

Manufatura aditiva e a nova abordagem da Moda: inovação e sustentabilidade na indústria têxtil

Additive manufacturing and the new approach to Fashion: innovation and sustainability in the textile industry

Fabrication additive et nouvelle approche de la mode: innovation et durabilité dans l'industrie textile

DOI: 10.5965/25944630932025e7528

Marcia Cristina Silva

Universidade Federal do ABC - UFABC

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7840-7116>

Júlia Baruque-Ramos

Universidade de São Paulo - USP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5538-0544>

Isabel Cristina Italiano

Universidade de São Paulo - USP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4887-7904>

Fernando Gasi

Universidade Federal do ABC - UFABC

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7383-2762>

Carlos Bandeira de Mello Monteiro

Universidade de São Paulo - USP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2661-775X>

João Paulo Marcicano

Universidade de São Paulo - USP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8509-8259>

Maria Silvia de Held

Universidade de São Paulo – USP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4373-4955>



Licenciante: *Revista de Ensino em Artes, Moda e Design*, Florianópolis, Brasil.

Este trabalho está licenciado sob uma licença **Creative Commons Attribution 4.0 International License**.

Publicado pela Universidade do Estado de Santa Catarina



Copyright: © 2025 pelos autores.

Submetido em: 07/07/2025

Aprovado em: 25/08/2025

Publicado em: 15/10/2025

Resumo

Este artigo analisa o impacto da impressão 3D na indústria têxtil e de moda, destacando seu potencial para revolucionar processos produtivos, reduzir impactos ambientais e promover customização em massa. Por meio de uma revisão bibliográfica, o estudo demonstra como a tecnologia viabiliza a criação de vestuário, acessórios e tecidos inteligentes com estruturas complexas, além de minimizar resíduos através da produção sob demanda. Os resultados evidenciam avanços em materiais flexíveis, como o poliuretano termoplástico (TPU), elastômero termoplástico (TPE) e sustentáveis ácido polilático (PLA, biotintas), ilustrados por casos como os de Iris Van Herpen e Danit Peleg. A técnica de Modelagem por Deposição Fundida (FDM) destaca-se pela versatilidade, permitindo desde impressão direta em tecidos até fabricação de wearables eletrônicos. Contudo, persistem desafios, como a limitação de materiais respiráveis, custos de escalonamento e questões regulatórias envolvendo propriedade intelectual. Conclui-se que a impressão 3D, alinhada a valores éticos e ambientais, pode redefinir a indústria têxtil, combinando criatividade e responsabilidade socioambiental, desde que haja colaboração multidisciplinar e investimentos em pesquisas sobre biocompósitos e logística descentralizada.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Impressão 3D. Indústria têxtil. Sustentabilidade. Customização em massa.

Abstract

This article examines the impact of 3D printing on the textile and fashion industry, highlighting its potential to revolutionize production processes, reduce environmental impacts, and enable mass customization. Through a literature review, the study demonstrates how this technology facilitates the creation of clothing, accessories, and smart textiles with complex structures while minimizing waste through on-demand production. The findings reveal advancements in flexible materials, such as thermoplastic polyurethane (TPU), thermoplastic elastomer (TPE) and sustainable alternatives, such as polylactic acid (PLA, bio inks), illustrated by case studies such as Iris Van Herpen and Danit Peleg. The Fused Deposition Modeling (FDM) technique stands out for its versatility, enabling direct printing on fabrics as well as the production of electronic wearables. However, challenges remain, including limitations in breathable materials, scaling costs, and regulatory issues related to intellectual property. The study concludes that 3D printing, aligned with ethical and environmental values, has the potential to redefine the textile industry by combining

¹ Marcia Cristina Silva, Doutora em Energia pela UFABC (2023), mestre em Ciências pela USP (2018) e graduada em Têxtil e Moda (USP, 2016) e Tecnologia Mecânica (FATEC-SP, 2001). Professora substituta no IFSP (2023-2024). E-mail: 333marciacristina@gmail.com. <http://lattes.cnpq.br/5552492667620999>, <https://orcid.org/0000-0001-7840-7116>.

² Júlia Baruque-Ramos, Professora Associada 3 da EACH-USP, possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Química (USP, 1988-2000) e graduação em Direito (USP, 1993). E-mail: jbaruque@usp.br, <http://lattes.cnpq.br/7827852209292889>, <https://orcid.org/0000-0002-5538-0544>.

³ Isabel Cristina Italiano, Professora e pesquisadora em Têxtil e Moda na USP, com foco em trajes históricos e contemporâneos, alfaiataria e trajes de cena (teatro, cinema, TV). E-mail: isabel.italiano@usp.br, <http://lattes.cnpq.br/4994816548757232>, <https://orcid.org/0000-0003-4887-7904>

⁴ Fernando Gasi, Graduado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário da FEI (1984) e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2010). E-mail: gasifernando@gmail.com, <http://lattes.cnpq.br/8247613218944551>, <https://orcid.org/0000-0001-7383-2762>

⁵ Carlos Bandeira de Mello Monteiro, Graduado em Fisioterapia e Educação Física, mestre e doutor em Neurologia/USP. Pós-doutorado na USP, Holanda e Harvard. Livre-docente pela USP. E-mail: carlosmonteiro@usp.br, <http://lattes.cnpq.br/7155249367394645>, <https://orcid.org/0000-0002-2661-775X>

⁶ João Paulo Marcicano, Engenheiro Mecânico (USP), com mestrado e doutorado na mesma área. Pesquisa produção de filamentos, metodologia de projetos sustentáveis e têxteis eletrônicos. E-mail: marcican@usp.br, <http://lattes.cnpq.br/5855243848367851>, <https://orcid.org/0000-0002-8509-8259>

⁷ Maria Sílvia de Held, Formada em Artes e Publicidade, a docente possui mestrado e doutorado pela USP, onde atua como professora doutora em Têxtil e Moda. E-mail: silviaheld@usp.br, <http://lattes.cnpq.br/5645756396955777>, <https://orcid.org/0000-0003-4373-4955>

creativity, efficiency, and socio-environmental responsibility provided there is multidisciplinary collaboration and investment in research on biocomposites and decentralized logistics.

Keywords: Additive manufacturing. 3D printing. Textile industry. Sustainability. Mass customization.

Resumé

Cet article examine l'impact de l'impression 3D sur l'industrie textile et de la mode, en soulignant son potentiel à révolutionner les processus de production, réduire les impacts environnementaux et promouvoir la personnalisation de masse. À travers une revue bibliographique, l'étude montre comment cette technologie permet la création de vêtements, d'accessoires et de textiles intelligents aux structures complexes, tout en minimisant les déchets grâce à la production à la demande. Les résultats mettent en évidence les progrès réalisés avec les matériaux flexibles, polyuréthane thermoplastique (TPU), élastomère thermoplastique (TPE) et durables, acide polylactique (PLA, bio-encre), illustrés par des cas comme ceux d'Iris Van Herpen et Danit Peleg. La technique de modélisation par dépôt fondu (FDM) se distingue par sa versatilité, permettant aussi bien l'impression directe sur tissus que la fabrication de wearables électroniques. Cependant, des défis persistent, tels que la limitation des matériaux respirants, les coûts de mise à l'échelle et les questions réglementaires liées à la propriété intellectuelle. En conclusion, l'impression 3D, alignée sur des valeurs éthiques et environnementales, pourrait redéfinir l'industrie textile en alliant créativité, efficacité et responsabilité sociétale, à condition qu'une collaboration multidisciplinaire et des investissements dans la recherche sur les biocomposites et la logistique décentralisée soient renforcés.

Mots clé: Fabrication aditive. Impression 3D. Industrie textile. Durabilité. Personnalisation de masse.

Marcia S.; Júlia B.; Isabel I.; Fernando G.; Carlos M.; João M.; Maria H.

1 Introdução

A indústria da moda apresenta-se forjada por um conjunto dinâmico de pressões sociais e tecnológicas, que impulsionam mudanças significativas nos processos de produção, design e consumo (Lima; Dupont, 2018; Rocha, 2023).

Apesar do setor têxtil global ser economicamente muito importante, é um dos mais poluentes do mundo. Isso se deve em grande parte ao seu modelo de produção, que consome recursos naturais, utiliza processos químicos e gera grandes volumes de lixo e poluição ao longo de suas etapas. O modelo de *fast fashion*, em particular, agrava esses problemas ao promover um ciclo rápido de criação, produção e descarte, incentivando o consumo excessivo e resultando em vasta quantidade de resíduos sólidos (Hornburg *et al.*, 2022; Lima; Dupont, 2018).

Além disso, as implicações sociais e éticas do setor também têm sido alvo constante de críticas. A busca por redução de custos e preços competitivos leva muitas empresas a transferirem sua produção para países com legislações trabalhistas frágeis, onde são frequentes os casos de exploração laboral. Países como Bangladesh, China e Vietnã, grandes exportadores devido aos baixíssimos custos de mão de obra, tornaram-se epicentros da produção *fast fashion*, reforçando um ciclo de consumo descartável (Lima; Dupont, 2018).

Ademais, a crescente conscientização dos consumidores tem impulsionado transformações significativas. Movimentos em prol da redução do impacto ambiental e da exploração laboral ganham força, fomentando a ascensão do *slow fashion* e do consumo consciente. Essas tendências priorizam a produção artesanal, a durabilidade das peças e o descarte adequado. Além disso, a internet e as redes sociais amplificam a disseminação de informações, permitindo que grupos discutam estratégias de consumo sustentável e pressionem as empresas a alinhar suas práticas a valores éticos e ambientais. Dessa forma, a nova geração de consumidores não apenas demanda produtos, mas também exige que as marcas reflitam seus princípios coletivos, redefinindo os rumos da indústria da moda (Hornburg *et al.*, 2022; Lima; Dupont, 2018; Rocha, 2023).

Considerando a necessidade de encontrar e implementar alternativas mais sustentáveis e criativas para o processo produtivo de moda, uma vez que o modelo

tradicional de produção tem sido pressionado a se adaptar, incorporando práticas mais sustentáveis para atender às exigências do mercado (Hornburg *et al.*, 2018, 2022; Jafferson; Sabareesh; Sidharth, 2021; Lima; Dupont, 2018).

2 Metodologia

No contexto apresentado, no qual a impressão 3D, ou também conhecida como manufatura aditiva (MA), surge como uma alternativa promissora para auxiliar nessas mudanças, este estudo tem como objetivo analisar as aplicações da manufatura aditiva na produção têxtil e moda, com base em uma revisão bibliográfica que explora as principais inovações já desenvolvidas e testadas pela comunidade científica. A abordagem adotada visa mapear as contribuições existentes no campo, sem, contudo, esgotar as possibilidades de discussão sobre o tema.

O presente trabalho de natureza básica, tem como objetivo gerar novos conhecimentos, ampliar a compreensão de um fenômeno ou área de estudo, sem necessariamente buscar aplicações práticas imediatas. Esta pesquisa se caracteriza como um estudo descritivo, qualitativo e transversal. A descrição dos fenômenos observados contribui para uma melhor compreensão de como as questões relativas à impressão 3D está sendo aplicada em soluções para a indústria têxtil e da moda (Bellé; Schenatto; Guadagnin, 2023).

Esta pesquisa empregou uma abordagem qualitativa para a análise de dados, com o objetivo de interpretar os fenômenos observados por meio da pesquisa bibliográfica. Utilizando dados secundários, buscando contextualizar as discussões acadêmicas pertinentes e delinear os conceitos-chave, como os tipos de impressoras 3D aplicadas na produção de materiais têxteis. Conforme a descrição de Gil (2002), essa metodologia possibilita a análise de múltiplos pontos de vista sobre o tema, orientando o direcionamento da pesquisa. Além disso, o caráter transversal da investigação é definido pela coleta de dados em um único momento no tempo (Gil, 2002, 2008).

Para uma pesquisa bibliográfica sólida, foram utilizadas as ferramentas de revisão sistemática da literatura, que se inicia com uma pergunta, que, neste caso, foi: “Como se caracteriza o uso da impressão 3D na indústria têxtil e da moda?”

O mapeamento foi realizado em três bases de pesquisa, sendo: Science Direct, Web of Science e Periódicos CAPES, sem fixação de arco temporal para publicação de artigos.

Os descritores utilizados foram: impressão 3D, têxtil, moda, transformados nas seguintes strings de busca: (“3D printing” AND “textile industry”), (“impressão 3D” AND “indústria têxtil”), (“impressão 3D e moda”) e (“impressão 3D” e “moda”), selecionando, então, artigos na língua inglesa e na língua portuguesa (Bellé; Schenatto; Guadagnin, 2023; Machado *et al.*, 2023).

3 Aplicações da Impressão 3D em Têxtil e Moda

A impressão 3D pode transformar o processo produtivo da cadeia têxtil e moda, oferecendo um leque de possibilidades para criatividade, personalização e sustentabilidade (Baek *et al.*, 2022; Lima; Dupont, 2018). O método de manufatura aditiva, que constrói produtos camada por camada a partir de um modelo digital (Baek *et al.*, 2022; Chakraborty; Biswas, 2020; Vanderploeg; Lee; Mamp, 2017), representa uma mudança significativa em relação aos métodos tradicionais de fabricação (Vanderploeg; Lee; Mamp, 2017).

A impressão 3D, tem se destacado como uma tecnologia inovadora para a fabricação e prototipagem rápida de dispositivos personalizados, incluindo produtos vestíveis. Essa técnica permite a construção de objetos tridimensionais por meio da deposição sucessiva de camadas de material, controlada por sistemas computacionais, o que possibilita a criação de produtos altamente customizados com maior eficiência em comparação aos métodos tradicionais (Ferrari *et al.*, 2019; Prado; Sogabe, 2022).

O processo de fabricação inicia-se com a modelagem virtual em softwares de Desenho Auxiliado por Computador (CAD), cujo propósito fundamental reside na facilitação da interação homem-máquina, permitindo que designers explorem soluções criativas por meio de interfaces gráficas, revolucionando assim a comunicação visual e a concepção de produtos (Llewelyn, 1989). O arquivo do modelo virtual pode ser criado por um usuário, obtido por digitalização de um objeto existente (como em tomografias, ressonâncias magnéticas ou scanners ópticos) ou adquirido de fornecedores

especializados. Independentemente de sua origem, o arquivo pode ser modificado iterativamente em softwares CAD, como por exemplo o AutoCad da Autodesk, SolidWorks da Dassault Systèmes ou SketchUP da Trimble Inc, durante o processo de desenvolvimento (Awad; Habash; Hansen, 2018; Miranda; Del Vechio, 2020).

Também existem os softwares de CAD em plataformas gratuitas, os quais são amplamente utilizadas por comunidades de baixo custo. Apesar das diferenças nos formatos proprietários, a maioria desses softwares permite a exportação para o formato STL (STereoLithography), que representa a superfície do objeto por meio de uma malha triangular em coordenadas cartesianas tridimensionais (Awad; Habash; Hansen, 2018). O formato de arquivo STL, desenvolvido pela 3D Systems, é um padrão amplamente utilizado em impressão 3D e modelagem CAD, servindo como um formato de intercâmbio para representação de geometria tridimensional. Sua estrutura baseia-se em uma malha de facetas triangulares, que descreve a superfície de um objeto sem incorporar informações como cores, texturas ou propriedades materiais (Szilvsi-Nagy; Mátyási, 2003).

A partir do arquivo STL, é necessário fazer o processamento por um software de "fatiamento", que o converte em camadas bidimensionais, situação na qual, cada camada recebe um caminho de ferramenta algorítmico, definindo as coordenadas de impressão e sua sequência. Os caminhos de ferramenta, incluindo a geometria superficial, o preenchimento e os suportes, são traduzidos para uma linguagem de programação de controle numérico, como o G-code, que comanda os movimentos da impressora. Como essas coordenadas delimitam apenas a superfície externa, o usuário pode especificar o padrão de preenchimento interno, variando de sólido a estruturas com alto índice de vazios. Em geometrias com saliências, materiais de suporte são frequentemente necessários para evitar colapsos durante a impressão (Awad; Habash; Hansen, 2018). O processo descrito pode ser observado na **Figura 1**.

Figura 1 – Fluxo Geral do Processo de Manufatura aditiva ou Impressão 3D



Fonte: Adaptado e traduzido pelos autores (2025) a partir de Awad, Habash, Hansen (2018)

3.1 Tecnologias de Impressão 3D

Nas décadas de 1960 e 1970, objetos tridimensionais (3D) eram produzidos por meio de foto-polímeros curados com o auxílio de lasers. Um marco significativo ocorreu em 1981, quando Hideo Kodama publicou um artigo pioneiro descrevendo um método para fabricação de modelos 3D utilizando um fotopolímero termorrígido. O processo consistia na exposição de um polímero líquido fotossensível a raios ultravioleta, solidificando-o em camadas sobrepostas por meio de três equipamentos distintos, resultando em um modelo plástico transparente que permitia a visualização de sua estrutura interna. Posteriormente, em 1989, Crump desenvolveu uma técnica baseada em extrusão para construção de objetos 3D camada por camada, estabelecendo as bases para a impressão 3D moderna. A impressão metálica surgiu na década de 1990, com o advento das técnicas de fusão e sinterização a laser (Sastri, 2022).

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM), por meio de seu *International Technical Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies*, estabeleceu uma norma para classificação dos processos de manufatura aditiva e no Brasil é editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) com a identificação de ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018, a qual classifica os processos de manufatura aditiva com base nos princípios de moldagem e nos mecanismos de união ou deposição de material, abrangendo sete categorias principais (ABNT, 2018; ASTM, 2025).

O Jato de Aglutinante (*Binder Jetting*) utiliza um agente de ligação líquido para unir partículas de pó, enquanto a Deposição por Energia Direcionada (*Directed Energy Deposition*) emprega energia térmica focalizada, como laser ou feixe de elétrons, para fundir materiais durante a deposição. A Extrusão de Material (*Material Extrusion*), conhecida no Brasil como deposição de material fundido, envolve a deposição seletiva por meio de um bico extrusor. No Jateamento de Material (*Material Jetting*), micro gotículas de foto polímeros ou ceras são depositadas de forma controlada. A Fusão em Leito de Pó (*Powder Bed Fusion*) funde regiões específicas de um leito de pó usando energia térmica, sendo a sinterização a laser uma de suas variantes. A Laminação de Folha (*Sheet Lamination*) baseia-se na união de folhas de material, e a Foto polimerização em Cuba (*Vat Photopolymerization*) cura seletivamente um fotopolímero líquido por meio de luz (ABNT, 2018).

Além disso, a norma diferencia processos de única etapa, nos quais a geometria e as propriedades do material são obtidas simultaneamente, daqueles de múltiplas etapas, que exigem pós-processamento, como tratamentos térmicos ou usinagem, para atingir as características finais. Essa classificação é essencial para compreender a versatilidade da manufatura aditiva, que pode ser aplicada a diversos materiais, incluindo metais, polímeros, cerâmicas e compósitos, ampliando suas possibilidades de uso em contextos industriais e científicos (ABNT, 2018).

Dentre as tecnologias de impressão 3D, utilizadas na indústria têxtil, destaca-se a Modelagem por Deposição Fundida (FDM - *Fused Deposition Modeling*), também conhecida como Fabricação por Filamento Fundido (FFF - *Fused Filament Fabrication*) que utiliza o princípio de moldagem por extrusão. Essa técnica baseia-se na extrusão de material termoplástico, geralmente na forma de filamento, que é fundido e depositado seletivamente por um bico extrusor, camada sobre camada, para construir o objeto tridimensional. O processo inicia-se com a fusão do material sólido em uma estação de pré-aquecimento, que eleva sua temperatura até o ponto de fusão, permitindo seu escoamento através do sistema de alimentação. Devido à sua acessibilidade e versatilidade, a FDM consagrou-se como o método mais difundido e amplamente utilizado na impressão 3D, sobretudo com a popularização de impressoras de nível básico de operação (Čuk *et al.*, 2020; Jafferson; Sabareesh; Sidharth, 2021; Xiao; Kan,

2022).

Sua versatilidade permite diversas aplicações, desde a produção de estruturas flexíveis até a integração com eletrônicos vestíveis, destacando-se nos seguintes aspectos:

- (i) Desenvolvimento de estruturas têxteis, uma vez que pesquisadores têm explorado a FDM para a fabricação de estruturas semelhantes a tecidos planos e malhas, incluindo painéis de vestuário e padrões rendados. A técnica possibilita a obtenção de propriedades essenciais para aplicações em moda, como flexibilidade, drapeado e conformidade ao corpo, graças ao controle preciso da extrusão de materiais termoplásticos (Chakraborty; Biswas, 2020; Liu *et al.*, 2025; Vanderploeg; Lee; Mamp, 2017; Xiao; Kan, 2022; Yang *et al.*, 2024);
- (ii) Na impressão direta sobre substratos têxteis, considerada uma das aplicações mais difundidas, a FDM destaca-se pela capacidade de depositar polímeros fundidos diretamente sobre tecidos preexistentes, criando sistemas multimateriais com funcionalidades aprimoradas. A adesão entre o material impresso e o substrato têxtil é um fator crítico, influenciada por variáveis como a estrutura do tecido (ligamento, trama e densidade) e parâmetros de impressão (temperatura, distância do bico, orientação do preenchimento), temas amplamente investigados em estudos recentes (Čuk *et al.*, 2020);
- (iii) Fabricação de aviamentos e acessórios: A tecnologia FDM tem sido empregada no desenvolvimento de fechos, botões e outros componentes, demonstrando resistência em testes de lavanderia industrial, tintura reativa e processos de amaciamento. A adoção por pequenas empresas do setor tem sido favorável, indicando o potencial da FDM para aplicações práticas em escala reduzida (Hornburg *et al.*, 2022);
- (iv) Produção de bolsas e componentes estruturais: Experimentos com filamentos flexíveis (como TPE) e rígidos (como PLA) permitiram a criação de bolsas com texturas geométricas, combinando funcionalidade e design personalizado (Amador; Medeiros, 2023).

- (v) Peças de vestuário completo e parcial, uma vez que a produção de vestuário integral ainda apresente desafios devido às exigências de mobilidade e conforto, a FDM tem sido utilizada para a fabricação de componentes vestíveis sem costura, expandindo as possibilidades de customização e inovação em moda (Sheng, 2022).
- (vi) Calçados e acessórios: A técnica FDM é reconhecida como viável para a fabricação de calçados e acessórios, permitindo desde prototipagem rápida até a produção de peças finais com propriedades mecânicas ajustáveis (Chakraborty; Biswas, 2020; Rocha, 2023).
- (vii) E-têxteis e dispositivos vestíveis inteligentes: A FDM também contribui para o avanço dos têxteis funcionais, possibilitando a integração de componentes eletrônicos em estruturas flexíveis, o que abre caminho para o desenvolvimento de *wearables* com sensores e sistemas embarcados (Chakraborty; Biswas, 2020; Čuk *et al.*, 2020; Xiao; Kan, 2022).

Outra tecnologia relevante na aplicação da impressão 3D em produtos têxteis é a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), que utiliza como princípio de moldagem a fusão em leito de pó. Esse processo de manufatura aditiva consiste na sinterização de um material em pó previamente selecionado, utilizando um laser para fundir camadas sequenciais até a obtenção do produto. O laser atua delineando o padrão de cada seção transversal do modelo 3D sobre um leito de pó. Após a formação de uma camada, a plataforma de construção desce, permitindo a deposição de uma nova camada sobre a anterior. Esse ciclo se repete sucessivamente até a conclusão de todas as camadas e a finalização da peça (Vanderploeg; Lee; Mamp, 2017).

Também a tecnologia SLS, em um contexto mais amplo da impressão 3D aplicável à moda incluem a produção de vestuário, calçados e acessórios, no qual a tecnologia oferece liberdade de design e a capacidade de criar formas complexas bem como a capacidade de personalização e customização de tamanho e forma, possivelmente baseada em escaneamento 3D do corpo (Chakraborty; Biswas, 2020; Sheng, 2022; Xiao; Kan, 2022).

Conforme evidenciado na literatura, os estudos de Hamza e El-Sherbiny (2024),

Vanderploeg et al. (2017) e Fuchs et al. (2021) proporcionam, em conjunto, uma análise comparativa abrangente das três principais tecnologias de impressão 3D – Modelagem por Deposição Fundida (FDM), Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e Estereolitografia (SLA). Esses trabalhos examinaram tanto parâmetros técnicos, como espessura de camada (mm) e resolução média (mm), quanto aspectos aplicados, incluindo relevância para o setor de moda, materiais utilizados, processos de fabricação e desafios associados a cada método.

Quando voltada para a criatividade, a impressão 3D permite aos designers converterem suas ideias tridimensionais diretamente em protótipos físicos e produtos com maior facilidade e complexidade. Iris Van Herpen, por exemplo, utiliza a impressão 3D para alcançar designs complexos que não seriam possíveis com técnicas tradicionais (Sheng, 2022).

A tecnologia elimina as limitações das técnicas de manufatura convencionais e redefine a materialidade, permitindo a criação de composições inovadoras através da manipulação de uma linguagem codificada, sem a necessidade de ferramentas físicas (Baek *et al.*, 2022).

A personalização é outra grande vantagem da impressão 3D na moda. Diferentemente da produção em massa, a impressão 3D viabiliza a produção unitária de produtos, possibilitando alta customização (Amador; Medeiros, 2023; Baek *et al.*, 2022). É possível personalizar o tamanho e a forma das roupas de acordo com o corpo de um indivíduo, inclusive através do escaneamento corporal para criar peças sob medida (Chakraborty; Biswas, 2020).

4 Quando a Impressão 3D se encontra com a Moda

A manufatura aditiva apresenta diversas aplicações potenciais, com destaque para sua utilização na indústria têxtil, tema amplamente investigado em estudos recentes. Uma das aplicações com grande destaque é a criação de peças de vestuário e acessórios customizados e personalizados, marcando um retorno ao conceito de feito sob medida (*tailor made*) (Rocha, 2018). Esta tecnologia permite a produção de itens

únicos, adaptados ao corpo e gostos individuais, com alta precisão e liberdade de design (Amador; Medeiros, 2023).

Designers têm a capacidade de criar roupas sem costuras, como as apresentadas pela estilista holandesa Iris Van Herpen desde 2009, que tem desenvolvido peças cada vez mais elaboradas e maleáveis (Lima; Dupont, 2018; Rocha, 2018, 2023). Outros exemplos incluem o vestido impresso em 3D de Danit Peleg para a abertura dos Jogos Paralímpicos do Rio de Janeiro em 2016 (Amador; Medeiros, 2023; Gomes *et al.*, 2020) e podem ser observadas na **Figura 2**. As chuteiras personalizadas de Cristiano Ronaldo feitas sob medida com base em podologia robotizada (Rocha, 2018), e as coleções de alta-costura da Balenciaga que utilizaram escaners 3D do corpo de modelos para otimizar a modelagem (Rocha, 2018).

Figura 2- Exemplos de aplicação impressão 3D na moda. (a) Conjunto n.º 11, Coleção Crystallization, Holanda, 2010. Corpete e saia de pele em poliamida impressos em 3D, adornados com franjas de acrílico de Iris van Herpen. (b) A atleta de snowboard Amy Purdy dançou com um robô industrial KUKA usando um vestido de impressão 3D criado pelo estilista israelense Danit Peleg na cerimônia de abertura das Paraolimpíadas 2016 no Rio de Janeiro.



Fonte: (a) (Musée des Arts Décoratifs, 2023). (b) (Leite, 2016).

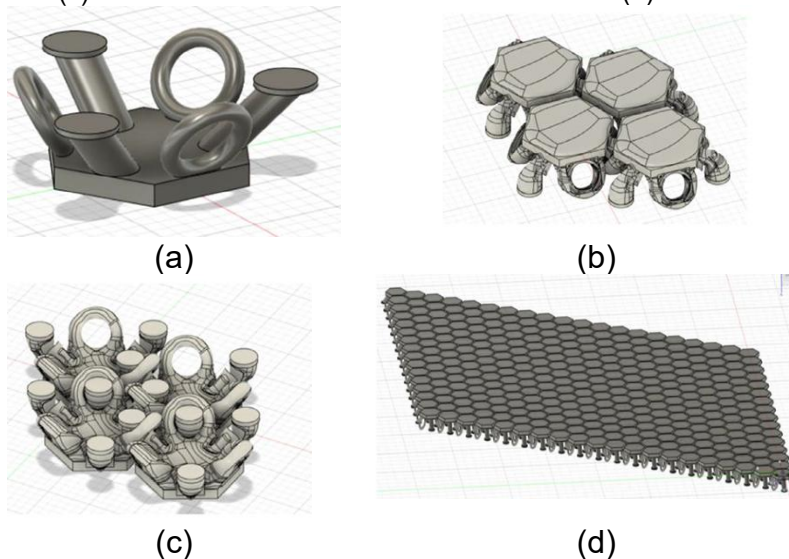
Além do vestuário, a impressão 3D é aplicada na produção de acessórios como bolsas, sapatos, joias, relógios e outros. A capacidade de personalização em massa é um diferencial, deslocando o paradigma tradicional de produção e

impulsionando o modelo de "produtor-consumidor" (Amador; Medeiros, 2023).

Outra área crucial de aplicação é a inovação em tecidos e materiais, permitindo a criação de estruturas complexas e tecidos exclusivos, antes impossíveis pelos métodos tradicionais (Hornburg *et al.*, 2018; Jafferson; Sabareesh; Sidharth, 2021; Lima; Dupont, 2018). A tecnologia facilita o desenvolvimento de materiais flexíveis, como os filamentos de poliuretano termoplástico (TPU) e de elastômero termoplástico (TPE). Os TPE's são materiais poliméricos que combinam as propriedades de serviço típicas dos elastômeros, como flexibilidade e elasticidade, com a processabilidade característica dos termoplásticos, permitindo reprocessamento por fusão. Dentro dessa classe, os TPU's destacam-se como copolímeros em bloco segmentados, nos quais segmentos rígidos (poliuretanos) e flexíveis (polióis) conferem um equilíbrio único entre resistência mecânica e deformação reversível. Essa estrutura microfásica possibilita aplicações exigentes, como em calçados, componentes automotivos e dispositivos médicos, superando muitos TPE's convencionais em resistência a abrasão e óleos. Assim, os TPU's representam uma subclasse de alto desempenho, alinhando versatilidade de processamento a propriedades funcionais superiores. que superam a rigidez dos plásticos iniciais e permitem a produção de roupas confortáveis (Amador; Medeiros, 2023; Behera *et al.*, 2024; Gomes *et al.*, 2020; Rocha, 2018).

Pesquisas atuais buscam a criação de tecidos respiráveis e flexíveis utilizando estruturas reticuladas, ou seja, composto por células que se arranjam para formar o tecido. No exemplo de Jafferson; Sabareesh; Sidharth (2021), o tecido foi composto mimetizando uma cota de malha, na qual a célula hexagonal impressa em impressora 3D de tecnologia FDM, se encaixa na seguinte, que é impressa ao seu redor, mantendo movimento entre si, até formar o tecido, conforme ilustrado **na Figura 3**.

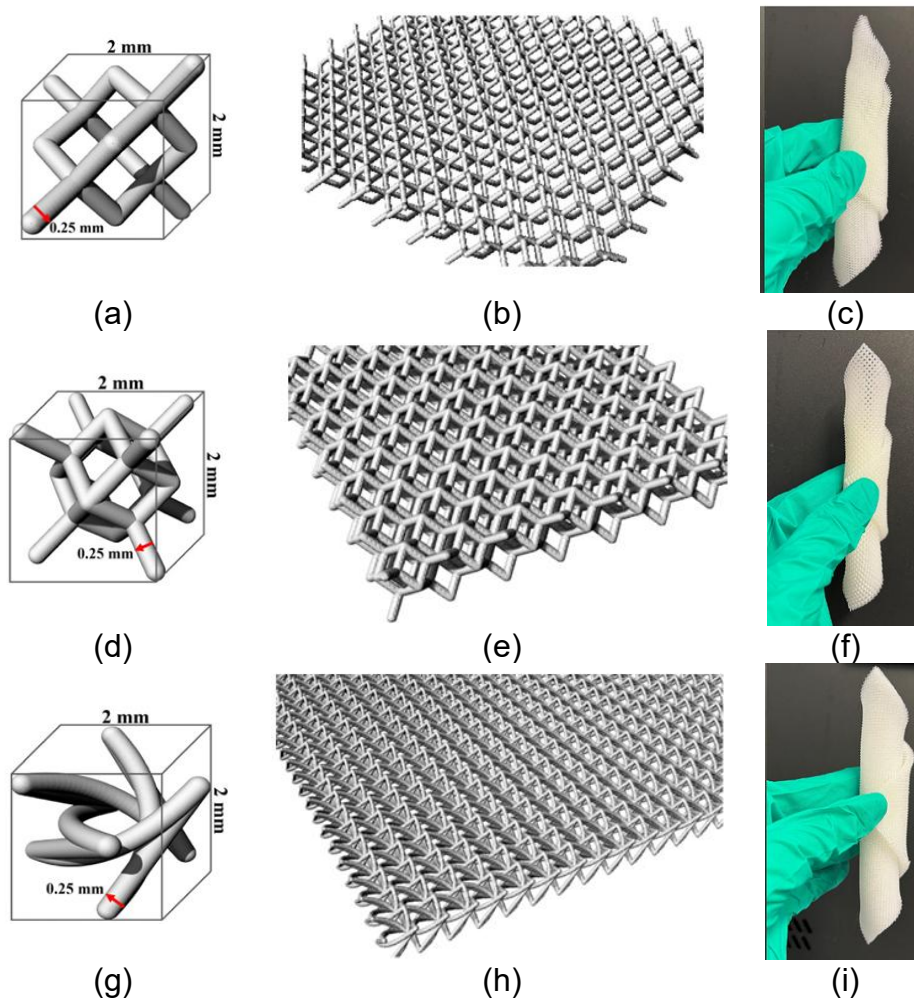
Figura 3 – (a)Célula unitária da estrutura de cota de malha. (b) Visão externa da estrutura de cota de malha. (c)Visão interna da estrutura de cota de malha. (d) Tecido contínuo.



Fonte: Jafferson; Sabareesh; Sidharth (2021)

Outra abordagem, utilizando estrutura reticuladas, foi conduzida por Liu et al. (2025) , na qual a equipe testou as propriedades mecânicas de três amostras de tecidos, produzidas em impressora 3D de tecnologia SLA, porém cada amostra contou o formato diferente para a unidade celular, sendo as estruturas reticuladas de diamante, dodecaedro e seno quadrado. As construções propostas no artigo podem ser observadas na **Figura 4**.

Figura 4 - Três estruturas projetadas e suas dimensões específicas. (a) Desenho 3D da unidade diamante (vista em perspectiva). (b) Estrutura diamante nas dimensões (100 x 100 mm). (c) Tecido impresso com estrutura diamante. (d) Desenho 3D da unidade dodecaedro (vista em perspectiva). (e) Estrutura dodecaedro nas dimensões (100 x 100 mm). (f) Tecido impresso com estrutura dodecaedro. (g) Desenho 3D da unidade seno quadrado (vista em perspectiva). (h) Estrutura seno quadrado nas dimensões (100 x 100 mm). (i) Tecido impresso com estrutura seno quadrado.



Fonte: Liu et al. (2025)

O desenvolvimento de biotintas à base de nanofibras de celulose, farinha de madeira, lignina (Borghei *et al.*, 2024) e polissacarídeos como alginato, quitosana, e amido (Hernandez-Tenorio *et al.*, 2025) também expande a gama de materiais sustentáveis e biocompatíveis, com potencial para aplicações futuras em tecidos (Xiao; Kan, 2022).

A impressão 3D contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental e a redução de resíduos na indústria da moda. Por ser uma técnica aditiva, gera muito menos desperdício de materiais, eliminando a criação de retalhos (Amador; Medeiros, 2023; Hornburg *et al.*, 2018, 2022; Lima; Dupont, 2018; Rocha, 2018).

Tal tecnologia também permite o uso de materiais reciclados, como plásticos de garrafas de poli(tereftalato de etileno) (PET), o qual destaca-se como um dos plásticos de engenharia mais utilizados, cuja popularidade decorre de suas propriedades mecânicas excepcionais. Esse material apresenta elevada resistência à tração e ao impacto, combinada com adequada estabilidade térmica e resistência química. Além disso, o PET possui transparência característica, baixa permeabilidade a oxigênio (O_2) e água (H_2O), além de boa rigidez. Tais características o tornam amplamente empregado em diversas aplicações industriais, consolidando sua posição como um polímero de grande relevância tanto no âmbito acadêmico quanto no setor produtivo (Langer *et al.*, 2020). Também, possibilita o uso de materiais biodegradáveis como o ácido polilático (PLA), derivado, entre outras fontes, do amido de milho, raízes de mandioca e cana (Horn *et al.*, 2023; Lima; Dupont, 2018). O PLA é amplamente utilizado para designar uma variedade de biopolímeros reconhecidos como a alternativa relevante aos plásticos convencionais derivados do petróleo. Inicialmente, o desenvolvimento desse material foi impulsionado principalmente por aplicações biomédicas. No entanto, devido ao seu elevado teor de carbono renovável, compostabilidade em condições industriais adequadas e produção economicamente viável, o PLA tem conquistado espaço em setores estratégicos, como embalagens e têxteis sintéticos, consolidando-se como uma opção sustentável em substituição aos plásticos tradicionais (Arias-Blanco *et al.*, 2025). A capacidade de produção sob demanda reduz a necessidade de grandes estoques e, consequentemente, o desperdício de produtos não vendidos, otimizando a gestão de inventário e minimizando custos (Amador; Medeiros, 2023; Rocha, 2023).

Quando a otimização da cadeia de produção e logística é considerada, a impressão 3D permite a produção próxima aos locais de consumo, diminuindo ou eliminando custos de transporte e armazenamento (Rocha, 2023; Silva; Ferreira, 2023). Essa abordagem reduz a dependência de cadeias de suprimentos globais complexas, que envolvem múltiplas etapas de fabricação em diferentes países (Rocha, 2018). Há ainda a possibilidade de venda de arquivos CAD em vez de produtos físicos, o que pode revolucionar o modelo de negócio, permitindo que os consumidores imprimam as peças em casa, reduzindo ainda mais as necessidades logísticas (Fuchs; Cotrim; Leal, 2021; Rocha, 2023).

No estudo de Čuk et al. (2020), analisa-se a aplicação da impressão 3D no setor têxtil e de moda, evidenciando seu papel na produção de elementos decorativos, acessórios e estruturas inovadoras, com ênfase na funcionalização de tecidos para o desenvolvimento de vestuário inteligente. Essa tecnologia viabiliza a criação de roupas esportivas, equipamentos de proteção e dispositivos eletrônicos vestíveis, baseando-se em três principais abordagens: a fabricação de estruturas flexíveis a partir de materiais rígidos, que imitam propriedades têxteis; a utilização de materiais flexíveis na impressão; e a deposição direta de polímeros sobre substratos têxteis, gerando objetos multimateriais que conjugam funcionalidade e estética. Dentre essas estratégias, a impressão direta em tecidos, especialmente via modelagem por fusão e deposição (FDM), destaca-se por permitir a integração de propriedades mecânicas e flexibilidade em produtos personalizados.

Um dos principais desafios nesse processo é garantir uma adesão eficiente entre o material impresso e o substrato têxtil, fator determinante para a durabilidade e qualidade do produto. Nesse contexto, os autores conduziram um experimento, que teve como objetivo principal investigar a influência das propriedades construtivas de tecidos, especificamente a densidade da trama, variando as amostras em 15, 20 e 22 inserções/cm, mantendo-se constante a densidade de urdidura em 40 fios/cm. Foram projetadas e tecidas cinco amostras de tecido de poliéster/algodão, empregando duas variações do ligamento de sarja de quatro pontas (1/3 e quebrada 1/3). As propriedades físicas das amostras, como espessura, gramatura e densidade real, foram caracterizadas conforme normas técnicas, com medições específicas para adequação ao processo de impressão 3D. A impressão foi realizada mediante um modelo 3D padronizado, utilizando filamento de PLA e uma impressora ZMorph 2.0 SX com tecnologia FDM. Parâmetros críticos, como temperatura do extrusor, altura do bico e ângulo de impressão, foram otimizados em testes preliminares, destacando-se a importância do posicionamento preciso do tecido, garantido por um sistema de fixação dedicado. Os testes de adesão, conduzidos conforme a norma DIN 53530, revelaram que a sarja quebrada 1/3 e de menor densidade de trama (15 fios/cm) proporcionou maior força adesiva, atribuída à maior penetração do polímero nos poros do tecido. Os resultados obtidos ampliam a compreensão sobre a interação entre materiais impressos e tecidos, fornecendo bases para o desenvolvimento de compostos multimateriais com

desempenho otimizado (Čuk *et al.*, 2020).

No estudo de revisão realizado por Xiao e Kan (2022), são discutidas as principais aplicações da impressão 3D na indústria têxtil, com foco nos quatro métodos mais adequados para a produção de têxteis funcionais e inovadores. O primeiro método abordado é a extrusão de materiais, amplamente utilizado devido à sua acessibilidade e à possibilidade de empregar termoplásticos como PLA e TPU. O segundo é o jato de tinta, técnica especialmente indicada para materiais líquidos com propriedades específicas, como condutividade elétrica. O terceiro método é a estereolitografia (SLA), que proporciona alta precisão, embora apresente custos elevados. Por fim, a sinterização seletiva a laser (SLS) permite maior flexibilidade e reutilização de materiais em pó, como o náilon.

A análise dos autores destaca aplicações bem-sucedidas, como a impressão de fibras funcionais para vestuário inteligente, a criação de estruturas flexíveis inspiradas em malhas e designs biomiméticos, e a impressão direta em tecidos para incorporar funcionalidades como condutividade e reforço estrutural. Contudo, persistem desafios, como a dificuldade de replicar propriedades têxteis essenciais, como respirabilidade e maciez, além dos custos elevados associados à produção em larga escala. Apesar disso, a impressão 3D surge como uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de novos materiais, incluindo biocompatíveis e condutivos, ampliando as possibilidades de inovação no setor têxtil (Xiao; Kan, 2022).

No artigo "Impressão 3D: inovação e relação entre as áreas da Medicina e do Design de Moda", Silva e Ferreira (2023) investigam as aplicações convergentes da fabricação aditiva na medicina e no design de moda, demonstrando como essa tecnologia possibilita soluções que harmonizam funcionalidade terapêutica e valor estético. As autoras destacam exemplos significativos, como a produção de órteses e próteses médicas com melhores propriedades ergonômicas, higiênicas e visuais, além de avanços em bioimpressão de tecidos humanos e modelos anatômicos para fins cirúrgicos. A tecnologia também se mostra promissora na fabricação de dispositivos médicos vestíveis, como colares cervicais e coletes ortopédicos, que simultaneamente atendem a requisitos clínicos e aspectos de design, contribuindo para o bem-estar psicológico e a inclusão social dos usuários.

Essas aplicações ilustram o potencial da impressão 3D para transformar o segmento de vestuário médico, possibilitando a criação de produtos ortopédicos personalizados, sustentáveis e economicamente viáveis. As vantagens incluem a minimização de resíduos, a adaptação às necessidades individuais e a redução de custos, características que se alinham aos princípios da Indústria 4.0. Segundo os autores, a eficácia dessas soluções é potencializada pela colaboração multidisciplinar entre profissionais de design, medicina e engenharia, evidenciando o caráter inovador dessa abordagem integrada (Silva; Ferreira, 2023).

No estudo "Fashion: From 3D Printing to Digital Fashion", Rocha (2023) examina o impacto disruptivo das tecnologias de impressão 3D e 4D no setor da moda, destacando quatro desafios fundamentais que emergem dessa transformação.

Inicialmente, é necessário esclarecer as nomenclaturas. Como impressão 4D, pode-se entender como um avanço em relação à tecnologia de impressão 3D, distinguindo-se pela incorporação de materiais inteligentes programáveis que conferem aos objetos a capacidade de adaptação dinâmica. Enquanto a impressão 3D utiliza materiais convencionais, a 4D emprega compostos como hidrogéis, polímeros com memória de forma e elastômeros de cristal líquido, permitindo que os produtos respondam a estímulos externos, como variações térmicas ou mecânicas. Essa tecnologia tem encontrado aplicações promissoras em wearables e vestuário inteligente, possibilitando o desenvolvimento de peças que se ajustam ao corpo, monitoram parâmetros fisiológicos ou reagem a proximidade, combinando funcionalidade e inovação (Rocha, 2023).

Além das vantagens práticas, a impressão 4D também aborda questões de sustentabilidade, priorizando materiais reutilizáveis e processos ecoeficientes. No entanto, sua adoção em larga escala enfrenta desafios legais, particularmente no que diz respeito à proteção de dados pessoais e à propriedade intelectual, exigindo conformidade rigorosa com regulamentações específicas. Embora os custos ainda sejam elevados, a tendência é que, com a popularização da tecnologia e a redução de preços, o acesso a impressoras 3D de qualidade e a arquivos CAD se torne mais viável, impulsionando a democratização dessa inovação. Assim, a impressão 4D emerge como uma ferramenta transformadora, integrando inteligência material, customização e

responsabilidade socioambiental (Rocha, 2023).

O primeiro desafio diz respeito à sustentabilidade ambiental, na qual a manufatura aditiva se apresenta como alternativa ecológica à produção convencional, permitindo a redução de resíduos e o uso de materiais reciclados, como polímeros derivados de resíduos oceânicos. O segundo desafio envolve a personalização em escala industrial, que exige novos modelos produtivos capazes de conciliar demandas por customização com viabilidade econômica. A proteção da propriedade intelectual constitui o terceiro obstáculo, agravado pela facilidade de reprodução não autorizada de arquivos digitais. Por fim, a privacidade de dados surge como preocupação central com a adoção de wearables e têxteis inteligentes, que coletam informações biométricas sensíveis, exigindo conformidade com o Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR), da União Europeia.

A autora ilustra essas discussões com três aplicações paradigmáticas. A designer Iris Van Herpen destaca-se por seu trabalho pioneiro em alta-costura, utilizando impressão 3D para criar peças que reinterpretem formas orgânicas através de softwares paramétricos. A colaboração entre Nike e Cristiano Ronaldo, que exemplifica a customização baseada em dados biomecânicos, resultando em calçados com topologia otimizada que melhoram o desempenho atlético. E a máscara CLIU, que representa a convergência entre moda e saúde, incorporando tecnologias 4D que respondem a estímulos ambientais. Esses casos demonstram como a impressão 3D/4D está redefinindo as fronteiras da moda, ao mesmo tempo que revelam tensões entre inovação e regulamentação, criatividade e replicabilidade, que demandam soluções interdisciplinares (Rocha, 2023).

A tecnologia também oferece aplicações específicas e inovadoras, tais como aviamentos e acessórios, com a utilização da impressão 3D para criar botões, argolas, ponteiros e plaquinhas personalizadas e biodegradáveis. Isso resolve o problema da reciclagem de peças que contêm materiais distintos das fibras têxteis e oferece flexibilidade para pequenas marcas que não precisam mais de grandes pedidos mínimos (Hornburg *et al.*, 2022).

5 Conclusão/Considerações Finais

A manufatura aditiva emerge como uma tecnologia transformadora para a indústria têxtil, oferecendo soluções inovadoras que respondem aos desafios ambientais, éticos e produtivos do setor. Como demonstrado neste estudo, a impressão 3D viabiliza a customização em massa, a redução de resíduos em até 80% em relação aos resíduos gerados pela produção convencional (Vanderploeg et al., 2017) e a criação de materiais com propriedades avançadas, redefinindo paradigmas tradicionais de design e produção. A capacidade de produzir peças sob demanda, como exemplificado por casos emblemáticos de Iris Van Herpen, Dani Peleg e aplicações médicas, as quais democratizam o acesso a peças sob medida, como no caso de órteses médicas impressas (Silva; Ferreira, 2023) e não apenas atende à demanda por sustentabilidade, mas também fortalece a inclusão e a funcionalidade do vestuário.

Apesar das incertezas, o potencial da manufatura aditiva para consolidar um modelo de moda circular é inegável. Projetos pioneiros, como o uso de bio-tintas à base de lignina (Borghei et al., 2024), apontam caminhos para superar limitações técnicas, enquanto modelos descentralizados de produção, baseados na venda de arquivos CAD, desafiam estruturas logísticas tradicionais (Rocha, 2023).

Contudo, persistem desafios críticos, que, conforme a literatura analisada apresenta uma discussão abrangente sobre os desafios enfrentados pela indústria da moda na implementação da impressão 3D e de outras tecnologias digitais, abordando desde obstáculos técnicos e materiais até implicações sociais, ambientais e legais. Embora essas barreiras sejam amplamente descritas, observa-se a necessidade de um aprofundamento mais sistemático nas lacunas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) essenciais para superá-las de maneira eficaz.

Entre os principais desafios identificados, destacam-se os elevados custos de maquinário e produção, especialmente para manufatura em larga escala, em que o tempo prolongado de fabricação limita a viabilidade econômica, mesmo em aplicações específicas, como a produção de aviamentos sob demanda (Fuchs; Cotrim; Leal, 2021; Hornburg et al., 2022; Lima; Dupont, 2018; Silva; Ferreira, 2023).

Diante do exposto, persistem limitações significativas em relação aos materiais disponíveis, uma vez que, apesar dos avanços em polímeros flexíveis e biodegradáveis, como TPU e PLA, questões relacionadas à durabilidade, conforto e resistência a processos industriais, como lavagens repetidas, ainda representam entraves técnicos (Amador; Medeiros, 2023; Fuchs; Cotrim; Leal, 2021; Gomes *et al.*, 2020; Hornburg *et al.*, 2022) . Para essa questão, embora estudos mencionem o potencial de materiais inteligentes, como hidrogéis e polímeros com memória de forma, é necessário aprofundar a investigação de novos compostos que combinem leveza, flexibilidade, conforto e durabilidade, características essenciais para o vestuário, mas ainda não plenamente atendidas pelas tecnologias iniciais (Rocha, 2023).

Adicione-se a isso, a melhoria das propriedades mecânicas de materiais biodegradáveis, como o ácido polilático (PLA), e a resistência à lavagem industrial de outros polímeros, como o Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), que apresentou falhas em testes anteriores (Hornburg *et al.*, 2018, 2022), demandam atenção. A pesquisa em biopolímeros derivados de lignina e celulose também se mostra promissora, porém carece de estudos mais robustos para otimizar seu processamento e propriedades (Zhang *et al.*, 2022).

Outro aspecto relevante é a investigação de materiais reciclados, como plásticos de copos descartáveis, visando não apenas a criação de protótipos, mas sua aplicação em escala industrial, com durabilidade adaptada a diferentes condições ambientais (Silva; Ferreira, 2023; Striani *et al.*, 2025).

Também, a complexidade do design e a necessidade de pós-processamento, apresentam-se com fatores críticos para o desenvolvimento da impressão 3D em artigos têxteis, pois, frequentemente demandam intervenção manual, inviabilizando a escalabilidade (Hornburg *et al.*, 2022) . Para além dos materiais, a otimização dos processos de impressão representa um grande desafio. O tempo elevado de produção em larga escala exige o desenvolvimento de impressoras mais rápidas e eficientes, bem como o refinamento de parâmetros como temperatura do bico, leito e orientação de enchimento, sem comprometer a qualidade do produto (Fuchs; Cotrim; Leal, 2021; Hornburg *et al.*, 2022). A dependência de estruturas de suporte e as etapas de pós-

processamento também são obstáculos que poderiam ser superados por meio de P&D em geometrias de design autossustentáveis ou tecnologias automatizadas de acabamento (Hornburg *et al.*, 2022).

Paralelamente, a facilidade de replicação de arquivos digitais intensifica os riscos à propriedade intelectual, exigindo mecanismos mais robustos de proteção contra a pirataria. Quando se trata da propriedade intelectual, a proteção de arquivos digitais (CAD) e a identificação de reprodução ou imitação fraudulenta de um produto ou obra, exigem soluções tecnológicas mais robustas. A integração de blockchain e contratos inteligentes pode ser explorada não apenas para garantir autenticidade, mas também para gerenciar licenças de impressão de forma escalável e acessível (Rocha, 2023).

A integração da impressão 3D nas cadeias de suprimentos também se mostra desafiadora, pois, embora a tecnologia promova a descentralização produtiva, sua adoção requer reestruturações logísticas profundas. Paralelamente, a democratização da tecnologia, como a venda de arquivos CAD para impressão doméstica, demanda P&D em plataformas intuitivas que assegurem qualidade e segurança (Fuchs; Cotrim; Leal, 2021). Por fim, a colaboração multidisciplinar entre designers, engenheiros e especialistas em TI é crucial, destacando a necessidade de metodologias que facilitem essa integração para impulsionar a inovação no setor (Rocha, 2018, 2023)⁸.

⁸ Correção Gramatical realizada por: Gilvanete Oliveira dos Santos, Licenciada em Letras – Língua Portuguesa pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (2020).

Referências:

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO/ASTM 52900 - Manufatura Aditiva — Princípios Gerais — Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- AMADOR, Júlia Oenning; MEDEIROS, Ivan Luiz de Resumo. Customização e Tecnologia: Bolsas Femininas em Impressão 3D. *In:* , 2023, Joinville - SC. (Univille, Org.) **11º Plural Design - Univille**. Joinville - SC: [s. n.], 2023.
- ARIAS-BLANCO, A. *et al.* Effects of electron beam radiation and annealing on the crystallinity and tensile properties of a 3D-printed PLA-based material. **Polymer Degradation and Stability**, [s. l.], v. 240, p. 111476, 2025.
- ASTM. **Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.astm.org/membership-participation/technical-committees/committee-f42>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- AWAD, Rami H.; HABASH, Sami A.; HANSEN, Christopher J. 3D Printing Methods. *In: 3D printing applications in cardiovascular medicine*. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 11–32.
- BAEK, Eunsoo *et al.* Defining digital fashion: Reshaping the field via a systematic review. **Computers in Human Behavior**, [s. l.], v. 137, p. 107407, 2022.
- BEHERA, Prasanta Kumar *et al.* Advances in thermoplastic polyurethane elastomers. *In: Advances in Thermoplastic Elastomers*. [S. l.]: Elsevier, 2024. p. 407–444.
- BELLÉ, Diogo; SCHENATTO, Fernando José Avancini; GUADAGNIN, Clístenes Antônio. Adoção de inovações tecnológicas no cultivo de hortaliças em sistema de plantio direto: uma revisão integrativa da literatura. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 61, n. 3, 2023.
- BORGHEI, Maryam *et al.* Wood flour and kraft lignin enable air-drying of the nanocellulose-based 3D-printed structures. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 92, p. 104397, 2024.
- CHAKRABORTY, Samit; BISWAS, Manik Chandra. 3D printing technology of polymer-fiber composites in textile and fashion industry: A potential roadmap of concept to consumer. **Composite Structures**, [s. l.], v. 248, p. 112562, 2020.
- ČUK, Marjeta *et al.* 3D printing and functionalization of textiles. *In:* , 2020. **Proceedings - The Tenth International Symposium GRID 2020**. [S. l.]: University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design, 2020. p. 499–506.
- FERRARI, Ana Lya Moya *et al.* IMPRESSÃO 3D E TECNOLOGIA ASSISTIVA: um estudo de análise da produção científica nos últimos dez anos. **Human Factors in**

Design, [s. l.], v. 8, n. 16, p. 51–63, 2019.

FUCHS, Nathalia Ruiz; COTRIM, Syntia Lemos; LEAL, Gislaine Camila Lapasini. Proposta de um modelo de referência para o desenvolvimento de produtos do vestuário utilizando impressão 3D. **Produto & Produção**, [s. l.], v. 22, n. 1, 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de Pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Editora Globo, 2008.

GOMES, Juliana Neves *et al.* Impressão 3D para vestuário: novos paradigmas de design e consumo. **Modapalavra e-periódico**, [s. l.], v. 13, n. 29, p. 136–156, 2020.

HAMZA, Dalia A.M.; EL-SHERBINY, Ibrahim M. 3D printing technology in drug delivery. *In: Novel Formulations and Future Trends*. [S. l.]: Elsevier, 2024. p. 513–546.

HERNANDEZ-TENORIO, Fabian *et al.* 3D printing of polysaccharide-based formulations: Opportunities for innovation. **Bioprinting**, [s. l.], v. 45, p. e00383, 2025.

HORN, Susanna *et al.* Environmental sustainability assessment of a polyester T-shirt – Comparison of circularity strategies. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 884, p. 163821, 2023.

HORNBURG, Laís Estefani *et al.* Aviamentos Impressos em 3D para Pequenas Marcas de Moda. **DAT Journal**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 319–333, 2022.

HORNBURG, Lais Estefani *et al.* Tecido Impresso em 3D para a Indústria do Vestuário. *In: , 2018, Joinville - SC. 13º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Univille, Joinville (SC) 05 a 08 de novembro de 2018*. Joinville - SC: [s. n.], 2018.

JAFFERSON, J.M.; SABAREESH, M.C.; SIDHARTH, B.S. 3D printed fabrics using generative and material Driven design. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 46, p. 1319–1327, 2021.

LANGER, Ewa *et al.* Methods of PET Recycling. *In: PLASTICIZERS DERIVED FROM POST-CONSUMER PET*. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 127–171.

LEITE, Romildo de Paula. **Amy Purdy abriu as Paraolimpíadas 2016 com um belo vestido de impressão 3D**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://textileindustry.ning.com/forum/topics/amy-purdy-abriu-as-paraolimp-adas-2016-com-um-belo-vestido-de>. Acesso em: 14 ago. 2025.

LIMA, Patrícia Cristina de; DUPONT, Lima Mariana Gomes. impressão 3D como alternativa criativa e sustentável na indústria da moda. **Diálogo com a Economia Criativa**, [s. l.], v. 3, n. 8, p. 102–116, 2018. Disponível em:

<https://dialogo.espm.br/revistadcec->

[rj/article/view/142/A%20impress%C3%A3o%203D%20como%20alternativa%20criativa%20e%09%09sustent%C3%A1vel%20na%20ind%C3%BAAs](https://dialogo.espm.br/revistadcec-rj/article/view/142/A%20impress%C3%A3o%203D%20como%20alternativa%20criativa%20e%09%09sustent%C3%A1vel%20na%20ind%C3%BAAs). Acesso em: 23 abr. 2025.

LIU, Jing *et al.* Design and characterization of breathable 3D printed textiles with flexible lattice structures. **Journal of Manufacturing Processes**, [s. l.], v. 141, p. 48–58, 2025.

LLEWELYN, A.I. Review of CAD/CAM. **Computer-Aided Design**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 297–302, 1989.

MACHADO, Matheus Vieira *et al.* Segurança alimentar e liberalização comercial do mercado de alimentos: uma revisão sistemática. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 61, n. 3, 2023.

MIRANDA, Moisés Morandini; DEL VECHIO, Gustavo Henrique. IMPRESSÃO 3D, TIPOS E POSSIBILIDADES. **Revista Interface Tecnológica**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 67–77, 2020.

MUSÉE DES ARTS DÉCORATIFS. Iris van Herpen. **Sculpting the Senses**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://madparis.fr/Iris-van-Herpen-Sculpting-the-Senses>. Acesso em: 14 ago. 2025.

PRADO, Vanderlei Marcos do; SOGABE, Milton Terumitsu. Impressão 3D no desenvolvimento de produtos de Tecnologia Assistiva: contribuições do design. **Projetica**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 15–35, 2022.

ROCHA, Maria Victória. Fashion: From 3D Printing to Digital Fashion. *In: Advances in 3D printing*. [S. l.]: IntechOpen, 2023.

ROCHA, Maria Victória. Moda e Impressão 3D: um novo paradigma? **Revista Electrónica de Direito**, [s. l.], v. 3, p. 106–151, 2018.

SASTRI, Vinny R. Three-Dimensional Printing, Wearables, Medical Textiles, Adhesives, and Coatings. *In: Plastics in medical devices*. [S. l.]: Elsevier, 2022. p. 381–421.

SHENG, Richard. 3-D printing in the fashion industry. *In: 3D Printing*. [S. l.]: Elsevier, 2022. p. 79–92.

SILVA, Luísa Saraiva Leão Leite da; FERREIRA, Ester Fernanda. Impressão 3D: inovação e relação entre as áreas da Medicina e do Design de Moda. **dObras] – revista da Associação Brasileira de Estudos de Pesquisas em Moda**, [s. l.], n. 39, p. 138–163, 2023.

STRIANI, Raffaella *et al.* Polymer-Based Materials: Focus on Sustainability and Recycled Materials for 3D Printing Application. *In: Comprehensive green materials*. [S. l.]: Elsevier, 2025. p. 86–109.

SZILVÍ-NAGY, M.; MÁTYÁSI, Gy. Analysis of STL files. **Mathematical and Computer**

Modelling, [s. l.], v. 38, n. 7–9, p. 945–960, 2003.

VANDERPLOEG, Alyson; LEE, Seung-Eun; MAMP, Michael. The application of 3D printing technology in the fashion industry. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 170–179, 2017.

XIAO, Ya-Qian; KAN, Chi-Wai. Review on Development and Application of 3D-Printing Technology in Textile and Fashion Design. **Coatings**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 267, 2022.

YANG, Jian *et al.* Lignin: A multi-faceted role/function in 3D printing inks. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 267, p. 131364, 2024.

ZHANG, Qing *et al.* Lignocellulose nanofiber/polylactic acid (LCNF/PLA) composite with internal lignin for enhanced performance as 3D printable filament. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 178, p. 114590, 2022.

Agência de pesquisa financiadora da pesquisa

Não Aplicável.

Declaração de conflito de Interesses

Os autores declaram não ter conhecimento de conflitos de interesses financeiros ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Declaração de Contribuição dos Autores e Colaboradores (CRediT - Contributor Roles Taxonomy)

Ex: Concepção do trabalho: Marcia Cristina Silva; Júlia Baruque-Ramos; Isabel Cristina Italiano tiveram a ideia inicial do projeto e formularam a hipótese da pesquisa. Metodologia: Marcia Cristina Silva; Júlia Baruque-Ramos; Isabel Cristina Italiano; Carlos Monteiro; Maria Sílvia de Held projetaram a metodologia e realizaram os testes experimentais. Validação: Marcia Cristina Silva; Júlia Baruque-Ramos; Isabel Cristina Italiano; Carlos Monteiro; Fernando Gasi e João Paulo Marcicano e Maria Sílvia de Held verificaram os dados da revisão bibliográfica e validaram os resultados.

Material suplementar

Todos os dados necessários para reproduzir os resultados estão contidos no próprio artigo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à **Gilvanete Oliveira dos Santos**, Licenciada em Letras –Língua Portuguesa pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (2020) pela revisão gramatical do texto na língua portuguesa e à **Aline Silva Dias**, Mestranda em Mudança Social e Participação Política – EACH-USP, Tradutora, Professora de Inglês Certificada Pelo CELTA / Cambridge pela tradução do resumo expandido para língua inglesa.