https://doi.org/10.47456/bjpe.v11i3.48046 ARTIGO ORIGINAL | OPEN ACCESS

MANUFATURA ADITIVA E O AMBIENTE MAKER: SINERGIA PARA TRANSFORMAR O ENSINO DE DESENHO TÉCNICO E MODELAGEM 3D

Additive manufacturing and the maker environment: synergy to transform the teaching of technical design and 3d modeling

Fabricación aditiva y entorno maker: sinergia para transformar la enseñanza del diseño técnico y el modelado 3d

Victor Rasquinho Ho Te Chang [1], Dominycke Guasti de Melo [2], & Sinval Pedroso da Silva [3*]

[1 2 3] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Congonhas
[1] victorhtchang@gmail.com [2] dominycke@outlook.com [3*] sinval.pedroso@ifmg.edu.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 22.04.2025
Aprovado: 26.05.2025
Disponibilizado: 23.07.2025

PALAVRAS-CHAVE: Aprendizagem ativa; Impressão 3D educacional; Tecnologias digitais na educação
KEYWORDS: *Active learning; Educational 3D printing; Digital technologies in education.*
PALABRAS CLAVE: *Aprendizaje activo; Impresión 3D educativa; Tecnologías digitales en la educación.*

***Autor Correspondente**: **Silva, S. P. da.**

RESUMO

A dificuldade em visualizar objetos tridimensionais é um desafio comum no processo de ensino e aprendizagem de desenho técnico e modelagem 3D. Assim, este trabalho propôs o uso da manufatura aditiva como estratégia para superar esta dificuldade e contribuir para preparar melhor os discentes para a resolução de problemas reais na área de estudo. A metodologia integrou software CAD com impressão 3D, combinando teoria e prática por meio da prototipagem rápida de peças e conjuntos mecânicos. Para avaliar a eficácia da técnica adotada, aplicou-se um pré-teste no início do semestre e um pós-teste ao final, com oito discentes matriculados na disciplina de Modelamento Mecânico 3D, representando a totalidade da turma exposta à metodologia. Os resultados mostraram um aumento médio de 46,4 % nas notas obtidas no pós-teste em comparação ao pré-teste. Os dados sugerem que a técnica pode ter contribuído para uma aprendizagem mais significativa, com melhor compreensão dos conceitos e maior engajamento dos estudantes.

ABSTRACT

The difficulty in visualizing three-dimensional objects is a common challenge in the teaching and learning process of technical drawing and 3D modeling. Thus, this work proposed the use of additive manufacturing as a strategy to overcome this difficulty and contribute to better preparing students to solve real problems in the study area. The methodology integrated CAD software with 3D printing, combining theory and practice through rapid prototyping of mechanical parts and assemblies. To evaluate the effectiveness of the adopted technique, a pre-test was applied at the beginning of the semester and a post-test at the end, with the eight students enrolled in the 3D Mechanical Modeling discipline, representing the entire class exposed to the methodology. The results showed an average increase of 46.8% in the grades obtained in the post-test compared to the pre-test. The findings suggest that the technique may have contributed to more meaningful learning, with greater understanding of concepts and better student engagement.

RESUMEN

La dificultad de visualizar objetos tridimensionales es un desafío común en el proceso de enseñanza y aprendizaje del dibujo técnico y modelado 3D. Así, este trabajo propuso el uso de la fabricación aditiva como estrategia para superar esta dificultad y contribuir a preparar mejor a los estudiantes para resolver problemas reales en el área de estudio. La metodología integró software CAD con impresión 3D, combinando teoría y práctica a través del prototipado rápido de piezas y conjuntos mecánicos. Para evaluar la efectividad de la técnica adoptada, se aplicó un pre-test al inicio del semestre y un post-test al final, con los ocho estudiantes matriculados en la disciplina de Modelado Mecánico 3D, representativos de toda la clase expuesta a la metodología. Los resultados mostraron un incremento promedio del 46,4% en las puntuaciones obtenidas en el post-test en comparación con el pre-test. Los datos sugieren que la técnica puede haber contribuido a un aprendizaje más significativo, con una mayor comprensión de los conceptos y una mejor participación de los estudiantes.

CC BY 4.0 DEED

INTRODUÇÃO

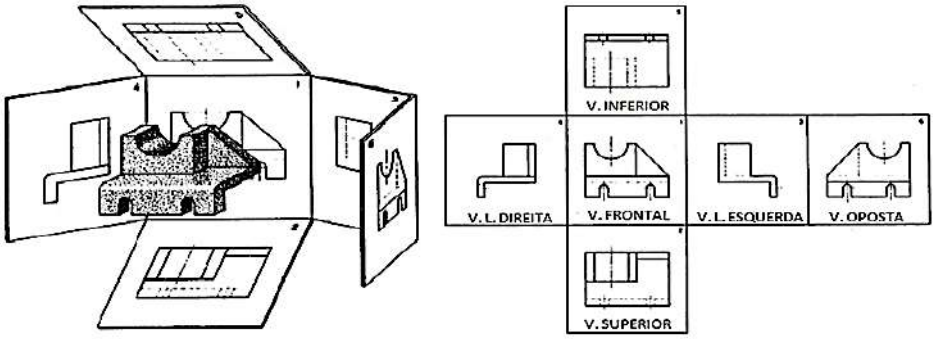
Um contexto institucional que valorize a inovação, o empreendedorismo e que ofereça suporte efetivo aos docentes é fundamental para o sucesso do processo de ensino-aprendizagem. De acordo com Talukder, Lakner, & Temesi (2024), a educação empreendedora desempenha um papel essencial no fomento de uma cultura empreendedora e na promoção do crescimento do setor de pequenas e médias empresas em uma nação, com avanço rápido em pesquisas nas últimas duas décadas, especialmente devido aos métodos evolutivos de comunicação acadêmica e mudanças nas áreas de foco em tópicos de estudo. Outro ponto importante em curso nos Estados Unidos é a transformação dos parques tecnológicos. Antes concentrados em áreas suburbanas, reunindo universidades, laboratórios de pesquisa e o setor privado, os parques tecnológicos se adaptam ao crescente movimento da atividade empreendedora e *startups* de alta tecnologia em direção aos centros urbanos (MPI, 2014).

A incorporação de tecnologias avançadas, como o CAD 3D (Desenho e Projeto Auxiliados por Computador em 3 dimensões) e a manufatura aditiva, no ensino de disciplinas técnicas pode transformar significativamente a maneira como os discentes compreendem e aplicam conceitos técnicos de forma prática. Neste contexto, a linguagem gráfica em desenho técnico pode ser entendida como uma linguagem universal e formal, essencial para a representação precisa de objetos e conceitos, uma vez que estrutura informação simbólica de forma clara e padronizada (Martín-Erro & Nuere, 2024; Carrara et al., 2024).

Os desenhos e modelos de projeto são representações gráficas iniciais de um produto, criadas nas fases de ideação e refinamento, que servem como base para a fabricação completa do produto, e fornecem dados cruciais para outros processos de engenharia (Bertoline *et al.*, 2010). Assim, o desenvolvimento de habilidades para visualização espacial de uma imagem em um plano 2D (duas dimensões) ou de uma peça é um dos principais aspectos de aprendizagem de desenho técnico. A demanda por profissionais com habilidades de visualizar o plano 2D em 3D (três dimensões) vem aumentando diante de uma sociedade industrializada voltada ao desenvolvimento de produtos - uma competência cognitiva associada ao sucesso na formação e atuação em engenharia (Serdar & de Vries, 2015).

A junção de dois semiplanos perpendiculares entre si forma o plano tridimensional no qual o desenho é projetado (Francesconi, 2010). A vista frontal é considerada a principal vista, a qual representa o lado do objeto que possui mais detalhes, a partir da qual determinará a posição das outras vistas a serem projetadas (Figura 1).

Figura 1. Projeção ortográfica de uma peça no 1° diedro



Fonte: Francesconi (2010).

A pirâmide de aprendizado classifica os métodos de ensino com base em sua eficácia na retenção do conhecimento pelos discentes, mostrando que atividades mais ativas e colaborativas, como a resolução de problemas em grupo, promovem uma retenção mais duradoura do aprendizado em comparação com métodos passivos, como palestras ou leitura individual (Magennis & Farrel, 2005). Nesse contexto, a manufatura aditiva e o ambiente *maker* (*fazer ou criar*) têm um papel significativo no aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem. Ludwig et al. (2017) afirma que é notório os benefícios que a manufatura aditiva proporciona para a aprendizagem dos discentes de engenharia e de outros cursos.

O termo manufatura aditiva abrange diversas denominações que destacam suas características e aplicações, como: Prototipagem rápida, enfatizando a agilidade no desenvolvimento de protótipos; Manufatura instantânea, pela rapidez no processo produtivo; Manufatura acrescendo material, que reflete a essência do método de adição camada por camada; manufatura digital direta, pois elimina intermediários através da integração com modelos 3D digitais; Manufatura rápida, ressaltando a eficiência do processo; Manufatura por camada, pela construção sequencial; Fabricação de forma livre, pela liberdade na criação de geometrias complexas (Volpato, 2017).

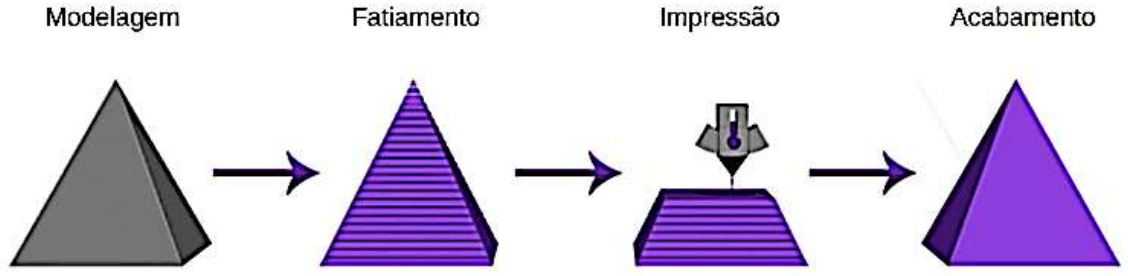
Nos processos de fabricação, a manufatura aditiva emerge como uma ferramenta promissora. Conforme a norma ISO/ASTM 52900, a manufatura aditiva é definida como o processo de unir materiais para criar objetos a partir de modelos 3D, geralmente camada sobre camada (ISO/ASTM, 2021). Isso contrasta com alguns processos tradicionais de fabricação, como a usinagem, que envolve a remoção de material de um bloco maior de matéria prima, que é denominado manufatura subtrativa. A manufatura subtrativa (remoção de material) por meio da usinagem em conjunto com a manufatura aditiva, conseguem sanar a necessidade de maior qualidade em trabalhos, que a manufatura aditiva em si não possibilita (Feriotti et al., 2021).

A manufatura aditiva é um processo de fabricação digital que envolve o fatiamento de modelos tridimensionais em camadas, com a subsequente fabricação aditiva camada por camada, utilizando diversos tipos de materiais (Karevska et al., 2019), como o PLA (Ácido Polilático) ou ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno). O PLA é um polímero biodegradável derivado de recursos renováveis e utilizado especialmente em impressão 3D, enquanto o ABS é um termoplástico resistente e amplamente utilizado em impressão 3D e componentes estruturais. As etapas de manufatura aditiva (Figura 2) foram assim definidas de acordo com Fernandes (2016):

- Modelagem: a modelagem 3D de uma peça pode ser feita por meio de um *software* de CAD, *scanner* 3D ou por um sistema de câmeras integrado a um *software* de fotogrametria;
- Fatiamento: O modelo 3D é exportado do *software* CAD no formato STL (*Stereolithography* - estereolitografia) e importado para um *software* de fatiamento. Este *software* divide o modelo 3D em diversas seções transversais e gera um arquivo no formato G-Code (uma linguagem de programação para máquinas). O arquivo G-code contém todas as informações necessárias para que a impressora 3D execute a impressão do modelo;

- Impressão: Refere-se aos processos de deposição de material realizados pela impressora 3D para construir a peça ou objeto tridimensional, convertendo um modelo digital em uma entidade física;
- Acabamento: Em certas situações, para alcançar um acabamento superficial melhor no modelo impresso, pode ser necessário realizar uma etapa de lixamento manual da peça.

Figura 2. Etapas do processo de manufatura aditiva



Fonte: Oaloo (2021).

Com relação aos materiais utilizados na impressão 3D, os polímeros são os mais comuns, sendo as impressoras 3D de polímeros as mais utilizadas em comparação com qualquer outra tecnologia (Vicente et al., 2023). Em um estudo realizado, 72% das empresas que utilizavam a manufatura aditiva optaram por sistemas baseados em polímeros, enquanto 49% utilizavam sistemas de metal (Karevska et al., 2019). A indústria aeroespacial lidera o uso e a aplicação de tecnologias de manufatura aditiva, impulsionada pela eficiência e segurança das aeronaves, bem como pelos avanços nos materiais e na prototipagem rápida (Research and Markets, 2024).

A adoção de tecnologias inovadoras no ambiente educacional não apenas torna as aulas interessantes e dinâmicas, mas também prepara melhor os estudantes para enfrentar os desafios do século XXI. Ao promover a inovação, os professores podem criar experiências de aprendizado mais envolventes e desafiadoras, contribuindo para a formação de profissionais mais competentes e adaptáveis às demandas do mercado de trabalho contemporâneo. A utilização de métodos ativos traz práticas que estimulam a criatividade e inovação dos discentes, tendendo a desenvolver relações significativas com o aprendizado de maneiras atrativas (Souza, 2020).

A crescente demanda por profissionais inovadores exige que as instituições de ensino superior adaptem suas práticas pedagógicas. Paralelamente, a ampliação da disponibilidade de tecnologias digitais torna imprescindível a formação continuada dos docentes, permitindo que adquiram as competências necessárias para integrar essas tecnologias de forma eficaz em suas práticas de ensino. A implementação de novas tecnologias em sala de aula enfrenta desafios relacionados à infraestrutura, à cultura institucional e à formação docente, elementos cruciais para promover a inovação (Riedner & Pischetola, 2021). Nesse contexto, a cultura *maker*, caracterizada pela criação e prototipagem, tem o potencial de transformar o ensino técnico e superior. Pesquisas sugerem que a adoção da manufatura aditiva, como a impressão 3D, pode contribuir para expandir a cultura *maker* dentro e fora das instituições, fortalecendo os pilares de ensino, pesquisa e extensão (Mendes & Silva, 2022).

CC BY 4.0 DEED

Utilizou-se o CAD e a manufatura aditiva, por meio da impressão 3D, como ferramentas pedagógicas para criar e fabricar componentes e conjuntos mecânicos com o intuito de serem utilizados durante as aulas de desenho técnico e/ou modelagem 3D de cursos de Engenharia Mecânica e/ou Técnico em Mecânica, com foco no estímulo à criatividade, visualização espacial e aplicação prática dos conhecimentos teóricos para a resolução de problemas de engenharia.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada consistiu na modelagem 3D de peças utilizando o *software Solid Edge*, a impressão 3D com o uso de impressora *Creality*, modelo K1 (ambos disponíveis no Laboratório da instituição de ensino federal), e a avaliação da eficácia na aprendizagem discente foi realizada por meio de aplicação de pré-teste, realizado no início do semestre letivo, e de um pós-teste ao final.

O tipo de pesquisa utilizado foi a aplicada, que consistiu na aplicação imediata e prática dos conhecimentos gerados (Gil, 2019). Sendo utilizados filamentos de PLA (Ácido Polilático) e ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) com diâmetro padrão de 1,75 mm.

A técnica de pré-teste (Gil, 2019), foi utilizada como instrumento de coleta de dados para avaliar o conhecimento prévio dos discentes em desenho técnico antes da introdução das atividades de modelagem mecânica 3D e da manufatura aditiva. Consistiu em questões de desenho técnico com diferentes níveis de dificuldade (fácil, médio e difícil), incluindo perguntas abertas e fechadas. A atividade foi aplicada com oito discentes matriculados na disciplina de Modelamento Mecânico 3D, do curso de Engenharia Mecânica, representando a totalidade da população da turma no período letivo em que foi realizada. Embora o número de participantes seja reduzido, ele abrange integralmente discentes expostos à metodologia avaliada.

Os modelos tridimensionais das peças, desenvolvidos no Solid Edge e salvos no formato .par (peça), foram exportados para o formato .stl, que representa a malha tridimensional do modelo (*Stereolithography*) e amplamente utilizado na impressão 3D. A conversão dos arquivos .stl para o G-code (.gcode), linguagem interpretada pela impressora 3D, foi realizada no *software Creality Print.* Esse fatiador é responsável por segmentar o modelo digital em camadas horizontais e gerar as instruções de movimentação dos eixos X, Y e Z, otimizando o processo de fabricação aditiva, assegurando a qualidade dimensional e superficial das peças.

Antes de iniciar a impressão definitiva das peças, foram criados alguns modelos físicos de peças como testes preliminares, utilizando materiais PLA e ABS e o *software Creality Print*. Para cada modelo, foram ajustados parâmetros como temperatura do bico de extrusão, temperatura da mesa de impressão, fluxo de material (fino e bruto), fluxo de volume máximo, fluxo de PA e fluxo de VFA (*Vertical Fine Artifacts*), de acordo com as especificações técnicas de cada material e os requisitos do projeto. Para realização das medições necessárias para definir os melhores parâmetros (PA e fluxo de volume máximo), utilizou-se um paquímetro analógico com resolução de 0,05 milímetros e capacidade de medição de 0 a 150 milímetros. Como premissa, definiu-se a seleção dos melhores parâmetros para garantir um acabamento

CC BY 4.0 DEED

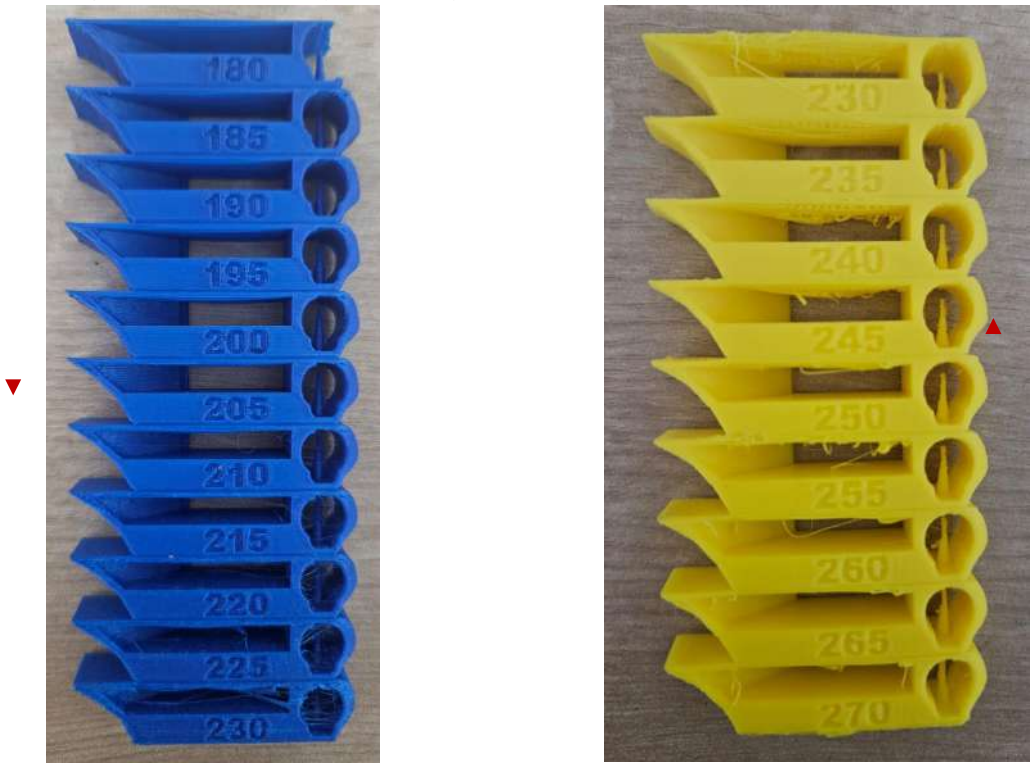
superior das peças definitivas impressas por manufatura aditiva. Os seguintes testes e parâmetros foram realizados para configurar a impressão 3D (Creality, 2024):

Temperatura do bico de extrusão (°C)

A definição precisa da temperatura ideal do bico de extrusão é importante para garantir um acabamento superior nas peças impressas em 3D. Para determinar esses parâmetros de forma empírica, conduziu a impressão de torres de temperatura distintas para os filamentos PLA e ABS. No experimento com o PLA, a temperatura inicial do bico extrusor foi de 230 °C, com decréscimos de 5 °C até atingir 180 °C.

De forma similar, para o ABS, a faixa de temperatura explorada variou de 270 °C a 230 °C, iniciando em 270 °C e com decréscimos de 5 °C até 230 °C. As torres de temperatura resultantes (Figura 3) permitiram a avaliação visual da qualidade de impressão 3D em cada faixa de temperatura. Por meio dessa análise comparativa, identificaram-se as temperaturas de 205 °C para o PLA e 245 °C para o ABS como as mais adequadas. Esses valores foram, então, selecionados e adotados como temperaturas padrão de extrusão para as impressões 3D realizadas neste trabalho, com o objetivo de se obter o melhor acabamento possível.

Figura 3. Torres de temperatura impressas em 3D para calibração: (a) PLA; (b) ABS



(a) (b)

Fonte: Autores (2025).

Temperatura da mesa (°C)

A definição precisa da temperatura de trabalho da mesa de impressão é fundamental para assegurar a aderência eficaz da peça durante o processo de impressão 3D. Para determinar os parâmetros ideais, foram consideradas as temperaturas de impressão recomendadas pelos fabricantes dos filamentos utilizados. Especificamente, para o PLA, adotou-se a temperatura de 60 °C, enquanto para o ABS, estabeleceu-se a temperatura de 110 °C, seguindo as indicações dos respectivos fornecedores.

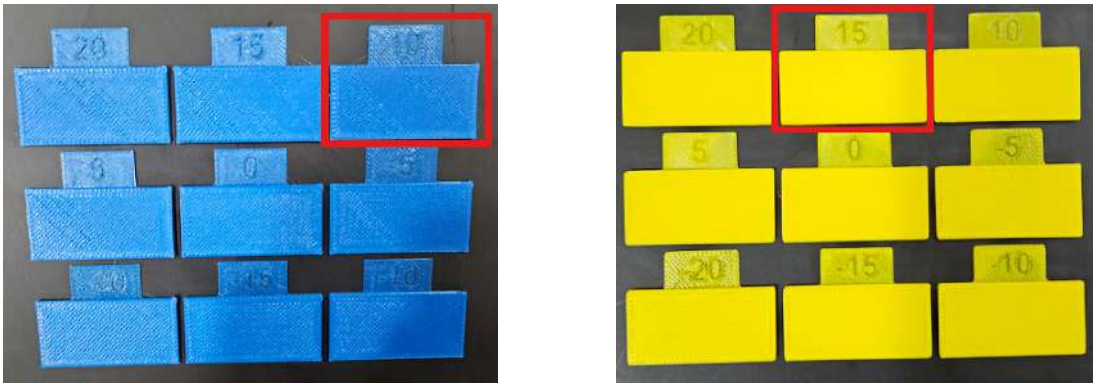
Taxa de fluxo ideal

Para a determinação da taxa de fluxo ideal, torna-se necessário realizar a calibração por meio da impressão de dois testes distintos: o teste de fluxo bruto e o teste de fluxo fino, conforme indicado pelo fabricante da impressora 3D (Creality, 2024).

Passo 1 (ajuste do fluxo bruto)

O ajuste do fluxo bruto é importante para garantir um melhor acabamento superficial da peça. Durante o processo de calibração foram impressas nove peças de cada material, PLA e ABS. A peça 0 foi definida com um parâmetro de fluxo de 100%, enquanto a peça 20 corresponde a um fluxo de 120% e a peça -20 a 80%. As peças intermediárias foram impressas com valores de fluxo variando linearmente entre esses extremos. Por exemplo, a peça -10 corresponde a um fluxo de 90%, a peça -15 a 85%, a peça 10 a 110% e a peça 15 a 115%. Os resultados obtidos, mostrados na Figura 4, indicam que os melhores efeitos de impressão do ajuste do fluxo bruto das peças físicas foram: 110% para o PLA (peça 10) e 115% para o ABS (peça 15).

Figura 4. Teste de ajuste do fluxo bruto em impressão 3D: (a) PLA; (b) ABS



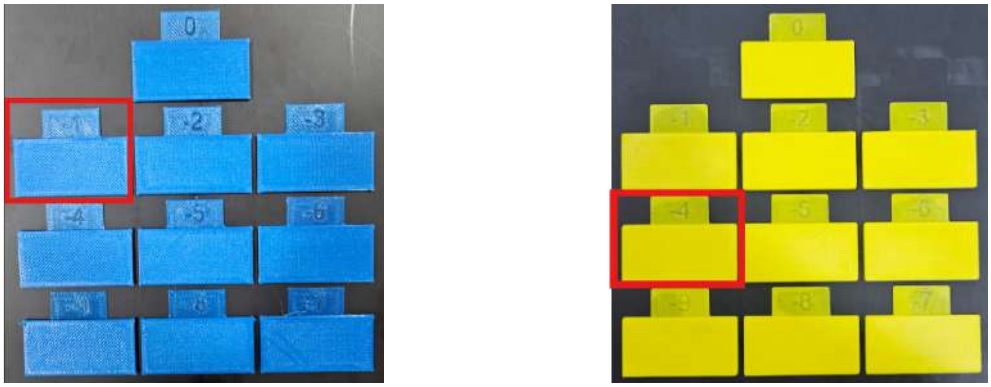
(a) (b)

Fonte: Autores (2025).

Passo 2 (ajuste do fluxo fino)

O ajuste do fluxo fino complementa o ajuste do fluxo bruto e é importante para garantir um melhor acabamento superficial da peça. Durante o processo de calibração foram impressas 10 peças, numeradas de 0 a -9. A peça 0 foi definida com um parâmetro de fluxo de 0%, e as peças -1 a -9 corresponderam a fluxos de -1 a -9%, respectivamente. Os resultados obtidos (Figura 5) indicam que os melhores efeitos de impressão do ajuste do fluxo fino das peças físicas foram: -1% para o PLA e -4% para o ABS.

Figura 5. Teste de ajuste do fluxo fino em impressão 3D: (a) PLA; (b) ABS



(a) (b)

Fonte: Autores (2025).

CC BY 4.0 DEED

Determinação da taxa de fluxo ideal

A taxa de fluxo ideal (TFI) representa o volume de material extrudado em relação ao volume teórico necessário, e frequentemente é expresso em porcentagem. Assim, com base nos valores definidos nos Passos 1 e 2 para o PLA e o ABS, e aplicando a Equação 1 (Creality, 2024), foram obtidas as taxas de fluxo ideal de 109% e 111%, respectivamente, valores acima da faixa de referência recomendada na literatura, que normalmente varia entre 95% e 105% a fim de assegurar qualidade dimensional e boa adesão entre camadas (Creality, 2024).

$$TFI = TFB + TFF \ (\%) \tag{1}$$

Onde:
TFI: Taxa de fluxo ideal (%), parâmetro resultante utilizado para a calibração da taxa de fluxo de extrusão na impressão 3D.

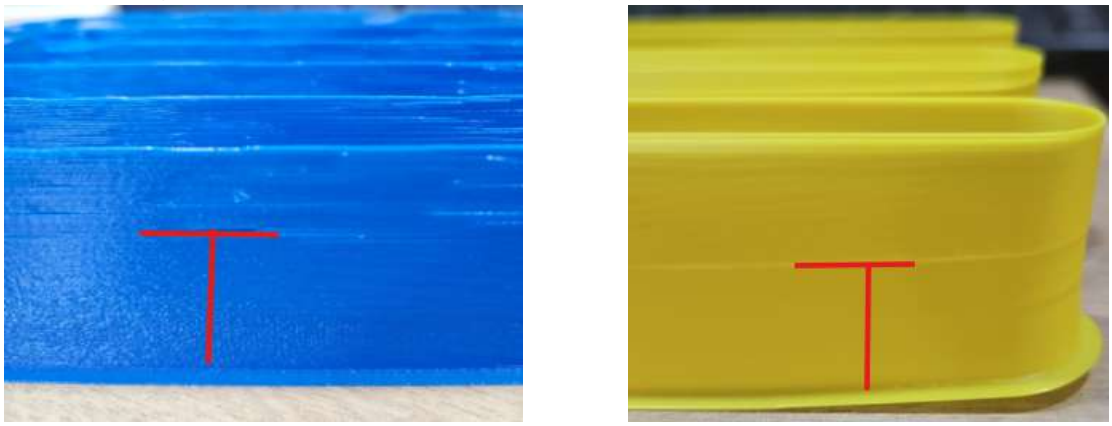
TFB: Valor do Teste de Fluxo Bruto (%), determinado no Passo 1.

TFF: Valor da Teste de Fluxo Fino (%), determinado no Passo 2.

Fluxo volumétrico máximo

A definição do fluxo volumétrico máximo é importante para garantir um melhor acabamento entre as camadas impressas. Para a realização dos testes, foram utilizadas as faixas padrões de impressão tanto para PLA quanto para ABS, sendo a velocidade volumétrica inicial de 5 mm^3/s, a final de 20 mm^3/s e o passo do fluxo de 0,5 mm^3/s. Com isso, foi possível observar a altura de falha do fluxo volumétrico máximo de cada impressão (Figura 6), sendo medido para o PLA a altura de 18,55 mm e para o ABS 9,65 mm.

Figura 6. Teste do fluxo volumétrico máximo em impressão 3D: (a) PLA; (b) ABS



(a) (b)

Fonte: Autores (2025).

Com os valores obtidos da altura de falha, foi possível calcular o fluxo volumétrico máximo (FVM), conforme a Equação 2 (Creality, 2024), e que resultou em 14,275 mm^3/s para o PLA e 9,825 mm^3/s para o ABS.

$$FVM = VVI + (ADO * P) \tag{2}$$

Onde:
FVM: Parâmetro de fluxo volumétrico máximo a ser definido.

VVI: Velocidade volumétrica inicial (5 mm^3/s).

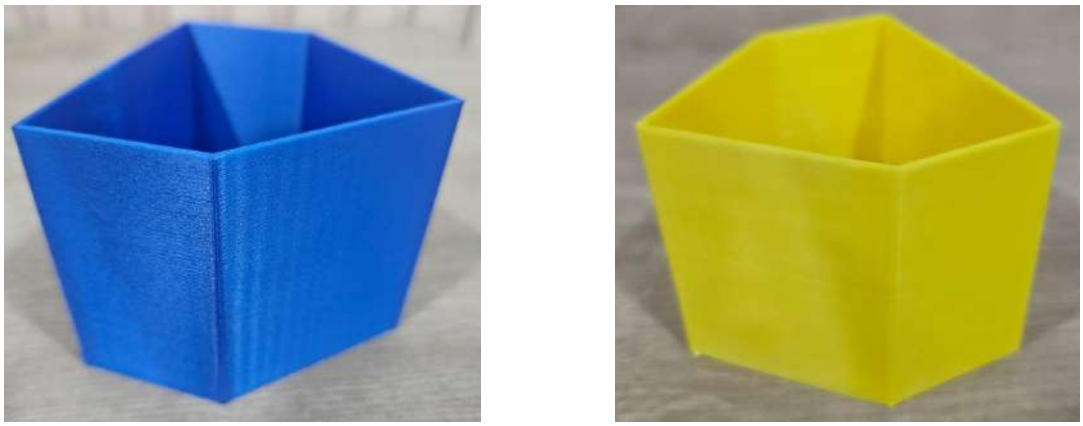
ADO: Altura de observação, valor encontrado da altura em que se observa falha na impressão.

P: Passo (0,5 mm^3/s).

Avanço de pressão (PA)

A definição do avanço de pressão é importante para melhorar a qualidade do acabamento da impressão, especialmente nos cantos, onde mudanças bruscas de velocidade podem causar problemas de extrusão excessiva ou insuficiente. Para a realização dos testes, foram utilizadas as faixas padrões de impressão tanto para PLA quanto para ABS, com os seguintes parâmetros: velocidade inicial do PA de 0, valor de PA final de 0,1 e passo PA de 0,0002. Com esses parâmetros definidos, as peças foram impressas, e não foi possível notar diferença na impressão nem para o PLA nem para o ABS (Figura 7). Portanto, o valor padrão de 0,02 foi definido para o PA.

Figura 7. Teste da torre de PA em impressão 3D: (a) PLA; (b) ABS



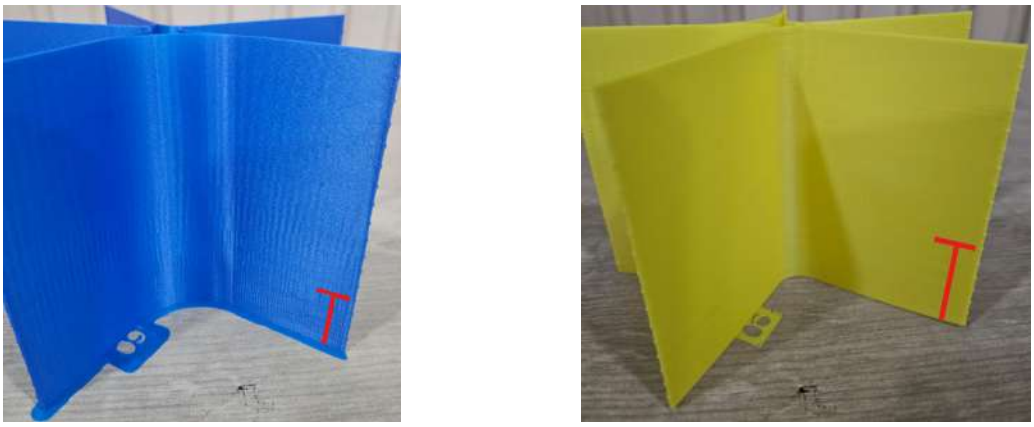
(a) (b)

Fonte: Autores (2025).

Artefatos Finos Verticais (VFA)

A definição do VFA serve para otimizar o acabamento da superfície da camada Z na impressão. Para a realização dos testes, foram utilizadas as faixas padrões de impressão tanto para PLA quanto para ABS, com os seguintes parâmetros: velocidade inicial de 40 mm/s, velocidade final de 200 mm/s e passos do fluxo de 10 mm/s. Com esses parâmetros definidos, foi possível notar um melhor acabamento da superfície ao longo do eixo Z até 140 mm/s para o PLA e 160 mm/s para o ABS (Figura 8).

Figura 8. Teste de VFA em impressão 3D: (a) PLA; (b) ABS



(a) (b)

Fonte: Autores (2025).

Seleção do material e parâmetros de impressão das peças definitivas:

A seleção do material para impressão das peças definitivas foi baseada na qualidade do acabamento, avaliada por inspeção visual. O ABS, apesar de suas qualidades, apresentou dificuldades devido à alta temperatura de trabalho da mesa, resultando em empenamento de peças grandes. Considerando este critério e os resultados dos pré-testes, o PLA foi escolhido por apresentar melhor acabamento superficial e por ser biodegradável.

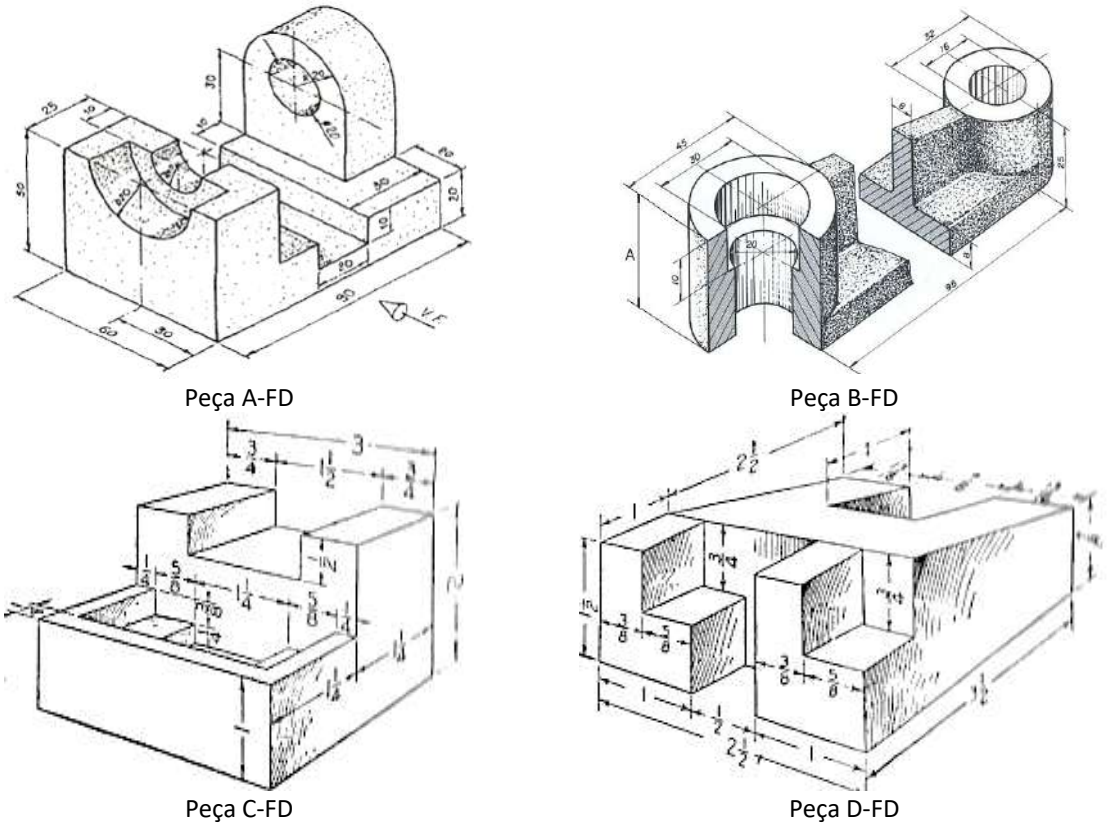
Após a seleção do PLA, os parâmetros de impressão 3D foram ajustados com base nos testes realizados. Estes parâmetros otimizados foram utilizados para a impressão das peças definitivas do projeto, visando o melhor acabamento superficial possível.

Para a modelagem e impressão 3D, as peças foram selecionadas com base em critérios como complexidade geométrica (média e alta), funcionalidade, relevância e tipo de processo de fabricação (peças para fundição, forjamento, estampagem, usinagem). A seleção foi realizada com a participação ativa dos discentes envolvidos no projeto, utilizando como referência livros de desenho técnico para cursos de Engenharia ou Técnico em Mecânica.

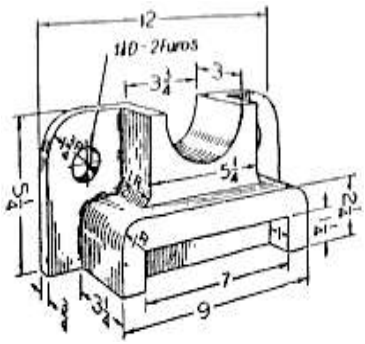
Desenhos técnicos de peças de fundição para modelagem e impressão 3D:

A fundição é um processo de fabricação que consiste em moldar peças através do vazamento de metal líquido em um molde com a cavidade da peça desejada, seguido da solidificação do metal (Miranda, 2012). A Figura 9 ilustra os desenhos técnicos de peças selecionadas para modelagem e impressão 3D, inspiradas no processo de fabricação por fundição (FD). Estas peças foram identificadas sequencialmente, iniciando com “Peça A-FD”, seguida por “Peça B-FD”, e assim sucessivamente até “Peça N-FD”.

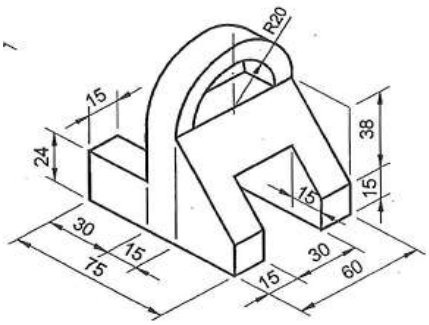
Figura 9. Desenhos técnicos de peças para modelagem e impressão 3D, inspiradas em fundição (FD)



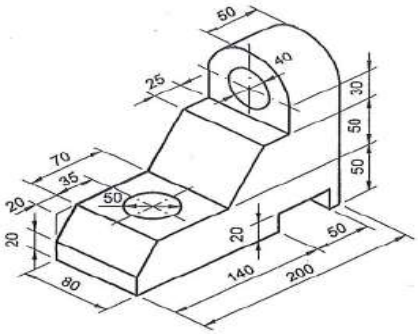
CC BY 4.0 DEED



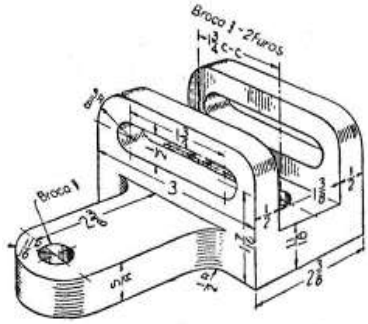
Peça E-FD



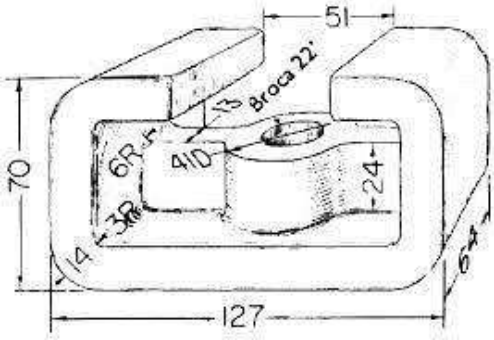
Peça F-FD



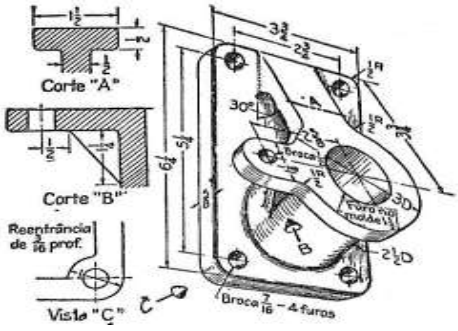
Peça G-FD



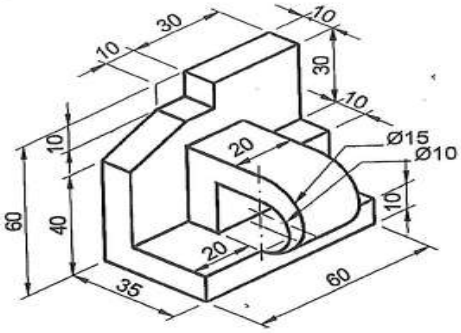
Peça H-FD



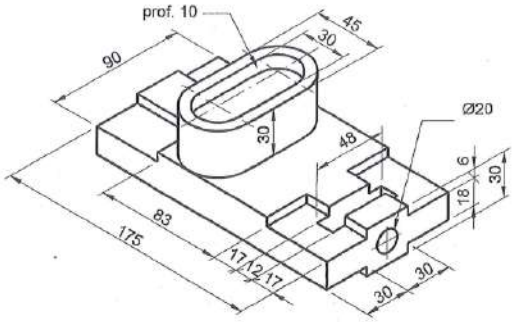
Peça I-FD



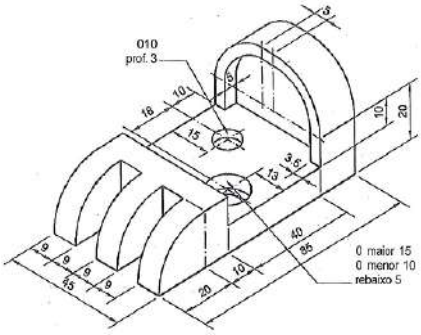
Peça J-FD



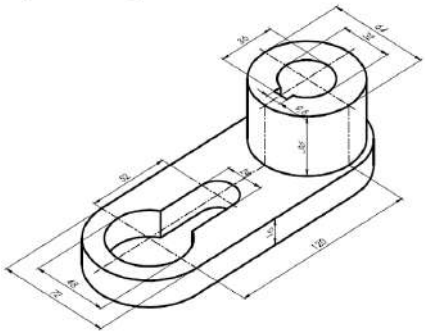
Peça K-FD



Peça L-FD



Peça M-FD



Peça N-FD

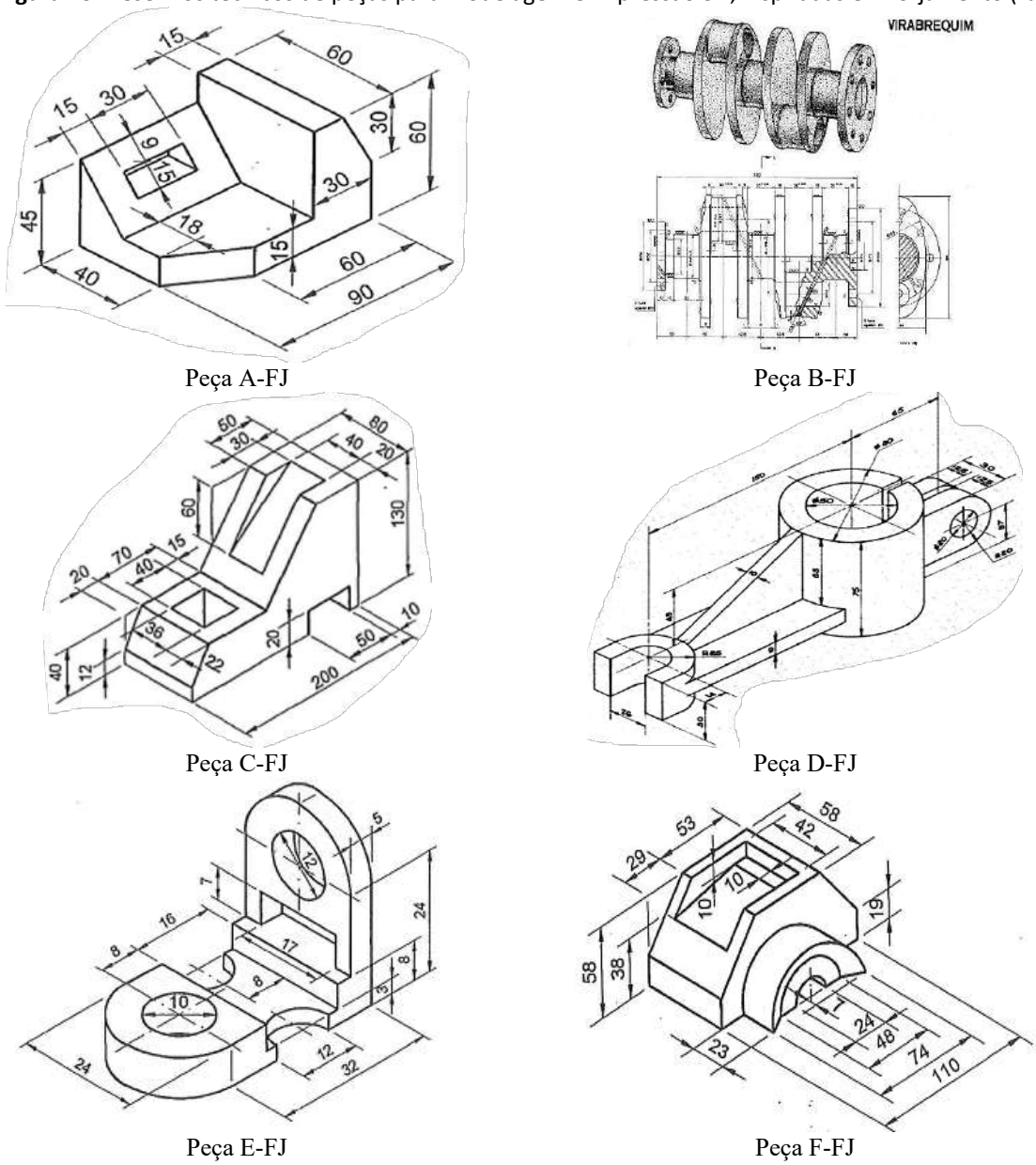
Fonte: Catapan (2014); ELO (2017); French (1978); Miceli & Ferreira (2009).

CC BY 4.0 DEED

Desenhos técnicos de peças de forjamento para modelagem e impressão 3D:

O forjamento é um processo de conformação plástica no qual o metal é deformado sob compressão para adquirir a forma desejada (Miranda, 2012). A Figura 10 ilustra os desenhos técnicos de peças selecionadas para modelagem e impressão 3D, inspiradas no processo de fabricação por forjamento (FJ). Estas peças foram identificadas sequencialmente, iniciando com “Peça A-FJ”, seguida por “Peça B-FJ”, e assim sucessivamente até “Peça F-FJ”.

Figura 10. Desenhos técnicos de peças para modelagem e impressão 3D, inspiradas em forjamento (FJ)

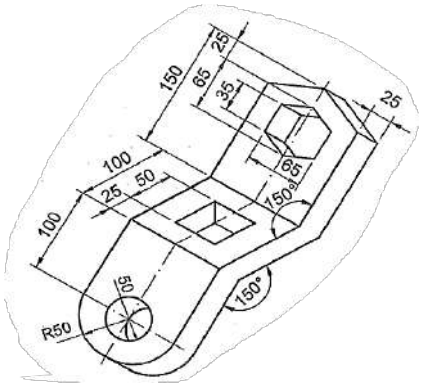


Fonte: French (1978); Miceli & Ferreira (2009); Provenza (2010).

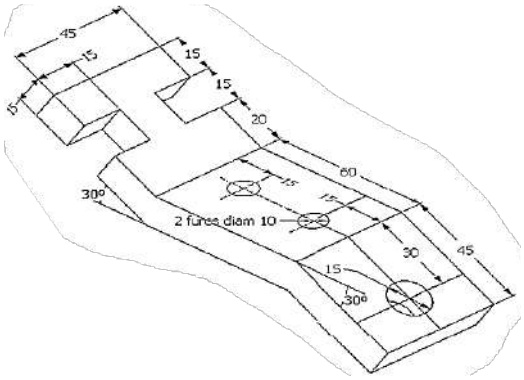
Desenhos técnicos de peças de estampagem para modelagem e impressão 3D:

A estampagem é um processo de conformação de chapas metálicas a frio (Miranda, 2012). A Figura 11 ilustra os desenhos técnicos de peças selecionadas para modelagem e impressão 3D, inspiradas no processo de fabricação por estampagem de chapas (E). Estas peças foram identificadas sequencialmente, iniciando com “Peça A-E”, seguida por “Peça B-E”, e assim sucessivamente até “Peça D-E”.

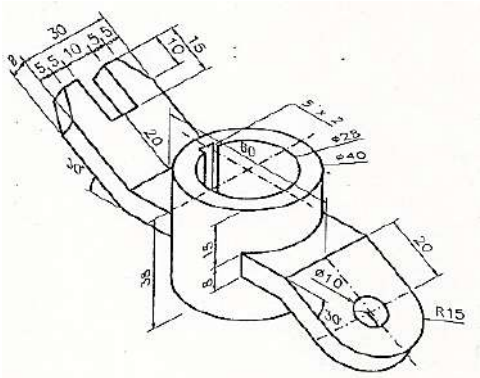
Figura 11. Desenhos técnicos de peças para modelagem e impressão 3D, inspiradas em estampagem (E)



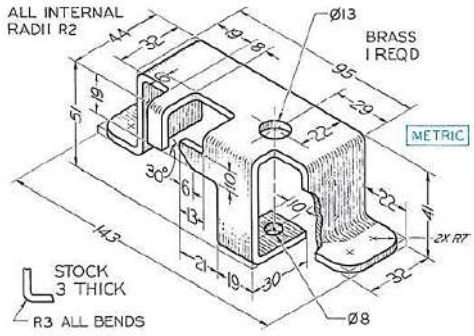
Peça A-E



Peça B-E



Peça C-E



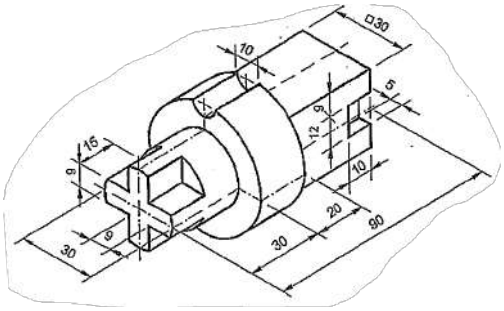
Peça D-E

Fonte: Catapan (2014); Giesecke et al. (2023); Miceli & Ferreira (2009).

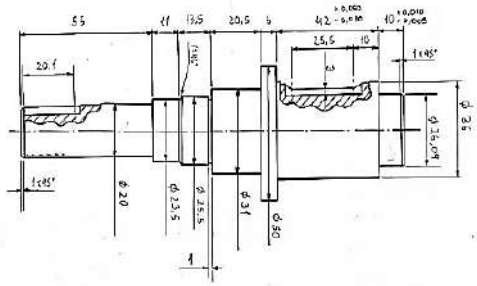
Desenhos técnicos de peças de usinagem para modelagem e impressão 3D:

A usinagem é um processo de remoção de material para obtenção de precisão dimensional e acabamento superficial (Miranda, 2012). A Figura 12 ilustra os desenhos técnicos de peças selecionadas para modelagem e impressão 3D, inspiradas no processo de fabricação por usinagem (U). As peças foram identificadas sequencialmente como “Peça A-U”, “Peça B-U”, “Peça C-U” e “Peça D-U”.

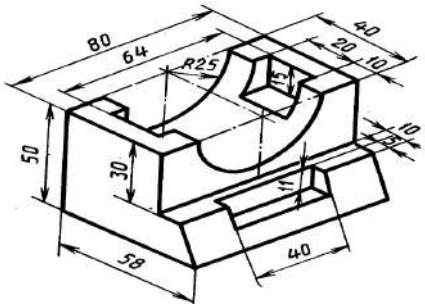
Figura 12. Desenhos técnicos de peças para modelagem e impressão 3D, inspiradas em usinagem (U)



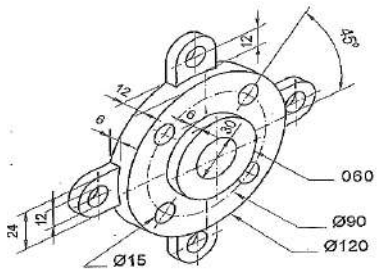
Peça A-U



Peça B-U



Peça C-U



Peça D-U

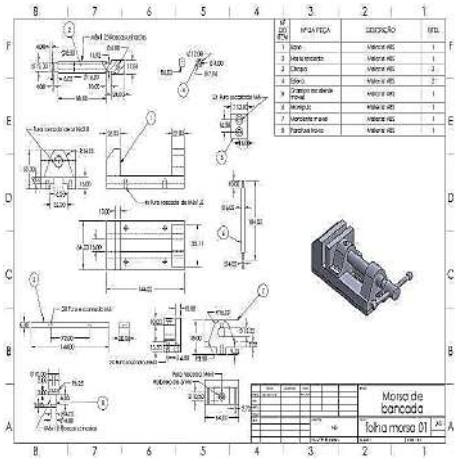
Fonte: DREAMSTIME (2025); Miceli & Ferreira (2009).

CC BY 4.0 DEED

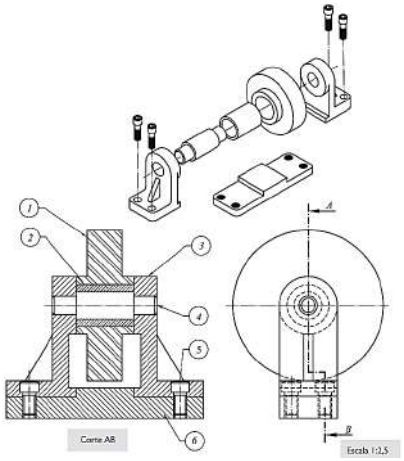
Desenhos técnicos de conjuntos mecânicos para modelagem e impressão 3D:

Um conjunto mecânico é formado por diversas peças que interagem para realizar uma função dentro de um sistema maior (Miranda, 2012). A Figura 13 ilustra os desenhos técnicos dos conjuntos mecânicos selecionados para modelagem e impressão 3D (CM). Os seis conjuntos foram identificados sequencialmente como “A-CM”, “B-CM”, “C-CM”, “D-CM”, “E-CM” e “F-CM”.

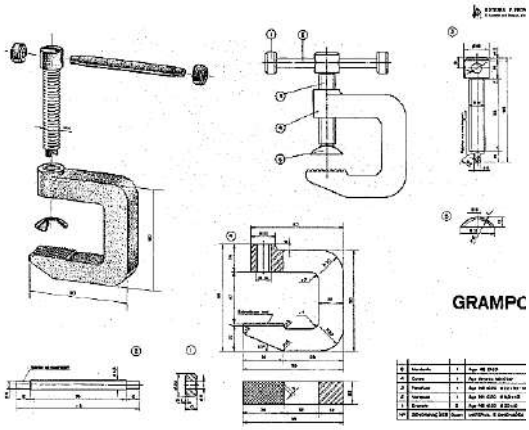
Figura 13. Desenhos técnicos de conjuntos mecânicos (CM) para modelagem e impressão 3D



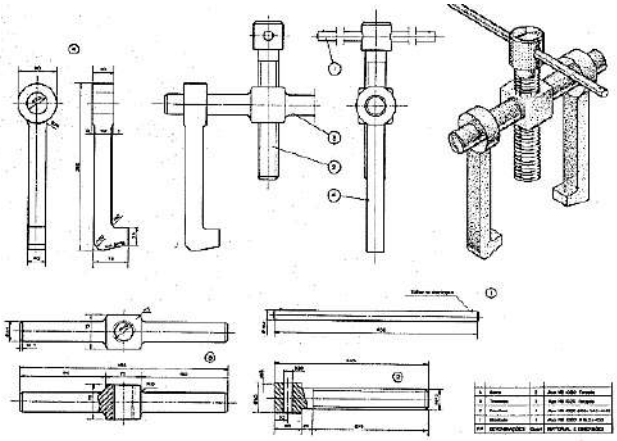
Conjunto mecânico A-CM



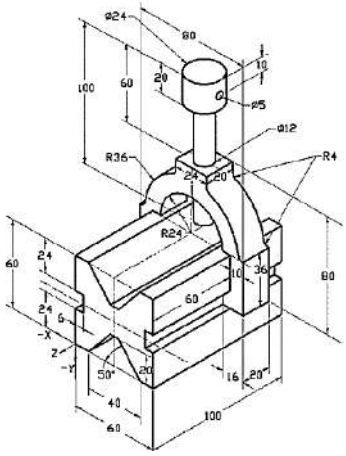
Conjunto mecânico B-CM



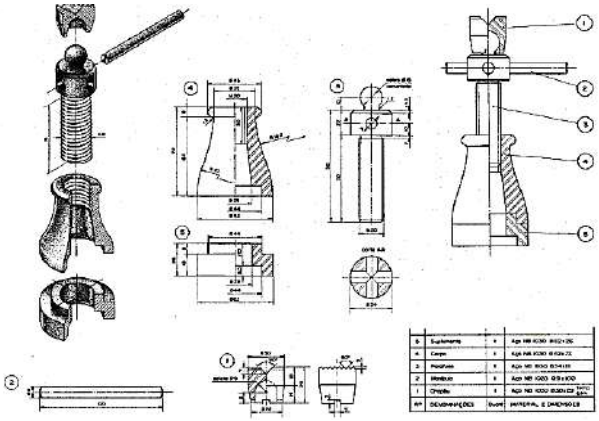
Conjunto mecânico C-CM



Conjunto mecânico D-CM



Conjunto mecânico E-CM



Conjunto mecânico F-CM

Fonte: Autores (2025); Provenza (2010).

CC BY 4.0 DEED

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros de impressão 3D que foram utilizados foram definidos com base em testes preliminares e literatura técnica, visando a fabricação de peças com geometria e qualidade superficial adequadas (Tabela 1). A seleção dos parâmetros de impressão 3D foi baseada em uma análise dos requisitos da aplicação e do objetivo principal de obter um acabamento superficial superior na impressora *Creality* K1. A escolha desta impressora, conhecida por sua alta velocidade e precisão, já contribui para a obtenção de peças com bom acabamento.

Tabela 1. Parâmetros principais de impressão 3D utilizados neste trabalho

Parâmetro (unidade)	PLA	ABS	Justificativa
Temperatura do bico (°C)	205	245	Garante a fusão adequada do material, evitando deformações.
Temperatura da mesa (°C)	60	110	Garante a adesão da primeira camada e previne empenamentos.
Altura da camada (mm)	0,2	0,2	Compromisso entre o tempo de impressão com o acabamento superficial.
Preenchimento	15%	15%	Compromisso entre resistência mecânica e tempo de impressão.
Velocidade de impressão da saia e aba de aderência (mm/s)	60	60	Garantir boa adesão à mesa, melhorar a qualidade de início da extrusão e evitar falhas na primeira camada.
Velocidade de impressão da primeira camada (mm/s)	60	60	Garantir boa adesão, evitar empenamento e deslocamento da peça.
Velocidade de impressão da parede interna (mm/s)	300	300	Reduzido tempo de impressão, garantindo resistência e estabilidade dimensional da peça.
Velocidade de impressão da parede externa (mm/s)	200	200	Compromisso entre acabamento e tempo de impressão.
Velocidade de preenchimento interno (mm/s)	270	270	Reduzido tempo de impressão.
Taxa de fluxo ideal (%)	109	111	Controla a quantidade de material extrudado. Valores otimizados garantem uma extrusão consistente e um bom acabamento.
Fluxo volumétrico máximo mm^3/s	14,275	9,825	Limita a quantidade máxima de material extrudado por segundo, evitando sobre extrusão e melhorando a precisão.
Avanço de pressão	0,02	0,02	Ajusta a pressão na câmara de fusão para compensar variações no fluxo e melhorar a qualidade da superfície.
Artefatos finos verticais (VFA)	140	160	Melhoria de acabamento da superfície da camada vertical (Z) na impressão 3D.

Fonte: Autores (2025).

A temperatura do bico e da mesa foi otimizada para garantir a fusão adequada do material e boa adesão da primeira camada, respectivamente, fatores cruciais para um acabamento de qualidade. A altura da camada foi ajustada para equilibrar o acabamento da superfície com o tempo de impressão, buscando o melhor compromisso entre o acabamento e o tempo. A velocidade de impressão foi controlada, considerando as capacidades da *Creality* K1, para minimizar deformações e garantir precisão dimensional da peça, sem comprometer o acabamento superficial. Já a taxa de fluxo e o fluxo volumétrico máximo foram ajustados para controlar a quantidade de material extrudado, garantindo assim extrusão consistente e precisa, o que é fundamental para um bom acabamento superficial. O avanço de pressão foi definido para compensar variações no fluxo e melhorar ainda mais a qualidade do acabamento da superfície. As velocidades de impressão foram definidas conforme os parâmetros padrão da impressora 3D *Creality* K1, com velocidade de viagem de 240 mm/s.

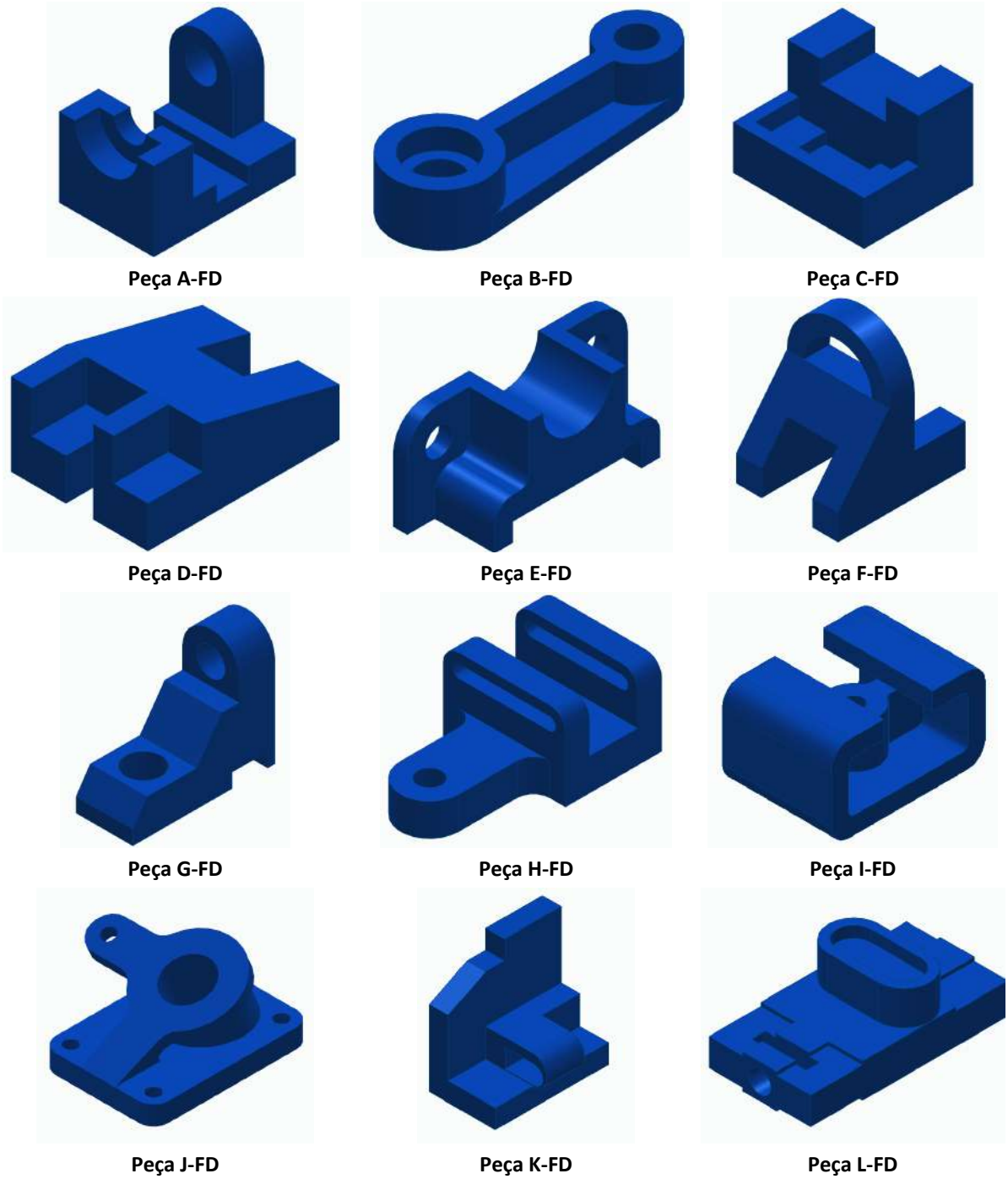
Modelagem 3D

A modelagem 3D das peças ilustradas nos desenhos técnicos apresentados nas Figuras 9 a 13 foi realizada utilizando o *software Solid Edge* 2023, disponível na instituição de ensino federal. Os modelos 3D resultantes, representando as peças inspiradas pelos processos de fundição (FD), forjamento (FJ), estampagem (E) e usinagem (U), assim como os conjuntos mecânicos

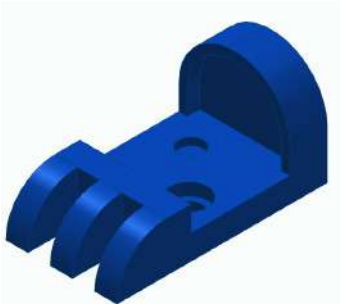
CC BY 4.0 DEED

(CM) (Figura 14). A modelagem 3D das peças foi realizada seguindo as etapas básicas de criação de esboços bidimensionais (*sketch*), aplicação de restrições dimensionais e geométricas, geração das geometrias tridimensionais por meio de operações como extrusão e revolução, e posterior montagem dos componentes no ambiente de *assembly*. Os modelos 3D foram documentados em um repositório do projeto de pesquisa, incluindo os arquivos .par (peça), .asm (montagem), .stl (arquivo de malha tridimensional) e .gcode (código de máquina).

Figura 14. Modelos 3D das peças inspiradas nos processos de fundição (FD), forjamento (FJ), estampagem (E), usinagem (U) e conjuntos mecânicos (CM)

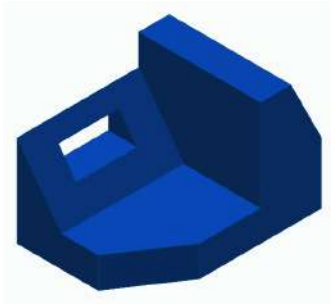


CC BY 4.0 DEED



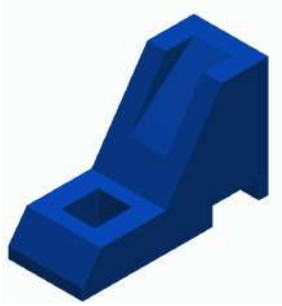
Peça M-FD

Peça N-FD



Peça A-FJ

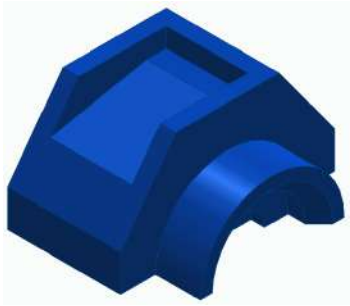
Peça B-FJ



Peça C-FJ

Peça D-FJ

Peça E-FJ



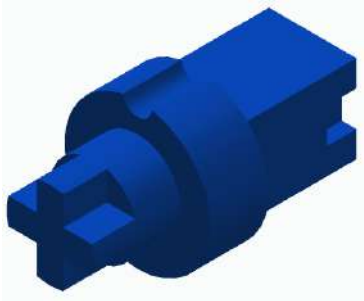
Peça F-FJ

Peça A-E

Peça B-E

Peça C-E

Peça D-E

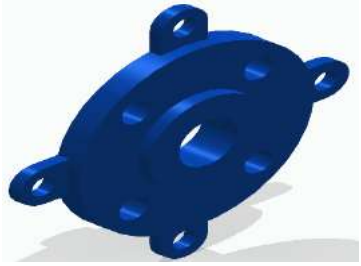


Peça A-U

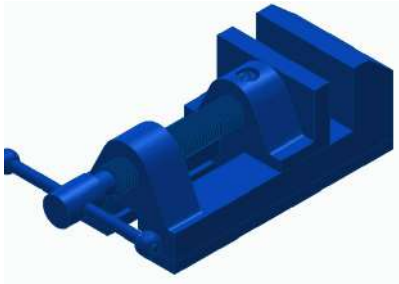
Peça B-U

Peça C-U

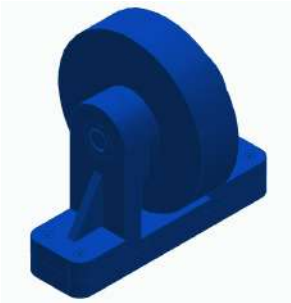
CC BY 4.0 DEED



Peça D-U



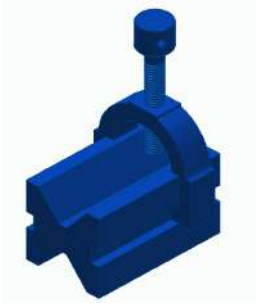
Conjunto mecânico A-CM



Conjunto mecânico B-CM

Conjunto mecânico C-CM

Conjunto mecânico D-CM



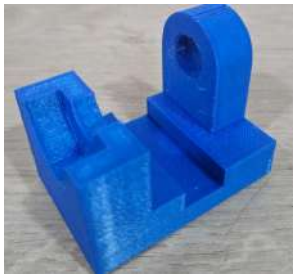
Conjunto mecânico E-CM

Conjunto mecânico F-CM

Fonte: Autores (2025).

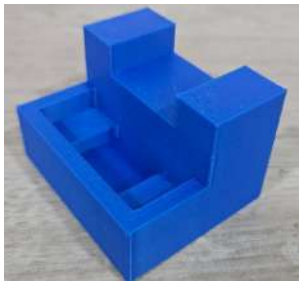
Já a Figura 15 apresenta as peças e conjuntos mecânicos, modelados em 3D (Figura 14), que foram impressos utilizando a impressora 3D *Creality* K1 e filamento de PLA azul. Os parâmetros de impressão, otimizados para cada peça (Tabela 1), foram definidos com o objetivo de produzir protótipos rápidos para demonstração e aplicação no ensino de disciplinas como desenho técnico, modelagem 3D e processos de fabricação em cursos técnicos de mecânica e de engenharia mecânica.

Figura 15. Peças e conjuntos mecânicos impressos em 3D, representando os processos de fundição (FD), forjamento (FJ), estampagem (E) e usinagem (U)

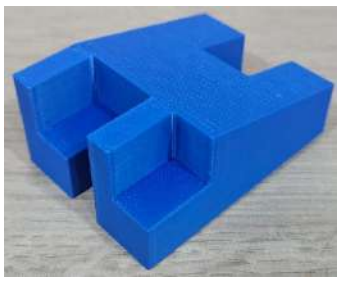


Peça A-FD

Peça B-FD



Peça C-FD

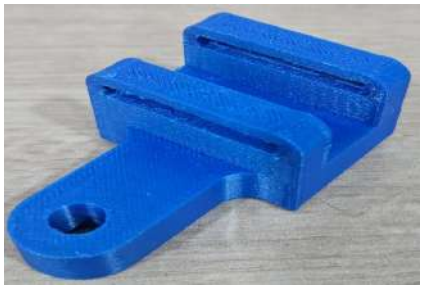


Peça D-FD

Peça E-FD

Peça F-FD

Peça G-FD

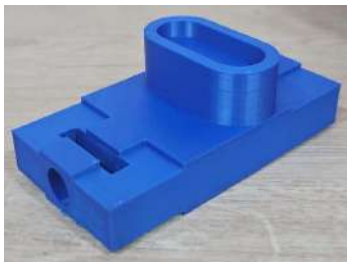


Peça H-FD

Peça I-FD

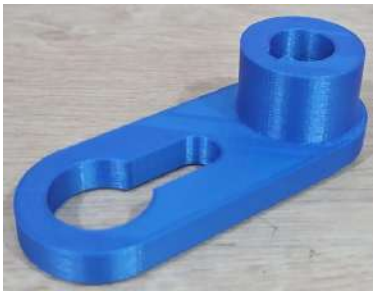
Peça J-FD

Peça K-FD



Peça L-FD

Peça M-FD



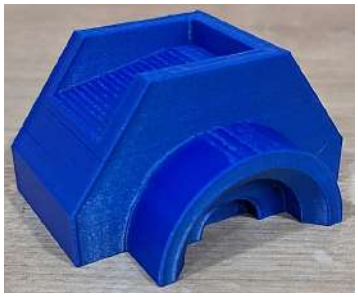
Peça N-FD

Peça A-FJ

Peça B-FJ

Peça C-FJ

Peça D-FJ



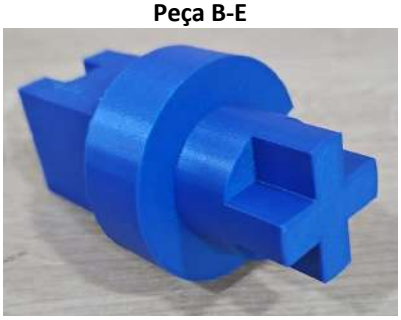
CC BY 4.0 DEED

Peça E-FJ

Peça F-FJ

Peça A-E

Peça B-E

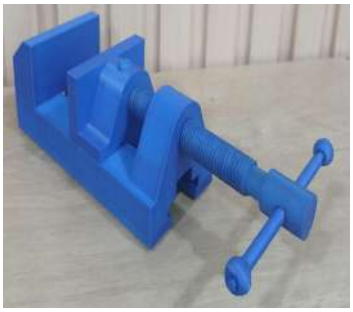


Peça C-E

Peça D-E

Peça A-U

Peça B-U

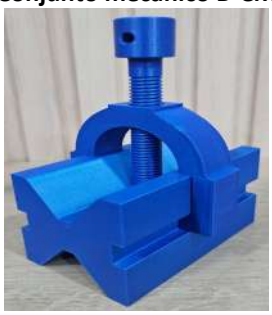


Peça C-U

Peça D-U

Conjunto mecânico A-CM

Conjunto mecânico B-CM



Conjunto mecânico C-CM

Conjunto mecânico D-CM

Conjunto mecânico E-CM

Conjunto mecânico F-CM

Fonte: Autores (2025).

O processo de impressão 3D envolveu a preparação de arquivos .stl, configuração da impressora, impressão e pós-processamento (remoção de suportes, rebarbas e limpeza). A montagem e testes práticos dos conjuntos mecânicos revelaram limitações na resistência mecânica de algumas peças, especialmente aquelas com seções transversais reduzidas, como pinos e parafusos. A fratura dessas peças evidenciou a necessidade de reimpressão com 100%

CC BY 4.0 DEED

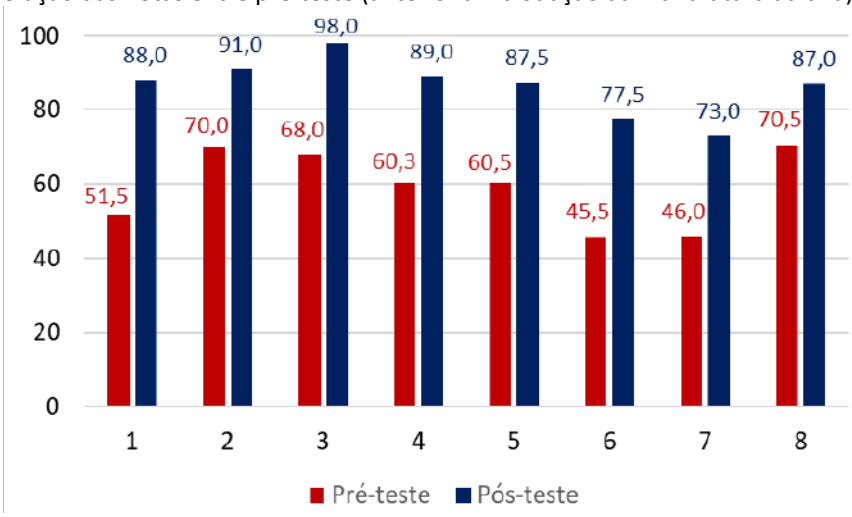
de preenchimento para garantir maior resistência mecânica. Essa abordagem é corroborada por Drozda et al. (2024), que demonstraram que a densidade de preenchimento adequada é crucial para garantir maior resistência mecânica, especialmente sob cargas de impacto ou choque mecânico.

Embora a impressão 3D apresente desvantagens em termos de resistência mecânica e durabilidade comparada aos processos convencionais (fundição, forjamento estampagem e usinagem), suas vantagens em agilidade, custo e flexibilidade a tornam ideal para a produção de modelos demonstrativos e uso em sala de aula.

Análise Comparativa do Desempenho em Desenho Técnico no Pré e Pós-teste

Considerando a evolução das notas dos discentes de engenharia mecânica no pré-teste (Figura 16), a análise da distribuição revela uma melhora significativa no desempenho após a introdução da manufatura aditiva como apoio ao processo de ensino e aprendizagem. No pré-teste, as notas foram mais baixas (45,5 a 70,5 pontos), indicando maiores dificuldades na compreensão e representação de conceitos espaciais. No pós-teste, observou-se um deslocamento das notas para intervalos superiores, para a faixa de 73,0 a 98,0 pontos, indicando que a maioria dos discentes aprimorou a compreensão dos conceitos de desenho técnico. Essa evolução demonstra que a manufatura aditiva contribuiu para um aprendizado mais eficaz, reduzindo as dificuldades associadas à abstração dos conceitos e promovendo a aplicação prática do conhecimento, especialmente na visualização espacial.

Figura 16. Evolução das notas entre pré-teste (anterior à introdução da manufatura aditiva) e no pós-teste



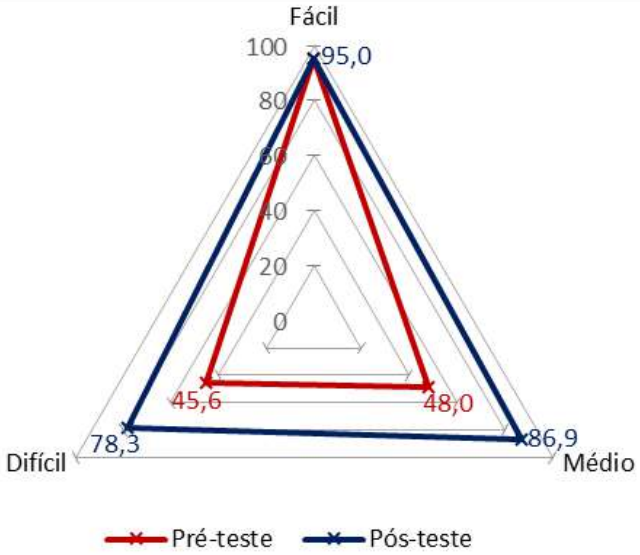
Fonte: Autores (2025).

Análise do Desempenho Discente por Nível de Dificuldade

O desempenho discente nas questões fáceis se manteve com pontuação elevada (95,0 pontos em ambos os testes), enquanto nas questões de dificuldade média, que exigiam maior capacidade conceitual e de visualização espacial, apresentou um aumento significativo de 48,0 pontos no pré-teste para 86,9 pontos no pós-teste (Figura 17). Já nas questões difíceis, que envolviam conceitos e interpretação de geometrias mais complexas, o desempenho discente aumentou de 45,6 pontos no pré-teste para 78,3 pontos no pós-teste. Esse avanço nos resultados sugere que a manufatura aditiva foi particularmente eficaz para auxiliar na assimilação de conceitos mais complexos, facilitando a compreensão por meio de uma experiência prática.

Dessa forma, evidencia-se a relevância da manufatura aditiva como ferramenta pedagógica, ao contribuir para a compreensão e aplicação dos conhecimentos em desenho técnico, além de favorecer o aprimoramento da visualização espacial de objetos tridimensionais.

Figura 17. Evolução das notas entre o pré-teste e o pós-teste em distintos níveis de dificuldade



Fonte: Autores (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou o impacto positivo da manufatura aditiva no aprendizado de desenho técnico e modelagem 3D, evidenciado pela análise comparativa do desempenho discente no pré-teste e pós-teste. A redistribuição das notas no histograma revelou uma clara progressão, com significativa migração para faixas superiores de desempenho. Esse avanço indica que a introdução da manufatura aditiva facilitou a assimilação dos conceitos fundamentais, superando as dificuldades iniciais dos discentes.

O gráfico de radar corroborou essa melhora, demonstrando um aumento expressivo nas pontuações das questões de dificuldade média e alta. Isso sugere que a abordagem prática adotada pela manufatura aditiva aprofundou a compreensão e a aplicação dos conteúdos complexos. Assim, destaca-se a relevância dessa tecnologia como ferramenta pedagógica, promovendo um aprendizado mais eficaz e significativo.

Diante desses resultados, recomenda-se a continuidade e expansão do uso da manufatura aditiva no ensino de desenho técnico, modelagem 3D e processos de fabricação, explorando metodologias inovadoras que integrem teoria e prática de forma dinâmica. Estudos futuros podem investigar o impacto dessa abordagem em longo prazo, analisando a retenção do conhecimento e a aplicação prática dos conceitos adquiridos no contexto profissional.

REFERÊNCIAS

Bertoline, G. R., Wiebe, E. N., Miller, C. L., & Nasman, L. O. (2010). *Fundamentals of graphics communication* (6. ed.). *McGraw-Hill.*

Catapan, M. (2014). *Apostila de desenho mecânico* 1. Recuperado de https://exatas.ufpr.br/degraf_marcio/wp-content/uploads/sites/13/2014/09/Apostila-Desenho-Mecanico-I-Parte.pdf

Carrara, A., Nousias, S., & Borrmann, A. (2024). VectorGraphNET: Graph attention networks for accurate segmentation of complex technical drawings. arXiv. Recuperado de https://arxiv.org/abs/2401.01336

Creality (2024). Creality Print calibration tutorial - Creality Wiki. Recuperado de https://wiki.creality.com/en/Software/creality-print/CalibrationTutorial

Drozda, F. C., et al. (2024). Estudo do efeito da combinação de preenchimento na absorção de energia de impacto de peças fabricadas em PLA utilizando fabricação por filamento fundidos. *Brazilian Journal of Production Engineering, 10*(3), 285-295. https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i3.44945

Elo. (n.d.). Desenho técnico mecânico. Recuperado de https://elojr.com.br/sistemas-mecanicos/desenho-tecnico-mecanico/

Feriotti, M. A., et al. (n.d.). Os impactos da impressão 3D na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. In *Anais do IV Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP*, 1-15.

Fernandes, J. F. M. (2016). Estudo da Influência de parâmetros de impressão 3D nas propriedades mecânicas do PLA [Dissertação de mestrado, *Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa*].

Francesconi, T. (2010) Desenho técnico teórico. Recuperado de https://cliqueapostilas.com/Content/apostilas/fb729f6f52accc40fa475d25d7dd96f7.pdf

French, T. (1978). Desenho técnico (19th ed.). *Editora Globo.*

Giesecke, F. E., et al. (2023). *Techincal drawing with engineering graphics*. (16th ed.). Pearson.

Gil, A. C. (2019). Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. (7th ed.). *Atlas*. Recuperado de https://evirtual.upra.ao/examples/biblioteca/content/files/antonio%20carlos%20gil%20-%20metodos%20e%20tecnicas%20de%20pesquisa%20social-atlas%20(2019).pdf

ISO/ASTM. (2021). *ISO/ASTM 52900:2021 - Additive manufacturing - General principles - Fundamentals and vocabulary*.

Karevska, S., et al. (2019). *3D printing: hype or game changer?*

Ludwig, R. et al. (2017). Mechanisms of autoantibody-induced pathology. *Frontiers in Immunology*. https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00603

Magennis, S. & Ferrel, A. (2005). Teaching and learning activities: expanding the repertoire to support student learning. *Emerging issues in the practice of university learning and teaching*, 1, 45-54.

Martín Erro, A. & Nuere Menéndez-Pidal, S. (2024). How visual literacy is developed through Engineering Graphics subjects. *Journal of Visual Literacy, 43*(1), https://doi.org/10.1080/1051144X.2024.2315835

Martin Prosperity Institute (MPI). 2014. *Startup city: The urban shift in venture capital and high technology.* Recuperado de https://creativeclass.com/category/martin-prosperity-institute/

Mendes, M. L. N. & Silva, P. (2022). CAD e manufatura aditiva como ferramentas de iniciação científica e apoio didático para a área de engenharia. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão*, *7*(5), 445-1-445-21.

Miceli, M. & Ferreira, P. (2009). *Desenho técnico básico*. (2nd ed.). livro técnico.

Miranda, H. C. (2012). *Processos de fabricação.* Universidade Federal do Ceará. Recuperado de https://kaiohdutra.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/10/apostilateciii.pdf

OALOO (2021). O que é impressão 3D? Para que serve a impressão 3D? [Guia Definitivo 2021}. Recuperado de https://www.oaloo.com.br/impressao-3d-vantagens-desvantagens/

Provenza, F. (2010). *Desenhista de máquinas*.

Research and Markets. (2024) *Aerospace additive manufacturing global market report* 2024.

Riedner, D. D. T. & Pischetola, M. (2021). A inovação das práticas pedagógicas com uso de tecnologias digitais no ensino superior: um estudo no âmbito da formação inicial de professores. *ETD - Educação Temática Digital*, *23*(1), 64-81.

Serdar, S. & de Vries, R. H. (2015). Enhancing spatial visualization skills in engineering drawing course. In Proceedings of the 122nd ASEE Annual Conference & Exposition (pp. 26.663.1–26.663.12). Seattle, *WA: American Society for Engineering Education.*

Souza (2020). 2020: Um ano marcado por desafios e aprendizados. Instituto Souza. Recuperado de https://institutosouza.com.br/fasouza/noticias/2020-um-ano-marcado-por-desafios-e-aprendizados

Vicente, C. M. S., et al. (2023). Large-format additive manufacturing of polymer extrusion-based deposition systems: review and applications. *Progress in Additive Manufacturing, 8*(6), 1257-1280.

Volpato, N. (2017). Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. (1st ed.). *Edgard Blucher Ltda.*