-2032, 2010.

MURR, Lawrence E. Frontiers of 3D printing/additive manufacturing: from human organs to aircraft fabrication. **Journal of Materials Science & Technology**, v. 32, n. 10, p. 987-995, 2016.

NEGRINI, Stefano et al. Braces for idiopathic scoliosis in adolescents. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 6, 2015.

NGO, Tuan D. et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, v. 143, p. 172-196, 2018.

NIGAM, S. K. Concise review: can the intrinsic power of branching morphogenesis be used for engineering epithelial tissues and organs?. **Stem cells translational medicine**, v. 2, p. 993-1000, 2013.

O'BRIEN, Ellen K. et al. Use of 3D printing for medical education models in transplantation medicine: a critical review. **Current Transplantation Reports**, v. 3, p. 109-119, 2016.

ONU. Cerca de um bilhão de pessoas com deficiência tem acesso negado a tecnologia assistiva. Nações Unidas. 2022. Disponível em: < [https://brasil.un.org/pt-br/182189-](https://brasil.un.org/pt-br/182189-64)

cerca-de-um-bilhão-de-pessoas-com-deficiência-têm-acesso-negado-tecnologia-assistiva>. Acesso em: 22 fev. 2025.

OTTONI, R.; BORBA, M. Comportamento mecânico e clínico de próteses monolíticas à base de zircônia: revisão de literatura. **Cerâmica**, v. 64, n. 372, p. 547-552, 2018.

PANDA, Sunil Kumar et al. Revolutionizing product development: The growing importance of 3D printing technology. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

PAREDES, Beatriz; SOARES, Graciliano; ARAUJO, Júlia; SILVA, Suely; SILVA, Erick. Produção de prótese para membros superiores a partir de manufatura aditiva: o caso printing for life, **COINTER PDVGT**, 2022.

PIRES, Maria Eugênia Paula et al. Impressão 3D na ortopedia: onde estamos e aonde podemos chegar. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 4, p. 951-965, 2023.

PORTELLA. Primeira Impressora 3D do mundo: conheça a história. 3D Lab. 2023. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/a-primeira-impressora-3d-do-mundo/>>. Acesso em: 20 ago. 2024.

RAJA, Kavitha; DEWAN, Neha. Efficacy of knee braces and foot orthoses in conservative management of knee osteoarthritis: a systematic review. **American journal of physical medicine & rehabilitation**, v. 90, n. 3, p. 247-262, 2011.

RENGIER, Fabian et al. 3D printing based on imaging data: review of medical applications. **International journal of computer assisted radiology and surgery**, v. 5, p. 335-341, 2010.

RODRIGUES, Rogério Gonçalo Tomás. **Estudo e projecto de um equipamento de impressão 3D e fresagem CNC**. 2020. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico de Viseu (Portugal).

RUBIN, Gustav; COHEN, Ellen. Prostheses and orthoses for the foot and ankle. **Clinics in Podiatric Medicine and Surgery**, v. 5, n. 3, p. 695-719, 1988.

SAADI, M. A. S. R. et al. Direct ink writing: a 3D printing technology for diverse materials. **Advanced Materials**, v. 34, n. 28, p. 2108855, 2022..

SALMI, Mika. Additive manufacturing processes in medical applications. **Materials**, v. 14, n. 1, p. 191, 2021.

SASAKI, K., AKAGI, T., ASAOKA, T., EGUCHI, H., FUKUDA, Y., IWAGAMI, Y., YAMADA, D., NODA, T., WADA, H., GOTOH, K., KAWAMOTO, K., DOKI, Y., MORI, M., AKASHI, M. Construction of three-dimensional vascularized functional human liver tissue using a layer-by-layer cell coating technique. **Biomaterials**, v. 133, p. 263-274, 2017.

SEGARAN, Nicole et al. Application of 3D printing in preoperative planning. **Journal of clinical medicine**, v. 10, n. 5, p. 917, 2021.

SHAH, Mussadiq et al. Vat photopolymerization-based 3D printing of polymer nanocomposites: current trends and applications. **RSC advances**, v. 13, n. 2, p. 1456-1496, 2023.

SHAPIRA, Assaf; DVIR, Tal. 3D tissue and organ printing—hope and reality. **Advanced Science**, v. 8, n. 10, p. 2003751, 2021.

SHIN, Alicia. The History, Current Status, Benefits, and Challenges of 3D Printed Organs. **arXiv preprint arXiv:2207.13212**, 2022.

SILVA, Aline Tenório Domingues da. **Ferramenta para auxílio na reabilitação de crianças que utilizam as Órteses Dennis Brown**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SUGIO, Carolina Yoshi Campos et al. Considerações sobre os tipos de próteses parciais removíveis e seu impacto na qualidade de vida. **Revista Odontológica de Araçatuba**, v. 40, n. 2, p. 15-21, 2019.

SUN, Zhonghua. 3D printing in medicine: current applications and future directions. **Quantitative imaging in medicine and surgery**, v. 8, n. 11, p. 1069, 2018.

TEIXEIRA, Adriane Ribeiro et al. Qualidade de vida de adultos e idosos pós adaptação de próteses auditivas. **Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, v. 13, p. 357-361, 2008.

VANELLI, Cristiano Mariano; MABA, Isabella Karoline. Bioimpressão: uma abordagem em saúde para impressão 3D. **Revista Saúde e Desenvolvimento**, v. 14, n. 17, 2020.

VENTOLA, C. Lee. Medical applications for 3D printing: current and projected uses. **Pharmacy and Therapeutics**, v. 39, n. 10, p. 704, 2014.

VIEIRA, Erica Pinheiro. Produção digital de maquetes arquitetônicas: um estudo exploratório. **Universidade Estadual de Campinas**, v. 130, 2007.

YANNAS, I. V. Synthesis of tissues and organs. **Chembiochem**, v. 5, p. 26-39, 2004.

WANG, Xiaohong et al. Gelatin-based hydrogels for organ 3D bioprinting. **Polymers**, v. 9, n. 9, p. 401, 2017.

WHITAKER, Matthew. The history of 3D printing in healthcare. **The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England**, v. 96, n. 7, p. 228-229, 2014.

ZOPF, David A. et al. Bioresorbable airway splint created with a three-dimensional printer. **New England Journal of Medicine**, v. 368, n. 21, p. 2043-2045, 2013.