

PRINCIPAIS FATORES E RESPOSTAS UTILIZADOS NA MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DE IMPRESSÃO 3D UTILIZANDO MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO FUNDIDA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Francisco Tiago Araújo Barbosa (UFPB) francisco.tiago2@academico.ufpb.br
Rogério Santana Peruchi (UFPB) rsp@academico.ufpb.br

Resumo

A impressão 3D, ou manufatura aditiva é uma das principais técnicas da indústria 4.0. A modelagem por deposição fundida (FDM), é uma das tecnologias mais populares para aplicações em engenharia. O desempenho das peças impressas depende da seleção cuidadosa de fatores de entrada e sua configuração para a obtenção dos melhores resultados. Dessa forma, identificar os parâmetros do processo de impressão, depende da seleção cuidadosa dessas variáveis. Assim, verificar os parâmetros do processo de impressão 3D por modelagem por deposição fundida pode garantir o sucesso das impressões. Nos últimos anos, pesquisadores estudaram diversas formas de configurações, buscando melhorar as peças, tanto de maneira dimensional, quanto suas propriedades mecânicas. Este artigo tem como objetivo revisar pesquisas realizadas que utilizem modelagem por deposição fundida e busquem modelar e otimizar os parâmetros de fabricação e propriedades mecânicas. Diversos estudos que utilizaram experimentos estatísticos e técnicas de otimização foram verificados. As tendências de utilização de fatores, respostas e técnicas de otimização são descritas.

Palavras-Chaves: *Industria 4.0, impressão 3d, manufatura aditiva, FDM, fatores e respostas*

1. Introdução

A impressão 3D, ou manufatura aditiva é uma tecnologia de fabricação avançada, que imprime camada por camada, a partir de um projeto de dados auxiliados um programa computacional (CAD) (Kuipers et al., 2020). Após a idealização do projeto o produto passa por um software fatiador, que dará as características necessárias para que as impressoras possam imprimir por camada, esse arquivo é um GCODE (Lattice; Using, 2023). Esse processo garante que a impressão será camada por camada e pode fabricar peças de baixa a alta complexidade, com tempo de ciclo mais curtos e com baixo custo em comparação aos métodos tradicionais (Ecker et al., 2017).

A tecnologia de impressão 3D, tem sido amplamente utilizada pela engenharia, projeto de capsulas de medicamentos, projetos espaciais, utilização na medicina, odontologia, produtos automotivos (Lee, 2021). Com a globalização a engenharia assume o papel de desenvolver produtos mais rapidamente para atender as necessidades do mercado cada vez mais

competitivo. A modelagem por deposição fundida é um dos vários tipos de tecnologias adotadas da manufatura aditiva, estereolitografia (SLA), sintetização seletiva a laser (SLS), deposição direta de metal (DMD) (Moradi et al., 2020b).

Outro ponto importante para a disseminação da impressão 3D é a possibilidade de se imprimir em um ambiente adequado a escritório, ou seja, o pesquisador, ou o profissional em um pequeno ambiente pode produzir peças com geometrias complexas de forma segura em um ambiente simples e sem grandes projetos arquitetônicos (Ileana; Ripeanu; Dinit, 2023). O processo de fabricação consiste em aquecer o termoplástico até o estado líquido e depois depositada camada por camada através de um bico que traça a geometria da peça tridimensional (Ngo et al., 2018). Essa técnica foi desenvolvida pela Stratasys Inc. nos EUA na década de 1990 e hoje é uma das principais técnicas da indústria 4.0 (Mohamed; Masood; Bhowmik, 2015).

A impressão 3D pode utilizar diversos materiais para fabricação das peças, o mais utilizado deles é o ácido polilático (PLA) por ser um material biodegradável feito a partir de milho e de baixo custo, acrilonitrila butadieno estireno (ABS), policarbonato (PC) e misturas como, PC + ADS, PLA + fibras de carbono (Water et al., 2015).

Para atender as demandas de mercado, a melhor configuração dos parâmetros de processo deve ser atendida. Assim a procura melhor configurações e os melhores resultados são constantes, em seu estudo Wang et al., (2020) observou que com ângulo de impressão inferior a 45° o modo de falha tende a ser intercamada, acima de 45° o modo de falha tende a ser intercamada. Espessuras menores fortalecem as intracamadas, a densidade de preenchimento afeta o espaço de ar dentro do material, a temperatura sendo baixa a fluidez é fraca o que resulta baixa resistência, com a temperatura muito alta o PLA fica líquido e pode ocorrer degradação térmica parcial.

O estudo de Buj-Corral et. al. (2018) apresenta um modelo para projetar estruturas porosas. Análises dimensionais para reduzir o número de variáveis. Aplicação de experimento fatorial para geração e redução da resposta porosidade, por último a otimização multiobjetivo. Bayraktar et al. (2017) sobre padrão de raster cruzado (+45°/-45°), tem maior resistência a tração, quanto menor a temperatura menos resistência a tração, devido aos níveis baixos de resistência molecular, o que dificulta ligações moleculares entre o filamento da extrusora e o filamento depositado na mesa, o aumento na espessura da camada, levou a diminuição da resistência.

Em seu estudo, Saad et al. (2019) mostra que o gráfico de interação de superfície aponta que o efeito da espessura da camada e velocidade são mais significativos para a rugosidade. Os resultados dos algoritmos SOS e PSO demonstraram melhor previsão para rugosidade, cerca de 5% menor que RSM. O teste experimental de validação demonstra que o SOS, proporcional melhor qualidade de superfície em comparação com o RSM e O PSO. Os resultados do PSO e SOS melhoraram em 8,5% e 8,8%, em comparação com o RSM.

Utilizando o método Taguchi, os autores Hikmat et. al (2021) identificaram que os parâmetros mais significativos do estudo foram, orientação de impressão, diâmetro do bico e densidade de preenchimento. Utilizando Box-Behnken, Mehmet (2023) obteve como principais características o ângulo de impressão de 90°, a densidade de preenchimento de 100% e o número de contorno 5 – 6 maximizaram a resistência à tração. No entanto, o aumento na densidade de enchimento aumentou a quantidade de material utilizado e os tempos de impressão.

A associação dos fatores de entrada com o desempenho da impressão, sejam eles relacionados à mecânica ou aos parâmetros de fabricação, a escolha errada dos fatores que compõem a configuração de impressão resulta no aumento dos custos de peças, custos de energia e baixa qualidade das superfícies impressas (Barbosa; Peruchi; Junior, 2023a). Neste contexto, cria-se a busca pela utilização de materiais verdes com o objetivo de preservar o meio ambiente. Portanto, é necessário um corpo de conhecimento dos fatores que podem melhorar as propriedades mecânicas e dimensionais do material impresso. Existem vários parâmetros de processo que podem ser definidos na impressão usando modelagem por deposição fundida (FDM). Considerando o contexto apresentado, este trabalho formula as seguintes questões de pesquisa:

T1: Quais são os principais fatores e respostas estudados na literatura para melhorar a qualidade da impressão 3D utilizando fabricação por deposição fundida?

T2: Quais são os principais métodos utilizados por esses estudos?

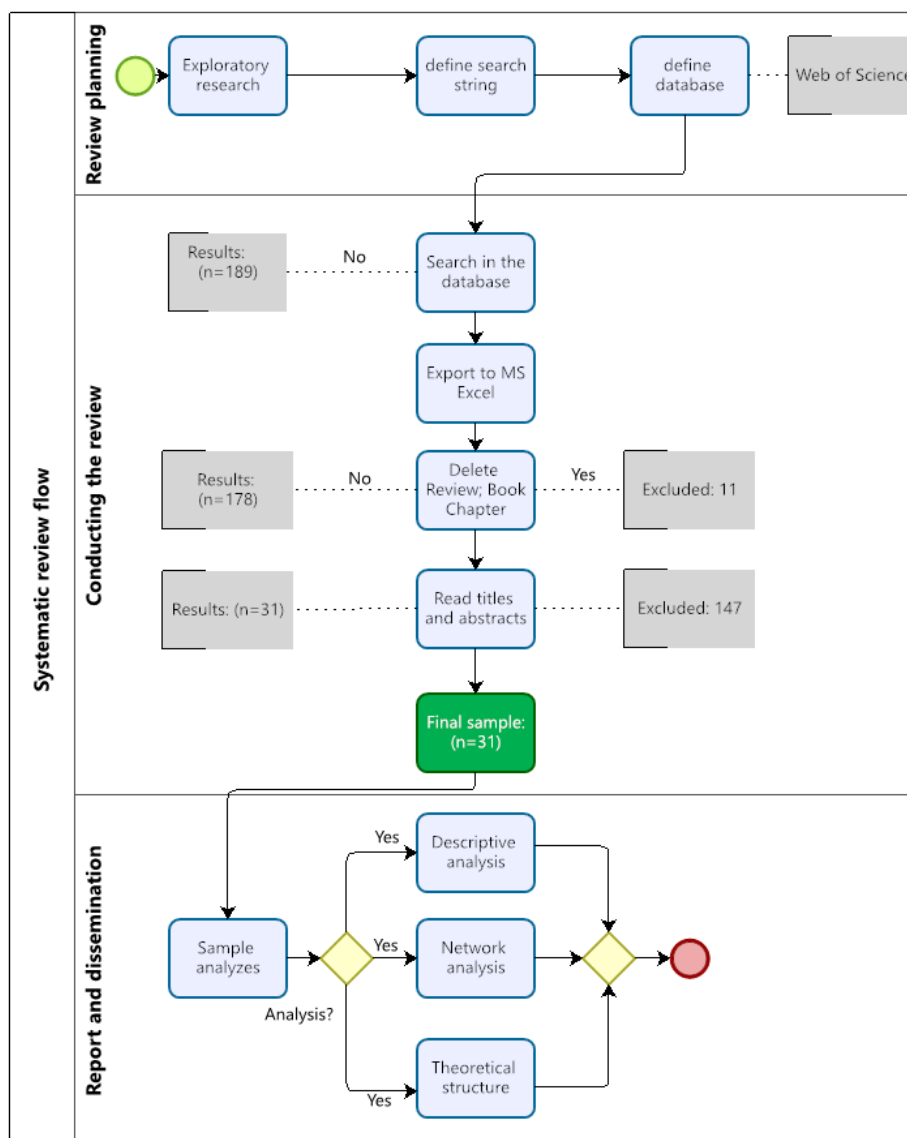
O artigo segue uma sequência lógica, estando dividido em introdução, procedimentos metodológicos, resultados e discussão e conclusões.

2. Procedimentos metodológicos

A pesquisa tratasse de uma revisão sistemática da literatura. A combinação selecionada foi baseada nas palavras-chave, no tópico, "Modelagem de Deposição Fundida" e "otimização" e

como título, "Projeto Fatorial Completo*" ou Impressão 3D ou 3D ou Fabricação Aditiva e Projeto de Experimento ou Projeto Robusto de Parâmetros e " Metodologia de superfície de resposta" e "otimização" e desejabilidade e (tipos de documentos) Artigo de revisão ou Artigo, foram selecionados 187 artigos, número que foi baixado no MS Excel, para análise. (Barbosa; Peruchi; Junior, 2023a; Barbosa et al., 2021; Fernando et al., 2019). Figura 1, o fluxo da pesquisa.

Figura 1: Fluxo com procedimento utilizado na revisão sistemática



Fonte: Adaptado de (Barbosa; Peruchi;junior, 2023b)

O pesquisador deve ter em mente o objetivo da pesquisa e seguir as etapas planejadas. O fluxo da pesquisa foi desenhado utilizando o Software Bizagi, que utiliza a notação BPMN, sendo utilizado para projetar, modelar, simular e controlar processos (Ângelo et al., 2022; Banu et al., 2016). Na tabela 1, os títulos e autores dos estudos.

Tabela 1: Títulos e autores da amostra final

Autores	Títulos
(Wang et al., 2020)	Efeitos dos parâmetros do processo de modelagem de deposição fundida nas propriedades mecânicas dinâmicas e de tração de materiais de ácido polilático impressos em 3D
(Buj-Corral; Bagheri; Petit-rojo, 2018)	Impressão 3D de andaimes porosos com porosidade controlada e valores de tamanho de poro
(Bayraktar et al., 2017)	Estudo experimental de peças plásticas impressas em 3D e previsão de propriedades mecânicas usando redes neurais artificiais
(Saad et al., 2019)	Otimização da rugosidade superficial em impressora 3D FDM usando metodologia de superfície de resposta, otimização de enxame de partículas e algoritmos de busca de organismos simbióticos
(Deswal; Narang; Chhabra, 2019)	Modelagem e otimização paramétrica do processo de impressão 3D FDM utilizando técnicas híbridas para aumentar a precisão dimensional
(Hikmat; Rostam; Ahmed, 2021)	Investigação do método Taguchi baseado em propriedades de tração de peças PLA fabricadas pela tecnologia de impressão 3D FDM
(Moradi et al., 2020b)	Pós-processamento de peças de ácido polilático impressas em 3D FDM por corte por feixe de laser
(Moradi; Meiabadi; Kaplan, 2019)	Peças impressas em 3D com padrão interno de favo de mel por modelagem de deposição fundida; Caracterização Experimental e Otimização da Produção
(Zhang et al., 2020)	Correlação estrutura-função e tablets impressos em 3D personalizados usando uma abordagem de qualidade por design (QbD)
(Moradi et al., 2020a)	Os efeitos sinérgicos dos parâmetros de impressão 3D FDM no comportamento mecânico de compósitos de ácido polilático de bronze
(Atakok; Kam; Bukre, 2022)	Resistência à tração, flexão em três pontos e resistência ao impacto de peças impressas em 3D usando PLA e filamentos de PLA reciclados: uma investigação estatística
(Özen; Auhl; Völlmecke; Kiendl; Abali, 2021)	Otimização de parâmetros de fabricação e geometria de amostra de tração para modelagem de deposição fundida (FDM) PETG impresso em 3D
(Moradi et al., 2021)	Análise estatística e experimental de parâmetros de processo de peças impressas em nylon 3D por modelagem por deposição fundida: modelagem e otimização de superfície de resposta
(Fernando et al., 2019)	Otimizando parâmetros de fabricação aditiva para a tecnologia de modelagem de deposição fundida usando um planejamento de experimentos
(Schmitt; Mehta; Kim, 2020)	Otimização de preenchimento de fabricação aditiva para componentes ABS automotivos impressos em 3D

(Abas et al., 2020)	Otimização multi-resposta do comportamento de fluência de tração de peças impressas em PLA 3D usando metodologia de superfície de resposta categórica
(Lyu et al., 2021)	Otimização de parâmetros de impressão 3D para materiais biodegradáveis de alto desempenho
(Jiang et al., 2022)	Otimização de parâmetros de impressão 3D FDM para PEEK de alta resistência utilizando o método Taguchi e validação experimental
(Abas et al., 2022)	Investigação paramétrica e otimização para estudar o efeito dos parâmetros do processo no desvio dimensional da modelagem por deposição fundida de peças impressas em 3D
(Jackson; Fouladi; Eslami, 2022)	Otimização multiparâmetro das condições de impressão 3D para maior qualidade e resistência
(Selvam et al., 2021)	Preparação e avaliação das características de tração de compósitos termoplásticos impressos em 3D reforçados com hastes de fibra de carbono
(Moradi et al., 2023)	Impressão 3D de acrilonitrila butadieno estireno por modelagem de deposição fundida: análise de rede neural artificial e método de superfície de resposta
(Mohamed et al., 2021)	Otimização dos parâmetros do processo de modelagem de deposição fundida usando o método Taguchi para melhorar as propriedades de tração da poliéster éter cetona impressa em 3D
(Shahrjerdi; Karamimoghadam; Bodaghi, 2023)	Aprimorando propriedades mecânicas de PLAs impressos em 3D por meio de processos de otimização e modelagem estatística
(Gorgani et al., 2021)	Um compensador de erro não linear para dimensões de peças impressas em 3D FDM usando um algoritmo híbrido baseado na rede neural GMDH
(Sapre et al., 2022)	Propriedades mecânicas de componentes impressos em 3D usando modelagem de deposição fundida: otimização usando a abordagem de desejabilidade e repressor de aprendizado de máquina
(Ileana; Ripeanu; Dinit, 2023)	Otimização de parâmetros de impressão 3D para melhor qualidade de superfície e resistência ao desgaste
(Mehmet, 2023)	Uma investigação de parâmetros de impressão 3D na resistência à tração do PLA usando o método de superfície de resposta
(Warke; Puranik, 2023)	Otimizando o consumo de energia, a qualidade da superfície e o tempo de produção na impressão 3D baseada em modelagem de deposição fundida de polímeros de ácido polilático
(Yeh; Chou; Lin, 2021)	Desenho de experimento para otimização de parâmetros de impressão 3D de estruturas de placas de base em bolsa de colostomia para recém-nascidos
(Jabbar, 2023)	Uma abordagem de análise de projeto de experimento para melhorar a qualidade das peças na impressão 3D

3. Resultados e discussões

3. Principais fatores utilizados na modelagem e otimização por deposição fundida.

Para responder à terceira pergunta, T1: quais são os principais fatores e respostas estudados na literatura para melhorar a qualidade da impressão 3D utilizando fabricação por deposição fundida? Foram identificados estudos de otimização e caracterização. Foram levantados os principais fatores utilizados em estudos em manufatura aditiva e utilizando o método de modelagem por deposição fundida. Além disso, o estudo apresenta os principais exemplares impressos em 3D, as impressoras mais utilizadas, softwares de fatiamento e construção de arquivos STL.

Também foram verificados o tipo de material mais utilizado na pesquisa e a característica do estudo, mecânico ou dimensional, oferecendo assim um construto sólido, para pesquisadores e profissionais terem como ponto de partida e referência para pesquisas, figura 2, os 10 principais fatores utilizados.

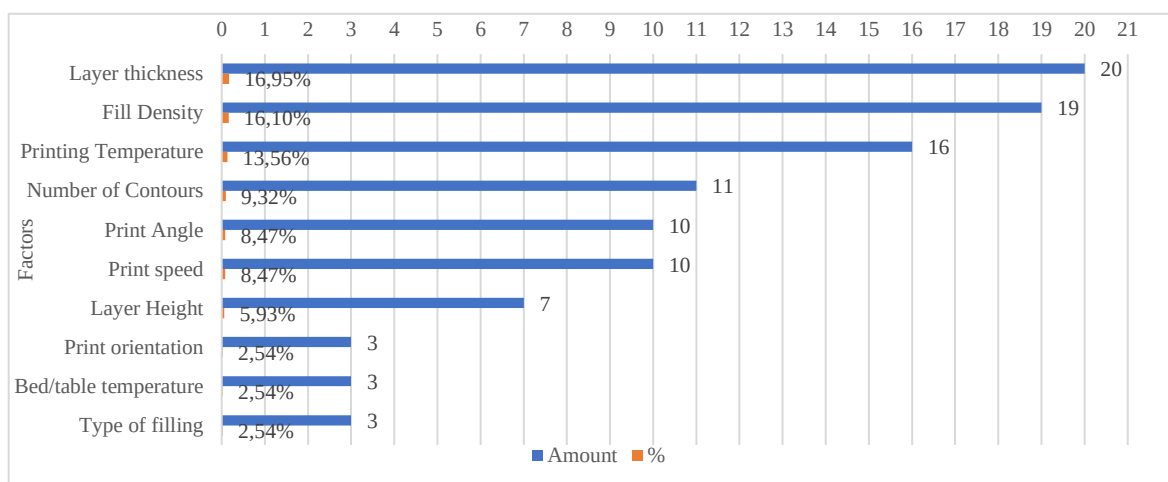
Quadro 1: Principais fatores, nomenclatura e nomenclatura reduzida.

Nomenclatura do fator	Nomenclatura reduzida
Ângulo de impressão	AI
Posição do plano focal	PPF
Velocidade do corte a laser	PPC
Potência do Laser	PL
Orientação da impressão.	OI
Espessura da camada	EC
Densidade de preenchimento	DPR
Temperatura de impressão	TI
Temperatura da cama/mesa	TM
Temperatura radiante	TR
Altura da Camada	AC
Velocidade de impressão	VI
Velocidade da camada externa	VE
Velocidade de retração	VR
Diâmetro do Bico	DB
Tipo de preenchimento	TP
Número de contornos	NC
Espessura do contorno	EC
Cumprimento (H, N, r)	CHN
Espécime, ASTM3039	EASTM 1
Espécime, ângulo-ASTM30392	EASTM 2
Espécime, ISO 527-2	EISO 2
Espécime, ISO Modificado	ISSO
Escala	ES
Local de impressão	LI
Altura da peça	AP

Fonte: Autores (2023)

Na figura 2, a nomenclatura abreviada e a nomenclatura completa, foram encontradas nos estudos 26 tipos distintos de fatores de entrada (Ys). Na figura 2 quadro com os 10 principais

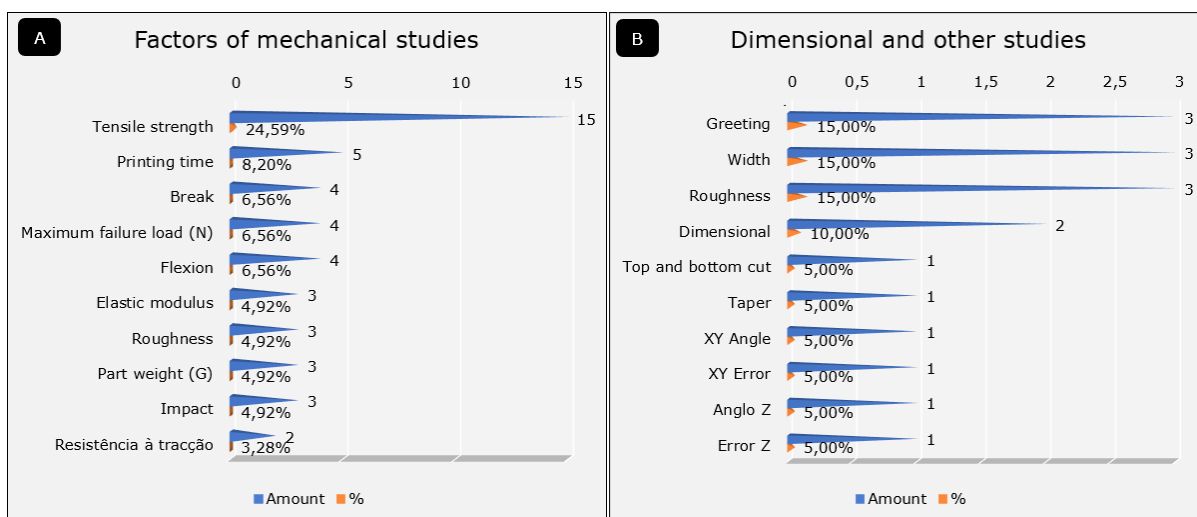
Figura 3: Fatores (Xs) e suas quantidades utilizadas em pesquisas de modelagem de deposição fundida



Fonte: Autores (2023)

Largura da camada foi o fator mais estudado com 20 estudos utilizando esse parâmetro de fabricação, o que corresponde a 16,95%, densidade de preenchimento foi o segundo parâmetro mais utilizado com 19 estudos correspondendo a 16,10%, temperatura de impressão o terceiro estudo com 16 aparições, que corresponde a 13,56%, número de contornos com 11 aparições foi o 4 mais estudado na amostra, o que corresponde a 9,32%, o quinto ângulo de impressão com 10 aparições e 8,47% de representação dos fatores estudados. A figura 4 demonstra as principais saídas do processo.

Figura 4: Saídas do processo de modelagem e otimização



Fonte: Para o gráfico A foram excluídos os seguintes fatores de estudos mecânicos e seus percentuais: resistência ao fluxo 3,28% e o restante com 1,64%, módulo de Young (GPa), taxa de fluência, módulo de armazenamento, módulo de perda, fator de perda, largura, tipo de fratura, energia de fratura, volume, dimensional, atrito,

desgaste, resistência ao fluxo. Os estudos: Altura, ângulo, razão, ambos com 5% ficaram de fora do gráfico.

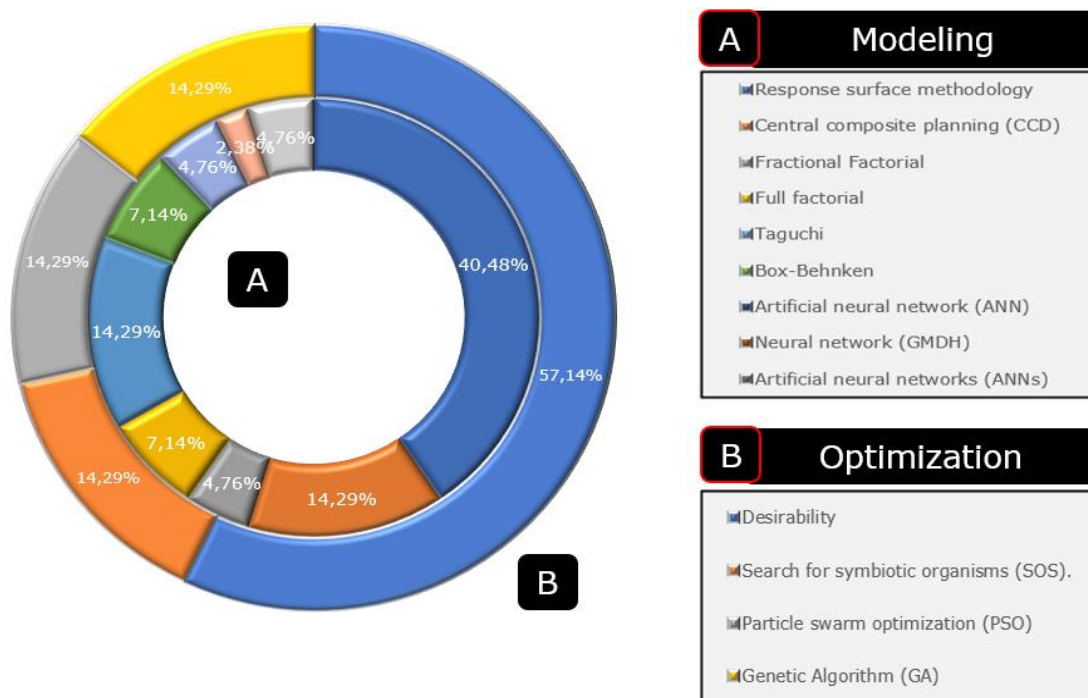
Autores (2023).

Compreender quais respostas estudadas fornece ao pesquisador suporte teórico para verificar possíveis anomalias em suas impressões. A produção de peças complexas, fiéis aos seus projetos e com a resistência mecânica necessária são um diferencial da manufatura aditiva. A indicação dos fatores mais utilizados em pesquisas de otimização e caracterização mecânica e precisão dimensional traz os benefícios de entender quais fatores podem ser utilizados para novos estudos.

3.1. Principais métodos utilizados em trabalhos para melhoria de processos de fabricação e mecânicos na manufatura aditiva

Para responder à pergunta T2: quais são os principais métodos utilizados por esses estudos? Foram observados 31 artigos na amostra com foco em artigos de otimização e modelagem, a metodologia de superfície de resposta foi a mais utilizada, e embora estudos sobre fatorial completo, fatorial fracionário e CCD sejam formas de aplicação do RSM, porém, ao aparecerem nos estudos foram contabilizados, para que a pesquisa possa fornecer detalhes dos métodos mais utilizados, figura 5.

Figura 5: Métodos de modelagem e otimização



Fonte: Autores (2023)

No gráfico de pizza, temos dois anéis, o externo, figura B e o interno, figura A. As figuras são divididas em métodos de modelagem e métodos de otimização. A modelagem foi entendida como a aplicação e compreensão do comportamento de múltiplas variáveis, e a otimização multiobjetivo como a obtenção da melhor solução a partir de um conjunto de variáveis considerando os diferentes termos e suas restrições. A Figura 10 mostra os métodos de modelagem e otimização. O principal método utilizado para modelagem foi a metodologia de superfície de resposta com 40,48%, para otimização a desejabilidade com 57% foi o método mais utilizado.

4. Conclusões

Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura realizado para verificar quais os principais fatores (Xs) de entrada estudados para modelagem e otimização do processo de impressão 3D, utilizando modelagem por deposição fundida. Também descreve as principais técnicas utilizadas pelos pesquisadores para otimizar os parâmetros de fabricação, abrangendo uma série de trabalhos baseados em diversas técnicas, metodologia de superfície de resposta (RSM), Taguchi, fatorial completo, fatorial fracionado, redes neurais artificiais (ANN), algoritmos genéricos (GA). Essas são técnicas avançadas e robustas de otimização e modelagem. Uma limitação da revisão foi não ter considerado em sua amostra variáveis de ruído (Z), essa é uma oportunidade de novos estudos.

A revisão da literatura mostra que para a pergunta T1, quais são os principais fatores e respostas estudados na literatura para melhorar a qualidade da impressão 3D utilizando fabricação por deposição fundida? Os principais fatores utilizados na pesquisa foram: espessura da camada 16,95%, densidade de preenchimento 16,10%, temperatura de impressão 13,56%. Principais respostas mecânicas: resistência à tração com 24,59% e tempo de impressão com 8,20%. Principais respostas dimensionais, comprimento, largura, rugosidade, ambas com 15%. Para o quarto trimestre, a metodologia de superfície de resposta foi a mais utilizada, com 40,48%, outros arranjos como Taguchi com 14,29% e Box-Behnken 7,14%.

REFERÊNCIAS

ABAS, Muhammad; HABIB, Tufail; NOOR, Sahar; SALAH, Bashir; ZIMON, Dominik. Parametric Investigation and Optimization to Study the Effect of Process Parameters on the Dimensional Deviation of Fused Deposition Modeling of 3D Printed Parts. **Polymers**, v. 14, n. 17, 2022. DOI: 10.3390/polym14173667.

ABAS, Muhammad; KHAN, Razaullah; GHANI, Usman; UR, Muftooh; SIDDIQI, Rehman. Multi-Response Optimization of Tensile Creep Behavior of PLA 3D Printed Parts Using Categorical Response Surface Methodology. **Polymers**, v. 12, n. 2962, p. 1–16, 2020. DOI: doi:10.3390/polym12122962.

ÂNGELO, Miguel; MOREIRA, Lellis; PINHEIRO, Igor; COSTA, De Araújo; FRANCISCO, Carlos; GOMES,

Simões. LIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional Juiz de Fora , MG - 8 a 11 de novembro de 2022 Proposta de Algoritmo de Análise de Consistência para os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão da Família SAPEVO LIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacio. **SBPO**, n. Novembro, p. 12, 2022.

ATAKOK, Gurcan; KAM, Menderes; BUKRE, Hanife. Tensile , three-point bending and impact strength of 3D printed parts using PLA and recycled PLA filaments : A statistical investigation. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 18, p. 1542–1554, 2022. DOI: 10.1016/j.jmrt.2022.03.013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.013>.

BANU, Geanina Silviana; DUMITRESCU, Andreea; PURCĂREA, Anca Alexandra; ISĂRESCU, Silviu Walter. Defining Open Innovation Concept Using Business Process Modeling. **Procedia Technology**, v. 22, p. 1020–1027, 2016. DOI: 10.1016/j.protcy.2016.01.135.

BARBOSA, F. T. A., PERUCHI, R. S., & JUNIOR, P. R. Central. Central composite disigns for optimization of the energy factor in 3D printing Modelos compósitos centrais para otimização do fator de energia na impressão 3D. **Revista de gestão e Secretariado**, v. 14, n. Revista de Gestão e Secretariado, p. 17798–17815, 2023. a. DOI: 10.7769/gesec.v14i10.3000.

BARBOSA, F. T. A., PERUCHI, R. S., & JUNIOR, P. R. Central. Lean , six sigma and sustainability case studies on supply chain management : a systematic literature review Lean , six sigma e estudos de caso de sustentabilidade sobre a gestão da cadeia de fornecimento : uma revisão sistemática da literatura. **Revista de gestão e Secretariado**, v. 14, p. 15509–15536, 2023. b. DOI: <http://doi.org/10.7769/gesec.v14i9>.

BARBOSA, Anrafel De Souza; BUENO, Luiz; SOUZA, Vinicius Fernandes De; MORIOKA, Sandra Naomi. Total Quality Management & Business Excellence Integrated Management Systems : their organizational impacts. **Total Quality Management**, v. 0, n. 0, p. 1–24, 2021. DOI: 10.1080/14783363.2021.1893685. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1893685>.

BAYRAKTAR, Ömer; UZUN, Gültekin; ÇAKIROĞLU, Ramazan; GULDAS, Abdulmecit. Experimental study on the 3D-printed plastic parts and predicting the mechanical properties using artificial neural networks. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 28, n. 8, p. 1044–1051, 2017. DOI: 10.1002/pat.3960.

BUJ-CORRAL, Irene; BAGHERI, Ali; PETIT-ROJO, Oriol. 3D printing of porous scaffolds with controlled porosity and pore size values. **Materials**, v. 11, n. 9, p. 1–18, 2018. DOI: 10.3390/ma11091532.

DE OLIVEIRA REZENDE, Marilia; SAADE, Marcella Ruschi Mendes; NUNES, Andréa Oliveira; DA SILVA, Vanessa Gomes; MORIS, Virgínia Aparecida Silva; SILVA, Diogo Aparecido Lopes. A Lean and Green approach for the eco-efficiency assessment on construction sites: description and case study. **Clean Technologies and Environmental Policy**, n. 0123456789, 2022. DOI: 10.1007/s10098-021-02265-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02265-y>.

DESWAL, Sandeep; NARANG, Rajan; CHHABRA, Deepak. Modelagem e otimização paramétrica do processo de impressão 3D FDM utilizando técnicas híbridas para aumentar a precisão dimensional, p. 1197–1214, 2019.

ECKER, Josef Valentin; KRACALIK, Milan; HILD, Sabine; HAIDER, Andreas. 3D - Material Extrusion - Printing with Biopolymers: A Review. **Chemical and Materials Engineering**, v. 5, n. 4, p. 83–96, 2017. DOI: 10.13189/cme.2017.050402.

FERNANDO, Luiz; RICHARD, C. S. Durão; EDUARDO, Barkoczy; LINDA, Zancul; HO, Lee; BONNARD, Renan. Optimizing additive manufacturing parameters for the fused deposition modeling technology using a design of experiments. **Progress in Additive Manufacturing**, v. 4, n. 3, p. 291–313, 2019. DOI: 10.1007/s40964-019-00075-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40964-019-00075-9>.

GORGANI, Hamid Haghshenas; KORANI, Hossein; JAHEDAN, Reihaneh; SHABANI, Sharif. A Nonlinear Error Compensator for FDM 3D Printed Part Dimensions Using a Hybrid Algorithm Based on GMDH Neural Network. **Journal of Computational Applied Mechanics**, v. 52, n. 3, p. 451–477, 2021. DOI: 10.22059/jcamech.2021.325325.628.

HIKMAT, Mohammed; ROSTAM, Sarkawt; AHMED, Yassin Mustafa. Investigation of tensile property-based Taguchi method of PLA parts fabricated by FDM 3D printing technology. **Results in Engineering**, v. 11, p. 100264, 2021. DOI: 10.1016/j.rineng.2021.100264. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100264>.

ILEANA, Alexandra; RIPEANU, Razvan George; DINIT, Alin. Optimization of 3D Printing Parameters for Enhanced Surface Quality and Wear Resistance. **Polymers**, v. 3419, n. 15, p. 1–22, 2023.

JABBAR, Mostafa Abbas. A Design of Experiment Analysis Approach to Improve Part Quality in 3D Printing. **Manufacturing Technology**, v. 23, n. 3, p. 290–297, 2023. DOI: 10.21062/mft.2023.034. Disponível em: <https://doi.org/10.21062/mft.2023.034>.

JACKSON, Brandon; FOULADI, Kamran; ESLAMI, Babak. Multi-Parameter Optimization of 3D Printing Condition for Enhanced Quality and Strength. **Polymers**, v. 14, n. 8, 2022. DOI: 10.3390/polym14081586.

JIANG, Cho Pei; CHENG, Yung Chang; LIN, Hong Wei; CHANG, Yu Lee; PASANG, Tim; LEE, Shyh Yuan. Optimization of FDM 3D printing parameters for high strength PEEK using the Taguchi method and experimental validation. **Rapid Prototyping Journal**, v. 28, n. 7, p. 1260–1271, 2022. DOI: 10.1108/RPJ-07-2021-0166.

KUIPERS, Tim; DOUBROVSKI, Eugeni L.; WU, Jun; WANG, Charlie C. L. A Framework for Adaptive Width Control of Dense Contour-Parallel Toolpaths in Fused Deposition Modeling. **CAD Computer Aided Design**, v. 128, p. 102907, 2020. DOI: 10.1016/j.cad.2020.102907. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2020.102907>.

LATTICE, Composite; USING, Structures. Prediction of Mechanical Properties for Carbon fiber / PLA Composite Lattice Structures Using Mathematical and. 2023.

LEE, Jinyoung. A 3d food printing process for the new normal era: A review. **Processes**, v. 9, n. 9, 2021. DOI: 10.3390/pr9091495.

LYU, Yang; ZHAO, Haotian; WEN, Xinlong; SCHLARB, Alois K. Optimization of 3D printing parameters for high- performance biodegradable materials. **Applied Polymer**, n. February, p. 1–13, 2021. DOI: 10.1002/app.50782.

MEHMET, Masum. An Investigation of 3D Printing Parameters on Tensile Strength of PLA Using Response Surface Method. **JMEPEG**, n. Ref 23, p. 1–10, 2023. DOI: 10.1007/s11665-023-08395-2.

MOHAMED, Omar A.; MASOOD, Syed H.; BHOWMIK, Jahar L. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. **Advances in Manufacturing**, v. 3, n. 1, p. 42–53, 2015. DOI: 10.1007/s40436-014-0097-7.

MOHAMED, Timoumi; BARHOUMI, Najoua; LAMNAWAR, Khalid; MAAZOUZ, Abderrahim; ZNAIDI, Amna. Optimization of fused deposition modeling process parameters using the Taguchi method to improve the tensile properties of 3D-printed polyether ether ketone. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications**, v. 235, n. 11, p. 2565–2573, 2021. DOI: 10.1177/14644207211017572.

MORADI, Mahmoud; AMINZADEH, Ahmad; RAHMATABADI, Davood; RASOULI, Seyed Alireza. Statistical and Experimental Analysis of Process Parameters of 3D Nylon Printed Parts by Fused Deposition Modeling: Response Surface Modeling and Optimization. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 30, n. 7, p. 5441–5454, 2021. DOI: 10.1007/s11665-021-05848-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05848-4>.

MORADI, Mahmoud; BEYGI, Reza; MOHD. YUSOF, Noordin; AMIRI, Ali; DA SILVA, L. F. M.; SHARIF, Safian. 3D Printing of Acrylonitrile Butadiene Styrene by Fused Deposition Modeling: Artificial Neural Network and Response Surface Method Analyses. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 32, n. 4, p. 2016–2028, 2023. DOI: 10.1007/s11665-022-07250-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07250-0>.

MORADI, Mahmoud; MEIABADI, Saleh; KAPLAN, Alexander. 3D Printed Parts with Honeycomb Internal Pattern by Fused Deposition Modelling ; Experimental Characterization and Production Optimization. **Metals and Materials International**, v. 25, n. 5, p. 1312–1325, 2019. DOI: 10.1007/s12540-019-00272-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00272-9>.

MORADI, Mahmoud; MOGHADAM, Mojtaba Karami; SHAMSBORHAN, Mahmoud; BODAGHI, Mahdi. The synergic effects of fdm 3d printing parameters on mechanical behaviors of bronze poly lactic acid composites. **Journal of Composites Science**, v. 4, n. 1, p. 1–16, 2020. a. DOI: 10.3390/jcs4010017.

MORADI, Mahmoud; MOGHADAM, Mojtaba Karami; SHAMSBORHAN, Mahmoud; BODAGHI, Mahdi; FALAVANDI, Hamid. Post-Processing of FDM 3D-Printed Polylactic Acid Parts by Laser Beam Cutting. **Polymers**, v. 520, n. 12, p. 1–18, 2020. b. DOI: doi:10.3390/polym12030550.

NGO, Tuan D.; KASHANI, Alireza; IMBALZANO, Gabriele; NGUYEN, Kate T. Q.; HUI, David. Additive

manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, v. 143, n. December 2017, p. 172–196, 2018. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>.

ÖZEN, A., AUHL, D., VÖLLMECKE, C., KIENDL, J., & ABALI, B. E. Optimization of Manufacturing Parameters and Tensile. **Materials**, v. 14, p. 1–19, 2021.

SAAD, Mohd Sazli; NOR, Azuwir Mohd; BAHARUDIN, Mohamad Ezral; ZAKARIA, Mohd Zakimi; AIMAN, A. F. Optimization of surface roughness in FDM 3D printer using response surface methodology, particle swarm optimization, and symbiotic organism search algorithms. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 105, n. 12, p. 5121–5137, 2019. DOI: 10.1007/s00170-019-04568-3.

SAPRE, Mandar S.; JATTI, Ashwini V; KHEDKAR, Nitin K.; JATTI, Vinaykumar S. Mechanical Properties of 3D-Printed Components Using Fused Deposition Modeling : Optimization Using the Desirability Approach and Machine Learning Regressor. **Applied System Innovation**, v. 112, n. 5, p. 1–15, 2022.

SCHMITT, Matt; MEHTA, Raj Mattias; KIM, Il Yong. Additive manufacturing in fi ll optimization for automotive 3D-printed ABS components. **Rapid Prototyping Journal**, v. 1, n. July 2019, p. 89–99, 2020. DOI: 10.1108/RPJ-01-2019-0007.

SELVAM, Arivazhagan; MAYILSWAMY, Suresh; WHENISH, Ruban; VELU, Rajkumar; SUBRAMANIAN, Bharath. Preparation and evaluation of the tensile characteristics of carbon fiber rod reinforced 3d printed thermoplastic composites. **Journal of Composites Science**, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2021. DOI: 10.3390/jcs5010008.

SHAHJRJERDI, Ali; KARAMIMOGHADAM, Mojtaba; BODAGHI, Mahdi. Enhancing Mechanical Properties of 3D-Printed PLAs via Optimization Process and Statistical Modeling. **Journal of Composites Science**, v. 7, n. 4, p. 1–13, 2023. DOI: 10.3390/jcs7040151.

WANG, Shuheng; MA, Yongbin; DENG, Zichen; ZHANG, Sen; CAI, Jiaxin. Effects of fused deposition modeling process parameters on tensile, dynamic mechanical properties of 3D printed polylactic acid materials. **Polymer Testing**, v. 86, n. January, p. 106483, 2020. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.106483. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106483>.

WARKE, Shubhada S.; PURANIK, V. S. Optimizing Energy Consumption , Surface Quality , and Production Time in Fused Deposition Modeling Based 3D Printing of Polylactic Acid Polymers. **Journal of Materials Engineering and Performance**, 2023. DOI: 10.1007/s11665-023-08255-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11665-023-08255-z>.

WATER, Jorrit Jeroen; BOHR, Adam; BOETKER, Johan; AHO, Johanna; SANDLER, Niklas; NIELSEN, Hanne Mørck; RANTANEN, Jukka. Three-dimensional printing of drug-eluting implants: Preparation of an antimicrobial polylactide feedstock material. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 104, n. 3, p. 1099–1107, 2015. DOI: 10.1002/jps.24305.

YEH, Chia Hung; CHOU, Chia Man; LIN, Chien Pang. Design of experiment for optimization of 3D printing parameters of base plate structures in colostomy bag for newborns. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 38, n. 7, p. 523–535, 2021. DOI: 10.1080/21681015.2021.1944340. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1944340>.

ZHANG, Jiaxiang; THAKKAR, Rishi; ZHANG, Yu; MANIRUZZAMAN, Mohammed. Structure-function correlation and personalized 3D printed tablets using a quality by design (QbD) approach. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 590, n. September, p. 119945, 2020. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2020.119945. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119945>.