O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano V | Volume 16 | Nº 47 | Boa Vista | 2023

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.10208017

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

USO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO-APRENDIZAGEM: REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS[1]

Renata Cury Caruso[2]

Sani de Carvalho Rutz da Silva[3]

Renato Marcondes[4]

Resumo

Esta pesquisa apresenta como objetivo realizar uma Revisão Sistemática (RS) por meio do Protocolo PRISMA 2020, que apresente ao leitor os principais problemas e soluções dos processos de impressão 3D, mais especificamente da impressão por Modelagem por Fusão e Deposição (FDM). A metodologia adotada foi uma RS por meio do Protocolo PRISMA 2020, utilizando como fonte de pesquisas os seguintes bancos de dados: SciELO Brasil, Oasisbr, Google Acadêmico, Scopus e *Web of Sciente*. Adotou-se como palavras-chaves: Impressão 3D; FDM; Parâmetros da impressão 3D; Problemas e Problemas de Impressão (e suas respectivas versões em inglês). Como resultado encontrou-se 44 pesquisas que atendiam aos critérios de inclusão, desenvolvidos principalmente na China e Brasil. Os problemas encontrados foram categorizados em 11 classes definidas a posteriori, sendo elas: Aderência da primeira camada à mesa de impressão; Efeitos da temperatura no resultado da impressão; Propriedades mecânicas alcançadas no processo de impressão; Adesão entre camadas; *Software* de impressão 3D; *Stringing*; Variações geométricas; Umidade no filamento; Acabamento superficial; Necessidade de utilização de suportes para impressão e Impressão multi-material. Destaca-se a importância das contribuições encontradas nesta RS para a otimização do processo de uso de impressoras 3D em ambientes educacionais, possibilitando que docentes desenvolvam objetos impressos com maior qualidade e sem a necessidade de testes desnecessários, diminuindo assim a perda de material e tempo de trabalho, facilitando seu acesso e uso a esta tecnologia.

Palavras-chave: Inovação Educacional; Manufatura Aditiva; Parâmetros da Impressão 3D.

Abstract

This research aims to perform a Systematic Review (RS) through the PRISMA 2020 Protocol, which presents to the reader the main problems and solutions of 3D printing processes, more specifically the Fusion Modeling and Deposition (FDM). The methodology adopted was a RS through the PRISMA 2020 Protocol, using as a research source the following databases: SciELO Brazil, Oasisbr, Google Scholar, Scopus and Web of Sciente. It was adopted as keywords: 3D printing; FDM; 3D printing parameters; printing problems and problems (and their respective English versions). As a result, we found 44 studies that met the inclusion criteria, developed mainly in China and Brazil. The problems found were categorized into 11 classes defined a posteriori: Adhesion of the first layer to the printing table; Effects of temperature on the printing result; Mechanical properties achieved in the printing process; Adhesion between layers; 3D printing software; Stringing; Geometric variations; Moisture in the filament; Surface finishing; Need for support structures in printing and multi-material printing. We highlight the importance of the contributions found in this RS for the optimization of the process of using 3D printers in educational environments, enabling teachers to develop printed objects with higher quality and without the need for unnecessary tests, thus reducing the loss of material and working time, facilitating their access and use of this technology.

Keywords: 3D Printing Parameters; Additive Manufacturing; Educational Innovation.

[1] A presente pesquisa contou com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

[2] Graduanda em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: renatacurycaruso@alunos.utfpr.edu.br

[3] Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Doutora em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Email: sani@utfpr.edu.br

[4] Doutorando em Ensino de Ciências e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: renatomarcondes.renato@gmail.com

INTRODUÇÃO

Historicamente, as primeiras políticas públicas destinadas ao uso de tecnologias na educação visavam aproximar os processos de ensino-aprendizagem das tecnologias, buscando uma formação que contemplasse as novas demandas da sociedade emergente. De fato, constatou-se que o uso de tecnologias promoveu e promove um ensino mais atrativo, ativo e significativo, porém, a universalização das tecnologias em ambientes educacionais ainda enfrenta diversas barreiras, como falta de investimento, infraestrutura e formação adequada (NASCIMENTO *et al*., 2022).

Dentre os diversos avanços tecnológicos observados no ambiente educacional, como por exemplo o e-*learning*, a robótica educacional e a IOT (Internet das Coisas), destaca-se as tecnologias de impressão 3D. Acerca desta tecnologia Nascimento e colaboradores (2022, p. 19) destacam que "a inserção da tecnologia de impressão 3D na educação básica ainda não é tão presente em todo o território nacional, por ser um ramo relativamente recente e com um custo elevado em relação a realidade das escolas brasileiras".

Pires e Vinholi Junior (2022), corroboram com o cenário supracitado ao identificarem em sua revisão sobre pesquisas envolvendo impressão 3D na área de ciências da natureza, que houve um aumento de pesquisas nesta temática a partir de 2016, tal fato pode ter sido influenciado pela disseminação da cultura *maker*, que chegou ao Brasil em 2011 por meio da Universidade de São Paulo (USP). Porém, ainda de acordo com estes autores, as pesquisas encontram-se voltadas ao ensino superior e em menor quantidade na educação básica, onde a região com maior incidência de pesquisas é a sudeste, cabendo destacar a ausência de estudos na região centro-oeste.

Sendo assim, fica evidente que são necessários maiores investimentos para o desenvolvimento de pesquisas acerca da impressão 3D em todos os níveis educacionais e em todas as regiões brasileiras, promovendo uma universalização dos avanços tecnológicos. Neste contexto, para além da universalização, é necessário se pensar em formações docentes iniciais e continuadas, para que de fato esta tecnologia chegue com qualidade a todo o território brasileiro.

Tamir *et al.* (2022, p. 1) destacam que "as incertezas qualitativas ainda são desafios comuns. Para garantir a qualidade de impressão, é importante estudar os parâmetros causadores de erros e minimizar seus efeitos". Corroborando esta afirmativa, Caruso e Silva (2022) apontam que em sua pesquisa foi necessário investigar problemas relacionados à impressão 3D, pois observaram "a ocorrência de *stringings* entre as esferas do braile, inviabilizando a leitura para estudantes com deficiência visual e por consequência a capacidade de considerar o material desenvolvido como um jogo inclusivo".

A necessidade de trabalhos que congreguem possíveis problemáticas referente a impressão 3D e suas soluções já é evidenciada em outras áreas, por exemplo, a pesquisa de Souza, Amaro e Piedade (2022) apresenta um estudo onde a influência dos parâmetros para a impressão de *stends* coronários é investigada, tendo como objetivo informar quais destes parâmetros influenciam na impressão, possibilitando evitar que erros já observados na literatura atrasem pesquisas e a produção deste material. Sendo assim, a Revisão Sistemática (RS) aqui desenvolvida se destina a evitar que docentes (da educação básica à superior) que irão fazer uso de impressões 3D desperdicem recursos e tempo de trabalho com problemas que permeiam esta técnica.

Neste sentido, levanta-se o seguinte questionamento que guiará esta RS: Quais são os principais problemas encontrados por pesquisadores que fazem uso da impressão 3D por Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) durante o processo de desenvolvimento e impressão de artefatos 3D? Visando resolver esta problemática, estruturou-se o seguinte objetivo de pesquisa: Realizar uma Revisão Sistemática por meio do Protocolo PRISMA 2020, que apresente ao leitor os principais problemas e soluções dos processos de impressão 3D, mais especificamente da impressão por Modelagem por Fusão e Deposição (FDM). Para se atingir tal objetivo, organizou-se este artigo nesta breve introdução, seguido de uma discussão acerca da impressão 3D e da sua utilização no ensino. Posteriormente apresenta-se a metodologia para coleta de dados, e após as análises e discussões acerca do material elencado. Por fim, conclui-se os achados e contribuições deste artigo, finalizando-se com as referências bibliográficas.

IMPRESSÃO 3D E O ENSINO

O mercado atual, caracterizado por uma economia de alta competitividade, busca tecnologias que permitam uma redução no tempo de fabricação de objetos e apresentem alta versatilidade para responder às solicitações impostas. Neste contexto, a Manufatura Aditiva (MA) atende a tais demandas, pois somada à Industria 4.0 confere vantagens como a customização e versatilidade, redução de custos; agilidade e sustentabilidade. Por isso, é adotada em inúmeras áreas, como por exemplo a medicina, moda, indústria (em seus diversos segmentos como a automobilística, calçados, fundição, eletroeletrônicos), construção civil e educação (PRADO; MATTOS; RODRIGUES, 2019), mesmo com o custo envolvido para aplicação em escala industrial ser relativamente alto, principalmente na aquisição e operação dos equipamentos, além dos materiais e insumos, o que por vezes acaba por limitar seu uso apenas na etapa de pesquisa e desenvolvimento de produtos (VOLPATO; CARVALHO, 2017).

O processo de MA depende da utilização conjunta de outras tecnologias, que são: *computer-aided design* (CAD); *computer-aided manufacturing* (CAM) e *computer numerical control* (CNC). A combinação destas três tecnologias possibilita a impressão de objetos 3D (WONG; HERNANDEZ, 2012). O primeiro passo para realizar uma impressão 3D é desenhar o modelo em CAD, e para exportar esse modelo, um dos formatos mais utilizados é o STL (*Stereolithography file*), que consiste na conversão da geometria contínua do CAD em uma malha poligonal de triângulos, em que cada triângulo é definido por um vetor perpendicular e três vértices (GONÇALVES, 2017). Em seguida, o arquivo é transferido para um *software* de *slicing* (fatiamento), que converte modelos 3D em soluções de impressão escritas em um arquivo *G-code*. A impressora 3D interpreta esse código ordenadamente, imprimindo camada por camada até a finalização do processo. Por fim, dependendo do objetivo de utilização da peça, é realizado um pós-processamento, para adequar a peça a sua aplicação final.

Existem diversos processos de MA, diferenciados pelo estado inicial do material utilizado, processo de deposição, parâmetros de custo e tempo de fabricação, sendo eles a estereolitografia (*stereolithography*), manufatura de objetos em lâminas (*laminated object manufacturing*), sintetização seletiva a laser (*selective laser sintering*), conformação próxima ao formato final via laser (*lesar engineered net shaping*), *poly jet* e modelagem por deposição de material fundido (*fused deposition modeling* – FDM).

Nesta pesquisa dar-se-á ênfase à técnica de FDM, pois é uma das técnicas mais utilizadas no âmbito de tecnologia de impressão 3D. A FDM consiste na extrusão de um filamento aquecido sobre uma mesa de impressão, onde o material depositado é rapidamente resfriado e solidificado, unindo-se às camadas anteriores, e ao final de uma camada, o cabeçote extrusor é movimentado ao longo do eixo z para a impressão da camada seguinte (SANTANA *et al*., 2018).

Conforme destacado por Prado, Mattos e Rodrigues (2019), uma das áreas que vem adotando a impressão 3D é a educação, parte do objeto investigado nesta RS. Este fato ocorre, pois, o sistema educacional tende a acompanhar o desenvolvimento econômico social em uma perspectiva emancipatória do aluno, mesmo que as escolas não se mantenham equiparadas à tal avanço, como é o caso da Educação 4.0 e da Industria 4.0. Nascimento *et al.* (2022) destacam que a infraestrutura tecnológica é um dos fatores mais limitantes para a implementação da impressão 3D no ambiente educacional, pois a grande maioria das escolas encontram-se sucateadas, com falta de materiais e insumos, ainda mais quando se trata de tecnologias atuais, como é a impressão 3D. Porém, a importância desta tecnologia no cenário educacional já se destaca,

> O benefício de usar esse tipo de tecnologia na educação básica dá-se pela curiosidade que instiga nos alunos, por ser uma tecnologia recente. Encanta também pela capacidade em imprimir

> curvas, contornos e pequenos detalhes nas estruturas feitas. Despertando o fascínio típico "não acredito que isso foi feito por uma máquina de impressão" (NASCIMENTO *et al*., 2022, p. 18).

Para além deste fascínio proporcionado pelos processos de impressão, destaca-se que a manufatura aditiva possibilita a impressão de materiais pedagógicos de diferentes áreas (como a matemática, física, ciências e biologia) e que antes estariam disponíveis apenas em modelos virtuais ou no próprio imaginário dos estudantes. Esta manipulação proporciona uma aprendizagem mais eficaz para o aluno, despertando seu protagonismo no processo de ensino, e aumentando seu interesse em currículos como de ciências, tecnologia e matemática (BASNIAK; LIZIERO, 2017).

Para que de fato a impressão 3D se perpetue no ensino básico, proporcionando tais benefícios supracitados, necessita-se superar além das barreiras de infraestrutura tecnológica, as barreiras de formação docente, onde Tarsso e Ferreira (2020) e Ribeiro (2023) apontam a ausência de pesquisas com esta temática. Com vista a superar tal problemática, Ribeiro (2023) propôs um curso de formação continuada para docentes, intitulado de "Impressão 3D no ensino de ciências". Este curso contou com a participação de docentes que lecionavam na educação básica e técnica, em que os resultados apontam para a necessidade destes cursos, bem como uma porta de entrada para a aprendizagem e o uso desta tecnologia em sala de aula.

No ensino superior, Bezerra *et al.* (2022), destacam que a adoção da tecnologia de impressão 3D, apesar de enfrentar barreiras de ordem orçamentária, se destaca como um importante meio de promover um ensino transdisciplinar. Nesta pesquisa, os autores apresentaram o uso da tecnologia 3D no curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica e Automação Industrial, em aulas práticas com Controladores Lógicos Programáveis, observando que houve "grande empenho dos estudantes, desde a modelagem até a confecção final dos módulos. À medida que dificuldades foram surgindo, também foram sendo superadas com o trabalho em grupo e motivação" (BEZERRA *et al.*, 2022, p. 2). Nesta perspectiva, Vieira e Miranda (2021) apresentam a produção de ferramentas didáticas de célula vegetal, estômato, cloroplasto, proteína, inseto (abelha), secção transversal de folhas, pontas de pulverização, raiz, silos agrícolas e DNA por meio da impressão 3D, destacando que tais ferramentas didáticas podem ser utilizadas em praticamente todo o curso de agronomia, com possibilidades de melhora no processo de ensino aprendizagem e acessíveis aos alunos de inclusão.

Com base no supracitado, é evidente a carência de pesquisas na área educacional que abordem o uso de impressoras 3D, seja para a produção de material didático, uso nos processos de ensino-aprendizagem ou a formação docente inicial e continuada para esta tecnologia. Portanto, para além do avanço necessário nesta temática, é também imprescindível seu uso correto, e é nesta perspectiva que esta pesquisa se constrói e se faz necessária, pois visa dirimir o tempo e material desperdiçado com erros

ou a tentativa de elucidação, busca-se nesta RS reunir um conjunto de problemáticas já evidenciadas na literatura e suas possíveis soluções para facilitar a adoção da impressão 3D por docentes do ensino básico e superior, que proporciona em certa medida diminuir a lacuna existente entre a tecnologia de impressão 3D e sua utilização em ambientes educacionais.

METODOLOGIA

Esta pesquisa de Revisão Sistemática (RS) adotou o Protocolo PRISMA 2020 (PAGE *et al*., 2021) para estruturar seu desenvolvimento. De acordo com os autores, este protocolo oportuniza o desenvolvimento de uma RS replicável, completa e precisa, proporcionando uma base sólida para tomada de decisões (PAGE *et al*., 2021). O Protocolo PRISMA 2020 é composto por três etapas, sendo elas (MARCONDES; SILVA, 2022, p. 15):

> a) **Identificação**: onde se busca encontrar todo o material disponível para a análise, que pode ser composto por estudos de revisões sistemáticas anteriores, busca de novos estudos por meio de bases de dados, ou material advindo de outras fontes de dados. Lembrando que esta etapa deve ser minuciosamente descrita quanto às fontes, datas, tipo de material, e todos os itens constantes nas Listas de Verificações;
>
> b) **Triagem**: esta etapa destina-se a refinar o material encontrado na etapa anterior, com a especificidade de se indicar os motivos que levaram a exclusão de algum documento. Destacando-se que também devem ser atendidos os itens referentes a esta etapa nas Listas de Verificações;
>
> c) **Inclusão**: esta terceira etapa da revisão destina-se a reunir e apresentar os estudos incluídos para a análise da revisão sistemática. Ressaltando-se que o uso de softwares para auxiliar em qualquer tratamento dos dados deve ser apresentado e justificado, como consta nas Listas de Verificações.

Buscando atender à etapa de Identificação do Protocolo PRISMA 2020, adotou-se como base de dados nacionais e internacionais: SciELO Brasil (*Scientific Electronic Library Online*); Oasisbr Portal Brasileiro de Publicações e Dados Científicos em Acesso Aberto; Google Acadêmico; Scopus e *Web of Science*. Utilizaram-se dois conjuntos de palavras-chaves, o primeiro destinado a reunir pesquisas sobre a impressão 3D por Modelagem de Fusão e Deposição (FDM), sendo elas: Impressão 3D; FDM; Parâmetros da impressão 3D (e respectivamente em inglês: 3D *printing*; FDM; 3D *printing parameters*). O segundo conjunto de palavras-chaves destina-se a selecionar as pesquisas que envolvam problemas de impressão, sendo elas: Problemas; Problemas de impressão (e respectivamente em inglês: *Problems*; *Printing problems*). A RS foi realizada no mês de novembro de 2023, e não se adotou período temporal.

Os critérios de inclusão adotados foram: a) Estudos em acesso aberto; b) Estudos que abrangem a área de pesquisa sobre impressão 3D, utilizando exclusivamente a técnica FDM; c) O estudo necessita

apresentar um ou mais problemas observados no resultado da impressão 3D de peças, que fizessem com que o material impresso não atendesse ao objetivo do projeto. Porém, o estudo não precisa demonstrar necessariamente a resolução desse problema; d) Estudos do tipo artigos completos em periódicos ou eventos científicos, dissertações e teses.

Sendo que os critérios de exclusão adotados foram: a) Estudos que não estejam em acesso aberto; b) Estudos em que a técnica adotada não é por FDM; c) Estudos que não apresentem problemas de impressão 3D em peças; d) Estudos que não sejam dos tipos aceitos.

Acerca das estratégias de busca, na base de dados SciELO Brasil a pesquisa foi realizada no dia 12 de novembro de 2023, digitando-se cada uma das palavras-chaves do primeiro grupo entre parênteses em campos de pesquisa distintos, combinados por meio do operador *booleano* OR, e utilizando o índice "Todos os Índices". O segundo conjunto de palavras-chaves foi digitado de igual forma, e combinado com o primeiro conjunto por meio do operador *booleano* AND. A pesquisa foi realizada em português e inglês, sendo que as palavras-chaves correspondentes em ambas as línguas foram combinadas por meio do operador *booleano* OR, digitadas no mesmo campo de pesquisa e entre parênteses, não se utilizou nenhum filtro de busca. Esta pesquisa gerou 15 resultados.

Para a base de dados Oasisbr, a pesquisa foi realizada dia 14 de novembro de 2023, em modo avançado, onde cada conjunto de palavras-chave foi digitado em um "Grupo de Busca", e em cada um dos "Campos de Busca" foram digitadas as palavras-chave em português e em inglês, combinadas pelo operador *booleano* OR, utilizando-se os metadados "Resumo", não foram utilizados aspas ou parênteses. A correspondência da busca utilizada foi "Qualquer Termo", e os "Grupos de Busca" combinados por "Todos os Grupos", não se utilizou nenhum filtro de busca. Esta pesquisa gerou 23 resultados.

Na base de dados Google Acadêmico, a pesquisa foi realizada dia 16 de novembro de 2023. Digitando-se entre parênteses impressão 3D e o termo respectivo em inglês (combinados pelo operador *booleano* OR), seguido do termo parâmetros de impressão 3D e o termo respectivo em inglês (combinados pelo operador *booleano* OR) entre parênteses, estes dois conjuntos foram combinados pelo operador *booleano* OR, em seguida digitou-se o termo FDM combinado pelo operador *booleano* AND, por fim, inseriu-se o termo problemas (entre parênteses, combinado por meio do operador *booleano* OR com seu respectivo termo em inglês), e por fim o termo problemas de impressão (entre parênteses, combinado por meio do operador *booleano* OR com seu respectivo termo em inglês), sendo estes dois últimos combinados pelo operador *booleano* OR. Não se utilizou nenhum filtro de busca, gerando 741 resultados.

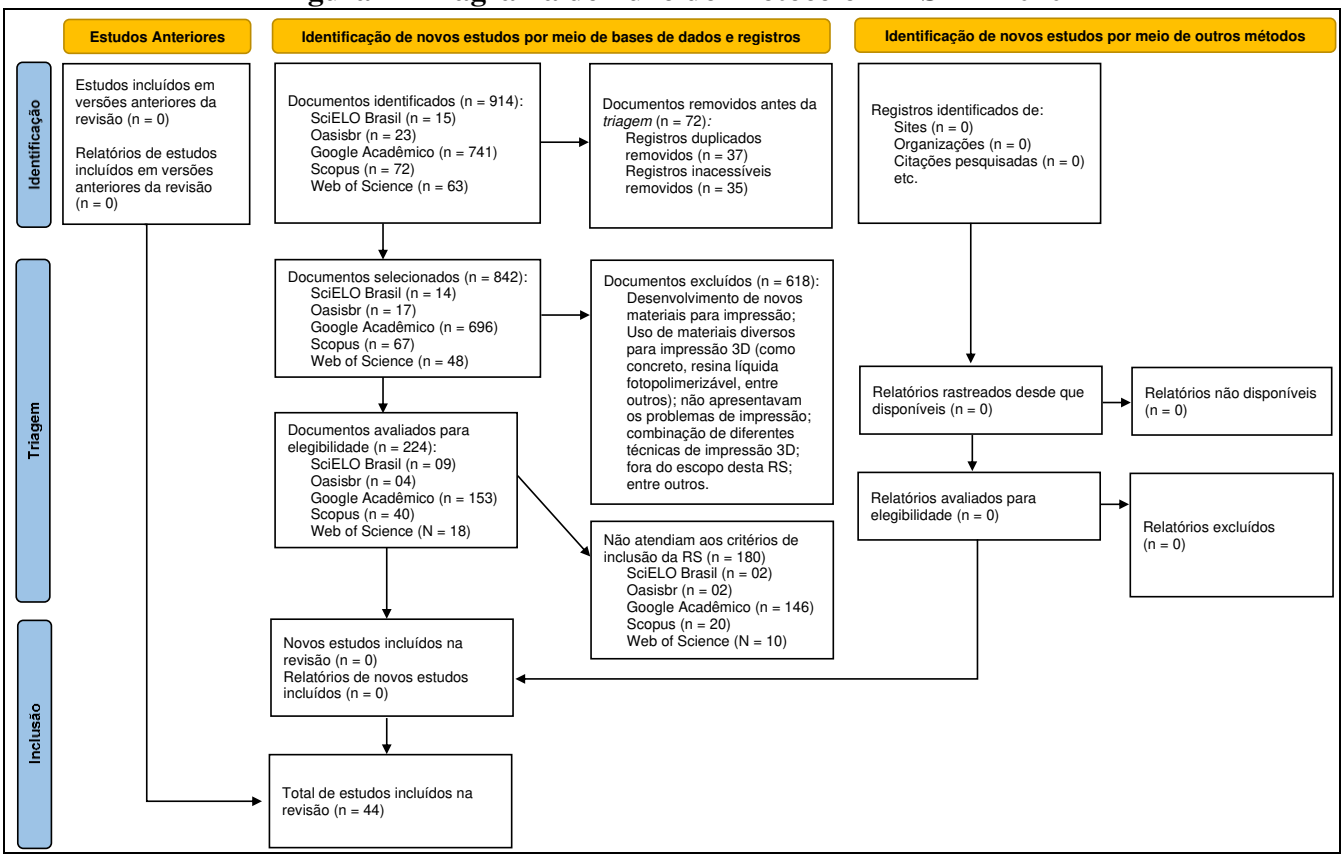
Na base de dados Scopus, a pesquisa foi realizada apenas com as palavras-chave em inglês, devido à natureza da base. As palavras-chaves *3D printing* e *3D printing parameters* foram digitadas no mesmo campo de busca, entre aspas duplas e combinadas pelo operador *booleano* OR, a palavra-chave *FDM* foi digitada em um campo de busca separado, as palavras-chave *problems* e *printing problems* foram digitadas no mesmo campo de busca, combinadas por meio do operador *booleano* OR. Os três campos de busca foram combinados por meio do operador *booleano* AND, realizou-se a pesquisa no metadado *Abstract*, utilizou-se apenas o filtro documentos em acesso aberto. A pesquisa foi realizada no dia 15 de novembro de 2023, retornando 72 resultados. Na base de dados *Web of Science*, a pesquisa foi realizada de maneira semelhante a base de dados Scopus, diferindo-se apenas nos meta dados, onde foi selecionado "*All Fields*". A pesquisa foi realizada no dia 15 de novembro de 2023, tendo um total de 63 resultados.

Para atender a etapa de triagem desta RS foi realizada preliminarmente a primeira seleção de documentos, por meio da leitura dos títulos e resumos, esta primeira etapa foi realizada pela primeira e último autor desta RS, sendo selecionados os documentos potencialmente relevantes. As pesquisas excluídas neste momento, tratavam de estudos que não atendiam ao escopo desta RS, tais como o desenvolvimento de novos materiais para a impressão 3D (RECH *et al.,* 2021), pesquisas que não estavam relacionadas com a tecnologia investigada (WIELEWSKI, 2005), outras técnicas de impressão como DPL (TULCAN; VASILESCU; TULCAN, 2021). Após este primeiro momento foram realizadas as leituras na íntegra pelos três autores deste artigo, dos documentos potencialmente elegíveis, visando evitar os riscos de viés de seleção dos documentos. Destaca-se que caso houvesse divergências quanto a seleção dos documentos, chamar-se-ia um quarto pesquisador com conhecimento na área para que as divergências fossem discutidas e sanadas.

Por fim, na etapa de inclusão, os estudos foram agrupados em onze categorias definidas a posteriori, visando facilitar a identificação do tipo de problema para os leitores, sendo: 1) Aderência da primeira camada à mesa de impressão; 2) Efeitos da temperatura no resultado da impressão; 3) Propriedades mecânicas alcançadas no processo de impressão; 4) Adesão entre camadas; 5) *Software* de impressão 3D; 6) *Stringing*; 7) Variações geométricas; 8) Umidade no filamento; 9) Acabamento Superficial; 10) Impressão multi-material; 11) Necessidade de utilização de suportes para impressão. Destaca-se que não se utilizou *softwares* de tratamento de dados para os estudos selecionados.

Apresenta-se a seguir, o Diagrama de Fluxo da RS desenvolvida (Figura 1), este diagrama possui como objetivo apresentar o percurso realizado, descrevendo com detalhes os valores de documentos encontrados, além dos descartes realizados e em qual etapa.

Figura 1 - Diagrama de fluxo do Protocolo PRISMA 2020



Fonte: Elaboração própria. Adaptada de Page *et al.* (2020).

Cabe destacar que conforme exposto na Figura 1, não se encontrou estudos de revisão com esta problemática desenvolvidos anteriormente, bem como pesquisas originadas de fontes externas às bases investigadas, resultando em um total de 44 documentos selecionados. A seguir, será apresentado a análise dos documentos elegíveis para a RS.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Cabe destacar inicialmente, que os documentos encontrados nesta revisão podem contribuir para que o processo de uso de impressoras 3D seja facilitado em ambientes que não são especializados nesta tecnologia, mas que fazem seu uso, como por exemplo em escolas. Possibilitando assim, que os docentes desenvolvam objetos impressos com uma maior qualidade e sem a necessidade de testes desnecessários, diminuindo a perda de material e o tempo de trabalho na produção das peças (CARUSO; SILVA, 2022; TAMIR *et al.,* 2022).

Dos 44 documentos analisados, observa-se que 70% são do tipo artigos científicos, 14% do tipo dissertação de mestrado, 5% do tipo trabalho de conclusão de curso e 11% do tipo artigo em evento científico. As pesquisas foram desenvolvidas em países como China (n = 11), Brasil (n = 6), Portugal (n

= 4), Chile e Rússia (n = 3), Colômbia; Polônia; Malásia e Coreia do Sul (n = 2), Alemanha; Indonésia; Romênia; Índia; Singapura; Espanha; Itália; França e Hungria (n = 1), sendo que o ano de publicação variou entre 2013 e 2023.

Estas características expressam a importância desta RS, pois reúne estudos que por vezes seriam inacessíveis aos docentes que estão iniciando no processo de impressão 3D, e que poderiam se deparar com problemas já vivenciados em outras pesquisas, principalmente quando se observa a diversidade de países que relatam problemas em impressões 3D por FDM. Também é notório, que grande parte dos documentos elegidos nesta RS origina-se na China e seguido do Brasil, o que pode evidenciar o avanço das pesquisas nesta perspectiva. A seguir, apresenta-se no Quadro 1 os documentos selecionados nesta RS.

Quadro 1 – Documentos selecionados para a análise

Base de Dados	Título	Tipo de Doc.
SciELO	Investigating the influence of infill percentage on the mechanical properties of fused deposition modelled ABS parts (ALVAREZ; LAGOS; AIZPUN, 2016a).	AC
SciELO	Avaliação de parâmetros em andaimes de PLA e PCL a serem utilizados em tecidos cartilaginosos (CEA et al., 2021).	AC
SciELO	Caracterización mecánica de piezas de ácido poliláctico, policaprolactona y Lay-Fomm 40 fabricadas por modelado de deposición fundida, en función de los parámetros de impresión (PARRADO-AGUDELO; NARVÁEZ-TOVAR, 2019).	AC
SciELO	Influência da posição de impressão e da densidade de enchimento nas propriedades mecânicas das sondas fabricadas em ABS (LOAIZA et al., 2021).	AC
SciELO	Influência da temperatura ambiente no comportamento mecânico do PLA utilizado em manufatura aditiva (LIMA; MARQUES; SHIMANO, 2022).	AC
Oasisbr	Otimização topológica de estruturas com restrições de flambagem aplicada à manufatura aditiva (CARVALHO, 2020).	DIS.
Oasisbr	Fabricação Aditiva no Design de Moda (SILVA, 2020a).	DIS.
GA	Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D (AZEVEDO, 2013).	TCC
GA	Influence of slicing tools on quality of 3D printed parts (BAUMANN et al., 2016).	AC
GA	Estudo de desvios geométricos em impressão 3D em peças axissimétricas (CACHAÇO, 2019).	DIS.
GA	Análise de desempenho de um ciclo de regeneração de sílica gel como desumidificador de filamentos para impressão 3D (CARVALHO, 2019).	TCC
GA	Estudo da impressão 3D de baixo custo de geometrias complexas obtidas a partir de modelos matemáticos (GONÇALVES, 2017).	DIS.
GA	Development of 3D printing entity slicing software (GUAN et al., 2021).	AC
GA	Sistema de melhoria da adesão entre camadas na impressão tridimensional de termoplásticos (LIMA, 2017).	DIS.
GA	Impressão 3D: Um guia prático (SILVA et al., 2020).	AC
GA	Parametrização reológica do comportamento de blendas autorreparáveis durante o processo de impressão 3D (SILVA, 2020b).	DIS.
Scopus	Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM) (ALVAREZ; LAGOS; AIZPUN, 2016b).	AC
Scopus	A Comparative Study of the Mechanical Properties of FDM 3D Prints Made of PLA and Carbon Fiber-Reinforced PLA for Thin-Walled Applications (BOCHNIA; BLASIAK; KOZIOR, 2021).	AC
Scopus	Optimization design of color mixing nozzle based on multi physical field coupling (CHEN et al., 2019).	AE
Scopus	Multi-Material 3D-Printing Nozzle Design Based on the Theory of Inventive Problem Solving and Knowledge Graph (TIAN et al., 2023).	AC
Scopus	Simulation of temperature distribution in 3D printing heated chamber on orientation and temperature variations with ABS material (KHOLIL et al., 2023).	AC
Scopus	A Combination of Vision- and Sensor-Based Defect Classifications in Extrusion-Based Additive Manufacturing (LI et al., 2023).	AC
Scopus	Error Analysis and Experimental Research on 3D Printing (LIANGHUA; XINFENG, 2019).	AE
Scopus	Mechanical Properties and Forming Quality of PLA Based on Computer 3D Printing Parameters (MENG; CUI; WANG, 2023).	AC
Scopus	Multi-axis Fused Deposition Modeling using parallel manipulator integrated with a Cartesian 3D printer (MICINSKI; BRYLA; MARTOWICZ, 2021).	AC
Scopus	An exploration of polymer adhesion on 3D printer bed (NAZAN et al., 2017).	AE
Scopus	Indirect Temperature Measurement in High Frequency Heating Systems (OSKOLKOV; BEZUKLADNIKOC; TRUSHNIKOV, 2021).	AC
Scopus	Evaluation of the Mechanical Properties of the Samples Made by FDM 3D Printing (POPA et al., 2019).	AC
Scopus	A feedback-based print quality improving strategy for FDM 3D printing: an optimal design approach (TAMIR et al., 2022).	AC
Scopus	Additive technologies for prototyping. Control of geometrical characteristics of abs plastic details for determining the original print sizes (TIGNIBIDIN; TAKAYUK, 2019).	AC
Scopus	Fused Deposition Modeling of Polyolefins: Challenges and Opportunities (VERMA et al., 2023).	AC
Scopus	Preparation Method of High Resilience Nonslip Basketball Sole Composite Material (WANG; LIU; ZHANG, 2022).	AC
Scopus	Numerical evaluation of ABS parts fabricated by fused deposition modeling and vapor smoothing (ZHANG, 2017).	AC
Scopus	Degradation Classification of 3D Printing Thermoplastics Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Artificial Neural Networks (ZHANG, 2018).	AC
Scopus	Study on Effects of FDM 3D Printing Parameters on Mechanical Properties of Polylactic Acid (ZHU et al., 2019).	AE
Scopus	Effects of auxiliary heat on warpage and mechanical properties in carbon fiber/ABS composite manufactured by fused deposition modeling (YU et al., 2020).	AC
WOS	The Effect of Annealing on Additive Manufactured ULTEM™ 9085 Mechanical Properties (ZHANG; MOON, 2021).	AC
WOS	Fused Deposition Modeling 3D Printing in Oral and Maxillofacial Surgery: Problems and Solutions (KAMIO; ONDA, 2022).	AC
WOS	Experimental study on the accuracy and surface quality of printed versus machined holes in PEI Ultem 9085 FDM specimens (GÓMEZ-GRAS et al., 2021).	AC
WOS	Optimization of the Strength Characteristics of the Cellular Structure in Samples of Thermoplastic Polyester (EROFEEV et al., 2019).	AE
WOS	Investigation For Shrinkage Deformation In The Desktop 3D Printer Process By Using DOE Approach Of The ABS Materials (MARWAH et al., 2019).	AC
WOS	Evaluation of polymeric 3D printed adhesively bonded joints: effect of joint morphology and mechanical interlocking (SPAGGIARI; FAVALI, 2022).	AC
WOS	Variable-width contouring for additive manufacturing (HORNUS et al., 2020).	AC
WOS	Concurrent shape and build orientation optimization for FDM additive manufacturing using the principal stress lines (PSL) (BIROSZ; SAFRANYIK; ANDÓ, 2023).	AC

Fonte: Elaboração própria.

Nota: TCC - Trabalho de Conclusão de Curso; AC - Artigo Científico; AE – Artigo de Evento Científico; DIS – Dissertação de Mestrado; WOS – *Web of Science;* GA – Google Acadêmico; DOC. – Documentos.

Aderência da primeira camada à mesa de impressão

O estudo de Nazan *et al.* (2017) explora o assunto da adesão de polímeros à mesa de impressão, analisando a tendência dos materiais plásticos extrudados de encolher e deformar. A pesquisa realizada demonstra os resultados de deformação obtidos na impressão de peças com duas variantes principais: aquecimento da mesa de impressão - 100°C para ABS e 60°C para PLA - e o ângulo de construção dos modelos - 30°/45°/60°. Como resultado, observou-se que a impressão de peças com ABS não foi possível sem a utilização de aquecimento na mesa de impressão, em decorrência do descolamento da peça. Com relação à deformação analisada, observou-se que entre os materiais testados (ABS e PLA), o PLA com impressão sem aquecimento da mesa obteve menores resultados de deformações.

Com relação ao descolamento da peça ocorrido na pesquisa de Nazan *et al.* (2017), Azevedo (2013) descreveu em seu estudo os resultados obtidos na impressão de uma peça teste cilíndrica em ABS para diferentes temperaturas de aquecimento na mesa de impressão. Como resultado, pode-se observar que nos testes realizados com a temperatura maior ou igual a 100°C foi possível realizar a impressão sem descolamento. É válido ressaltar que esta temperatura varia de acordo com o material que está sendo utilizado para a impressão. Para que não ocorra o descolamento da primeira camada da mesa de impressão, sugere-se que essa temperatura seja ajustada para um valor mais elevado que a temperatura de transição vítrea do material.

Efeitos da temperatura no resultado da impressão

Os efeitos da temperatura no resultado de impressão de peças por FDM, baseado nos estudos de Azevedo (2013), Lima (2017), Zhang (2018), Cea *et al.* (2021), Tamir *et al.* (2022) e Kholil *et al.* (2023) podem ser separados em quatro tópicos principais: a temperatura de extrusão do filamento, a influência do gradiente de temperatura na peça, aspectos visuais da peça e a degradação térmica das peças impressas em termoplásticos (longo prazo).

A temperatura de extrusão é um parâmetro a ser especificado para o *software* de fatiamento, controlado de modo que o termoplástico atinja sua temperatura de fusão. Tamir *et al.* (2022) afirmam que a falta de calibração da temperatura pode levar a problemas como obstrução do bico extrusor, sub-extrusão e excesso de extrusão. O ajuste da temperatura do bico também foi um dos problemas evidenciados por Azevedo (2013), quando realizou a avaliação de desempenho da impressora 3D RepRap Mendel.

Cea *et al.* (2021) apresentam em seu estudo sobre a aplicação da tecnologia 3D para a fabricação de *scaffolds* como base para o crescimento de células, que a temperatura da extrusora é uma das variáveis mais importantes no processo. Foi evidenciado na pesquisa que a própria temperatura ambiente deve ser considerada para determinação da temperatura de extrusão, portanto a indicação do fabricante pode ser levada como base, mas não como uma regra.

Com relação ao gradiente de temperatura, Kholil *et al.* (2023) afirmam que a má distribuição de temperatura durante o processo de impressão pode causar problemas como empenamento, encolhimento, geometria e diminuição das propriedades mecânicas. Com isso, os autores realizam um estudo utilizando a simulação em CFD para analisar a distribuição de temperatura na peça. Simulações e experimentos foram conduzidos variando a temperatura de extrusão e orientação de impressão nos eixos x, y e z. Como resultado, peças impressas verticalmente com relação à mesa de impressão exibiram perfis de distribuição de temperatura mais uniformes, o que é justificado pela redução na área de seção transversal, permitindo uma melhor transferência de calor com o ambiente. Para as peças impressas nas direções horizontais, foi observado um aumento nas tensões térmicas, levando a uma maior probabilidade de empenamento e redução na qualidade geral da impressão.

Outro fenômeno relacionado ao gradiente de temperatura no objeto, é um fenômeno conhecido como *curl* (enrolar). De acordo com Lima (2017), o motivo da aparição desse fenômeno é a gama de variações de temperatura durante a impressão 3D, principalmente em relação à mesa de impressão e a temperatura de extrusão. Este fenômeno se caracteriza por dobras em pontos específicos em que o arrefecimento ocorre de maneira mais rápida, o que contrai o material em volta. A limitação do estudo de Lima (2017) é que ele não apresenta a resolução para o problema, porém, Murilo Laffranchi discute em um tutorial do Youtube no Canal 3D Geek Show (LAFFRANCHI, 2020a) uma análise da influência da temperatura nas impressões, além de uma proposta para ajustar esse parâmetro.

Em relação a aspectos visuais da peça, Laffranchi (LAFFRANCHI, 2020a) afirma que altas temperaturas podem gerar uma aparência derretida da peça, com perda nos detalhes, como também foi evidenciado Azevedo (2013) e por Tamir *et al.* (2022). Pode ocorrer o aparecimento de *stringins* durante a impressão, em decorrência do alto aquecimento do bico, mesmo ocorrendo a retração do filamento durante a movimentação do cabeçote extrusor, uma pequena quantia de filamento ainda é extrudada, gerando os *stringings*. Já temperaturas mais baixas podem causar o que é conhecido como sub-extrusão, ou seja, o cabeçote extrusor da impressora libera menos filamento do que o necessário, ficando alguns pontos falhos na peça, além de diminuir sua resistência por menor adesão entre camadas.

O teste realizado por Laffranchi (LAFFRANCHI, 2020a), indicou que para o PLA utilizado, a temperatura ideal seria em torno de 210°C. É importante ressaltar que esse valor não é geral, e a melhor

temperatura varia de acordo com o tipo de filamento, fabricante e condições do filamento. A ferramenta utilizada para o teste foi um modelo desenvolvido por Kiland (2017), que serve como peça de teste para avaliar diferentes temperaturas do filamento, e pela inspeção visual pós-impressão, determinar de maneira aproximada a temperatura mais ideal para o filamento. O modelo consiste em uma torre que o usuário deve alterar a temperatura no G-code de 5 em 5 mm, de acordo com a indicação na peça.

O último tópico que envolve a temperatura é a degradação térmica, estudada por Zhang (2018). O autor afirma que a temperatura também influencia o processo a longo prazo, por conta da degradação térmica de termoplásticos ser um problema inevitável. Zhang (2018) desenvolveu uma metodologia de classificação para avaliar a degradação térmica usando *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) e *Artificial Neural Networks* (ANNs). A análise foi feita para os termoplásticos PLA e ABS.

Propriedades mecânicas alcançadas no processo de impressão

De acordo com Alvarez, Lago e Aizpuz (2016a; 2016b), um problema da impressão 3D por FDM é obter as propriedades mecânicas desejadas, a partir do ajuste de parâmetros de impressão. De maneira geral, foi possível perceber a influência de três principais parâmetros que influenciam nas propriedades mecânicas: porcentagem de preenchimento, temperatura de extrusão, e direção de impressão da peça. Os trabalhos de Azevedo (2013), Alvarez, Lago e Aizpuz (2016a; 2016b), Erofeev *et al.* (2019), Popa *et al.* (2019), Zhu *et al.* (2019), Carvalho (2020), Yu *et al.* (2020), Bochnia, Blasiak e Kozior (2021), Zhang e Moon (2021), Spaggiari e Favali (2022), Birosz, Safranyik e Andó (2023), Kholil *et al.* (2023), Li *et al.* (2023), Meng, Cui e Wang (2023) e Verma *et al.* (2023) analisam com diferentes metodologias e variáveis, a influência de parâmetros nas propriedades mecânicas de materiais impressos por FDM. Nesta RS serão apresentados três artigos que analisam separadamente os parâmetros citados acima como principais influenciadores nas propriedades mecânicas do material.

A direção de impressão da peça foi analisada por Kholil *et al.* (2023), em que foi evidenciado que a direção escolhida influencia diretamente na adesão entre camadas. A análise mais profunda desse artigo pode ser vista na seção sobre “Adesão entre camadas”. Isso também pode ser evidenciado no artigo de Birosz, Safranyik e Andó (2023), que analisam a partir de um ensaio de tração, diferentes orientações de impressão para a mesma geometria de peça: 0°/ 15° /30°. Como resultado, foi possível perceber que a peça impressa com a maior angulação em relação à mesa de impressão obteve os melhores resultados para tensão. Além disso, o artigo propõe um método de otimização de formato e orientação, com o objetivo de obter melhores propriedades mecânicas, a partir da análise de linhas

principais de tensão (PSL). Como resultado, foi possível aumentar a performance mecânica das peças em 19,2% com apenas 7,8% de aumento no tamanho.

A influência da porcentagem de preenchimento nas propriedades mecânicas foi analisada por Alvarez, Lagos e Aizpun (2016). Além da variação numérica, diferentes configurações de preenchimento da peça foram testadas, sendo: orientação de 0°/ 45°/ 90°/ +45°e -45°. Como resultado, a resistência máxima à tração obtida foi para peças com configuração de preenchimento de 0°, chegando a 25,72 MPa. Com relação à variação numérica da porcentagem de preenchimento, foram impressas peças variando o preenchimento de 5 em 5%, no intervalo de 0 a 100%. Pelos gráficos gerados de porcentagem de preenchimento *vs* resistência à tração, observa-se que, como esperado, o maior resultado foi para 100% de preenchimento, comparando 35 MPa (100%) e 15 MPa (0%). Um ponto interessante de análise é estudado por Hornus *et al.* (2020), que avalia diferentes propostas de trajetória para o bico extrusor com o intuito de obter um preenchimento o mais próximo possível de 100%.

O estudo que analisou a variação de temperatura de extrusão na impressão por FDM para verificação da resistência das peças obtidas foi realizado por Azevedo (2013). Foi utilizada uma geometria padrão para realizar o teste de resistência à tração, avaliando a tensão longitudinal para peças impressas em ABS com variação de temperatura entre 180°C e 210°C. Como resultado, o gráfico de resistência à tração *vs* temperatura de extrusão apresentou comportamento crescente até aproximadamente 200°C. A partir daí os valores de tensão caem, o que, de acordo com Azevedo (2013), pode ser consequência de uma alteração das propriedades do material a essa temperatura. Mesmo com o ajuste da temperatura, a resistência da peça testada comparada ao material bruto, que apresenta o valor de resistência na tensão de 36 Mpa de acordo com a Norma ASTM D-638 (American Society for Testing and Materials), é aproximadamente 6 vezes menor. Isso pode ser efeito da falta de aderência entre as camadas no objeto, problema que será abordado em outro tópico neste artigo.

Adesão entre camadas

De acordo com Lima (2017), um problema que pode ocorrer devido ao rápido decrescimento da temperatura do filamento e a solidificação do material, é a falta de adesão entre as camadas, o que pode gerar uma série de problemas no processo. Segundo o autor, esse não é um problema tão influente para termoplásticos comuns, pois é possível regular a temperatura de extrusão do filamento cerca de 50°C acima de sua respectiva temperatura de fusão, o que não ocorre em termoplásticos de alto desempenho, por essa diferença de temperatura ser suficiente para que o extrusor atinja a temperatura de decomposição do termoplástico, o que altera significativamente as propriedades mecânicas do material.

Na impressão por FDM, o arrefecimento do filamento ocorre de maneira rápida, logo que ocorre a extrusão e o filamento extrudado entra em contato com a base ou com a camada anterior. Com isso, o fio de filamento que vem na camada seguinte, mesmo que este esteja no estado visco-plástico, não consegue aquecer as camadas já arrefecidas, e com isso a ligação entre as camadas é vista como um ponto frágil da peça.

Com isso evidenciado, Lima (2017) apresentou algumas soluções para superar tal dificuldade, que se baseiam no melhoramento de adesão entre camadas a partir do aumento de temperatura de camadas já impressas anteriormente. Um dos métodos propostos e testados, foi baseado na utilização da tecnologia laser, cujo feixe é direcionado num ponto imediatamente antes do material fundido ser depositado, aumentando sua temperatura para um valor mais elevado que a temperatura de transição vítrea, aumentando a força de ligação entre camadas. O resultado obtido utilizando esse método foi um aumento de 50% na força de ligação entre camadas. Para aplicação dessa abordagem, a fixação do laser precisa ser estudada e específica para cada impressora, de modo que nenhum componente interrompa o feixe atuante na peça.

Esse problema também é tratado no estudo de Oskolkov, Bezukladnikoc e Trushnikov (2021), que afirmam que um dos maiores desafios da impressão 3D é manter uma qualidade consistente da adesão entre camadas. O modelo proposto para resolução desse problema foi baseado no controle rápido e confiável da temperatura de extrusão do material durante o processo de impressão. O modelo se baseia na aplicação de ligas ferromagnéticas no bocal para medição indireta da temperatura. Como resultado, foi possível observar em análise microscópica óptica, que uma boa adesão entre camadas foi obtida.

Software de impressão 3D

De acordo com Guan *et al.* (2021), um problema comum à impressão 3D é a etapa de transformar o projeto/modelo em um código que possa ser executado pela impressora. Assim, o *software* utilizado em impressões 3D tem como finalidade realizar a discretização do modelo 3D em contornos 2D, cujo caminho determina a movimentação do bico durante a impressão, que camada por camada forma a peça projetada. Ainda segundo Guan *et al.* (2021), o fatiamento é o fator chave para determinar a qualidade da impressão.

O estudo realizado por Gonçalves (2017), indica que a utilização e escolha do *software* adequado para impressão é uma dificuldade muito comum na impressão 3D. Baumann *et al.* (2016), realizaram um estudo com o objetivo de comparar os *softwares* de impressão 3D - Cura, KISSlicer, Skeinforge e Slic3r. Para maior acuracidade de comparação, os parâmetros de impressão determinados pelo usuários,

como a velocidade, padrão de preenchimento, densidade de preenchimento, temperatura de extrusão, temperatura da mesa de impressão, entre outros, foram padronizados. Com isso, a única variável da pesquisa foram os códigos gerados pelos *softwares* analisados.

Observando os resultados do estudo realizado por Baumman *et al.* (2016), e sabendo que a única variável foi o código de impressão gerado pelos *softwares* de *slicing*, conclui-se que a sua escolha tem influência direta no resultado da impressão, e deve ser visto também como um dos parâmetros a serem determinados para imprimir uma peça.

Stringing

Cachaço (2019) relata em seu estudo de desvios geométricos em impressão 3D em peças aximétricas, um erro de colisão causado por *stringing*. Como o *stringing* não foi retirado no pós-processamento, a CMM (Máquina de Medição por Coordenadas) detectou a presença de filamento numa localização que no desenho em CAD da peça projetada não existia. Assim, percebe-se que o *stringing* pode causar erros de medição, além de afetar a qualidade visual da peça.

O *stringing* pode ser gerado quando a temperatura de extrusão do filamento está muito alta, como já citado no tópico "*Efeitos da temperatura no resultado da impressão*". Se mesmo após ter sido feita a calibragem da temperatura, o *stringing* continuar a aparecer, sua causa pode estar relacionada ao parâmetro de retração. Segundo Silva *et al.* (2020), a retração é o parâmetro que fornece à impressora a informação de retrair o filamento (diminuir a pressão) do bico extrusor quando há alguma descontinuidade na peça. Os *softwares* de impressão 3D apresentam a retração como um parâmetro a ser especificado. Assim, Silva *et al.* (2020) afirmam que esse ajuste deve ser realizado para evitar o problema de excesso de material extrudado durante pausas ou movimento entre faces.

Portanto, não existe um valor ideal para retração, o indicado é que sejam realizados testes variando aos poucos a distância de retração e a velocidade. Para este caso, Murilo Laffranchi também discute em um tutorial do Youtube no canal "3D *Geek Show"* (LAFFRANCHI, 2017), os ajustes realizados utilizando o *software* Simplify3D.

Variações geométricas

De acordo com Tignibidin e Takayuk (2019), um dos maiores problemas da impressão 3D é o fenômeno de encolhimento do material, o que influencia nas características geométricas da peça obtida, podendo diferir das dimensões projetadas. O artigo mostra os resultados do estudo de impressão de um

cubo usando o ABS. Os autores apresentam recomendações para produtos que requerem precisão nas características geométricas, que consistem em mudanças dimensionais de projeto para eliminar o efeito obtido pelo encolhimento do material. Para isso, é realizado o cálculo de coeficiente de encolhimento a partir de medidas nas faces do cubo impresso. Como resultado, foi observado que para o cubo projetado e impresso em ABS, uma correção de 1,07% durante o projeto seria suficiente para eliminar os efeitos de encolhimento, garantindo a precisão geométrica. Esse problema de encolhimento também é estudado por Marwah (MARWAH *et al.* 2019).

Langford (2012 *apud* SANTANA, 2015), afirma que o filamento utilizado para realização da impressão 3D apresenta um efeito significativo sobre o fluxo volumétrico, ou seja, ocorre uma diferença entre o fluxo programado e o fluxo da saída. Isso pode resultar em problemas tanto de sub-extrusão ou excesso de extrusão, além de variações geométricas. A causa relacionada a esse fenômeno é a variância no diâmetro do filamento. Assim, Langford (2012 *apud* SANTANA, 2015) propôs um modelo matemático que associa o erro de variação volumétrica ao diâmetro médio do filamento (dt), ao fluxo do material (ΔSg) e o desvio padrão do diâmetro (σf), sendo esses parâmetros diretamente proporcionais ao erro. Assim, conclui-se que para reduzir o erro de variação volumétrica, uma alternativa é minimizar o desvio padrão do diâmetro do filamento, ou seja, adquirir filamentos precisos.

Nos *softwares* de fatiamento, é possível realizar o ajuste do fluxo de filamento. Esse ajuste foi realizado por Laffranchi (LAFFRANCHI, 2020b), que afirma que o ajuste de filamento é um passo importante para se obter boa qualidade visual na impressão, além de apresentarem dimensões mais precisas. Existem três cenários referentes a tipos de fluxo: o fluxo normal; a sub-extrusão (a saída do filamento pelo bico da impressora é insuficiente); excesso de extrusão (o cabeçote extrudor está soltando uma quantia maior de filamento do que a esperada). Quando ocorre o excesso de extrusão, o bico da impressora pressiona as camadas e o filamento em excesso é extrudado para as laterais das paredes externas da peça,

Para realizar o ajuste do fluxo de filamento, Laffranchi (LAFFRANCHI, 2020b) utilizou um cubo excluindo as faces inferior e superior. No *software* Ultimaker Cura, definiu a largura de extrusão como 0,4 mm e 2 filetes para a parede. Com isso, a espessura da parede deve resultar em 0,8 mm. Para o valor de fluxo inicial, foi utilizada a configuração padrão do software (1). A peça foi impressa e, com o auxílio de um paquímetro digital, foram realizadas 4 medições ao longo da parede. A correção do fluxo e obtida multiplicando o valor de fluxo antigo pela largura de extrusão desejada e dividindo pela média obtida nas medições. Para o teste realizado, o novo fluxo obtido pela equação foi de 1,40 (140%). Colocando esse valor para fluxo no *Ultimaker Cura*, e imprimindo novamente, obteve-se uma peça com espessura de parede de 0,80mm, como esperado.

Umidade no filamento

De acordo com Carvalho (2019), os insumos utilizados na impressão 3D são materiais poliméricos, que tem como uma de suas características serem higroscópicos (absorvem a umidade do ar). Um filamento úmido pode gerar defeitos na impressão, diminuindo a qualidade visual, queda na adesão de camadas, alterações nas propriedades mecânicas, afetando o pós-processamento, além de gerar *stringings* na peça. De acordo com Kamio e Onda (2022), um problema que pode ocorrer é a obstrução do bico extrusor, além da quebra do filamento.

Esse é um problema que, na maioria das vezes, não pode ser detectado previamente à impressão. Porém, existe um teste simples que dependendo do filamento e da porcentagem de umidade absorvida, pode indicar se o filamento apresenta excesso de umidade. O teste consiste em dobrar o filamento e verificar se ele permanece inteiro, o que indica que o filamento não está úmido, ou se quebra, indicando excesso de umidade (3DLAB SOLUÇÕES EM IMPRESSÃO 3D, 2016).

Segundo Carvalho (2019), a boa manutenção dos insumos e armazenamento em condições próprias para manter suas propriedades é de vital importância para que não haja perda de custo e tempo no projeto. No estudo realizado pelo autor, foi analisada a eficiência da sílica gel como desumidificador de filamentos para impressão 3D, em que foi proposto um modelo matemático para analisar o fluxo de desumidificação gerado pela sílica gel. Foram encontrados resultados satisfatórios para implementação do mecanismo.

Além disso, existem outros mecanismos para corrigir o problema de umidade nos filamentos. O PrintDry é um mecanismo que utiliza calor para aquecer os filamentos e assim retirar a umidade presente. A temperatura de trabalho desse mecanismo depende de cada filamento e sempre deve ser menor que a temperatura de transição vítrea. Uma vantagem desse equipamento é que pode servir para armazenamento de filamento durante a impressão, o que é muito útil para filamentos altamente higroscópicos como TPU e Nylon. Uma desvantagem deste tipo de equipamento é o tempo demandado para secar cada filamento, como é descrito por Marcello Eberhard Biffignandi (2021) em seu canal do Youtube “Br Makers”, que após realizar testes, observou que foi possível retirar aproximadamente 2 gramas de umidade após 6 horas de secagem.

Acabamento Superficial

Gómez-Gras *et al.* (2021) afirmam que a qualidade superficial de peças manufaturadas por impressão 3D pelo processo de FDM é um dos problemas mais críticos associados à essa tecnologia.

Gómez-Gras *et al.* (2021) afirmam em suas pesquisas que os principais parâmetros que influenciam na qualidade superficial final da peça impressa são: a orientação de impressão e a espessura da camada. Outro aspecto que deve ser analisado quando se trata de acabamento superficial é o tratamento das peças pós impressão. De acordo com Silva (2020b), as diferentes camadas horizontais de deposição do material podem ser visíveis, assim sendo a peça pode ficar com mau acabamento, necessitando de intervenção manual para que seja possível obter um melhor acabamento. O estudo de Zhang (2017) apresenta uma técnica para melhorar o acabamento superficial de peças impressas em ABS, a partir da suavização pelo vapor da acetona. Essa abordagem também foi utilizada no estudo realizado por Azevedo (2013). O procedimento para realizar esse acabamento consiste em: a) Verter aproximadamente uma colher de acetona em um recipiente de vidro; b) Posteriormente, a peça é alocada dentro do recipiente, porém sem entrar em contato direto com a acetona; c) Então o recipiente é colocado sobre uma superfície aquecida, de modo que a acetona líquida se torne vapore assim reaja uniformemente com a superfície da peça.

Porém, esse tratamento superficial não é eficiente para outros filamentos, como PLA. Laffranchi (2021) testou uma técnica de acabamento superficial para peças impressas com PLA, que consiste em aplicar camadas finas de resina sobre a peça finalizada, na mesma direção das linhas de impressão. Após essa aplicação, deve-se iniciar o processo de cura da resina, usando uma fonte de luz UV por aproximadamente 40 segundos. Para finalizar, o excesso de resina deve ser retirado do objeto usando álcool isopropílico, e por fim, aplicar um primer em spray na peça.

Impressão multi-material

Tian *et al.* (2023) afirmam que a maioria das ferramentas disponíveis para impressão 3D não tem tecnologia para realizar impressões com múltiplos materiais, sendo isso justificado pelos problemas que poderiam surgir com os projetos atuais de bico extrusor: comprometimento da qualidade das peças e um aumento nos riscos de realizar a obstrução do bico. Os estudos realizados por Tian *et al.* (2023) e Chen *et al*. (2019) abordam a otimização de bicos de extrusão para possibilitar a impressão com múltiplos materiais.

Chen *et al.* (2019) observam em sua pesquisa que o principal motivo para ocorrer a obstrução do bico é o formato do canal em L por onde passa o filamento. Assim, ele realizou uma modificação na geometria no canal de fluxo, projetado com um ângulo obtuso para evitar sua obstrução. Outra melhoria realizada foi mover o termostato que controla a temperatura do bico para o centro, visto que o bico que estava em processo de otimização continha 3 tubos principais com simetria, o que possibilita uma

melhor leitura da distribuição de temperatura. Os materiais para cada componente do bico também foram analisados. Isso permite uma evolução contínua nos processos de impressão, visto que a carência de possibilidade e ferramentas de impressão que permitam a utilização de múltiplos materiais inviabiliza esse processo como manufatura de determinados produtos.

Necessidade de utilização de suportes para impressão

Wang, Liu e Zhang (2022) afirmam que um problema da impressão 3D é a necessidade da utilização de suportes para peças com geometrias mais complexas. De acordo com Tamir *et al.* (2022), a qualidade final da impressão é significativamente afetada pelo processo de remoção do suporte. Além disso, os suportes devem ser corretamente projetados para que não haja problemas na impressão, além de encarecer o processo, por conta da necessidade de descarte do filamento. No estudo realizado por Lianghua e Xinfeng (2019), erros na impressão relacionados aos suportes são citados, como por exemplo: posicionamento incorreto, ângulo de suporte e método de suporte utilizado.

Considerando essa desvantagem Micinski, Bryla e Martowicz (2021) desenvolveram um manipulador integrado à impressora para realizar o processo de impressão utilizando uma abordagem multi-axial. O design do manipulador foi feito em software CAD e dimensionado para se adaptar à impressora *Prusa i3 MK3S*. A instalação substituindo a base original da impressora pelo manipulador é indicada. O número de estruturas mecânicas foi reduzido ao mínimo, garantindo a possibilidade de roteamento de cabos para aquecer a nova superfície base da extrusão. O design de elementos individuais foi otimizado para prototipagem rápida, sendo possível imprimir a maioria das peças em tecnologia FDM. Como resultado do trabalho, foi possível realizar impressões com resultados satisfatórios sem a necessidade da utilização de suportes.

Com base nos principais problemas evidenciados na impressão 3D e suas possíveis soluções, fica evidente a importância de se conhecer o processo de manufatura aditiva para sua implementação, corroborando para que os docentes que estão adentrando ao uso desta técnica a utilizem com maior precisão de tempo e material, pois como demonstra Tarsso e Ferreira (2020) e Ribeiro (2023), a ausência de cursos de formação docente inicial ou continuada que incorporem o uso de tal tecnologia pode ser um impeditivo para seu uso. Com isso, esta RS aproxima a impressão 3D dos processos de ensino-aprendizagem (NASCIMENTO *et al.,* 2022).

A ausência de formação e o fato de a impressão 3D ser uma tecnologia recente nos ambientes educacionais pode causar um certo temor nos docentes, principalmente quando estes se deparam com barreiras que vão além da sua compreensão, como por exemplo erros específicos desta técnica, e uma

RS que reúna os principais erros e suas possíveis soluções reforça a possibilidade de que tal tecnologia deve-se fazer presente em todos os níveis educacionais, desde a educação básica à superior.

Outro fator que corrobora os achados desta RS é diminuir a possível perda de material em decorrência de testes ou erros inesperados, pois como trata-se de uma tecnologia com materiais e insumos de alto valor (VOLPATO; CARVALHO, 2017), a margem para erros é mais restrita do que a incorporação de outras tecnologias em ambientes educacionais.

CONCLUSÃO

Este estudo explicitou inúmeros parâmetros que influenciam na qualidade final de uma peça obtida pelo processo de MA por FDM. Tais parâmetros, afetam desde a qualidade visual da peça até propriedades mecânicas. Com isso, conclui-se que seu ajuste é essencial para produzir peças funcionais e que atendam aos objetivos propostos pelo docente, como por exemplo a impressão de materiais didáticos adaptados para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem de crianças com deficiências visuais, auditivas ou motoras.

Foram evidenciados nos artigos analisados nesta RS, problemas que decorrem do ajuste não ideal da temperatura de extrusão do filamento, o que pode influenciar na adesão entre camadas, qualidade visual da peça, gerando *stringings* quando a temperatura especificada for muito elevada, além de um aspecto derretido para mesma condição. Já em relação a baixas temperaturas, o principal fenômeno evidenciado foi a sub-extrusão, observando-se falhas nas peças em decorrência da falta de deposição de filamento em um determinado ponto. Outro parâmetro que também pode ser especificado no *software* de fatiamento, e que se não ajustado corretamente pode gerar *stringings* na peça, é a retração, caracterizada pela diminuição de pressão no bico extrusor quando existe uma descontinuidade na peça. Aqui, é importante destacar que o indicado é realizar primeiro o ajuste da temperatura e depois da retração. Por fim, outro parâmetro diretamente relacionado ao *software* de fatiamento foi o fluxo de filamento, que quando ajustado pode evitar a sub-extrusão ou o excesso de extrusão.

Além disso, foram apresentados outros processos que influenciam na qualidade da impressão, mas que não se caracterizam como parâmetros do *software* de *slicing*, como a escolha do *software* de impressão pelo docente, a análise de umidade no filamento a ser utilizado, além de processos pós-impressão que podem aumentar a qualidade da peça e dependendo do objetivo, torná-la efetivamente funcional.

Por fim, conclui-se que para a obtenção de um bom resultado nas peças manufaturadas por FDM, existem inúmeros processos a serem seguidos antes de realizar a impressão. Essa RS buscou sumarizar

alguns desses processos importantes para auxiliar o leitor no desenvolvimento de projetos, bem como, possíveis caminhos para solucionar alguns dos problemas evidenciados. Pretende-se futuramente realizar a testagem de algumas soluções propostas, visando a divulgação científica de tais resultados, haja vista a carência de material científico, pois, algumas das soluções apresentados foram retirados de fontes externas à academia.

REFERÊNCIAS

3DLAB SOLUÇÕES EM IMPRESSÃO 3D. "Como resolver a umidade no filamento para impressora 3D? Descubra!". **3DLAB Soluções em impressão 3D** [2016]. Disponível em: <www.3dlab.com.br>. Acesso em: 26/09/2023.

ALVAREZ, C. K. L.; LAGOS, C. R. F.; AIZPUN, M. "Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM)". **Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería**, vol. 24, 2016b.

ALVAREZ, C. K. L.; LAGOS, C. R. F.; AIZPUN, M. "Investigating the influence of infill percentage on the mechanical properties of fused deposition modelled ABS parts". **Ingeniería e Investigación**, vol. 36, n. 3, 2016a.

AZEVEDO, F. M. **Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D** (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica). São Carlos: USP, 2013.

BASNIAK, M. I.; LIZIERO, A. R. "A impressora 3D e novas perspectivas para o ensino: Possibilidades permeadas pelo uso de materiais concretos". **Revista Observatório**, vol. 3, n. 4, 2017.

BAUMANN, F. W. *et al.* "Influence of slicing tools on quality of 3D printed parts". **Computer-Aided Design and Applications**, vol. 13, n. 1, 2016.

BEZERRA, A. S. *et al.* "Da iniciação à impressão 3D à confecção de módulos didáticos". **Anais da X Edição da Feira de Ensino, Pesquisa e Extensão**. São Francisco do Sul: IFSC, 2022.

BIFFIGNANDI, M. E. "como cuidar bem do filamento 3D – armazenamento, secagem e várias dicas de impressão 3D". **Canal Br Makers** [2021]. Disponível em: <www.youtube.com.br>. Acesso em: 26/09/2023.

BIROSZ, M. T.; SAFRANYIK, F.; ANDÓ, M. "Concurrent shape and build orientation optimization for FDM additive manufacturing using the principal stress lines (PSL)". **Heliyon**, vol. 9, 2023.

BOCHNIA, J.; BLASIAK, M.; KOZIOR, T. "A Comparative Study of the Mechanical Properties of FDM 3D Prints Made of PLA and Carbon Fiber-Reinforced PLA for Thin-Walled Applications". **Materials**, vol. 14, 2021.

CACHAÇO, A. P. M. **Estudo de desvios geométricos em impressão 3D em peças axissimétricas** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica). Lisboa: FCT, 2019.

CARUSO, R. C.; SILVA, S. C. R. "A otimização de impressão 3D de um dominó para o ensino inclusivo". **Anais do XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**. Santa Helena: UTFPR, 2022.

CARVALHO, L. F. B. **Otimização topológica de estruturas com restrições de flambagem Aplicada à manufatura aditiva** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica). Belo Horizonte: UFMG, 2020.

CARVALHO, M. N. **Análise de desempenho de um ciclo de regeneração de sílica gel como desumidificador de filamentos para impressão 3D** (Projeto de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica). Rio de Janeiro: UFRJ, 2019.

CEA, K. *et al.* "Avaliação de parâmetros em andaimes de PLA e PCL a serem utilizados em tecidos cartilaginosos". **Revista Mexicana de Engenharia Biomédica**, vol. 42, n. 2, 2021.

CHEN, Y. *et al.* "Optimization design of color mixing nozzle based on multi physical field coupling". **Proceedings of the 2018 10th International Conference on Computer and Automation Engineering**. Washington: ICCAE, 2019.

EROFEEV, V. T. *et al.* "Optimization of the Strength Characteristics of the Cellular Structure in Samples of Thermoplastic Polyester". **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Rússia: SPCECI, 2019.

GÓMEZ-GRAS, G. *et al.* "Experimental study on the accuracy and surface quality of printed versus machined holes in PEI Ultem 9085 FDM specimens". **Rapid Prototyping Journal**, vol. 27, n. 11, 2021.

GONÇALVES, R. A. R. **Estudo da impressão 3D de baixo custo de geometrias complexas obtidas a partir de modelos matemáticos** (Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Porto: UP, 2017.

GUAN, Y. *et al*. "Development of 3D printing entity slicing software". **China Foundry - Research and Development**, vol. 18, n. 6, 2021.

HORNUS, S. *et al.* "Variable-width contouring for additive manufacturing". **ACM - Transactions on Graphics**, vol. 39, n. 4, 2020.

KAMIO, T.; ONDA, T. "Fused Deposition Modeling 3D Printing in Oral and Maxillofacial Surgery: Problems and Solutions". **Cureus**, vol. 14, n. 9, 2022.

KHOLIL, A., *et al.* "Simulation of temperature distribution in 3D printing heated chamber on orientation and temperature variations with ABS material". **Journal of Physics: Conference Series**, 2596, 2023.

KILAND, A. "Heat tower (190-240) 5mm steps". **UltiMaker Thingiverse** [2017]. Disponível em: <www.thingiverse.com>. Acesso em: 26/09/2023.

LAFFRANCHI, M. "Calibrando a retração do filamento - Impressão 3D". **3D Geek Show** [2017]. Disponível em: <www.youtube.com.br>. Acesso em: 26/09/2023.

LAFFRANCHI, M. "Como calibrar a temperatura da sua impressora 3D ENDER 3". **3D Geek Show** [2020a]. Disponível em: <www.youtube.com.br>. Acesso em: 26/09/2023.

LAFFRANCHI, M. “Como calibrar o fluxo de filamento da sua impressora 3D ENDER 3”. **3D Geek Show** [2020b]. Disponível em: <www.youtube.com.br>. Acesso em: 26/09/2023.

LAFFRANCHI, M. “Como dar acabamento em PLA – Testei uma alternativa”. **3D Geek Show** [2021]. Disponível em: <www.youtube.com.br>. Acesso em: 26/09/2023.

LI, X. *et al.* “A Combination of Vision- and Sensor-Based Defect Classifications in Extrusion-Based Additive Manufacturing”. **Journal of Sensors**, vol. 2023, 2023.

LIANGHUA, Z.; XINFENG, Z. “Error Analysis and Experimental Research on 3D Printing”. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Pequim: MTMCE, 2019.

LIMA, J. F. **Sistema de melhoria da adesão entre camadas na impressão tridimensional de termoplásticos** (Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Porto: UP, 2017.

LIMA, L. F.; MARQUES, V. A. S.; SHIMANO, M. M. “Influência da temperatura ambiente no comportamento mecânico do PLA utilizado em manufatura aditiva”. **Revista Matéria**, vol. 27, n. 4, 2022.

LOAIZA, M. J. C. *et al*. “Influência da posição de impressão e da densidade de enchimento nas propriedades mecânicas das sondas fabricadas em ABS”. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, vol. 19, n. 37, 2021.

MARCONDES, R.; SILVA, S. L. R. “Jean Piaget no ensino superior? O uso das atividades operatórias piagetianas nos últimos 50 anos”. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, vol. 103, n. 263, 2022.

MARWAH, O. M. F. *et al.* “Investigation For Shrinkage Deformation In The Desktop 3D Printer Process By Using DOE Approach Of The ABS Materials”. **Journal of Physics: Conference Series**, n. 1150, 2019.

MENG, F.; CUI, H.; WANG, M. “Mechanical Properties and Forming Quality of PLA Based on Computer 3D Printing Parameters”. **Journal of Physics: Conference Series**, n. 2566, 2023.

MICINSKI, P.; BRYLA, J.; MARTOWICZ, A. “Multi-axis Fused Deposition Modeling using parallel manipulator integrated with a Cartesian 3D printer”. **International Journal of Multiphysics**, vol. 15, n. 3, 2021.

NASCIMENTO, Y. N. *et* al. “Considerações sobre o uso das tecnologias digitais na educação básica”. *In*: FINELLI, L. A. C.; RUAS, A. M. G. (orgs.). **Experiências de educação em tempos de educação híbrida**. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022.

NAZAN, M. A. *et al.* “An exploration of polymer adhesion on 3D printer bed”. **Anais do IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**. Malásia: University of Malaya, 2017.

OSKOLKOV, A.; BEZUKLADNIKOC, I.; TRUSHNIKOV, D. “Indirect Temperature Measurement in High Frequency Heating Systems”. **Sensors**, 21, 2561, 2021.

PAGE, M. J. *et al.* “The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reportingn systematic reviews”. **The BJM**, vol. 372, n. 71, 2021.

PARRADO-AGUDELO, J. Z.; NARVÁEZ-TOVAR, C. "Caracterización mecánica de piezas de ácido poliláctico, policaprolactona y Lay-Fomm 40 fabricadas por modelado de deposición fundida, en función de los parámetros de impresión". **ITECKNE**, vol. 16, n. 2, 2019.

PIRES, M. I. F.; VINHOLI JUNIOR, A. J. "Impressão 3D e pesquisas em ciências da natureza: um olhar sobre a produção científica na área". **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, vol. 5, n. 1, 2022.

POPA, A. *et al.* "Evaluation of the Mechanical Properties of the Samples Made by FDM 3D Printing". **Materiale Plastice**, vol. 56, n. 3, 2019.

PRADO, A. N.; MATTOS, É. C. A.; RODRIGUES, F. S. "Manufatura Aditiva: Conceitos, aplicações e impactos na gestão". **Anais do III Encontro Internacional de Gestão Desenvolvimento e Inovação**. Naviraí: UFMS, 2019.

RECH, F. *et al.* "Formulação e caracterização de potenciais filamentos compósitos de PLA e talos de tabaco para aplicação em manufatura aditiva". **Revista Matéria**, vol. 26, n. 2, 2021.

RIBEIRO, J. A. **Movimento *Maker* e a educação no ensino de ciências**: Desenvolvimento de um curso para professores na criação de materiais didáticos *open source* com o uso de impressão 3D (Dissertação de Mestrado em Educação e Docência). Belo Horizonte: UFMG, 2023.

SANTANA, L. **Avaliação de uma impressora 3D baseada em projeto de código aberto na fabricação de peças em PLA** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica). Florianópolis: UFSC, 2015.

SANTANA, L. *et al*. "Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica". **Revista Matéria**, vol. 23, n. 4, 2018.

SILVA, A. R. F. **Fabricação aditiva no design de moda** (Dissertação de Mestrado em Design de Moda). Covilhã: Universidade Beira Interior, 2020a.

SILVA, P. A. P. **Parametrização reológica do comportamento de blendas autorreparáveis durante o processo de impressão 3D** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas). Belo Horizonte: UFMG, 2020b.

SILVA, P. C. *et al*. "Impressão 3D: Um guia prático". **Brazilian Journal of Development**, vol. 6, n. 11, 2020.

SOUZA, A. M.; AMARO, A. M.; PIEDADE, A. P. "3D Printing of Polymeric Bioresorbable Stents: A Strategy to Improve Both Cellular Compatibility and Mechanical Properties". **Polymers**, vol. 14, 2022.

SPAGGIARI, A.; FAVALI, F. "Evaluation of polymeric 3D printed adhesively bonded joints: effect of joint morphology and mechanical interlocking". **Rapid Prototyping Journal**, vol. 28, n. 8, 2022.

TAMIR, T, S. *et al*. "A feedback-based print quality improving strategy for FDM 3D printing: an optimal design approach". **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, vol. 120, 2022.

TARSSO, G. S. J.; FERREIRA, A. A. "Impressão 3D como Recurso para o desenvolvimento de Material Didático: Associando a Cultura *Maker* à Resolução de Problemas". **RENOTE**, vol. 18, n. 1, 2020.

TIAN, C. *et al.* "Multi-Material 3D-Printing Nozzle Design Based on the Theory of Inventive Problem Solving and Knowledge Graph". **Designs**, vol. 103, 2023.

TIGNIBIDIN, A. V.; TAKAYUK. "Additive technologies for prototyping. Control of geometrical characteristics of abs plastic details for determining the original print sizes". **Journal of Physics**, vol. 1210, 2019.

TULCAN, A.; VASILESCU, M. D.; TULCAN, L. "Comparative Study of the Influence of Bio-Resin Color on the Dimension, Flatness and Straightness of the Part in the 3D Printing Process". **Polymers**, vol. 13, n. 1412, 2021.

VERMA, N. *et al.* "Fused Deposition Modeling of Polyolefins: Challenges and Opportunities". **Macromolecular Materials and Engineering**, vol. 308, 2023.

VIEIRA, E. F. T.; MIRANDA, P. H. C. **Modelagem e impressão 3D de ferramentas didáticas para o curso de agronomia** (Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia). Belém: UFRA, 2021.

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. "Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D". *In*: MUNHOZ, A. L. J. *et al*. (orgs.). **Manufatura Aditiva**: Tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

WANG, Z.; LIU, Y.; ZHANG, S. "Preparation Method of High Resilience Nonslip Basketball Sole Composite Material". **Journal of Nanomaterials**, vol. 22, 2022.

WIELEWSKI, G. D. **Aspectos do pensamento matemático na resolução de problemas**: uma apresentação contextualizada da obra de Krutetskii (Tese de Doutorado em Educação Matemática). São Paulo: PUC, 2005.

WONG, K. V.; HERNANDEZ, A. "A Review of Additive Manufacturing". **International Scholarly Research Notices**, vol. 2012, 2012.

YU, N. *et al*. "Effects of auxiliary heat on warpage and mechanical properties in carbon fiber/ABS composite manufactured by fused deposition modeling". **Materials and Design**, vol. 195, 2020.

ZHANG, S. "Degradation Classification of 3D Printing Thermoplastics Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Artificial Neural Networks". **Applied Sciences**, vol. 8, 2018.

ZHANG, S. "Numerical evaluation of ABS parts fabricated by fused deposition modeling and vapor smoothing". **Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal**, vol. 2, n. 6, 2017.

ZHANG, Y.; MOON, S. K. "The Effect of Annealing on Additive Manufactured ULTEM™ 9085 Mechanical Properties". **Materials**, vol. 14, 2021.

ZHU, Y. *et al.* "Study on Effects of FDM 3D Printing Parameters on Mechanical Properties of Polylactic Acid". **Anais do IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 688**. Pequim: ICTETS, 2019.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano V | Volume 16 | Nº 47| Boa Vista |2023

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima