



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM GUAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DOCÊNCIA PARA CIÊNCIAS,
TECNOLOGIAS, ENGENHARIAS E MATEMÁTICA**

PRISCILA MARQUES CORREA

**INTEGRANDO APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (ABP) E
IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA: UMA
ABORDAGEM PARA A SONDAGEM DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS E A
CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS**

Dissertação de Mestrado

GUAÍBA, RS – BRASIL

2023

PRISCILA MARQUES CORREA

**INTEGRANDO APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (ABP) E
IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA: UMA
ABORDAGEM PARA A SONDAGEM DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS E A
CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS**

**Dissertação de Mestrado elaborada
como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Docência para Ciências, Tecnologias,
Engenharias e Matemática, pelo
Programa de Pós-Graduação em
Docência para Ciências, Tecnologias,
Engenharias e Matemática da
Universidade Estadual do Rio Grande
do Sul, Unidade de Guaíba.**

Orientadora: Prof. Luciano Andreatta

GUAÍBA, RS – BRASIL

2023

PRISCILA MARQUES CORREA

**INTEGRANDO APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (ABP) E
IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA: UMA
ABORDAGEM PARA A SONDAGEM DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS E A
CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS**

**Dissertação de Mestrado elaborada
como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Docência para Ciências, Tecnologias,
Engenharias e Matemática, pelo
Programa de Pós-Graduação em
Docência para Ciências, Tecnologias,
Engenharias e Matemática da
Universidade Estadual do Rio Grande
do Sul, Unidade de Guaíba.**

Orientadora: Prof. Luciano Andreatta

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador Dr. Luciano Andreatta

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. André Peres

Instituto Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. João Alvarez Peixoto

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Marcelo Vieira Migliorini

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Catálogo de Publicação na Fonte

- C824i Correa, Priscila Marques.
Integrando aprendizagem baseada em problemas (ABP) e impressão 3d no ensino de engenharia mecânica: uma abordagem para a sondagem de conhecimentos prévios e a construção de protótipos / Priscila Marques Correa. – Guaíba, RS, 2023.
[146] f.
- Orientador: Prof. Luciano Andreatta.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Docência para Ciências, Tecnologias, Engenharias e Matemática, unidade em Guaíba, 2023.
1. Aprendizagem Baseada em Problemas. 2. Manufatura aditiva.
3. Teoria da Aprendizagem Significativa. I. Andreatta, Luciano. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Laís Nunes da Silva CRB10/2176.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luciano Andreatta, pela dedicação, disponibilidade e orientação. Também pelos aprendizados e pela paciência perante todas as minhas ansiedades, incertezas e medos.

Aos demais professores do PPGSTEM, pelos conhecimentos compartilhados e contribuições durante toda minha trajetória no programa.

Ao meu marido, Diego Guimarães, pela compreensão e zelo com a nossa família nos momentos em que me fiz ausente.

Ao meu filho, Gabriel, por me mostrar o amor na forma mais linda e pura.

Às amigas preservadas e conquistadas nestes semestres de estudo.

Aos colegas professores integrantes do Curso de formação, pelo empenho e participação.

A Deus, pela minha existência!

Que a proa e a popa da nossa didática sejam:
buscar e encontrar um método para que os
docentes ensinem menos e os discentes
aprendam mais; que nas escolas haja menos
conversa, menos enfado e trabalhos inúteis,
mais tempo livre, mais alegria e mais
proveito; que na república cristã haja menos
trevas, menos confusão, menos dissensões,
mais luz, mais ordem, mais paz e
tranquilidade.

Comenius

RESUMO

Neste trabalho, é apresentada uma proposta de sequência didática a ser aplicada ao curso de Engenharia Mecânica de uma universidade privada do Estado de Santa Catarina. Essa proposta tem como fundamentos teóricos a Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, e a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). A pesquisa foi desenvolvida para promover a aprendizagem significativa dos alunos, integrando teoria e prática por meio de atividades relacionadas à manufatura aditiva e impressão 3D. Ao aplicar a Teoria da Aprendizagem Significativa, busca-se proporcionar aos alunos uma aprendizagem ativa em que eles possam construir seu conhecimento de forma significativa, relacionando-o com seus conhecimentos prévios e aplicando-o em situações concretas. A ABP, por sua vez, promove o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas, trabalho em equipe e pensamento crítico, preparando os alunos para os desafios reais que enfrentarão em suas carreiras. A sequência didática proposta é estruturada em quatro etapas que abordam desde a introdução aos conceitos de prototipagem e manufatura aditiva até a fabricação e análise de protótipos utilizando a impressora 3D. Cada etapa é composta por atividades teóricas e práticas em que os alunos têm a oportunidade de explorar os conceitos, realizar experimentos e aplicar seu conhecimento na resolução de problemas. A pesquisa foi conduzida por meio da aplicação de questionários antes e depois de cada etapa, com o intuito de avaliar o conhecimento prévio e o aprendizado dos alunos ao longo do processo. Além disso, a percepção dos alunos e do professor foi registrada, permitindo uma análise qualitativa dos resultados. Os resultados obtidos indicaram um aumento significativo no conhecimento dos alunos sobre os temas abordados, assim como uma melhoria em suas habilidades práticas e de trabalho em equipe. Os alunos demonstraram maior compreensão dos conceitos de prototipagem e manufatura aditiva, bem como da importância dos parâmetros de impressão e das propriedades mecânicas dos materiais. A atividade de fabricação de uma mini furadeira de mesa impressa em 3D foi especialmente relevante, proporcionando aos alunos a oportunidade de aplicar seus conhecimentos em um projeto real e desenvolver suas habilidades de design e prototipagem.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada em Problemas, Manufatura aditiva, Teoria da Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

In this work, a proposal for a didactic sequence to be applied to the Mechanical Engineering course of a private university in the state of Santa Catarina is presented. This proposal is based on the theoretical foundations of David Ausubel's Theory of Meaningful Learning and Problem-Based Learning (PBL). The research was developed with the aim of promoting meaningful learning among students by integrating theory and practice through activities related to additive manufacturing and 3D printing. By applying the Theory of Meaningful Learning, the goal is to provide students with an active learning experience, where they can construct their knowledge in a meaningful way by relating it to their prior knowledge and applying it to real-life situations. PBL, on the other hand, promotes the development of problem-solving skills, teamwork, and critical thinking, preparing students for the real challenges they will face in their careers. The proposed didactic sequence is structured in four stages, covering the introduction to prototyping and additive manufacturing concepts to the manufacturing and analysis of prototypes using 3D printing. Each stage consists of theoretical and practical activities, giving students the opportunity to explore the concepts, conduct experiments, and apply their knowledge to problem-solving. The research was conducted by administering questionnaires before and after each stage, aiming to assess students' prior knowledge and their learning progress throughout the process. Additionally, the perceptions of both students and the professor were recorded, allowing for a qualitative analysis of the results. The results obtained indicated a significant increase in students' knowledge about the topics covered, as well as an improvement in their practical skills and teamwork abilities. The students demonstrated a greater understanding of prototyping and additive manufacturing concepts, as well as the importance of printing parameters and material mechanical properties. The activity of manufacturing a 3D-printed manual winch was particularly relevant, providing students with the opportunity to apply their knowledge in a real project and develop their design and prototyping skills.

Keywords: Problem-Based Learning, Additive Manufacturing, Theory of Meaningful Learning.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene , acrilonitrila butadieno estireno
ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
CAD	Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CNC	Computer Numerical Control (Controle Numérico Computadorizado)
FDM	Fused Deposition Modeling, depósito de material fundido
PLA	PolyLactic Acid, ácido polilático
PR	Prototipagem Rápida
SD	Sequência didática
SLA	Stereolithography (Estereolitografia)
STL	Standard Triangulation Language, Linguagem de Triangulação Padrão

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

Figura 1 - Fatiamento do sólido em camadas	31
Figura 2 – Princípio do processo FDM	33
Figura 3 – Estrutura molecular do polímetro ABS	34
Figura 4 – Estrutura molecular do polímero PLA	35
Figura 5 – Estrutura molecular do polímero Nylon	37
Figura 6 – Fatiamento em camadas de um modelo tridimensional	43
Figura 7 - Vista superior do preenchimento	47
Figura 8 - Exemplo de uma peça com diferentes velocidades de impressão	53
Figura 9 - Delineamento da pesquisa	65
Figura 10 - Etapas da sequência didática	70
Figura 11 - Apresentação utilizada no encontro 1	72
Figura 12 - Apresentação utilizada no encontro 2	74
Figura 13 - Corpo de prova para ensaio de tração	75
Figura 14 - Apresentação utilizada no encontro 3	76
Figura 15 - Desenho do projeto final - Mini furadeira de bancada	80
Figura 16 - Apresent. da impressora e matéria-prima para produção do protótipo	83
Figura 17 - Visualização dos parâmetros na impressora 3D	87
Figura 18 - Modelagem do corpo de prova	88
Figura 19 - Modelagem do corpo de prova na cura	89
Figura 20 - a) Zigue-zag b) subdivisão cúbica c) tri hexagonal	89
Figura 21 – Mini furadeira	94
Figura 22 - Fluxo das etapas	97
Figura 23 - Aplicação do questionário aos alunos	98

GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação da velocidade em relação a temperatura a) ABS b) PLA	56
Gráfico 2: Avaliação dos questionários fechados	103
Gráfico 3: Avaliação das respostas do questionário fechado - Etapa 4	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades do ABS	34
Tabela 2: Propriedades do PLA	36
Tabela 3: Propriedades do Nylon	37
Tabela 4: Classes de comandos usados em G-code	45
Tabela 5: Comandos mais importantes em G-code	46
Tabela 6: Exemplo de Materiais com suas respectivas temperaturas	51
Tabela 7: Custos para os diferentes preenchimentos de impressão	90
Tabela 8: Resistência mecânica dos corpos de provas impressos	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2 PERGUNTA DE PESQUISA	16
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 JUSTIFICATIVA	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL	18
2.1.1 <i>Condições para a aprendizagem significativa</i>	20
2.1.2 <i>Aprendizagem significativa X aprendizagem mecânica</i>	20
2.1.3 <i>A facilitação da aprendizagem significativa</i>	21
2.2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (ABP)	22
2.2.1 Características da ABP	23
2.2.2 Processo ABP	24
2.2.3 Problema na ABP	25
2.2.4 Importância dos alunos na ABP	25
2.2.5 ABP e a docência	27
2.2.6 ABP na Engenharia	28
2.3 MANUFATURA ADITIVA	29
2.4 SOFTWARES PARA IMPRESSÃO 3D	41
2.4.1 Desenho Auxiliado por Computador (CAD)	41
2.4.2 Formato STL	42
2.4.3 Fatiadores	42
2.4.4 G-code	43
2.4.5 Parâmetros de impressão	46
2.4.5.1 Orientação de Impressão	47
2.4.5.2 Determinação de Preenchimento	47
2.4.5.3 Temperatura de trabalho	50
2.4.5.4 Relação entre temperatura de extrusão e velocidade de impressão	51
2.4.5.5 Relação entre tipo de preenchimento e propriedades mecânicas	53
3 TRABALHOS CORRELATOS	55
3.1 SÍNTESE DOS TRABALHOS CORRELATOS	55
3.2 METODOLOGIA APLICADA AOS TRABALHOS CORRELATOS	57
3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS AUTORES EM RELAÇÃO AO PÚBLICO ALVO E OS OBJETIVOS PROPOSTOS	59
3.4 RESULTADOS APRESENTADOS PELOS AUTORES	60
4 METODOLOGIA DE PESQUISA	62
4.1 TIPO DE PESQUISA	62
4.2 POPULAÇÃO (AMOSTRA PARTICIPATIVA)	63

4.3 LOCAL DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	63
4.4 RECURSOS	63
4.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA	63
4.6 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (CEP)	66
5 PRODUTO EDUCACIONAL	67
5.1 CLASSIFICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	67
5.2 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	68
5.3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	70
5.3.1 <i>Encontro 1- Introdução aos conceitos básicos</i>	70
5.3.2 <i>Encontro 2: Parâmetros de impressão e análise de custos</i>	73
5.3.3 <i>Encontro 3 - Fabricação e análise do protótipo</i>	75
5.3.4 <i>Encontro 4 - Projeto e impressão de uma peça final</i>	78
5.3.5 <i>Avaliação</i>	81
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	83
6.1 Introdução aos Conceitos de Prototipagem e Manufatura Aditiva	83
6.2 Encontro 2: Parâmetros de impressão e análise de custos	86
6.3 Etapa 3: FABRICAÇÃO E ANÁLISE DO PROTÓTIPO	91
6.4 Etapa 4: IMPRESSÃO 3D DO PROJETO FINAL	94
6.5 PROCESSO FINALIZADO	96
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
REFERÊNCIAS	107
ANEXOS	117

1 INTRODUÇÃO

O ensino atual prevê que os alunos devem melhorar suas habilidades de comunicação, sua transmissão de conhecimento e sua capacidade de resolver problemas de forma prática. A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é uma teoria e prática pedagógica que envolve os alunos na resolução de problemas relevantes no seu mundo real. Para tanto, uma série de técnicas de problematização tem sido utilizada, tais como resolução de problemas, levantamento de problemas, diagramação de conhecimentos e perfil das habilidades (Ribeiro, 2008).

A ABP é um tipo de trabalho prático que tem o maior potencial para atingir os objetivos propostos pelo educador, a ABP é uma abordagem pedagógica cujo objetivo é envolver os alunos em situações práticas que os levem a resolver problemas do mundo real. Nessa metodologia, os alunos são colocados no papel de solucionadores de problemas, sendo incentivados a trabalhar em equipe, a buscar informações e a aplicar conceitos aprendidos em situações concretas.

Essa abordagem tem se mostrado eficaz no desenvolvimento de habilidades cognitivas, como a resolução de problemas, a criatividade, a comunicação e a colaboração. Além disso, ela tem o potencial de motivar os alunos, uma vez que eles se engajam em atividades significativas e relevantes para o mundo real.

No entanto, é importante destacar que a ABP não é a única abordagem pedagógica eficaz e que nem todos os alunos se adaptam a ela da mesma maneira. Cabe ao educador avaliar as necessidades de seus alunos e escolher a metodologia mais adequada para atingir os objetivos de aprendizagem propostos (Hodson, 1998).

Há uma crescente consciência da necessidade de tecnologias inovadoras para auxiliar no processo de ensino nas instituições de ensino brasileiras. Por exemplo, impressoras 3D são uma dessas possibilidades. A tecnologia permite que os alunos adotem uma mentalidade de Maker por meio da construção e exploração de materiais. O Movimento Maker, com seus conceitos práticos e próprios, estimula os alunos a serem criativos no processo de aprendizagem e oferece a possibilidade de resolver problemas (Chicca Júnior, 2017).

Na resolução de problemas, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) das engenharias prevê o uso e aprofundamento do conhecimento científico na construção e criação de experimentos, modelos e protótipos para criar processos ou produtos que

atendam às necessidades de resolução de problemas encontrados na sociedade. Dessa forma, o documento não só leva em conta as competências específicas identificadas para cada nível de ensino, mas também discute formas de completar o itinerário formativo planejado. Apesar de todas essas possibilidades, ainda é bastante comum encontrarmos os ensinamentos tradicionais apresentando apenas métodos discursivos e teóricos como sugestões de aprendizagem. Vários fatores contribuem para a desconexão entre aprendizagem e prática, e a falta de laboratórios é uma das principais barreiras para os professores realizarem esses cursos (Lorenzin, 2019).

No ensino de engenharia, os métodos que ainda parecem dominar são os tradicionais, baseados na transferência ou recepção de conhecimentos por meio de cursos explicativos, os quais podem assumir diversas formas, como palestras de professores, seminários para alunos, uso de mídias (por exemplo, *softwares* e filmes educativos) (Salum *et al.*, 1999). Nesse ambiente, os alunos costumam participar de forma passiva e trabalhar sozinhos, o desempenho é avaliado por meio de testes, geralmente medindo apenas a capacidade de lembrar fatos, fórmulas e procedimentos (Ribeiro, 2005).

Nesse cenário, a tecnologia pode ser utilizada para criar moldes de protótipos impressos em 3D a partir de projetos CAD (*Computer Aided Design*). Essa tecnologia melhora as habilidades dos alunos e amplia sua compreensão, permitindo que pensem de forma mais crítica e analítica e, com isso, ajuda-os a desenvolver novas competências e habilidades graças ao seu uso como ferramenta (Jones *et al.*, 2021). Essas ideias se alinham com a Engenharia porque sugerem que a tecnologia melhora as competências dos alunos por meio do aumento das habilidades e do pensamento crítico e analítico. Assim, é interessante a exploração do uso de impressoras 3D, que, associado com essa ferramenta, pode ser utilizada no ensino para o entendimento prático de conteúdos previamente vistos na disciplina de ciências dos materiais e aplicados na disciplina de gestão de manutenção a partir de um protótipo físico.

O uso da tecnologia de impressão 3D em sala de aula pode ser uma ótima forma de ajudar os alunos a desenvolver novas habilidades e competências. Além disso, ao utilizar metodologias ativas de ensino, como a aprendizagem baseada em problemas, os alunos podem se envolver mais no processo de aprendizagem e ter uma experiência mais significativa (Blikstein, 2013).

A impressão 3D pode ser utilizada em diversas disciplinas, desde a engenharia até a medicina e a arquitetura. Os alunos podem criar protótipos de produtos, modelos

anatômicos e até mesmo maquetes de construções, permitindo que apliquem na prática os conceitos aprendidos em sala de aula.

Além disso, o uso da impressão 3D pode estimular a criatividade e o pensamento crítico dos alunos, já que eles precisam pensar em soluções para os desafios que surgem durante o processo de criação do protótipo. Isso pode ajudá-los a desenvolver habilidades como resolução de problemas, trabalho em equipe e comunicação.

No entanto, é importante ressaltar que a impressão 3D não deve ser vista como uma solução única para todos os problemas educacionais. É necessário um planejamento cuidadoso e uma abordagem pedagógica adequada para garantir que os alunos aproveitem ao máximo essa tecnologia e que ela seja utilizada de forma efetiva para alcançar os objetivos de aprendizagem estabelecidos (Horn; Staker, 2015).

Este estudo pretende gerar novas ideias sobre a utilidade da impressão 3D utilizando-se como conhecimento prévio a ciências dos materiais, explorando como essa ferramenta pode auxiliar o aluno na compreensão das propriedades dos materiais poliméricos através da produção de um protótipo voltado ao ensino de manutenção.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A presente pesquisa busca utilizar a ferramenta de impressão 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*) para investigar a relação entre o tipo de preenchimento e as propriedades mecânicas dos objetos impressos. A escolha do tipo de preenchimento pode influenciar na resistência, rigidez e tenacidade do material, assim como no tempo e custo de impressão.

Espera-se que, durante cada ciclo de fabricação do modelo físico, os alunos possam identificar pontos fortes (aprendizado ativo, discussão colaborativa) e pontos fracos (limitações de escala, tempo e recursos), além de alterar e discutir os rumos do projeto. Forti (2005), que questiona como as novas tecnologias podem ajudar a projetar processos de ensino em cursos universitários de Design. Também se aplica a indicações em outras investigações, por exemplo, no final da tese de Pupo (2008), ela aponta para o papel das universidades na introdução de novas tecnologias no ensino e na pesquisa, para que os alunos estejam preparados para enfrentar realidades profissionais, uma vez que as tecnologias estão cada vez mais presentes em diferentes etapas dos projetos. Forti

(2005) defendem que os professores são os principais responsáveis pela disseminação do conhecimento, da cultura e da tecnologia.

Conforme destacado por John Dewey, a mera introdução de novas ferramentas em sala de aula sem planejamento e uso criterioso não é suficiente. É crucial, como sugere Dewey, que essas ferramentas sejam integradas de forma cuidadosa ao programa de ensino, a fim de contribuir efetivamente para o processo de aprendizado. Da mesma forma, Seymour Papert enfatizou a importância da aprendizagem prática e da resolução de problemas, o que se alinha à necessidade de que o ensino metodológico e as disciplinas de projetos se adaptem para incorporar as novas ferramentas de maneira eficaz.

Assim, o ensino metodológico e as disciplinas de projetos precisam mudar para trazer a realidade das novas ferramentas para o âmbito acadêmico e preparar os alunos com ferramentas próximas aos padrões atuais da indústria. Os desafios são muitos, e as universidades precisam estar preparadas para utilizar essas tecnologias, além de obter equipamentos e materiais de alta qualidade. É importante investir na formação de professores e na atualização dos programas de ensino para que os alunos estejam adequadamente formados e preparados para atuar no mercado de trabalho.

Além disso, é necessário considerar os custos envolvidos, incluindo a aquisição de equipamentos e materiais, bem como sua manutenção e reposição. O uso dessas tecnologias deve ser planejado e bem gerenciado para poderem ser utilizadas de forma eficaz e trazer benefícios para o processo de ensino-aprendizagem e para a formação profissional dos alunos em um ambiente de rápida mudança tecnológica. Portanto, integrar a impressão 3D e outras tecnologias modernas ao ensino universitário pode preparar os alunos para essas mudanças e torná-los mais capazes de desenvolver soluções inovadoras e competitivas. Além disso, ao usar essas tecnologias no processo de desenvolvimento do projeto, os alunos adquirem habilidades práticas e experiências que serão úteis para suas futuras carreiras.

1.2 PERGUNTA DE PESQUISA

Qual é o impacto da utilização da ABP no curso de Engenharia Mecânica no que se refere à compreensão da utilização da impressora 3D e a relação entre as variáveis de impressão, custo e propriedades mecânicas?

1.3 OBJETIVOS

Neste capítulo, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos desta pesquisa, que visam orientar o desenvolvimento e a condução do estudo. Os objetivos são fundamentais para direcionar as ações e delimitar o escopo da pesquisa, proporcionando clareza e foco na obtenção dos resultados desejados.

1.3.1 Objetivo geral

Investigar e desenvolver uma sequência didática inovadora para o curso de Engenharia Mecânica, embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa e na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), com o propósito de promover a aprendizagem significativa dos alunos por meio de atividades práticas relacionadas à manufatura aditiva e impressão 3D.

1.3.2 Objetivos específicos

Com o propósito de se alcançar o objetivo geral supracitado, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar uma sondagem dos conhecimentos prévios dos alunos para identificar as lacunas de conhecimento antes do início do curso;
- b) Implementar a ABP utilizando a impressão 3D para a construção de protótipos de peças mecânicas;

- c) Avaliar o impacto da ABP e da impressão 3D na aprendizagem dos alunos em relação aos conceitos fundamentais de Engenharia Mecânica.

1.4 JUSTIFICATIVA

A escolha de explorar a Impressão 3D no contexto da Engenharia Mecânica é respaldada pela sua crescente relevância na indústria e pelos avanços tecnológicos que proporcionam novas possibilidades de fabricação. No entanto, o diferencial deste trabalho reside na abordagem pedagógica adotada, centrada na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e na Teoria da Aprendizagem Significativa.

A ABP, ao colocar os alunos diante de desafios práticos relacionados à Impressão 3D, visa estimular o pensamento crítico, a resolução de problemas e a aplicação prática dos conhecimentos teóricos. Nesse contexto, a Impressão 3D não é apenas uma ferramenta técnica, mas um meio de engajar os alunos em situações complexas e reais, promovendo uma aprendizagem ativa.

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel fundamenta a seleção cuidadosa dos conteúdos, buscando estabelecer conexões relevantes com o conhecimento prévio dos alunos. A Impressão 3D, quando integrada a essa perspectiva, torna-se um veículo para a construção de significados, proporcionando uma compreensão mais profunda e duradoura dos conceitos fundamentais da Engenharia Mecânica.

Assim, a justificativa é ampliada para evidenciar não apenas a importância da Impressão 3D na engenharia, mas também o papel fundamental da ABP e da Aprendizagem Significativa como estratégias pedagógicas para preparar os estudantes de engenharia para os desafios do mundo profissional.

Além disso, o autor Huang (2014) – em seu artigo intitulado *Frontiers of Additive Manufacturing Research and Education* – discute a natureza disruptiva da manufatura aditiva, que permite a criação de componentes complexos e personalizados com maior eficiência e liberdade de projeto. Eles discutem como essa tecnologia tem sido aplicada em setores como o aeroespacial, médico, automotivo e de bens de consumo, e como ela tem transformado os processos de fabricação tradicionais.

Além disso, o artigo Huang (2014) aborda a importância da pesquisa contínua para a evolução da manufatura aditiva. Os autores destacam a necessidade de investigar novos materiais, métodos de impressão, otimização de processos e controle de

qualidade, visando aprimorar a confiabilidade e a produtividade dessa tecnologia. Entre os autores pesquisados, muitos abordam informações sobre os avanços tecnológicos, as diferentes aplicações, os benefícios (e também as limitações), a redução de custos e a melhor qualidade dos modelos produzidos pelas ferramentas de prototipagem rápida e o quanto elas estão auxiliando nos processos projetuais, seja nas empresas, nas indústrias ou na área acadêmica.

Portanto, este trabalho busca não apenas conhecer, mas também desmistificar a ferramenta de impressão 3D FDM e testar na prática o seu potencial, vantagens e limitações ao trazer essa tecnologia para dentro das salas de aula. Entre os resultados apresentados, estão os relatos das experiências e das atividades realizadas na disciplina de gestão da manutenção ao buscar materializar os conceitos aprendidos por meio da impressão 3D. Os estudantes tiveram a oportunidade de projetar e imprimir peças em 3D, aplicando os conhecimentos adquiridos em sala de aula de forma prática e concreta. Isso permitiu que eles compreendessem melhor a relação entre as variáveis de impressão, custo e propriedades mecânicas, além de estimular um processo de raciocínio incorporado ao uso de tecnologias contemporâneas no desenvolvimento de protótipos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo proporciona a base teórica essencial para a compreensão e análise dos elementos fundamentais relacionados à pesquisa. Ao explorar conceitos-chave, teorias e abordagens relevantes, busca-se estabelecer um alicerce robusto para a condução da investigação.

2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

Em 1963, David Ausubel delineou sua Teoria da Aprendizagem Significativa em *A Psicologia da Aprendizagem Verbal Significativa*. Segundo Marco Antônio Moreira, a aprendizagem significativa requer novas ideias expressas simbolicamente para interagir com o conhecimento preexistente de forma não arbitrária e substantiva. Isso ocorre porque o conhecimento preexistente é referido como uma ideia âncora ou subsunsores – uma ideia que o aluno entende e com a qual pode relacionar novas informações (Moreira, 1982).

Moreira afirma que a compreensão vem do conhecimento prévio. O novo conhecimento pode ser entendido por causa dessa estrutura de conhecimento preexistente, ou os sujeitos podem entender o novo conhecimento por meio de um mediador, ou inferindo-os eles mesmos. A aprendizagem envolve a interação entre o conhecimento novo e o prévio. Esse processo não é literal ou arbitrário. Através dele, os alunos adquirem novos conhecimentos que lhes dão um novo significado. A aprendizagem também faz com que o conhecimento prévio adote novos significados ou mais estabilidade (Moreira, 1982).

Em contraste com o conhecimento formal, Ausubel acredita que a aprendizagem significativa vem da compreensão de conceitos derivados do conhecimento prévio. O conhecimento formal validado não é necessário para a aprendizagem significativa em sua teoria; em vez disso, é o conhecimento prévio do aluno que mais importa. Isso porque o conhecimento prévio é a variável primária para a aprendizagem significativa como concebida por Ausubel. Mesmo assim, isso não significa necessariamente que seja uma variável útil para os alunos na aquisição de conhecimento escolar.

A correlação entre a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e a perspectiva de Marco Antônio Moreira é que ambos reconhecem a importância do conhecimento prévio na aprendizagem. Ausubel argumenta que a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são conectadas a ideias já existentes na estrutura cognitiva do aluno, enquanto Moreira destaca que a compreensão vem do conhecimento prévio.

Ambos os autores também enfatizam que a aprendizagem não é um processo literal ou arbitrário, mas sim um processo de interação entre o conhecimento novo e o prévio. Além disso, tanto Ausubel quanto Moreira reconhecem que a aprendizagem significativa leva a uma compreensão mais profunda e estável do conhecimento à medida que novos significados são atribuídos ao conhecimento prévio.

Em resumo, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e a perspectiva de Moreira sobre a importância do conhecimento prévio destacam a relevância da construção de relações significativas entre informações já existentes e novas informações para a aprendizagem efetiva e duradoura.

Os subsunsores de Ausubel referem-se principalmente ao conhecimento conceitual. Ele frequentemente se referia ao conceito de subsunsores, que confere ao termo um significado específico. Nos tempos modernos, esse termo parece inadequado devido à sua natureza restritiva; leva as pessoas a pensarem em subsunsores como conceitos específicos. Em vez disso, considere um subsunsores como um conhecimento prévio relevante – não necessariamente um conceito específico – pertinente ao novo aprendizado.

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel afirma que o conhecimento é organizado em uma hierarquia de subsunsores. Isso significa que os subsunsores estão organizados em uma hierarquia com alguns subordinados e superiores. No entanto, essa estrutura pode mudar devido ao aprendizado superordenado – quando um subsunsores começa a incorporar outros subsunsores (Ausubel, 2003).

Uma área de conhecimento específica pode conter várias hierarquias. As posições de subsunsores nessas hierarquias podem ser intercambiáveis dependendo do assunto que está sendo considerado. Isso porque as posições do subsunsores não são fixas em um campo de conhecimento; eles podem variar entre os campos. Por exemplo, a ideia de estruturas gerais de pensamento é considerada primária na teoria piagetiana. No

entanto, em uma abordagem neopiagetiana, essa ideia pode ser considerada secundária a outra ideia.

Subsunsores são conceitos ou declarações; por exemplo, um subsunsores pode ser uma teoria ou um fato específico. A estrutura cognitiva de um subsunsores é considerada um arranjo dinâmico e hierárquico de subsunsores inter-relacionados. Dois processos caracterizam essa estrutura: reconciliação integrativa e diferenciação progressiva. Com a diferenciação progressiva, novos significados são atribuídos aos subsunsores com base no uso sucessivo para definir novos conhecimentos. Esse processo resulta no aprimoramento contínuo do subsunsores – tornando-o mais diferenciado, refinado e útil para o aprendizado de novos conceitos. O novo conhecimento deve interagir ininterruptamente com o conhecimento prévio especificamente relevante para levar a uma aprendizagem significativa (Bruner, 1966).

2.1.1 Condições para a aprendizagem significativa

A aprendizagem significativa requer que duas condições sejam atendidas. Primeiro, o assunto tem que ser potencialmente significativo – ou aprendível – para o aluno. Em segundo lugar, o aluno deve ter afinidade ou predisposição para aprender. Isso significa que o material que está sendo aprendido deve ser compreensível e relacionável em uma base lógica; não pode ser arbitrário (Ausubel, 2003).

Os alunos só podem fazer conexões significativas entre o novo conhecimento e o que já sabem se for não arbitrário e não literal. Isso significa que o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para relacionar esse novo material à sua estrutura cognitiva. Além disso, os alunos devem ser capazes de relacionar esse novo material traduzindo-o em uma estrutura cognitiva apropriada e relevante. Os mesmos devem ter um desejo genuíno de relacionar novas informações com o que já sabem. Esse desejo não pode ser forçado e não pode ser literal (Ausubel, 2003).

2.1.2 Aprendizagem significativa versus aprendizagem mecânica

Muito se tem falado sobre a aprendizagem significativa, a variável que mais afeta, suas condições de ocorrência e recursos institucionais que possam facilitá-la. No entanto, a maioria do aprendizado que ocorre nas escolas é o aprendizado mecânico – essencialmente sem sentido e informações puramente memorizadas e usado para testes e

esquecido logo depois. Embora essa forma de aprendizagem seja bem conhecida entre os alunos e incentivada pelas escolas, alguns esclarecimentos são necessários em relação a um espectro contínuo entre aprendizagem significativa e mecânica (Ausubel, 2003):

- a) Aprender informações significativas em vez de memorizar fatos requer uma mudança não natural. É enganoso acreditar que um aluno pode inicialmente aprender algo mecanicamente (Ausubel, 2003).
- b) Em teoria, os alunos podem aprender qualquer coisa desde que tenham um professor, subsunsores e materiais adequados e uma predisposição para aprender. Na prática, no entanto, os alunos muitas vezes acabam recorrendo à memorização sem sentido devido à falta dessas condições necessárias (Ausubel, 2003).

A internalização, diferenciação e reconciliação imediatas de significados não são esperadas quando se aprende algo novo. Em vez disso, a aprendizagem significativa é progressiva e envolve um processo que constrói um subsunsores. Esse processo envolve capturar, internalizar e diferenciar informações já aprendidas.

Vergnaud afirmou em 1990 que um domínio de um campo conceitual pode ser longo e rompido com continuidades. A aprendizagem significativa, conforme observado por Gowin em 1981, demanda reflexão profunda sobre os significados. O ensino eficaz é o resultado de um longo processo entre aluno e professor que envolve uma negociação de significados.

2.1.3 A facilitação da aprendizagem significativa

Uma teoria sobre o processo de aprendizagem vem de Ausubel, e entende que a aprendizagem significativa requer a aquisição de corpos organizados de conhecimento em uma situação formal de ensino (Ausubel, 2003). No passado, isso seria chamado de “sala de aula”, mas atualmente é melhor se referir a uma “situação formal de ensino” isso que pode ser feito pessoal ou remotamente por meio de um ambiente virtual.

Conforme a teoria da aprendizagem significativa, os alunos são mais influenciados em sua própria aprendizagem quando já possuem conhecimento prévio. Essa suposição é apoiada por Lev Vygotsky, que argumentou que a aprendizagem ocorre em um ambiente social e o conhecimento é construído por meio da interação com

outras pessoas e da cultura. Além disso, a teoria afirma que indivíduos com conhecimento prévio significativo em um assunto específico estão mais predispostos a novos conhecimentos no mesmo campo. Essa afirmação é consistente com as ideias de Vygotsky sobre a zona de desenvolvimento proximal, que argumenta que a aprendizagem ocorre quando um indivíduo é capaz de construir novos conhecimentos a partir de seu conhecimento prévio com a orientação de um especialista (Vygotsky, 1989).

A teoria da aprendizagem significativa pressupõe que os alunos progressivamente se diferenciam e integram novos conhecimentos com o que já sabem. Isso ocorre em um processo dinâmico onde dois processos paralelos acontecem ao mesmo tempo: diferenciação e reconciliação integrativa. Por meio desses processos, os aprendizes organizam seu conhecimento em estruturas semanticamente hierárquicas.

2.2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (ABP)

A ABP, que significa aprender a lidar com problemas, é tão antiga quanto a própria civilização. A frase "necessidade é a mãe da invenção" pode ser um de seus corolários. Seus princípios podem ser encontrados nas teorias e pesquisas de educadores e pesquisadores como Dewey e Bruner, Ausubel, Rogers, Paulo Freire e entre outros.

A ABP é baseada em princípios educacionais e resultados de pesquisas de ciências cognitivas, o que mostra que a aprendizagem não é um processo de receber e acumular informações passivamente, mas uma construção de conhecimento. O conhecimento é necessário para ativar conceitos e estruturas cognitivas existentes sobre a matéria, permitindo aos alunos elaborá-los e expressá-los (Ribeiro, 2008).

A literatura também mostra que a aprendizagem pode ser aprimorada por meio da interação social é promovida quando os alunos são expostos a ambientes da realidade. Além disso, é sabido que a habilidade metacognitiva é propícia a um processo de aprendizagem eficaz, autorregulado e contínuo. Esses dois aspectos podem aumentar ainda mais a motivação. A cognição forma um círculo virtuoso que motiva os alunos a aprender mais sobre o mundo em que vivem (Ribeiro, 2008).

A ABP é uma estratégia de ensino centrada no aluno, agora ela é usada globalmente no ensino superior nas áreas que envolvem ciências da saúde, engenharias, medicina veterinária, saúde pública, arquitetura, informática, administração, direito, ciência política, serviço social, educação e outros campos profissionais (Martins, 2002).

A ABP significa propor uma situação-problema, e Meirieu (1999, p. 92) define a situação-problema como uma:

Situação de ensino, situação em que o sujeito é apresentado a uma tarefa que, sem uma aprendizagem precisa, não pode realizar a tarefa. Esse aprendizado constitui o verdadeiro objetivo da situação problema, que se consegue superando obstáculo na execução da tarefa. Portanto, a produção impõe o acesso, e ambos devem ser objeto de avaliações diferentes.

Portanto, como qualquer situação de ensino, a situação problema deve ser baseada em uma avaliação diagnóstica tripla (motivação, capacidade e habilidade).

A aprendizagem cognitiva apoia a construção contínua de conhecimento ao invés da transferência de conhecimento. De maneira geral, neste caso, a aprendizagem centrada no aluno tornou-se um hábito, enfatizando a interatividade das atividades relacionadas à aprendizagem. Professores e alunos recebem o papel de colaboradores e às vezes, os professores se tornam alunos e os alunos se tornam professores (Martins, 2002; Enkenberg, 2001).

2.2.1 Características da ABP

A ABP é geralmente proativa, centrada no aluno, colaborativa, abrangente e interdisciplinar. Com grupos, as questões são auto-organizadas e operam no contexto do domínio (Barrows, 1996). Algumas questões são mencionadas a seguir.

a) Os alunos das escolas tradicionais recebem conhecimento individualmente ao invés de como parte de um grupo maior. Isso se deve ao fato de que a interação social nas escolas é vista principalmente como uma via de mão única, os professores organizam unidades que ensinam isoladamente. Os estudantes normalmente fazem sua lição de casa sozinhos e trabalham sozinhos em vez de trabalhar em grupos. Trabalhando juntos em uma equipe colaborativa, os alunos expostos a ABP ganham novas habilidades interpessoais. Isso ocorre porque a ABP exige que os alunos interajam enquanto resolvem problemas relacionados (Miao, 2021).

b) Os alunos muitas vezes lutam com problemas mal estruturados. Os problemas do mundo real geralmente exigem orientação de várias disciplinas para encontrar uma resolução adequada do problema. Dessa forma, esses problemas de forma

geral precisam de ajuda integrada para facilitar o aprendizado baseado em problemas (Martins, 2002).

2.2.2 Processo ABP

A ABP não é um processo de resolução de problemas teóricos ou experimentais pela aplicação da teoria, não se limita a atividades de pesquisa bibliográfica, nem é uma abordagem de estudo de caso comum no ensino de engenharia, apesar de algumas características comuns. A ABP também não é apenas um conjunto de técnicas de resolução de problemas, a ABP é um método de ensino e aprendizagem que utiliza perguntas – alinhadas com o desempenho futuro dos alunos como profissionais e cidadãos –, visa iniciar, focar e motivar a aprendizagem do conhecimento objetivado de conceitos, procedimentos e atitudes (Ribeiro, 2008).

A lógica e os principais elementos da ABP podem ser melhor compreendidos através de seu ciclo. O processo ABP inclui uma série de ciclos, onde este começa com a renderização de um problema, analisado e definido por grupos de alunos (passo I). Após identificar o problema, eles, com o auxílio do tutor, discutem livremente a respeito e formulam hipóteses sobre sua causa (passo II) (Ribeiro, 2008).

Os alunos avaliam a adequação das hipóteses elencadas, comparam-nas com os dados encontrados no problema e tentam resolvê-las utilizando seus conhecimentos prévios. Essa etapa também é uma oportunidade para os discentes exporem suas inadequações e mal-entendidos sobre o assunto em questão, que será explicado pelo professor posteriormente para sanar as dúvidas (Ribeiro, 2008).

No passo III, com base nesses pontos de aprendizagem, os alunos pesquisam informações, leem textos e assistem a palestras, e, com isso, no passo IV, desenvolvem conhecimento sobre o assunto. A partir dessa pesquisa, os alunos desenvolvem soluções para o problema original (passo V).

Após apresentarem as soluções, eles recebem *feedbacks* do tutor e de seus colegas (passo VI), que avaliam a eficácia das soluções e sugerem melhorias. Finalmente, o ciclo é concluído com uma reflexão sobre o processo de aprendizagem e sobre como os alunos podem aplicar o conhecimento adquirido em outras situações (passo VII).

O ciclo da ABP é um processo iterativo em que os alunos passam repetidamente pelos passos I a VII, refinando sua compreensão e resolução de problemas ao longo do

tempo. A ABP enfatiza a aprendizagem ativa, colaborativa e baseada em problemas, em contraposição à aprendizagem passiva e baseada em memorização de informações. O objetivo é desenvolver habilidades de resolução de problemas, pensamento crítico, comunicação e trabalho em equipe, além de fornecer uma compreensão mais profunda e duradoura dos conceitos e teorias (Ribeiro, 2008).

2.2.3 Problema na ABP

Perguntas, assim como textos, têm que provocar e despertar o desejo de saber, além de detalhes técnicos. Elas devem conter paixão, que é estritamente o que nos energiza como seres humanos. Os alunos devem ser movidos pelos problemas que os levaram a resolvê-los dessa maneira. A tarefa de redigir perguntas torna-se um desafio permanente para o professor. Muitas vezes, por se tratar de uma tarefa em grupo, isso também exige que eles coloquem em ação suas habilidades de trabalho em equipe, ouvindo outras perspectivas que não as suas, cedendo aos argumentos dos colegas e ao seu narcisismo habitual. De fato, a criação da questão representa um instante de autoria, exigindo um conhecimento preciso do que exatamente o aluno deseja saber. Um problema bem-estruturado já é o início de sua solução (Queiroz, 2012).

2.2.4 Importância dos alunos na ABP

A metodologia da ABP é inspirada em teorias educacionais construtivistas, como a teoria de aprendizagem de John Dewey, que enfatiza o papel ativo do aluno na construção de seu próprio conhecimento. Dewey argumentava que a aprendizagem ocorre quando os alunos participam ativamente de experiências significativas e reflexivas, relacionando-as com suas experiências anteriores. Portanto, a metodologia da ABP, que enfatiza a resolução de problemas reais, a colaboração e a reflexão crítica, estão em consonância com os princípios educacionais de Dewey (Dewey, 1986).

A importância dos alunos na ABP pode ser destacada em vários aspectos. Em primeiro lugar, a metodologia ABP é centrada no aluno, o que significa que o processo de aprendizagem é personalizado e adaptado às necessidades individuais. Isso permite que os estudantes aprendam de maneira mais efetiva, pois estão envolvidos em atividades e projetos relevantes para eles.

Além disso, a ABP incentiva a colaboração entre os alunos, pois eles trabalham em equipe para resolver problemas e alcançar objetivos, o que os ajuda a desenvolver habilidades de comunicação, liderança e trabalho em equipe. Essas habilidades são fundamentais para a vida profissional e pessoal dos alunos.

Outro aspecto importante é que a ABP ajuda os alunos a desenvolver habilidades críticas de pensamento e solução de problemas. Eles aprendem a analisar problemas, a identificar informações relevantes, a buscar soluções e a avaliar resultados. Essas habilidades são fundamentais para o sucesso em qualquer carreira e para a vida cotidiana, além disso, auxilia a promover a aprendizagem ativa e o engajamento dos alunos. Eles não são apenas receptores passivos de informações, mas são ativamente envolvidos no processo de aprendizagem. Isso faz com que se sintam mais motivados e interessados em aprender (Baden, 2004).

O cerne da metodologia da ABP e a sua preocupação com os alunos como em qualquer método ativo é: fazer com que eles sejam permanentemente solicitados a participar de uma forma substancial, ocupando o centro da cena. A abordagem não busca simplesmente encher os alunos com conteúdo de forma passiva, mantendo a tradicional posição de receptores passivos de informações. Em vez disso, aspira a substituir essa dinâmica por um processo em que o aluno se torne um construtor ativo de conhecimento, envolvendo mudanças, evolução e crescimento contínuo. Ressalte-se que a dificuldade de abandonar a posição de aluno-destinatário no cenário tradicional de ensino vai além do campo e do confronto de saberes metodológicos. As dificuldades estão mais relacionadas ao efeito substitutivo, é preciso ser responsável pelo que você fala e argumenta, ser o autor da pesquisa realizada e administrar os argumentos levantados na pesquisa em sala de aula (Queiroz, 2012). Os alunos ocupam o centro da cena docente e se posicionam como agentes responsáveis pela aprendizagem, em contrapartida, do modelo de sala de aula do professor, aqui, são colocados em uma posição diferente, menos central, menos proficiente, mas mais eficaz (Queiroz, 2012).

A aplicação da ABP de Bender (2014), bem como do Buck Institute for Education (2008) traz muitos pontos positivos, como proporcionar motivação para que os alunos desenvolvam habilidades essenciais para um bom desempenho. A ABP é considerada por muitos autores como uma das melhores práticas de ensino disponíveis atualmente. Para Bender (2014), a ABP consiste:

Em permitir que os estudantes confrontem as questões e os problemas do mundo real que considerem significativos, determinando como abordá-los e, então, agindo de forma cooperativa em busca de soluções. (Bender, 2014, p. 61).

Outros autores concordam com a ideia de que a ABP melhora a aprendizagem e ajuda os alunos a aprender habilidades sociais (Costa *et al.*, 2007). A ABP pode preparar melhor os alunos para o trabalho profissional e promover maior aprendizado de conhecimento conceitual e trabalho em equipe (Yadav *et al.*, 2011).

A ABP é uma abordagem que envolve os alunos em um processo investigativo construído inteiramente em torno de produtos e tarefas cuidadosamente selecionados, com base em tópicos reais e muitas vezes complexos. Para Merritt *et al.* (2017), vincular pesquisas a projetos do mundo real, juntamente com conjecturas sobre resolução de problemas e exposição aos múltiplos desafios da sociedade atual, fornece aos alunos conceitos sociais, econômicos e ambientais mais amplos.

2.2.5 ABP e à docência

Os cursos com abordagem ativa ABP devem possuir um grupo de professores responsáveis pela estruturação e organização das atividades teóricas e práticas e outros que as implementem. Conhecimentos de ensino em metodologia, interesses pessoais e profissionais, áreas de treinamento, relações interpessoais e grupais e comportamentos individuais relacionados ao treinamento podem ampliar ou comprometer o potencial de engajamento, orientando a tomada de decisões no planejamento e execução de eventos. É importante que o professor compreenda seu verdadeiro papel na proposta do curso utilizando a abordagem proativa (Almeida *et al.*, 2013).

Para Batista (2004), o planejamento não pode ser considerado uma atividade neutra, mas intencional, é uma reflexão ideológica que se baseia na previsão de fins e no estabelecimento de meios. Hmelo-Silver (2004) enfatiza a importância dos professores como facilitadores e colaboradores da aprendizagem, ajudando a orientar o processo de aprendizagem, fazendo perguntas no início e no final das reflexões, tornando suas contribuições visíveis e envolvendo todos os alunos no processo.

2.2.6 ABP na Engenharia

Segundo Vallim (2000), a realidade atual está longe de ser desejável. A teoria de Ausubel sobre aprendizagem significativa tem sido utilizada por muitos pesquisadores para melhorar os processos de ensino e aprendizagem. Moreira e Dionísio (1975) e Silveira (2008) são alguns exemplos desses pesquisadores. Além disso, Williams (2009) observou que o Conselho de Acreditação da América do Norte para Engenharia e Tecnologia — ou ABET — exigia cursos de engenharia para atender a critérios específicos. Eles afirmaram que esses cursos devem desenvolver habilidades dos estudantes de engenharia para aplicar conhecimentos em ciências, matemática e engenharia, a fim de oferecer experiências, interpretação de resultados e ensiná-los a projetar sistemas, componentes e processos que atendam a requisitos específicos; trabalhar com equipes multidisciplinares.

Os estudantes de engenharia precisam entender o impacto de suas soluções na sociedade e no meio ambiente. Eles também precisam ser capazes de entender as responsabilidades e questões éticas, bem como se comunicar de forma eficaz por escrito e oralmente. Além disso, os estudantes de engenharia precisam identificar, formular e resolver problemas; utilizar técnicas e ferramentas modernas; e ainda buscar o aprendizado contínuo.

A concepção didático-pedagógica desta pesquisa tem como principal argumento a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Essa teoria baseia-se na ideia de que o melhor paradigma para ensinar conceitos e construir conhecimento é o behaviorismo. Ao aproximar o ensino de Engenharia Mecânica a esse paradigma, o objetivo desta pesquisa é desenvolver competências e conceitos de aprendizagem adequados nos alunos (Ausubel, 2003).

A aprendizagem significativa é a teoria central da aprendizagem utilizada neste trabalho devido à sua conexão com o ensino de engenharia. Conforme os estágios de desenvolvimento cognitivo de Piaget – conforme descrito em Piaget (2007) –, os alunos já são capazes de realizar operações sobre conceitos abstratos. Isso torna a classificação operacional formal apropriada para seu público-alvo. Conseqüentemente, os alunos são normalmente expostos a aulas que incorporam palestras e sessões de descoberta. Como sugerido por Ausubel, essas aulas fornecem uma estrutura que favorece a aprendizagem, estabelecendo subsunsores necessários – ou benefícios – para uma aprendizagem significativa.

Hoffmann escreveu em 1994 que monitorar a construção do conhecimento necessita de apoio para os alunos à medida que concluem as tarefas. Isso inclui oferecer

explicações, leituras adicionais e experiências enriquecedoras. Além disso, Hoffmann afirmou que os educadores devem facilitar diálogos construtivos entre os alunos e incentivar a interação social. Segundo a AHLERT (2002), esses paradigmas de pedagogia estão intrinsecamente ligados à escolarização formal e à educação universitária.

A ABP na engenharia está alinhada com esses paradigmas de pedagogia, uma vez que enfatiza a construção ativa do conhecimento pelos alunos com o apoio do professor como facilitador e mediador. Na ABP, os alunos trabalham em grupos para resolver problemas do mundo real, aplicando conceito e teorias aprendidos em sala de aula. Durante esse processo, o professor fornece orientação, *feedback* e recursos adicionais, além de incentivar a discussão e colaboração entre os alunos. Dessa forma, a ABP na engenharia promove a construção de conhecimento significativo, bem como habilidades de trabalho em equipe, resolução de problemas e comunicação. Além disso, a ABP na engenharia também incentiva a reflexão crítica sobre o próprio processo de aprendizagem, estimulando os alunos a avaliar sua própria compreensão e a identificar lacunas em seu conhecimento. Isso ajuda a promover uma abordagem mais metacognitiva para a aprendizagem, onde os alunos aprendem a aprender e a monitorar seu próprio progresso. Por fim, a ABP na engenharia também é altamente relevante para a prática profissional, visto que os alunos aprendem a aplicar conceitos e teorias em situações do mundo real, preparando-os mais para o mercado de trabalho (AHLERT, 2002).

2.3 MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva é caracterizada pela utilização de equipamentos capazes de fabricar objetos pela adição de material camada por camada a partir de um modelo digital tridimensional (3D) geralmente obtido por meio de um sistema CAD (*Computer Aided Design*). Portanto, existe o conceito de produção por adição de material em comparação com a produção por métodos tradicionais, em que as peças são obtidas por remoção de material, como na usinagem (Rodrigues *et al.*, 2017). As características essenciais da manufatura aditiva são a redução do número de etapas e processos na fabricação de objetos, a economia de materiais e a possibilidade de combinações finais de geometrias – materiais.

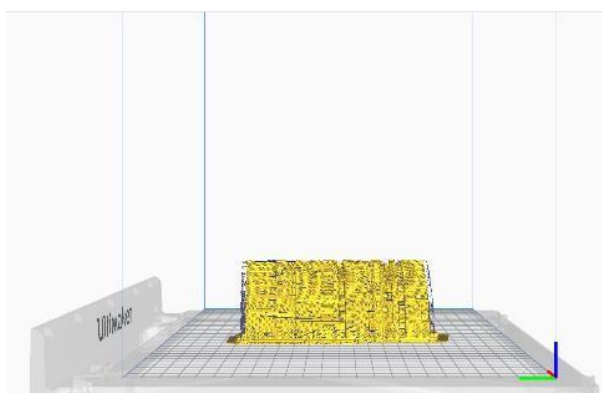
Os meios tradicionais de produção de uma única peça com geometrias complexas podem exigir o uso de várias máquinas, ferramentas específicas e diferentes processos de usinagem e acabamento até o produto; uma máquina de manufatura aditiva pode produzir a peça em uma única etapa ou em um número significativamente menor de etapas. Como a peça é feita depositando material camada por camada, não há desperdício de material como cavacos de usinagem (Rodrigues *et al.*, 2017).

Em relação à computação, as várias etapas do processo de planejamento têm algo em comum. Esse processo é dividido em três etapas: pré-processamento, prototipagem rápida e pós-processamento (Prinz, 1997).

No pré-processamento, um modelo de peça é criado em software CAD 3D (computer-aided design) ou seus dados são escaneados. O arquivo resultante deve então ser convertido para um padrão aceito pela máquina, como o STL, que é um formato amplamente utilizado e consiste em uma representação geométrica da superfície de um modelo em uma malha triangular, sem os detalhes de cor ou textura comuns em sistemas CAD, mas desnecessários na prototipagem. Cada triângulo define um único vetor normal, juntamente com um sistema cartesiano tridimensional de coordenadas.

Na próxima etapa, o sólido é fatiado em camadas, que serão construídas sequencialmente na máquina. As fatias representam seções transversais relativas à espessura uniforme, e cada fatia é digitalizada para determinar com precisão a forma desejada e adicionar planejamento de caminho. Envolve a definição de rotas para preenchimento de borda, deposição de material e deposição de suporte (se aplicável). Existem várias configurações para essa etapa, que variam para cada técnica, o que é muito importante, pois determina o tempo de construção e a qualidade final (Figura 1).

Figura 1 – Fatiamento do sólido em camadas



Fonte: Autor (2023).

A próxima etapa corresponde ao controle de geração de objetos, cuja função é realmente fornecer a fabricação do modelo físico emitindo sinais de controle. Finalmente, o pós-processamento inclui cura, remoção de estruturas de suporte e limpeza de peças (se necessário) para inspeção do acabamento (Yoshida, 1994). Cada técnica possui suas vantagens e desvantagens, requerendo uma avaliação prévia para determinar qual delas é a mais eficaz para o produto.

Existem várias classificações possíveis para essa tecnologia, outras classificações são baseadas no estado inicial das matérias-primas:

- a) Líquido (exemplo: SL, Impressão a Jato de Tinta (IJP) - PolyJet);
- b) Pó (Exemplo: 3DP);
- c) Sólido (Exemplo: FDM: Moldagem por Extrusão de Plástico).

Os processos de manufatura aditiva também podem ser caracterizados pelo tipo de material, como polímeros, metais, cerâmicas, compósitos e biomateriais (Huang *et al.*, 2015). Outra classificação possível considera o mecanismo de construção dividido em quatro áreas principais, a saber: estado da matéria-prima (conforme descrito acima), energia, método de construção da camada e o estado da peça criada.

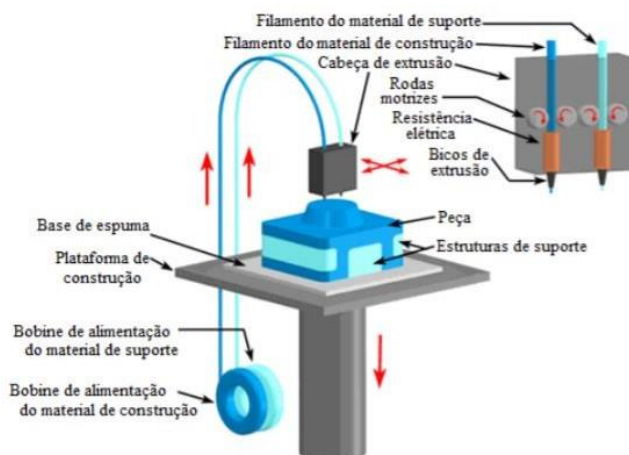
Conforme mencionado anteriormente, têm-se técnicas de manufatura como: Estereolitografia (SL), Impressão a Jato de Tinta (IJP) – PolyJet, impressão 3D (3DP) e Moldagem por Extrusão de Plástico (FDM). Esta subseção visa detalhar a técnica de FDM, que será utilizada na presente pesquisa.

Durante esse processo, filamentos de resina termoplástica aquecidos são extrudados de um cabeçote de extrusão que se move no plano x e y. O material termoplástico usado para construir o modelo é alimentado através da bobina na forma de fio. A peça de mão deposita filamentos de material na base, formando a primeira camada da montagem. A temperatura da plataforma é menor do que o material extrudado, de modo que a resina termoplástica endurece rapidamente. Após este processo, a platina é movida verticalmente (eixo z) e a cabeça deposita a segunda camada em cima da primeira. Este processo é repetido até a construção completa do protótipo. Se necessário, construa suportes durante a produção para dar suporte a protótipos. Eles são fixados ao protótipo usando um segundo material mais fraco ou juntas perfuradas (Chua *et al.*, 2014; Gibson *et al.*, 2010).

Para além da restrição na precisão, este processo está ainda sujeito a contrações imprevisíveis, já que o material utilizado está sujeito a arrefecimentos rápidos que

podem levar a distorções no modelo final (Chua *et al.*, 2014). No entanto, alguns autores defendem que essas distorções podem ser previstas e compensadas previamente (Grimm, 2004). A Figura 2 ilustra o princípio básico dessa tecnologia.

Figura 2 – Princípio do processo FDM



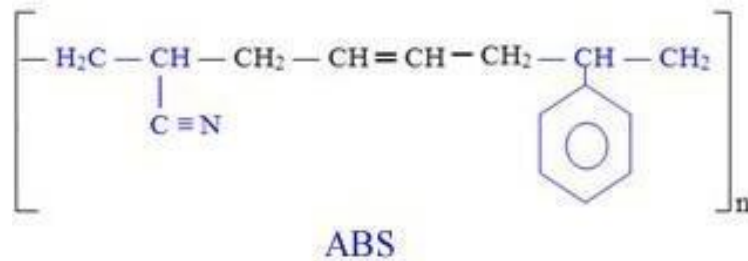
Fonte: Gaulio (2022).

A tecnologia está se tornando cada vez mais versátil nos materiais utilizados. Em teoria, não há limite para os diferentes tipos de materiais que podem ser usados. Na prática, porém, metais e cerâmicas com pontos de fusão elevados apresentam problemas de fusão, gradientes de temperatura do modelo e pré-aquecimento da área de trabalho. Portanto, esse método é principalmente adequado para materiais com baixo ponto de fusão (68°C a 270°C) e baixa condutividade térmica (Domingos, 2022).

As resinas termoplásticas mais indicadas para esse processo incluem poliéster, ABS (Acrilonitrila-butadieno-estireno), ácido polilático (PLA), policarbonato (PC), PA (Poliamidas), elastômeros e ceras.

O ABS tem a seguinte fórmula química $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$ (Figura 3), e a proporção exata de cada componente na composição do copolímero depende do uso final do produto. O resultado físico deste copolímero é um material termoplástico rígido e leve com alguma flexibilidade e resistência à absorção de impacto. Este termoplástico amorfo tem uma baixa temperatura de transição vítrea (cerca de 105 °C) para fácil manuseio. Apresenta como característica uma ampla gama de aplicações, desde tubos, interiores automotivos, moldes de injeção, capacetes de segurança, tacos de golfe e peças de Lego (Fried, 2003).

Figura 3 – Estrutura molecular do polímero ABS



Fonte: Brasil Escola (2023).

Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades do ABS, este material apresenta uma boa resistência mecânica, pode ser exposto ao sol sem se deformar e aceita com facilidade alguns processos de acabamento, como lixa e tratamento com acetona. Como desvantagem apresenta uma forte contração quando esfria.

Tabela 1 – Propriedades do ABS

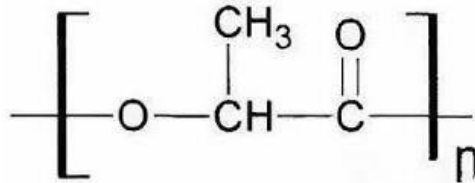
Propriedades	ABS
Densidade	1,04 (g/cm ³)
Temperatura de fusão	220 °C
Temperatura de transição vítrea	100 °C
Tensão de escoamento	38 MPa
Resistência a flexão	66 MPa
Módulo de elasticidade	2200 MPa

Fonte: SOLUÇÕES EM IMPRESSÃO 3D (2017).

O PLA é outro material amplamente utilizado na tecnologia FDM, principalmente em impressoras de baixo custo. Este termoplástico pertence à família dos poliésteres alifáticos e é tipicamente produzido a partir de alfa-hidroxiácidos, que incluem ácido poliglicólico ou ácido polimandélico (Figura 4). As propriedades mecânicas são semelhantes ao ABS, mas o PLA é biodegradável porque é derivado do amido de milho (Fried, 2003).

Esse material apresenta um ponto de fusão de 180°C, tem uma marca de Tg - 60°C, sendo o ponto em que o material começa a se deformar e perder seu estado rígido. Como o material é baixo em Tg (temperatura de transição vítrea), ele pode ser impresso sem deformações ou alta temperatura da mesa. Além disso, possui dureza 85 Shore D, isso mostra que é mais resistente ao atrito e ao desgaste de outros materiais.

Figura 4 – Estrutura molecular do polímero PLA



Fonte: Sigma-Aldrich (2023).

Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades dos PLA. Como o material PLA tem alta dureza superficial, ele é bem resistente à abrasão. Peças que sofrerão desgaste por contato são ideais para serem impressas com o filamento PLA. Exemplo de aplicações: peças grandes, peças sem acabamento posterior, necessidade de resistência à abrasão, entre outros.

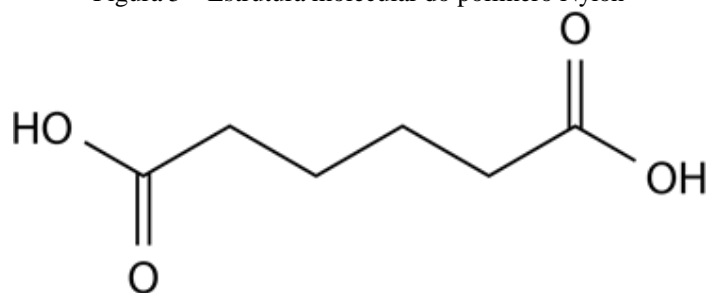
Tabela 2 – Propriedades do PLA

Propriedades	PLA
Densidade	1,24 (g/cm ³)
Temperatura de fusão	185 °C
Temperatura de transição vítrea	60 °C
Tensão de escoamento	66 MPa
Resistência a flexão	130 MPa
Módulo de elasticidade	4350 MPa

Fonte: SOLUÇÕES EM IMPRESSÃO 3D (2017).

O nylon é um polímero sintético formado a partir de poliamidas (Figura 5) e pode ser impresso usando pó ou filamento. Nylon é um material avançado para impressão 3D; é durável, resistente à abrasão com uma textura forte. O nylon é comumente usado em impressão 3D industrial; é considerado uma das melhores opções para impressão. O baixo coeficiente de atrito do nylon o torna ideal para criar peças móveis funcionais, como engrenagens ou dobradiças. Por isso que é comumente usados para criar protótipos funcionais, peças de uso final e outras peças que exigem flexibilidade e resistência. Ao imprimir nylon em materiais finos, o material ainda pode manter sua resistência. Compreender a impressão 3D com nylon requer o entendimento de duas outras propriedades. Primeiro, tem um alto ponto de fusão e, segundo, é higroscópico – o que significa que absorve a umidade facilmente.

Figura 5 – Estrutura molecular do polímero Nylon



Fonte: Dreamstime (2023).

Na Tabela 3 são apresentadas as propriedades térmicas do Nylon. O nylon é um material excelente devido à sua alta rigidez e baixa absorção de umidade. Tem melhor apelo visual do que a maioria dos outros materiais comuns, como madeira, couro ou vidro. O nylon tem muitos usos exclusivos que provaram ser imensamente populares entre os engenheiros. Muitos desses usos envolvem engrenagens, rolamentos, buchas, rodas, parafusos, porcas e roletes para correias transportadoras. Algumas outras aplicações notáveis incluem anéis de vedação, roletes para correias transportadoras, blocos e calços.

Tabela 3 – Propriedades do Nylon 6.0

Propriedades	Nylon 6.0
Densidade	1,14 (g/cm ³)
Temperatura de fusão	220 °C
Temperatura de transição vítrea	40 °C
Tensão de escoamento	80 MPa
Resistência a flexão	120 MPa
Módulo de elasticidade	3000 MPa

Fonte: SOLUÇÕES EM IMPRESSÃO 3D (2017).

Dentro do ensino, a manufatura aditiva vem auxiliando os alunos a realizarem projetos educacionais por meio da metodologia ativa de ensino e aprendizagem. Na

ABP, os alunos colaboram com os colegas para aplicar os conhecimentos adquiridos (Bell, 2002).

A manufatura aditiva é uma tecnologia amplamente empregada em campos como a engenharia, com o propósito de minimizar falhas e aprimorar eficiências nos processos. Ela abrange uma variedade de recursos e técnicas, incluindo a capacidade de criar protótipos por meio da impressão 3D, um procedimento que envolve a adição de materiais em camadas sucessivas. A tecnologia desenvolveu-se rapidamente nos últimos anos, após o declínio das patentes, também devido ao desenvolvimento de novas tecnologias e materiais. (Gibson, 2010).

Nas universidades, o investimento em laboratórios de prototipagem permite que os alunos saiam do ambiente virtual e do projeto para entrar no ambiente físico dos projetos a fim de entender como usar ferramentas de prototipagem que podem ser aplicadas à pesquisa e indústrias futuras. Conhecimento da indústria e pós-graduação, juntamente com protótipos de impressão 3D, são benéficas para toda a cadeia de produtos envolvidos. A utilização de protótipos impressos em 3D na graduação e na indústria é objeto de interesse neste trabalho, pois trata de forma simples como inserir conceitos de prototipar e compreender a importância da impressão 3D no desenvolvimento de projetos.

Apesar da evolução tecnológica da última década, os desafios no processo de ensino persistem até agora, principalmente na prática educativa, onde as diferentes tecnologias são inseridas em sala de aula. A tecnologia garante e penetra na atenção dos jovens estudantes. Nesse sentido, aplicar esse fascínio à educação é benéfico e pode ajudar os professores a enxergarem novas formas de aplicar os conteúdos de forma mais interessante e prática e, com isso, estimular a criatividade dos alunos. Mesmo com os avanços tecnológicos no último século, os métodos de ensino baseados na memória ainda são eficazes, desde o ensino fundamental até o ensino superior (Blikstein, 2013).

A impressão 3D é uma tecnologia em ascensão que tem se tornado cada vez mais acessível e popular. Essa tecnologia permite a criação de protótipos de forma rápida e precisa, possibilitando que ideias e projetos sejam materializados de forma mais tangível e concreta. A utilização de protótipos impressos em 3D tem se tornado uma prática cada vez mais comum na graduação e na indústria, pois permite que os estudantes e profissionais possam visualizar, testar e aprimorar seus projetos antes de colocá-los em prática.

Na graduação, a utilização de protótipos impressos em 3D pode auxiliar os alunos a compreenderem conceitos teóricos de forma mais prática e visual. Além disso, essa tecnologia pode ajudar os estudantes a desenvolverem habilidades importantes, como a criatividade, o pensamento crítico e a resolução de problemas. Na indústria, a impressão 3D pode ser utilizada para a produção de peças e componentes de forma mais rápida e eficiente, reduzindo os custos e os prazos de entrega.

No que diz respeito à resolução de problemas, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) prevê “o uso e aprofundamento do conhecimento científico na construção e criação de experimentos, modelos, protótipos para criar processos ou produtos que atendam às necessidades de resolução de problemas” (Brasil, 2017). Desta forma, o documento não só leva em conta as competências específicas identificadas para cada nível de ensino, mas também discute formas de completar o itinerário formativo planejado.

Na educação, impressoras 3D têm sido usadas como ferramentas para melhorar o processo de ensino. Segundo Blikstein (2013), os maiores diferenciais dos objetos desenvolvidos por meio de impressoras 3D são: a qualidade e a capacidade de usá-las para testes reais e funcionais.

Além disso, elas também podem ser uma ferramenta útil para a resolução de problemas. Ao permitir que os alunos criem protótipos e modelos funcionais, podem ajudar a testar ideias e soluções de maneira prática, permitindo que os alunos vejam seus erros e ajustem suas abordagens para melhorar suas soluções.

Ao usá-las como uma ferramenta para resolver problemas, os alunos também podem desenvolver habilidades importantes, como pensamento crítico, resolução de problemas e colaboração. Eles precisam trabalhar em equipe para identificar e abordar problemas, bem como para projetar e construir soluções. Eles também precisam pensar criticamente sobre os desafios que enfrentam e ajustar suas abordagens para alcançar melhores resultados.

Em resumo, o uso de impressoras 3D na educação pode ser uma ferramenta valiosa para ajudar os alunos a resolver problemas de maneira prática e desenvolver habilidades importantes para o mundo real. Combinado com a abordagem da BNCC, isso pode ajudar a garantir que os alunos estejam bem preparados para enfrentar os desafios que encontrarão na vida.

A principal razão para a adoção em massa de impressoras 3D, inclusive na educação, ocorreu após o compartilhamento do código-fonte em repositórios virtuais que os tornam acessíveis ao público. De acordo com Blikstein (2013), em alguns países, a aplicação da impressão 3D na educação tornou-se uma realidade. Um estudo de 2014 do New Media Consortium (NMC) mostra que grandes mudanças ocorreram nas escolas de todo o mundo.

O Lyceum (2019) incentiva os alunos a adotar a tecnologia, removendo métodos de ensino desatualizados. Uma razão é evitar os efeitos negativos da educação tradicional, limitados à aprendizagem baseada em memorização e falta de criatividade na resolução de problemas. A adoção da impressão 3D na educação pode ajudar a transformar esse cenário, permitindo aos alunos explorar sua criatividade e desenvolver habilidades em áreas como design, engenharia e tecnologia.

Com as impressoras 3D, os alunos podem criar e imprimir seus próprios modelos tridimensionais, o que pode ajudá-los a compreender melhor conceitos abstratos e complexos. Além disso, a impressão 3D pode ajudar a tornar a aprendizagem mais prática e envolvente ao permitir que os alunos construam protótipos e testem suas ideias em um ambiente controlado.

Outra vantagem da impressão 3D na educação é que ela pode ajudar a democratizar o acesso a tecnologias avançadas, permitindo que estudantes de todas as idades e de qualquer parte do mundo possam criar e imprimir seus próprios objetos. Isso pode ajudar a aumentar a diversidade e inclusão na educação, de modo que mais alunos tenham acesso a recursos e ferramentas que antes estavam disponíveis apenas para aqueles em instituições de ensino de elite.

A adoção da impressão 3D na educação tem o potencial de transformar como os alunos aprendem, permitindo que eles desenvolvam habilidades em áreas importantes como design, engenharia e tecnologia. Além disso, a tecnologia pode ajudar a tornar a aprendizagem mais envolvente e prática, fazendo com que os alunos criem e testem suas próprias ideias em um ambiente controlado (Lyceum, 2019)

A segunda razão é capacitar os alunos para o futuro, ensinando-lhes liderança, habilidades técnicas e entusiasmo pela tecnologia. Esses benefícios vêm da valorização do espaço Maker, que permite que os alunos sejam mais engajados e criativos (Martinez; Stager, 2013).

A utilização dos recursos digitais e processos de prototipagem como meios facilitadores das aprendizagens e como fatores impulsionadores da criatividade

aplicados no ensino de engenharia apresentará uma nova abordagem das metas curriculares, capazes de motivar e de facilitar o processo de aprendizagem em determinadas matérias que os alunos revelam mais dificuldades.

2.4 *SOFTWARES* PARA IMPRESSÃO 3D

Os processos de impressão usam várias camadas de materiais organizadas por software de computador. Esses materiais são sobrepostos reciprocamente de maneiras específicas determinadas pelo software. Existem muitas técnicas de impressões diferentes, mas todas seguem os mesmos passos:

- a) Modelagem 3D em CAD;
- b) Conversão do modelo CAD em formato STL;
- c) Fatiamento do STL em finas camadas ou cortes transversais;
- d) Construção do modelo físico através da superposição de camadas;
- e) Limpeza e finalização do modelo.

Os arquivos STL são usados para armazenar informações sobre modelos 3D em computadores. Esses arquivos são usados em Computer-Aided Design ou CAD, auxiliado por software de computador. Diferentes algoritmos são usados em diferentes softwares CAD para representar objetos sólidos por meio de modelagem. Para padronizar esse processo independentemente do software CAD utilizado, o formato de arquivo STL foi definido como padrão (Kwon, 2002).

Uma máquina precisa de um software específico para realizar CAM, ou manufatura auxiliada por computador. Este software informa à máquina por onde passar o material ao gerar coordenadas numéricas por modelos de fatiamento. Um processo semelhante é realizado por CNC, ou software de controle numérico computadorizado.

2.4.1 Desenho Auxiliado por Computador (CAD)

É um método utilizado para projetos de engenharia e arquitetura, no entanto, também pode ser usado para outros fins. Este método utiliza um software que combina várias ferramentas em uma e foi desenvolvido devido à necessidade de um software de desenho técnico. Sem a geometria euclidiana – um princípio geométrico criado por volta de 350 aC – não seria possível desenvolver softwares CAD (Amaral, 2010).

Os programas CAD modernos permitem que projetos complexos em 2D e 3D sejam projetados com relativa facilidade. O desenvolvimento de modelos geométricos é uma etapa essencial no processo de impressão, pois impressoras 3D processam tais modelos para criar peças tridimensionais (Sutherland, 2003).

2.4.2 Formato STL

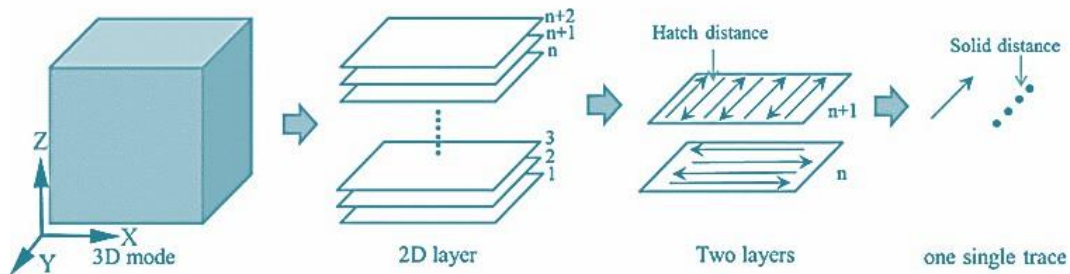
O formato de arquivo STL — *Standard Triangle Language* — foi criado como uma ponte entre os sistemas CAD usando o formato STL. Ele codifica modelos tridimensionais em pequenos triângulos em uma superfície bidimensional. O formato do arquivo utiliza um conceito semelhante aos mosaicos, onde toda a superfície do modelo é dividida em triângulos (Chakravorty, 2022).

O formato STL salva dados para cada triângulo contido em um modelo 3D. Isso inclui as informações sobre os vértices de cada triângulo e os componentes do vetor normal do triângulo, que é perpendicular à superfície do triângulo (Portela, 2022). A maioria dos softwares CAD suporta o formato STL e esses sistemas são configurados para permitir que os modelos 3D sejam armazenados em vários níveis de detalhes (Portela, 2022).

2.4.3 Fatiadores

O *software* de fatiamento conhecido como Slicer processa modelos 3D STL. Esses softwares exigem configurações iniciais que determinam a qualidade das impressões produzidas (Figura 6).

Figura 6 – Fatiamento em camadas de um modelo tridimensional



Fonte: Kang (2018)

Essas configurações estão geralmente relacionadas ao modelo que está sendo fatiado e pode incluir tamanho e suporte. Um exemplo dessas configurações é a atmosfera, que se refere à pressão do ar dentro do bocal da impressora.

- Uma altura de camada mais baixa significa uma peça com mais qualidade, mas levará mais tempo para imprimir;
- Paredes mais grossas usam mais tinta para imprimir. Consequentemente, os custos de tinta da impressora aumentam com peças de paredes mais espessas;
- A velocidade do movimento horizontal do bico extrusor é a velocidade de impressão.

Após fatiar o modelo 3D, o software salva no arquivo as instruções necessárias para que a impressora reproduza o caminho de deposição do material para obter as camadas desejadas. Esse arquivo de instruções é chamado de código modal, popularmente conhecido como "código G" e é usado pela maioria das impressoras no mercado hoje.

2.4.4 G-code

G-code (código G) é uma linguagem de programação usada para instruir máquinas por controle numérico, também conhecido como Computer-Numeric-Control. Seu nome significa “Código Geométrico” e ele pode emitir comandos fora das operações geométricas, como definir a velocidade e a temperatura da extrusão. O código G é usado em muitos processos de impressão 3D; ele instrui uma máquina a se mover em três dimensões e pode emitir coordenadas cartesianas, trajetórias e outros comandos necessários para a operação da máquina (Kramer, 1994).

Um comando consiste em uma letra e uma sequência de três números, a letra representando a classe de comando (Tabela 4) e o número representando o comando que será executado dentro da classe (Tabela 5). O comando pode ou não ser seguido por parâmetros adicionais como velocidade e posição (REPRAP, 2022).

Tabela 4 – Classes de comandos usados em G-code

Classe de comandos	Descrição
<i>Gnnn (Exemplo G111)</i>	Comando G-code padrão, como mover para um ponto;
Mnnn	Comandos de definição RepRap, como ligar a mesa ou desligar um ventilador;
Tnnn	Seleção da ferramenta nnn, em RepRap isso significa o tipo e quantos bicos a impressora usa;
Snnn	Parâmetro de comando, do tipo tensão, temperatura, tempo em segundos, para um moto;
Fnnn	Taxa de alimentação. (velocidade por movimento da cabeça);
Rnnn	Parâmetro usado em temperaturas;
Ennn	Extensão da extrusão. É o XYZ para consumo de filamento;
Jnnn	Parâmetro offset Y em movimento de arco;
Innn	Parâmetro offset X em movimento de arco;

Fonte: Adaptado de REPRAP (2022).

Tabela 5 - Comandos mais utilizados em G-Code

Classe de comandos	Descrição
G0	Mover a cabeça à velocidade máxima para coordenadas desejadas. Ex: G0 X7 Y18;
G1	O comando mais comum na impressão 3D, onde a velocidade da movimentação é limitada pela taxa de deposição, mantendo o movimento em X e Y uniforme, Ex: G1 X7 Y18 F3000 E0.2;
G20/G21	Definir a escala da movimentação, G21 é milímetros, G20 é polegadas;
G17, G18, G19	Definir os planos da máquina;
G28	Definir o HOME da máquina, em geral, é utilizado o código G28.1 para X0 Y0 Z0;
G90	Modo absoluto, diz para a máquina ir para a coordenada X10, por exemplo, em absoluto;
G91	Modo incremental, o mesmo que o G90, mas incrementa a nova medida sob a posição atual do cabeçote;
G2	Mover no sentido horário: começar a camada e movimentar a cabeça em sentido horário;

Fonte: Adaptado de REPRAP (2018).

2.4.5 Parâmetros de impressão

De acordo com Cunico (2015), esses parâmetros, isto é, a espessura da camada, espessura da parede, densidade de preenchimento, velocidade de extrusão, velocidade de deslocamento, temperatura de extrusão e material de extrusão como parâmetros operacionais durante o processo de impressão 3D, precisam ser bem definidos e ajustados com precisão. Os parâmetros mencionados por Cunico (2015) são importantes para o processo de impressão 3D, pois cada um tem um impacto direto na qualidade da impressão, no tempo de impressão e na eficiência geral do processo, a seguir são definidos os parâmetros de impressão.

- a) Espessura da camada: é a altura de cada camada impressa. É um parâmetro importante porque afeta diretamente a resolução e a suavidade da superfície da impressão. Uma camada mais fina geralmente leva a uma melhor qualidade de impressão, mas também aumenta o tempo de impressão;
- b) Espessura da parede: é a espessura das paredes que compõem o modelo. Influência a robustez do objeto impresso e sua capacidade de suportar cargas;
- c) Densidade de preenchimento: é a quantidade de material usada para preencher o interior do modelo. A densidade de preenchimento afeta a resistência do modelo e o tempo de impressão;
- d) Velocidade de extrusão: é a velocidade com que o filamento de material é extrudado da impressora. Uma velocidade de extrusão mais rápida pode diminuir o tempo de impressão, mas também pode levar a erros na impressão;
- e) Velocidade de deslocamento: é a velocidade com que a cabeça de impressão se move ao redor do modelo. Uma velocidade de deslocamento mais rápida pode diminuir o tempo de impressão, mas também pode afetar a qualidade da impressão;
- f) Temperatura de extrusão: é a temperatura do bico de impressão. Uma temperatura mais alta pode levar a uma melhor aderência do material e a uma impressão mais rápida, mas também pode afetar a qualidade da impressão;
- g) Material de extrusão: é o tipo de material usado na impressão. Cada material tem suas próprias propriedades e requer configurações específicas de impressão para obter os melhores resultados.

Para que o processo funcione corretamente é importante ajustar esses parâmetros com precisão para obter a melhor qualidade de impressão possível. Uma configuração incorreta de qualquer um desses parâmetros pode levar a impressões de baixa qualidade ou falhas no processo de impressão.

2.4.5.1 Orientação de Impressão

Segundo Volpato (2017), selecionar a orientação de uma peça é uma das etapas da impressão 3D. Essa escolha determina para qual direção o modelo ficará quando estiver sendo construído, além disso, também decide quantas camadas a peça terá e quanto material será usado para suporte. Toti *et al.* (2012) mencionam que a orientação escolhida pode causar problemas durante o processo de fabricação. Isso porque afeta o tempo de produção do modelo – o que pode acabar aumentando os custos de produção. Sousa (2022) observou que a orientação altera a resistência mecânica do protótipo final. Como as aplicações variam, um objeto pode não resistir a uma carga se estiver voltado para uma direção específica. Isso mostra a característica anisotrópica do material de mudar as propriedades devido à direção da força aplicada.

A orientação é uma etapa importante no processo de impressão 3D, pois pode afetar a qualidade e a resistência mecânica do modelo final, bem como o tempo e o custo de produção. A escolha da orientação correta pode resultar em uma impressão mais precisa e resistente, enquanto uma escolha inadequada pode levar a problemas durante o processo de fabricação e à fragilidade do modelo.

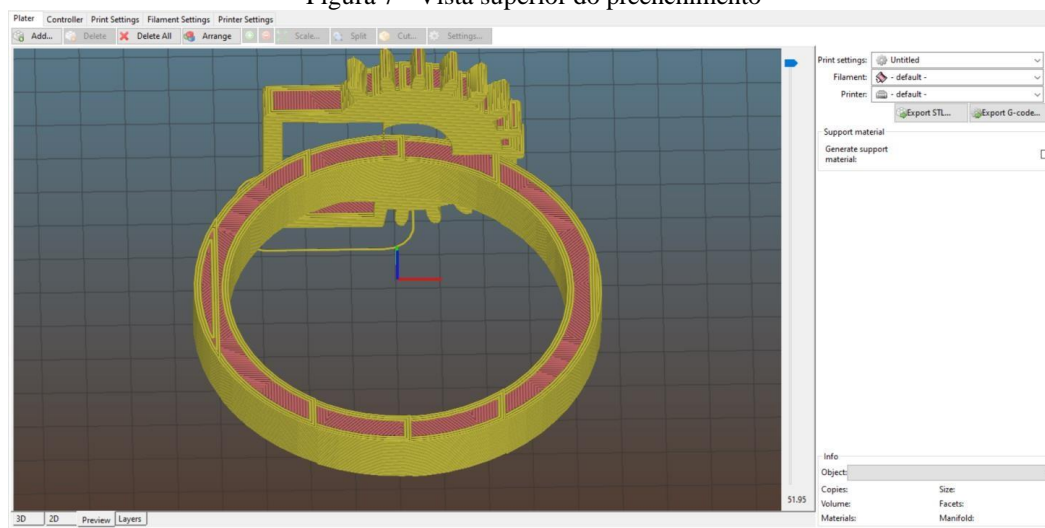
A orientação escolhida pode afetar a resistência mecânica do modelo final, uma vez que os materiais utilizados na impressão 3D são frequentemente anisotrópicos, ou seja, apresentam diferentes propriedades físicas em diferentes direções. Se a orientação for escolhida de forma inadequada, o modelo final pode não resistir a uma carga aplicada em uma direção específica. Portanto, é importante considerar a direção da carga esperada e escolher a orientação adequada para garantir a resistência adequada.

Além disso, a orientação escolhida também pode afetar o tempo e o custo de produção. A escolha da orientação pode determinar quantas camadas serão necessárias para a impressão e quanto material será usado para suporte, o que pode afetar o tempo e o custo de produção. Uma orientação inadequada pode levar a um tempo de produção mais longo e a um aumento no custo de produção (Gibson, 2014).

2.4.5.2 Determinação de Preenchimento

Escolher o material de enchimento certo é crucial ao imprimir um item. Diferentes materiais de preenchimento têm diferentes densidades, que, com isso, determinam quanto material é usado no padrão impresso. O tempo de impressão também muda com base no material de preenchimento selecionado (Cunico, 2015; 3DLAB, 2019). Embora alguns materiais de preenchimento reduzam o tempo de impressão, outros aumentam (Junior, 2017). Quanto mais denso for um material, menos tempo leva para imprimir um objeto. Na Figura 7 é apresentada uma peça cujo preenchimento selecionado foi do tipo “stars” com uma densidade de preenchimento de 50%. Esses parâmetros devem ser escolhidos conforme a necessidade mecânica e de durabilidade de cada peça.

Figura 7 - Vista superior do preenchimento



Fonte: De autoria própria (2023).

Existem diversos tipos de preenchimento que podem ser utilizados na impressão 3D, cada um com suas próprias características e finalidades. Alguns dos principais tipos de preenchimento incluem (Yeoh *et al.*, 2020; Racz, 2018):

- a) Preenchimento sólido: este tipo de preenchimento é utilizado para criar objetos com alta resistência e rigidez. Ele consiste em preencher completamente o interior do objeto com material de impressão;

- b) Preenchimento reticulado: é comumente utilizado para criar objetos leves e resistentes. Ele consiste em preencher o interior do objeto com uma estrutura em forma de colmeia;
- c) Preenchimento de ondas: é utilizado para criar objetos que requerem uma maior elasticidade. Ele consiste em preencher o interior do objeto com uma estrutura em forma de ondas;
- d) Preenchimento em espinha de peixe: é utilizado para criar objetos que requerem alta resistência e rigidez, além de economizar material de impressão. Ele consiste em preencher o interior do objeto com uma estrutura em forma de espinha de peixe;
- e) Preenchimento personalizado: alguns softwares de impressão 3D permitem que o usuário crie um padrão de preenchimento personalizado e adaptado às necessidades específicas do objeto a ser impresso.

2.4.5.3 Temperatura de trabalho

Alterações na qualidade podem ser observadas quando há defeitos nas peças impressas. Defeitos internos em uma peça podem diminuir significativamente sua qualidade. Deixar de considerar esses fatores pode levar a resultados abaixo da média com qualquer filamento. A maioria dos materiais usados na impressão 3D hoje vem de polímeros. No entanto, cada um tem sua própria faixa de temperatura que deve ser considerada. Os filamentos têm diferentes composições químicas. Por exemplo, o PLA é feito de amido de milho, enquanto o ABS é feito com petróleo. Essas diferentes composições químicas fazem com que a temperatura na qual um filamento muda de um estado sólido para um estado de borracha seja diferente.

Diferentes polímeros requerem diferentes temperaturas para que a extrusão ocorra adequadamente. Por isso, diferentes temperaturas de filamento são necessárias para imprimi-las. Alguns filamentos requerem uma temperatura específica da mesa de aquecimento que deve ser mantida fria para evitar deformação e contração. Ao imprimir em uma mesa aquecida, a deformação é menos perceptível e os defeitos resultantes não são tão aparentes. O calor reduz a taxa de resfriamento de uma extrusora de plástico, minimizando os efeitos da deformação. Além disso, temperaturas adequadas garantem uma primeira camada firme que não se solta durante a impressão. Isso ocorre porque

uma peça solta pode causar baixa qualidade de impressão e possíveis danos à impressora.

Baixas temperaturas de extrusão do filamento resultam em fluxo inadequado e separação de camadas. Além disso, esses problemas com baixas temperaturas causam lacunas entre cada camada. Na Tabela 6 são apresentados exemplos de filamentos utilizados na prototipagem.

Tabela 6 - Exemplo de Materiais com suas respectivas temperaturas

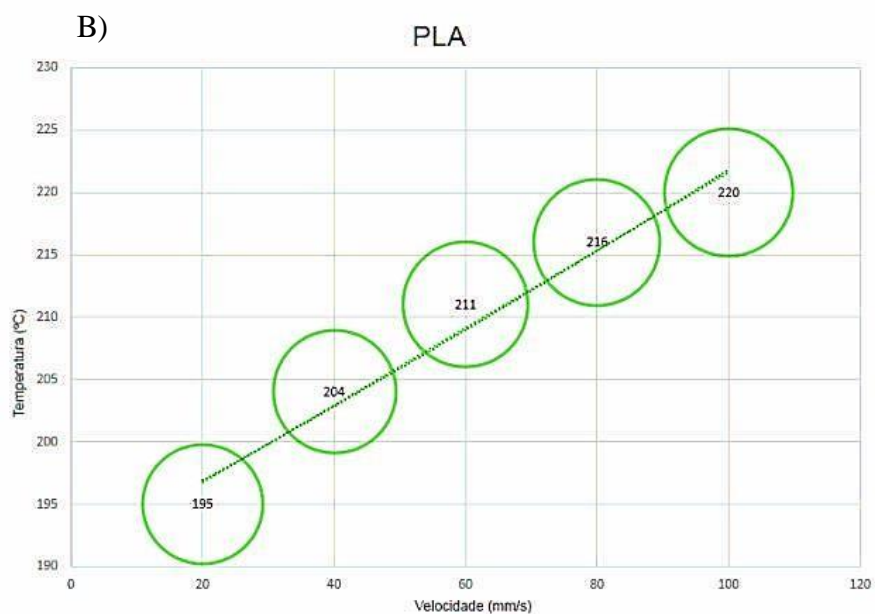
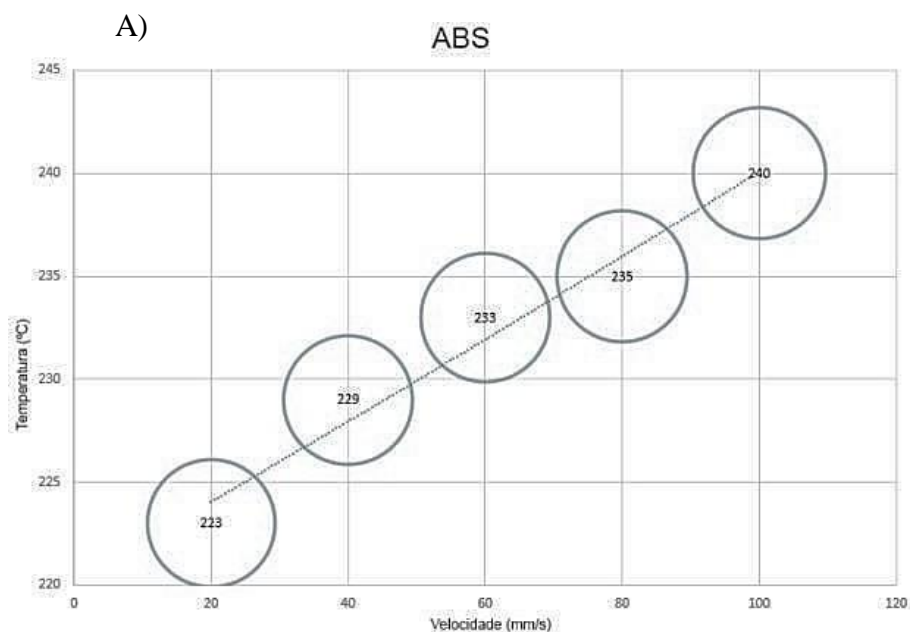
Material	Temperatura
PLA	Extrusor: de 195 a 220°C (utilizamos 210°C); Mesa: ambiente até 70°C (utilizamos 60°C);
ABS	Extrusor: de 220 a 240°C (utilizamos 235°C); Mesa: 110°C com aplicação de adesivo fixador;
PETG	Extrusor: de 245 a 260°C (utilizamos 245°C); Mesa: 85°C com aplicação de adesivo fixador;
FLEXÍVEL	Extrusor: de 225 a 245°C (utilizamos 225°C); Mesa: ambiente até 70°C (utilizamos 60°C);
HIPS	ABS + HIPS Extrusora principal: 233 °C / Extrusor secundário: 235 °C Mesa: 110°C com aplicação de adesivo fixador PLA + HIPS Extrusora: 210°C / Extrusor secundário: 235°C Mesa: 80°C com aplicação de adesivo fixador
WOOD	Extrusor: de 200 a 220°C (utilizamos 215°C) Mesa: ambiente até 70°C (utilizamos 60°C)

Fonte: 3DELAB (2019).

2.4.5.4 Relação entre temperatura de extrusão e velocidade de impressão

Cada filamento possui uma faixa de temperatura para impressão ideal que deve ser ajustada por meio de testes. Ajustar a velocidade de impressão por meio de testes produz o melhor acabamento e adesão para cada peça. As velocidades de impressão são medidas em milímetros por segundo (mm/s), e velocidades mais altas exigem temperaturas de extrusão mais altas. Variações neste parâmetro afetam significativamente os resultados de sua impressão. O Gráfico 1 mostra como a temperatura muda à medida que a velocidade de impressão flutua.

Gráfico 1 - Variação da velocidade em relação à temperatura a) ABS b) PLA)

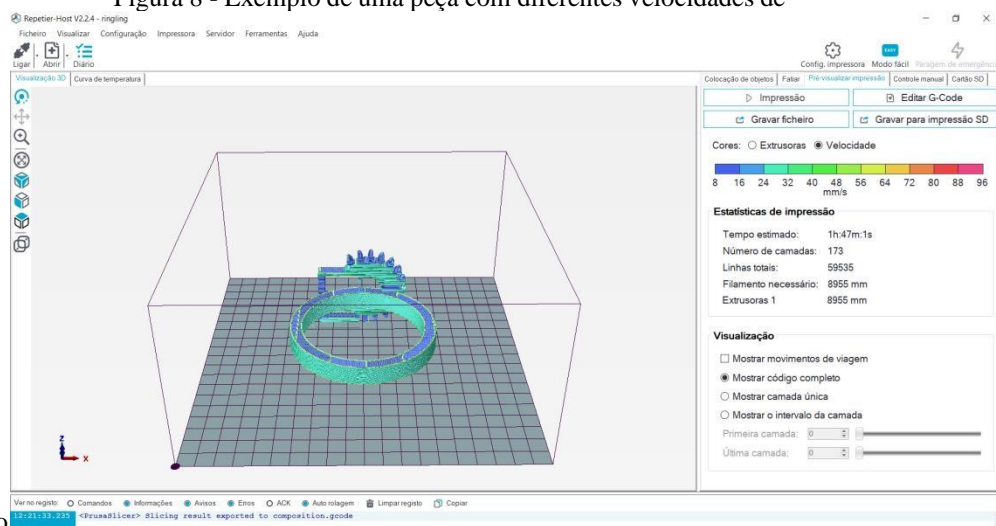


Fonte: 3DELAB (2019).

Ao definir as velocidades de impressão, os usuários podem escolher entre uma série de opções que variam de preenchimento, pares, camadas superior e inferior, etc. O primeiro passo ao alterar as velocidades de impressão é acessar o programa de fatiamento. Em seguida, abrir o painel de configurações de velocidade para ver todas as

opções. As configurações padrão podem diminuir a velocidade de impressão em uma margem significativa. No entanto, o aumento da velocidade pode ser feito ampliando outros valores em uma proporção equilibrada. Se um objeto impresso for destinado à exibição, uma ligeira diminuição nas velocidades de impressão é aceitável. Além disso, também são aceitos ajustes na velocidade de impressão da borda por padrão, essa configuração é a mais lenta. No entanto, isso não afeta a qualidade da peça impressa. Na 8 é apresentada uma peça que possui diferentes velocidades de impressão conforme a complexidade geométrica da peça e segundo o detalhamento.

Figura 8 - Exemplo de uma peça com diferentes velocidades de



impressão

Fonte: De autoria própria (2023).

2.4.5.5 Relação entre tipo de preenchimento e propriedades mecânicas

A relação de preenchimento é um dos fatores que influenciam diretamente as propriedades mecânicas das peças impressas em 3D. Quanto maior a densidade de preenchimento, maior será a resistência e rigidez da peça, porém também maior será o tempo de impressão e o consumo de material (Yeoh *et al.*, 2020; Racz, 2018). Além disso, a escolha do tipo de preenchimento também pode afetar outras propriedades, como a resistência ao impacto e a capacidade de absorção de energia (Mogan *et al.*, 2016). Portanto, é importante selecionar o tipo e densidade de preenchimento adequado para cada aplicação, levando em consideração as propriedades mecânicas desejadas e o tempo de impressão disponível.

Vários estudos têm examinado a relação entre o tipo de preenchimento e as propriedades mecânicas das peças impressas em 3D. Por exemplo, o estudo realizado

por Yeoh *et al.* (2020) descobriu que a densidade de preenchimento afetou significativamente as propriedades mecânicas de peças impressas em 3D. Os autores concluíram que um preenchimento de 50% produziu a melhor combinação de resistência mecânica e economia de material.

Outro estudo, realizado por Racz (2018), examinou a influência do padrão de preenchimento na resistência à tração e à compressão de peças impressas em 3D. Os resultados indicaram que a densidade de preenchimento e o padrão de preenchimento têm um efeito significativo nas propriedades mecânicas das peças impressas em 3D. Os autores sugeriram que o preenchimento da treliça pode ser uma opção econômica para reduzir o custo de material enquanto mantém a resistência mecânica da peça.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Esta seção é dedicada a descrição de algumas pesquisas realizadas sobre a aplicação da prototipagem em sala de aula. Alguns autores que utilizam a metodologia de ensino ABP e a ferramenta de impressora 3D em suas pesquisas serão apresentados a seguir.

3.1 SÍNTESE DOS TRABALHOS CORRELATOS

O trabalho dos autores Barbosa *et al.* (2021) apresentou o objetivo de analisar a importância do uso da Manufatura Aditiva, especificamente o uso de impressoras 3D no ensino de Engenharia por meio de Metodologias Ativas. O estudo foi baseado na experiência dos alunos que utilizam impressoras 3D em atividades com Metodologias Ativas, buscando entender as implicações dessa aplicação em sala de aula. A pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso e revisão bibliográfica. A metodologia foi classificada como exploratória, de natureza qualitativa. Foram utilizados métodos como pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Foi realizada uma leitura exploratória e seletiva dos materiais coletados, seguida de uma análise dos conteúdos. Um formulário online em formato de entrevista foi aplicado para coleta de dados e direcionado aos alunos do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Regional do Cariri-URCA, que tiveram contato direto com a Manufatura Aditiva por meio de um programa de intercâmbio.

Os resultados da pesquisa mostraram que o uso de Metodologias Ativas e Manufatura Aditiva se conecta, permitindo o desenvolvimento de projetos pelos alunos e garantindo aulas interativas e dinâmicas. Os alunos relataram que o uso da impressão 3D facilitou a materialização de suas ideias, promoveu a integração entre teoria e prática, agilizou a elaboração de peças complexas e incentivou a criatividade e prototipagem rápida. Além disso, os alunos perceberam melhorias em suas habilidades e competências por meio das metodologias ativas acompanhadas pela impressão 3D. A pesquisa também destacou a importância de um ambiente adequado para a realização das atividades, com equipamentos modernos e tecnologia. Os alunos expressaram satisfação com o ambiente onde as atividades foram desenvolvidas, descrevendo-o como propício para estimular a criatividade e inovação. A criação e testagem de

protótipos físicos também foi ressaltada como uma oportunidade para os alunos desenvolverem seus projetos e exercerem sua autonomia.

Os pesquisadores Ferreira *et al.* (2022) descrevem a implementação de um componente curricular optativo chamado "Tópicos Especiais" oferecido aos estudantes do curso de Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé, durante o primeiro semestre de 2018. O componente curricular tinha como objetivo trabalhar com conceitos de modelagem 3D e prototipagem. No início, quatro estudantes se matricularam no componente curricular, mas um deles desistiu por motivos de saúde. Portanto, três estudantes participaram dessa iniciativa. Além disso, foi adotada a figura do docente auxiliar, um professor com conhecimentos específicos em Engenharia de Energia, para auxiliar os alunos na construção e elaboração do projeto, juntamente com o professor titular do componente curricular. O trabalho conjunto entre os docentes favoreceu a integração, o compartilhamento de ideias e a identificação de soluções de maneira interdisciplinar. Foram estabelecidos princípios que envolviam as etapas do projeto, como a apresentação do desafio, elaboração de hipóteses e refinamento de ideias. No primeiro encontro, enfatizaram-se as expectativas em relação ao projeto, visando incentivar o pensamento reflexivo, colaboração, criatividade e raciocínio lógico.

Durante as etapas subseqüentes, os estudantes enfrentaram dúvidas e dificuldades, pois foi a primeira vez que se depararam com uma metodologia ativa. Foram utilizadas estratégias, como *brainstorming* e busca por referências na Internet e em trabalhos anteriores a fim de auxiliar na definição do tema do projeto. A etapa de modelagem 3D apresentou desafios específicos da Engenharia, exigindo reflexão e trabalho em equipe.

Na etapa de prototipagem, os estudantes realizaram ajustes com base nas recomendações dos professores. Houve uma aula sobre o uso da impressora 3D, o que permitiu aos alunos operar e acompanhar o processo de impressão das peças. A satisfação e entusiasmo dos alunos com o uso da tecnologia foram evidentes. Os estudantes desempenharam um papel importante no desenvolvimento do projeto, acompanhando diretamente as etapas de impressão e realizando reimpressões para obter peças mais resistentes. As metodologias ativas de ensino, como autonomia, problematização, trabalho em equipe e inovação, foram aplicadas ao longo do projeto.

No final do semestre, os projetos finais foram apresentados em forma de pôster, juntamente com os protótipos, para o docente orientador, docentes auxiliares e colegas de turma. O parecer final de cada estudante foi divulgado individualmente. Houve também uma apresentação dos projetos para a Comissão do Curso de Graduação em Engenharia de Energia.

A pesquisa de Aguiar (2016) aborda a importância do uso de instrumentos didáticos no ensino de ciências e explora as possibilidades oferecidas pela tecnologia de impressão 3D para a criação desses instrumentos. O autor apresenta um processo passo a passo para o desenvolvimento e produção de instrumentos didáticos utilizando a impressão 3D, considerando aspectos como a seleção de materiais, o design dos objetos e a integração com o currículo escolar. Ao longo da dissertação, ele discute as vantagens e desafios da aplicação da impressão 3D no contexto educacional, bem como os impactos dessa abordagem no processo de ensino e aprendizagem. Também apresenta estudos de caso e exemplos práticos de instrumentos didáticos desenvolvidos por meio da impressão 3D, demonstrando sua aplicação e benefícios potenciais.

Silva e Tonini (2018) abordam o uso do processo educativo baseado em problemas como uma estratégia para a formação de competências específicas dos engenheiros. Os autores destacam a importância de desenvolver habilidades práticas e o pensamento crítico nos estudantes de engenharia, além do conhecimento teórico. O artigo discute o processo educativo baseado em problemas como uma abordagem pedagógica que envolve a apresentação de desafios e situações do mundo real aos estudantes, nos quais eles são incentivados a buscar soluções por meio da pesquisa, análise e aplicação dos conhecimentos adquiridos. Essa abordagem visa promover a aprendizagem ativa, o trabalho em equipe e a capacidade de resolver problemas complexos, habilidades essenciais para o exercício da engenharia. Eles apresentam exemplos de aplicação do processo educativo baseado em problemas em cursos de engenharia, destacando os benefícios e desafios enfrentados nesse contexto. Além disso, discute como essa abordagem pode contribuir para o desenvolvimento de competências como a capacidade de investigação, o pensamento crítico, a comunicação efetiva, a tomada de decisões e a habilidade de trabalhar em equipe.

3.2 METODOLOGIA APLICADA AOS TRABALHOS CORRELATOS

As metodologias utilizadas no ensino de engenharia têm sido objeto de estudo e discussão por diversos pesquisadores. Neste contexto, os autores Silva e Tonini (2018), Aguiar (2016), Ferreira *et al.* (2022) e Barbosa *et al.* (2021) discutem diferentes abordagens pedagógicas e suas aplicações no ensino de engenharia, com destaque para o uso da impressão 3D e das metodologias ativas.

Silva (2018) destaca o processo educativo baseado em problemas como uma estratégia para a formação de competências específicas dos engenheiros. Essa abordagem envolve a apresentação de desafios e situações do mundo real aos estudantes, incentivando-os a buscar soluções por meio de pesquisa, análise e aplicação dos conhecimentos adquiridos. O foco está no desenvolvimento de habilidades práticas, pensamento crítico, aprendizagem ativa, trabalho em equipe e resolução de problemas complexos.

Aguiar (2016), por sua vez, explora a importância do uso de instrumentos didáticos no ensino de ciências, utilizando a impressão 3D como tecnologia para criar esses instrumentos. O autor apresenta um processo passo a passo para o desenvolvimento e produção de instrumentos didáticos, considerando a seleção de materiais, o design dos objetos e a integração com o currículo escolar. A abordagem destaca as vantagens e desafios da aplicação da impressão 3D no contexto educacional, visando enriquecer o processo de ensino e aprendizagem.

Ferreira *et al.* (2022) descrevem a implementação de um componente curricular optativo que utiliza conceitos de modelagem 3D e prototipagem no curso de Engenharia de Energia. A abordagem inclui a figura de um docente auxiliar para ajudar os alunos na construção e elaboração dos projetos, juntamente com o professor titular. Essa metodologia promove a reflexão, colaboração, criatividade e raciocínio lógico dos estudantes, incentivando a autonomia e a resolução de problemas.

Barbosa *et al.* (2021) analisam a importância do uso da Manufatura Aditiva, especificamente o uso de impressoras 3D, no ensino de Engenharia por meio de Metodologias Ativas. Os resultados da pesquisa mostram a conexão entre o uso de Metodologias Ativas e Manufatura Aditiva, permitindo o desenvolvimento de projetos pelos alunos e garantindo aulas interativas e dinâmicas. Os alunos relataram benefícios

como a facilidade de materializar suas ideias, integração entre teoria e prática, agilidade na elaboração de peças complexas, além do estímulo à criatividade e prototipagem rápida.

Comparando essas metodologias, podem-se observar algumas semelhanças e diferenças. Todas elas valorizam o desenvolvimento de habilidades práticas, o pensamento crítico, a aprendizagem ativa e o trabalho em equipe, funções essenciais para a formação de engenheiros competentes. Além disso, todas destacam o uso da impressão 3D como uma ferramenta que potencializa a materialização de ideias e a íntegra.

3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS AUTORES EM RELAÇÃO AO PÚBLICO-ALVO E OS OBJETIVOS PROPOSTOS

Em relação ao público-alvo, todos os autores têm como foco principal os estudantes de engenharia, buscando aprimorar sua formação e desenvolver competências específicas para a área. Silva e Tonini (2018) destacam a importância de desenvolver habilidades práticas e o pensamento crítico nos estudantes de engenharia, enquanto Aguiar (2016) concentra-se no uso de instrumentos didáticos no ensino de ciências, visando o aprimoramento do processo de aprendizagem. Ferreira *et al.* (2022) direciona seu estudo aos estudantes do curso de Graduação em Engenharia de Energia, trabalhando com conceitos de modelagem 3D e prototipagem. Barbosa *et al.* (2021), por sua vez, realizam um estudo de caso com alunos do curso de Engenharia, explorando o uso da manufatura aditiva e metodologias ativas.

Quanto aos objetivos propostos, Silva (2018) busca promover a aprendizagem ativa, o trabalho em equipe e a capacidade de resolver problemas complexos por meio do processo educativo baseado em problemas. O autor enfatiza o desenvolvimento de competências como a capacidade de investigação, o pensamento crítico, a comunicação efetiva, a tomada de decisões e a habilidade de trabalhar em equipe.

Aguiar (2016) propõe o uso da impressão 3D como tecnologia para criar instrumentos didáticos, visando enriquecer o processo de ensino e aprendizagem. O autor destaca a importância da seleção de materiais, o design dos objetos e a integração com o currículo escolar na produção desses instrumentos, para proporcionar uma abordagem mais prática e aplicada no ensino de ciências.

Ferreira *et al.* (2022) visam implementar um componente curricular optativo que trabalhe com conceitos de modelagem 3D e prototipagem no curso de Engenharia de Energia. Eles buscam promover a reflexão, colaboração, criatividade e raciocínio lógico dos estudantes, além de favorecer a integração e o compartilhamento de ideias entre os docentes e os alunos.

Barbosa *et al.* (2021) exploram o uso da manufatura aditiva e metodologias ativas no ensino de engenharia. Seu objetivo é analisar a importância do uso da impressão 3D no contexto educacional, buscando o desenvolvimento de projetos pelos alunos, aulas interativas e dinâmicas e o estímulo à criatividade, prototipagem rápida e integração entre teoria e prática.

3.4 RESULTADOS APRESENTADOS PELOS AUTORES

Silva (2018) apresenta resultados relacionados ao uso do processo educativo baseado em problemas. O autor destaca que essa abordagem pedagógica contribui para o desenvolvimento de competências específicas dos engenheiros, como a capacidade de investigação, o pensamento crítico, a comunicação efetiva, a tomada de decisões e a habilidade de trabalhar em equipe. Além disso, ele ressalta que os estudantes se envolvem ativamente na busca por soluções para desafios do mundo real, aplicando os conhecimentos adquiridos por meio de pesquisa e análise. Esses resultados indicam que o processo educativo baseado em problemas é eficaz na formação de engenheiros mais preparados para lidar com situações complexas e aplicar soluções inovadoras.

Aguiar (2016) apresenta exemplos práticos de instrumentos didáticos desenvolvidos por meio da impressão 3D. O autor destaca os benefícios dessa tecnologia no contexto educacional, como a possibilidade de materializar ideias e integrar o ensino teórico com a prática. Os resultados indicam que a utilização da impressão 3D na criação de instrumentos didáticos enriquece o processo de ensino e aprendizagem, proporcionando aos estudantes uma experiência mais concreta e tangível. Isso contribui para uma melhor compreensão dos conceitos científicos e para o desenvolvimento de habilidades práticas.

Ferreira *et al.* (2022) relatam os resultados obtidos a partir da implementação do componente curricular optativo que trabalha com modelagem 3D e prototipagem. O trabalho conjunto entre os docentes favoreceu a integração, o compartilhamento de

ideias e a identificação de soluções de maneira interdisciplinar. Os estudantes enfrentaram desafios e dificuldades ao se depararem com uma metodologia ativa pela primeira vez, mas foram incentivados a buscar soluções por meio de estratégias como *brainstorming* e pesquisa na Internet. Os resultados demonstram que os estudantes tiveram a oportunidade de desenvolver habilidades como autonomia, colaboração, criatividade e raciocínio lógico, além de aprimorar seus conhecimentos em modelagem 3D e prototipagem.

Barbosa *et al.* (2021) analisaram os resultados da aplicação da manufatura aditiva e metodologias ativas no ensino de engenharia. Os alunos relataram que o uso da impressão 3D facilitou a materialização de suas ideias, promoveu a integração entre teoria e prática, agilizou a elaboração de peças complexas e incentivou a criatividade e prototipagem rápida. Além disso, os estudantes perceberam melhorias em suas habilidades e competências por meio das metodologias ativas acompanhadas pela impressão 3D. A pesquisa destacou a importância de um ambiente adequado para as atividades, com equipamentos modernos e tecnologia e enfatizou a criação e testagem de protótipos físicos como uma oportunidade para os alunos desenvolverem seus projetos e exercerem sua autonomia.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo descreve detalhadamente a metodologia adotada para conduzir a pesquisa, delineando as estratégias e procedimentos que orientaram a coleta e análise dos dados. A metodologia escolhida é fundamental para assegurar a validade e confiabilidade dos resultados obtidos. A seguir, são apresentadas as etapas e abordagens empregadas neste estudo:

4.1 TIPO DE PESQUISA

Descrevemos, neste capítulo, os caminhos e as escolhas que reunimos para a construção e desenvolvimento desta pesquisa, bem como ela foi conduzida, a abordagem escolhida, a metodologia, os objetivos, os procedimentos e a natureza da pesquisa. Citamos Minayo (2007, p. 14):

Entendemos por metodologia o caminho do pensamento e a prática exercida na abordagem da realidade. Ou seja, a metodologia inclui simultaneamente a teoria da abordagem (o método), os instrumentos de operacionalização do conhecimento (as técnicas) e a criatividade do pesquisador (sua experiência, sua capacidade pessoal e sua sensibilidade).

Para isso, é utilizada uma abordagem mista: qualitativa como método utilizado. A abordagem qualitativa foi escolhida devido à sua capacidade de explorar e compreender os fenômenos estudados em profundidade, por meio da análise de dados não numéricos, como entrevistas, observações e análise de documentos. Essa abordagem nos permitiu obter uma compreensão rica e detalhada sobre o tema em questão, destacando as percepções, experiências e interpretações dos participantes envolvidos no estudo Gil (2017).

Já na pesquisa quantitativa procuramos enumerar dados obtidos nas questões fechadas e mistas dos instrumentos aplicados durante o estudo, sendo eles: questionários (APÊNDICES B e C) e autoavaliação realizada pelo aluno (APÊNDICE E) – a fim de obter uma maior compreensão do objeto estudado. Conforme Gil (2017, p. 96), “Com base nos resultados obtidos na etapa quantitativa, procedeu-se à determinação dos resultados a serem explicados.”.

Quanto à natureza ou finalidade, empregamos a pesquisa aplicada que, segundo Gil (2017, p. 26), "visa gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos". Neste estudo, buscamos aplicar os conhecimentos adquiridos sobre impressão 3D e prototipagem para desenvolver uma mini furadeira de mesa por meio dessa tecnologia. A pesquisa aplicada está diretamente relacionada à resolução de problemas do mundo real. Nesse sentido, o objetivo principal foi desenvolver uma solução prática e tangível, explorando as possibilidades oferecidas pela impressão 3D para a fabricação de ferramentas e dispositivos.

4.2 POPULAÇÃO (AMOSTRA PARTICIPATIVA)

A amostra selecionada para participar da pesquisa foi composta por 6 alunos matriculados no curso de Engenharia Mecânica da Unisul. Vale ressaltar que, dentre esses alunos, 3 já possuíam conhecimentos prévios em manufatura aditiva e impressão 3D devido a participação em cursos extracurriculares ou experiência prévia.

A presença de alunos com conhecimento prévio pode influenciar nos resultados dos questionários aplicados, especialmente na análise comparativa entre os dados a priori e posteriori. É importante destacar que essa característica da amostra pode fornecer insights valiosos sobre como a sequência didática proposta contribui para consolidar e ampliar o conhecimento existente.

4.3 LOCAL DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo foi realizado na Universidade do Sul de Santa Catarina, um estabelecimento educacional localizado na zona urbana de Itajaí, SC. É de propriedade do Grupo Ânima e oferece educação para alunos do Ensino de Graduação. O motivo da escolha deste local se deu, uma vez que a pesquisadora que conduzia o estudo trabalha nessa instituição de ensino. Além disso, um número considerável de alunos estava disponível para realizar o estudo nesta unidade.

4.4 RECURSOS E PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Os recursos necessários a esta pesquisa foram próprios da pesquisadora, uma vez que não foram de alto custo. Incluindo, principalmente, o material impresso usado na

sequência didática para a aplicação da metodologia de ABP e o deslocamento até a instituição. O material utilizado para a produção dos protótipos foi fornecido pela instituição coparticipante.

A coleta de dados foi realizada por meio de questionários e observações, ressalta-se que a presença de alunos com conhecimento prévio foi considerada no desenvolvimento dos instrumentos de coleta, visando capturar tanto o aprendizado adicional quanto a consolidação de conhecimentos pré-existentes.

4.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA

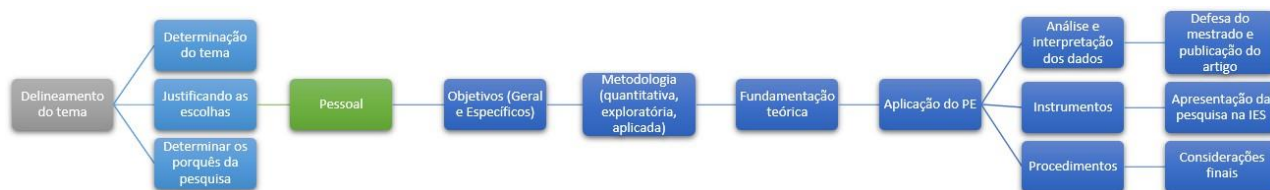
O delineamento da pesquisa consiste em uma abordagem mista, que combina elementos quantitativos e qualitativos. Na primeira etapa da pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica aprofundada sobre a teoria de David Ausubel e a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), além de um estudo detalhado sobre prototipagem e seus parâmetros.

Na segunda etapa, foi aplicado um questionário de sondagem de conhecimentos prévios com questões de múltipla escolha para avaliar o nível de conhecimento dos alunos sobre o tema antes da intervenção pedagógica.

Na terceira etapa, foi desenvolvida a sequência didática, que consiste em uma proposta de atividades baseadas na ABP, incluindo aulas expositivas e experimentos práticos relacionados aos parâmetros da prototipagem. A sequência didática foi aplicada em turmas experimentais e de controle, para avaliar sua eficácia.

Na quarta e última etapa, foi aplicado um questionário de avaliação final para avaliar a aprendizagem dos alunos após a intervenção pedagógica. Os resultados serão analisados visando avaliar a efetividade da sequência didática proposta. A seguir apresentamos o desenho da pesquisa (Figura 9) representando um delineamento da mesma. Nele identificamos os passos do projeto.

Figura 9 - Delineamento da pesquisa



Fonte: De autoria própria (2023).

O projeto foi aprovado no dia 27 de setembro de 2022. Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE): 61574822.3.0000.8091.

5 PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo aborda o desenvolvimento e a descrição do produto educacional resultante da pesquisa. O produto educacional representa uma contribuição prática e aplicável derivada dos achados teóricos e metodológicos do estudo. A seguir, apresentamos uma introdução ao produto educacional desenvolvido:

5.1 CLASSIFICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido nesta dissertação é classificado como uma sequência didática. A sequência didática é uma estrutura pedagógica que organiza uma série de atividades sequenciais e articuladas em torno de um tema ou conteúdo específico, para promover a aprendizagem dos alunos. Nesse caso, a sequência didática foi projetada para explorar a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a utilização da impressão 3D como recurso pedagógico. O Método da Sequência Didática, também conhecido “SD”, foi desenvolvido pelos pesquisadores suíços Dolz, Noverraz e Schneuwly em 2004 e considerado uma proposta metódica e teórica para instruir os alunos em sua língua nativa. Isso é feito por meio de gêneros – escritos e falados – que são aplicados de forma sistemática com a metodologia SD. O objetivo principal da SD é fornecer aos alunos uma compreensão aprimorada de gêneros textuais ou orais específicos quando usados em situações que exigem comunicação. Isto é conseguido por meio de quatro etapas: apresentação da situação; produção inicial; módulos; e produção final.

Segundo os autores, o primeiro encontro deve ser visto como tendo duas dimensões. A primeira dimensão é um gênero oral ou escrito produzido coletivamente pelos aprendizes. A segunda dimensão é focada no conteúdo – envolve os alunos trabalhando com tarefas específicas propostas durante a execução da SD. Após essa primeira etapa, os professores orientam as operações dos alunos pela situação de produção, objetivos e tarefas do SD. Eles devem enfatizar que a estrutura não deve ser percebida como um manual didático; em vez disso, devem vê-lo como um roteiro flexível e adaptável que pode atender às suas necessidades. A primeira dimensão define o gênero do texto, seu público-alvo, aparência e participantes. A segunda dimensão

centra-se no tema da discussão e exposição do mesmo gênero a ser produzido (Dolz; Noverraz; Schneuwly, 2004; Mesquita; Leão; Souza, 2016).

Antes que os alunos produzam seu rascunho inicial, o professor realiza um diagnóstico. Isso ajuda a determinar o que os estudantes sabem ou não sobre o gênero. A segunda etapa, a etapa ii, faz com que eles criem seus rascunhos sem qualquer assistência do professor. Os módulos subsequentes da etapa iii concentram-se em exercícios e outras formas de intervenção para aqueles com dificuldades diagnosticadas na produção inicial. Esses módulos destinam-se a ajudá-los a superar quaisquer lacunas de conhecimento ou compreensão determinadas no diagnóstico. Os autores afirmam que essa etapa não tem forma definida; em vez disso, é no quarto estágio – iv – que os alunos podem aplicar o que aprenderam em seus módulos. Eles são capazes de criar uma versão do texto nessa fase para medir seu progresso (Dolz; Noverraz; Schneuwly, 2004; Tortelli, 2017).

Ao final do processo, os alunos produzem um instrumento que seu professor pode usar para avaliar seu progresso. Isso permite que eles comecem a usar a linguagem oral e escrita em suas vidas diárias de forma eficaz. Além disso, começam a absorver as características do gênero e da sua língua materna. Consequentemente, esse processo os ajuda a superar quaisquer dificuldades que possam ter. O objetivo desta pesquisa é usar a ABP para criar uma sequência educacional que os alunos achem atraente e envolvente. Acredita-se que o ensino de engenharia não tenha sido eficaz porque não é envolvente ou atraente (Mesquita; Leão; Souza, 2016).

Atualmente, o professor está no centro das práticas pedagógicas, o que o coloca como detentor do conhecimento e torna os alunos receptores passivos de informações pré-digeridas. Dessa forma, os alunos não são estimulados a pensar ou formar opiniões sobre o que recebem. Portanto, esta pesquisa é relevante e justificada ao explorar métodos de ensino que promovam a autonomia do aluno e estimulem o professor a refletir sobre sua prática pedagógica (Mesquita; Leão; Souza, 2016).

5.2 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido nesta dissertação intitulado "Explorando a Manufatura Aditiva na Engenharia: Uma Abordagem pela Aprendizagem Baseada em Problemas" é uma sequência didática que busca proporcionar aos alunos de engenharia uma experiência enriquecedora e prática no campo da manufatura aditiva. A sequência

didática foi cuidadosamente elaborada com base em fundamentos teóricos sólidos, como a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Teoria da Aprendizagem Significativa, de autores renomados como José P. P. Zabala e David Ausubel. Essas abordagens pedagógicas reconhecem a importância de colocar os alunos no centro do processo de aprendizagem, promovendo a construção ativa do conhecimento e a aplicação prática dos conceitos aprendidos. Ao longo da sequência didática, os alunos foram desafiados a enfrentar problemas reais relacionados à manufatura aditiva, o que estimulou a reflexão, a pesquisa e a colaboração em equipe. A metodologia proposta visa não apenas transmitir conhecimentos teóricos, mas também desenvolver habilidades como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a tomada de decisões.

A sequência didática foi dividida em etapas bem definidas, começando pela contextualização do tema da manufatura aditiva e sua importância no mercado de trabalho. Em seguida, os alunos foram introduzidos ao problema central a ser abordado ao longo da sequência, despertando seu interesse e curiosidade. A partir daí, foram conduzidos por uma jornada de pesquisa orientada, em que tiveram a oportunidade de explorar conceitos e teorias relacionadas à manufatura aditiva, bem como analisar casos práticos e estudos de casos de sucesso na indústria. Essa etapa permitiu que eles ampliassem seus conhecimentos e compreendessem a aplicação dos conceitos teóricos em situações reais.

Com base nessa fundamentação teórica e prática, os alunos foram desafiados a desenvolver um projeto prático utilizando a impressão 3D como recurso. Eles tiveram a oportunidade de aplicar seus conhecimentos, projetar e prototipar soluções inovadoras para o problema proposto. A criação dos protótipos funcionais permitiu que experimentassem a manufatura aditiva, na prática, ganhando experiência e habilidades técnicas relevantes para o mercado de trabalho. Ao final da sequência didática, questionários e avaliações foram aplicados para medir o aprendizado, bem como promover a reflexão sobre o processo de ensino-aprendizagem. Os resultados dessas avaliações foram essenciais para ajustar e aprimorar futuras implementações da sequência didática.

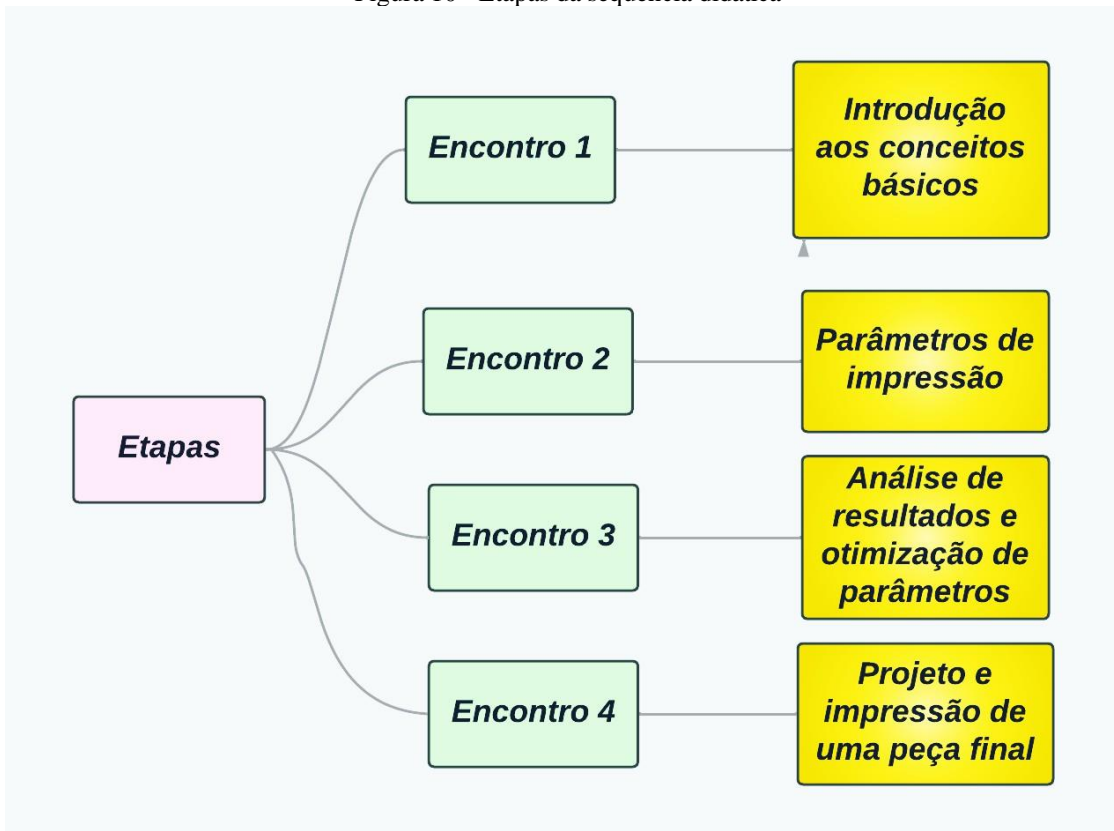
O produto educacional também poderá ser utilizado por professores e instrutores que desejem introduzir a manufatura aditiva e a ABP em seus cursos, enriquecendo o processo de aprendizagem dos alunos. Através dessa sequência didática, buscou-se que

os estudantes desenvolvessem habilidades técnicas, criatividade, capacidade de trabalho em equipe, pensamento crítico e resolução de problemas. Ao adotar uma abordagem de aprendizagem significativa, os alunos foram estimulados a relacionar os conceitos teóricos com a prática, o que tornou sua a experiência de aprendizagem mais significativa e duradoura.

5.3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A sequência didática proposta pretende proporcionar aos estudantes uma experiência prática e imersiva no processo de impressão 3D e prototipagem, utilizando a metodologia ABP (Aprendizagem Baseada em Problemas). A sequência é composta por quatro atividades a serem realizadas no decorrer de um encontro cada, que permitem aos alunos adquirir conhecimentos teóricos e aplicá-los, na prática, desenvolvendo habilidades de trabalho em equipe e organização (Figura 9).

Figura 10 - Etapas da sequência didática



Fonte: Autor (2023).

F

5.3.1 Encontro 1 - Introdução aos conceitos básicos

No primeiro encontro da sequência didática, os alunos foram introduzidos aos conceitos básicos de impressão 3D e prototipagem. O objetivo dessa etapa foi fornecer uma visão geral sobre a tecnologia e suas aplicações em diversos setores da indústria. Durante a aula, foram discutidos os princípios da manufatura aditiva, explicando como a impressão 3D funciona por camadas sucessivas de material. Os alunos também foram informados sobre os diferentes tipos de impressoras 3D disponíveis, bem como os materiais utilizados no processo. Além disso, houve uma reflexão sobre as vantagens da prototipagem rápida e como essa tecnologia tem impactado positivamente a indústria, permitindo a criação de modelos e protótipos mais eficientes e econômicos (Figura 11).

Durante a apresentação, exemplos de casos de sucesso e aplicações práticas da impressão 3D foram compartilhados, destacando como a tecnologia tem sido utilizada na medicina, engenharia, arquitetura e design. No final do encontro, os alunos tiveram a oportunidade de fazer perguntas e discutir suas percepções iniciais sobre a impressão 3D e prototipagem. A etapa concluiu com uma atividade de reflexão individual, em que os alunos foram incentivados a expressar suas expectativas e interesse em relação às próximas etapas da sequência didática.

Figura 11 - Apresentação utilizada no encontro 1

Imprimindo o Futuro: Uma Aula sobre Impressão 3D

O que é impressão 3D?
A impressão 3D é uma tecnologia que permite a criação de objetos tridimensionais a partir de um modelo digital. Ela utiliza um processo chamado aditivo, no qual camadas sucessivas de material são adicionadas para formar o objeto final.
Essa tecnologia tem sido utilizada em diversas áreas, como na produção de peças de automóveis, próteses médicas e até mesmo órgãos humanos. Com a impressão 3D, é possível produzir objetos complexos com geometrias impossíveis de serem alcançadas por outros métodos de fabricação.

Como funciona a impressão 3D?
O processo de impressão 3D começa com a criação de um modelo digital em um software de modelagem 3D. Esse modelo é então fatiado em camadas finas, que serão impressas uma a uma pela impressora 3D.
Existem diferentes tecnologias de impressão 3D, como a FDM (Fused Deposition Modeling), SLS (Selective Laser Sintering) e SLA (Stereolithography). Cada uma dessas tecnologias utiliza materiais diferentes, como plástico, metal ou resina, para criar os objetos desejados.

Aplicações da impressão 3D
A impressão 3D tem sido amplamente utilizada em diferentes áreas, como na medicina, engenharia, arquitetura, moda e arte. Na medicina, por exemplo, ela é utilizada para produzir próteses personalizadas e até mesmo órgãos humanos. Na engenharia, a impressão 3D é usada para criar peças de precisão e protótipos.
Na moda e arte, a impressão 3D é usada para criar objetos exclusivos e personalizados, como joias e esculturas. Já na arquitetura, ela é utilizada para produzir modelos em escala de edifícios e estruturas complexas.

Vantagens e desafios da impressão 3D
A impressão 3D apresenta diversas vantagens, como a possibilidade de produzir objetos personalizados sob demanda, redução de custos em produção em pequena escala e a capacidade de criar objetos com geometrias complexas. No entanto, também existem desafios, como a qualidade dos materiais utilizados, velocidade de produção e impacto ambiental.
Além disso, a segurança na impressão 3D é uma preocupação crescente, já que é possível produzir armas e outros objetos perigosos por meio dessa tecnologia. Por isso, é importante que haja regulamentações e medidas de segurança para garantir o uso responsável da impressão 3D.

O futuro da impressão 3D
O futuro da impressão 3D é promissor, com possibilidades de personalização ainda maiores, produção sob demanda e colaboração global. A impressão 3D também tem o potencial de revolucionar a indústria da construção civil, permitindo a produção de casas e edifícios em larga escala.
No entanto, ainda há desafios a serem superados, como a melhoria na qualidade dos materiais utilizados e a redução do impacto ambiental. Mas com o avanço da tecnologia e o investimento em pesquisa e desenvolvimento, a impressão 3D tem tudo para se tornar ainda mais presente em nosso dia a dia.

Conclusão
A impressão 3D é uma tecnologia fascinante que tem o potencial de transformar a maneira como produzimos e criamos objetos. Ela já está sendo utilizada em diversas áreas, desde a medicina até a moda, e suas aplicações são cada vez mais diversas.
No entanto, é importante lembrar que essa tecnologia também apresenta desafios e preocupações, como a segurança e o impacto ambiental. Por isso, é fundamental que haja regulamentação e medidas de segurança para garantir o uso responsável da impressão 3D.

Fonte: Autor (2023).

Na etapa 1 da sequência didática, foi efetivada a aplicação de um questionário para avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre os conceitos relacionados à impressão 3D e à manufatura aditiva. O objetivo do questionário era identificar o nível

de familiaridade dos alunos com esses temas e compreender quais conceitos eles já dominavam e quais precisavam ser reforçados durante o processo de aprendizagem.

O questionário foi composto por perguntas de múltipla escolha, abrangendo tópicos como os princípios básicos da impressão 3D, os tipos de materiais utilizados, as aplicações da tecnologia, entre outros. Os alunos foram solicitados a responder de acordo com seus conhecimentos prévios, sem o auxílio de materiais de consulta.

5.3.2 Encontro 2 - Parâmetros de impressão e análise de custos

No segundo encontro da sequência didática, os alunos exploraram os parâmetros de impressão 3D, que são as configurações e ajustes necessários para obter resultados de impressão de qualidade. O objetivo dessa etapa foi aprofundar o conhecimento dos alunos sobre os aspectos técnicos da impressão 3D e capacitá-los a configurar corretamente a impressora para obter os melhores resultados.

Durante a aula, eles aprenderam sobre os principais parâmetros de impressão, como a velocidade de impressão, a temperatura do bico extrusor, a espessura das camadas, a densidade de preenchimento e outros ajustes relacionados (Figura 12). Com isso, entenderam como cada um desses parâmetros afeta a qualidade e a resistência do objeto impresso.

Os estudantes também tiveram a oportunidade de praticar a configuração de parâmetros em um software de impressão 3D, explorando as diferentes opções disponíveis. Eles aprenderam a ajustar os parâmetros com base nas características desejadas para o protótipo, levando em consideração a precisão, a resistência e o tempo de impressão.

Além disso, foram discutidos os possíveis problemas de impressão, como falhas de aderência, deformações e sobreposições indesejadas, e como solucioná-las ajustando os parâmetros adequados. No final do encontro, realizaram uma atividade prática de configuração de parâmetros em um protótipo, aplicando o conhecimento adquirido durante a aula. Eles tiveram a oportunidade de analisar os resultados da impressão e fazer ajustes adicionais, caso fosse necessário.

Figura 12 - Apresentação utilizada no encontro 2

Otimizando a Impressão 3D: Explorando Parâmetros de Velocidade, Preenchimento, Densidade, Material e Temperatura

Introdução

A impressão 3D é uma tecnologia em constante evolução. Nesta apresentação, vamos explorar os principais parâmetros que afetam a qualidade da impressão, tais como **velocidade, preenchimento, densidade, material e temperatura.**

Velocidade

A velocidade é um parâmetro crítico que afeta diretamente a qualidade da impressão. Uma velocidade muito alta pode comprometer a precisão e a definição dos detalhes, enquanto uma velocidade muito baixa pode aumentar o tempo de impressão. É importante encontrar um equilíbrio entre **velocidade e qualidade.**

Densidade

A densidade do objeto é diretamente afetada pelo preenchimento e pela espessura da parede. Um objeto com baixa densidade pode ser mais leve, mas também pode ser mais frágil. Um objeto com alta densidade pode ser mais resistente, mas também pode ser mais pesado. É importante encontrar um equilíbrio entre **resistência e peso.**

Temperatura

A temperatura é um dos parâmetros mais críticos na impressão 3D. A temperatura ideal varia de acordo com o tipo de material utilizado. Uma temperatura muito alta pode derreter o material, enquanto uma temperatura muito baixa pode causar problemas de aderência e acabamento. É importante encontrar a temperatura ideal para cada tipo de material.

Preenchimento

O preenchimento é a quantidade de material que é depositada dentro do objeto durante a impressão. Um preenchimento baixo pode tornar o objeto frágil, enquanto um preenchimento alto pode aumentar o tempo de impressão e o consumo de material. É importante encontrar um equilíbrio entre **resistência e economia de material.**

Material

O material utilizado na impressão 3D pode afetar diretamente a qualidade da impressão. Cada material tem suas próprias características, como resistência, flexibilidade e transparência. É importante escolher o material adequado para cada aplicação, levando em consideração as necessidades específicas do projeto.

Erros comuns na Impressão 3D

Apesar de dominar os parâmetros da impressão 3D ser essencial para obter resultados satisfatórios, ainda é comum cometer erros durante o processo. Alguns dos erros mais comuns incluem a aderência insuficiente à mesa de impressão, o entupimento do bico extrusor e a deformação da peça durante a impressão. Felizmente, existem soluções práticas para cada um desses problemas, como utilizar uma superfície de impressão adequada, limpar regularmente o bico extrusor e ajustar correlatamente a temperatura do material utilizado. Corrigindo esses erros e suas soluções, é possível evitar frustrações e obter impressões de qualidade.

Conclusão

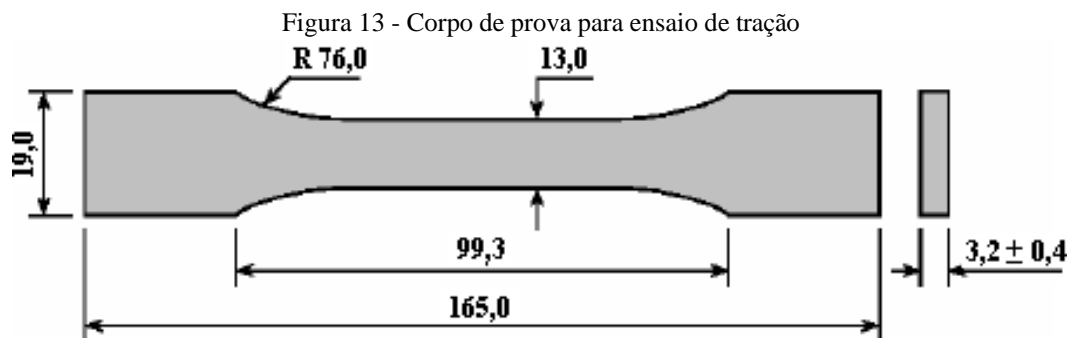
A impressão 3D é uma tecnologia que oferece muitas possibilidades. Para obter os melhores resultados, é importante explorar e ajustar os parâmetros corretamente. Ao considerar a **velocidade, o preenchimento, a densidade, o material e a temperatura,** é possível obter impressões de alta qualidade e com as características desejadas.

Fonte: Autor (2023).

Nesse encontro, foi proposta uma atividade prática em que os alunos imprimissem corpos de prova para realização de ensaio de tração seguindo a norma ASTM D638. O objetivo dessa atividade era permitir que eles aplicassem os conhecimentos adquiridos sobre parâmetros de impressão e observassem o impacto desses parâmetros nas propriedades mecânicas dos corpos de prova.

A norma ASTM D638 estabelece os requisitos para a realização de ensaios de tração em corpos de prova padronizados (Figura 13). Esses corpos de prova são utilizados para avaliar a resistência e a deformação de materiais quando submetidos a

tensão uniaxial. Os alunos foram orientados a configurar a impressora 3D com diferentes parâmetros de impressão, como velocidade de impressão, temperatura do bico extrusor, espessura das camadas, densidade do preenchimento, entre outros. Cada grupo de alunos teve a liberdade de escolher e ajustar os parâmetros de acordo com suas hipóteses e objetivos de experimentação.



Fonte: Ceron, Einloft, Ligabue e Lopes (2011).

Nessa etapa da sequência didática, foi proposta a aplicação de um questionário para avaliar a compreensão dos alunos em relação aos parâmetros de impressão 3D. O objetivo do questionário era verificar o nível de conhecimento dos alunos sobre os parâmetros necessários para uma impressão bem-sucedida, bem como identificar possíveis lacunas de aprendizado.

O questionário foi aplicado após a apresentação dos conceitos teóricos sobre os parâmetros de impressão, incluindo velocidade, temperatura, densidade de preenchimento, entre outros. Ele foi projetado para avaliar o entendimento dos alunos sobre esses parâmetros e sua capacidade de aplicá-los corretamente durante o processo de impressão.

5.3.3 Encontro 3 - Fabricação e análise do protótipo

No terceiro encontro da sequência didática, os alunos tiveram a oportunidade de revisar e discutir os conceitos preexistentes relacionados às propriedades mecânicas dos materiais e ao ensaio de tração. Essa etapa teve como objetivo reforçar e ampliar o conhecimento dos alunos sobre esses temas, proporcionando uma base sólida para a análise dos resultados obtidos na atividade prática realizada no encontro anterior.

A partir dessa revisão e ampliação dos conceitos, eles foram preparados para a análise dos resultados dos corpos de prova impressos e para a otimização dos parâmetros de impressão. Eles puderam aplicar seu conhecimento sobre as propriedades mecânicas dos materiais na interpretação dos resultados e na busca por melhorias na qualidade dos corpos de prova (Figura 14).

Figura 14 - Apresentação utilizada no encontro 3

Imprimindo resistência: a relação entre propriedades mecânicas e parâmetros de impressão

Introdução

As propriedades mecânicas de materiais impressos são fundamentais para garantir a qualidade e eficiência dos produtos finais. Essas propriedades estão diretamente relacionadas aos parâmetros de impressão utilizados, que precisam ser compreendidos e controlados para assegurar um desempenho adequado.

Nesta apresentação, iremos abordar de forma clara e objetiva o tema das propriedades mecânicas de materiais impressos e seus parâmetros de impressão, destacando sua importância e os principais fatores que influenciam seu comportamento.



O que são propriedades mecânicas?

As propriedades mecânicas se referem às características físicas e mecânicas de um material, como resistência, elasticidade, dureza e tenacidade. Essas propriedades afetam diretamente o desempenho do material em diversas aplicações, incluindo a impressão.

Para entender como as propriedades mecânicas afetam o desempenho dos materiais impressos, é importante conhecer os diferentes tipos de forças que atuam sobre eles, como tração, compressão, cisalhamento e flexão, e como essas forças se manifestam em termos de deformação e tensão.



Parâmetros de impressão

Os parâmetros de impressão são os fatores que influenciam diretamente as propriedades mecânicas dos materiais impressos. Eles incluem a temperatura, velocidade de impressão, pressão, umidade e o tipo de material utilizado.

Cada parâmetro pode afetar de diferentes formas o desempenho do material impresso. Por exemplo, a temperatura pode influenciar a adesão do material à superfície de impressão, enquanto a velocidade de impressão pode afetar a uniformidade e integridade da camada impressa.



Materiais resistentes

A escolha do material é crucial para garantir a resistência da peça impressa. Materiais como ABS, PLA, PETG e Nylon são amplamente utilizados na impressão 3D. Cada material possui **propriedades mecânicas** únicas que devem ser consideradas na escolha do material adequado para cada aplicação.



Testes de resistência

Para avaliar as **propriedades mecânicas** da peça impressa, são realizados testes como o teste de tração e o teste de flexão. Esses testes permitem avaliar a resistência e a tenacidade do material, ajudando a determinar a adequação da peça para uma determinada aplicação.



Importância do conhecimento das propriedades mecânicas

O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais impressos e seus parâmetros de impressão é fundamental para garantir a qualidade e eficiência dos produtos finais. Isso permite que os fabricantes ajustem os parâmetros de impressão para obter as propriedades mecânicas desejadas e evitem problemas como falhas estruturais, deformações ou baixa durabilidade.

Além disso, o entendimento das propriedades mecânicas também é importante para o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias de impressão, permitindo que os fabricantes criem produtos mais avançados e com melhor desempenho.



O que é o ensaio de tração?

O ensaio de tração é um teste mecânico utilizado para avaliar as propriedades de resistência à tração de um material. Ele é realizado aplicando-se uma força axial de tração em uma amostra do material até que ocorra a sua ruptura.

Os principais objetivos desse ensaio são avaliar a resistência do material, determinar sua ductilidade e tenacidade, além de identificar possíveis defeitos na peça. Em outras palavras, ele permite verificar se a peça suportará as cargas a que será submetida durante seu uso.



Por que realizar o ensaio de tração em peças impressas?

O ensaio de tração em peças impressas é importante porque permite avaliar a qualidade do material utilizado na impressão 3D, bem como a qualidade do processo de impressão. Além disso, ele ajuda a garantir a segurança dos produtos finais.

Por exemplo, se uma peça for utilizada em um ambiente de alta tensão ou pressão, é fundamental que ela suporte as cargas a que será submetida sem se romper. O ensaio de tração pode ajudar a identificar possíveis pontos fracos na peça e corrigi-los antes que ela seja utilizada em situações críticas.



Como é realizado o ensaio de tração em peças impressas?

O ensaio de tração em peças impressas é realizado utilizando-se uma máquina de ensaio universal, que aplica uma carga axial gradualmente à amostra da peça até sua ruptura. A força aplicada é medida por um extensômetro, que é acoplado à amostra.

As etapas do processo incluem a preparação da amostra da peça, a fixação da amostra na máquina de ensaio, a aplicação da carga axial e a medição da deformação e da força. Todo o processo deve ser realizado com cuidado para garantir a precisão dos resultados.



Resultados do ensaio de tração

Os resultados do ensaio de tração em peças impressas são apresentados em um gráfico que mostra a relação entre a força aplicada e a deformação da amostra. A partir desse gráfico, é possível determinar a resistência máxima à tração, o módulo de elasticidade e a tensão de ruptura da peça.

Os critérios de aceitação dos resultados variam de acordo com o tipo de peça e sua aplicação final. Porém, em geral, espera-se que a peça tenha uma boa resistência à tração e uma alta capacidade de deformação antes da ruptura.



Limitações

Apesar dos avanços na avaliação de propriedades mecânicas em peças impressas, ainda existem **limitações** no processo. A variabilidade dos resultados devido a fatores externos, como a posição de impressão e a orientação da peça, é um dos principais desafios. Além disso, a falta de padronização nos métodos de avaliação dificulta a comparação entre diferentes estudos.



Fonte: Autor (2023).

Nesse encontro, os estudantes se concentraram na análise dos resultados da impressão 3D do protótipo e na otimização dos parâmetros de impressão. O objetivo dessa etapa foi avaliar a qualidade do protótipo impresso e fazer ajustes nos parâmetros de impressão para melhorar os resultados.

Durante a aula, eles examinaram de perto os protótipos impressos e os compararam com o modelo digital original. Observaram, assim, a precisão na reprodução das características do protótipo e identificaram as falhas, imperfeições ou áreas que precisavam de ajustes.

Com base na análise dos resultados, puderam identificar os parâmetros de impressão que poderiam ter influenciado a qualidade do protótipo, como velocidade de impressão, temperatura, densidade do preenchimento, entre outros. Eles também consideraram a qualidade do material de impressão utilizado.

Em seguida, começaram a otimizar os parâmetros de impressão. Fizeram ajustes nos parâmetros identificados, realizaram testes adicionais de impressão e compararam os resultados para determinar a configuração ideal. Durante essa etapa, desenvolveram habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico, pois precisavam identificar as causas das imperfeições e ajustar os parâmetros. Eles também desenvolveram a capacidade de avaliar e tomar decisões com base nos resultados observados. Ao final do

encontro, tinham um protótipo impresso com melhores resultados em comparação à primeira impressão. Essa etapa permitiu-lhes aprimorar suas habilidades de análise, ajuste de parâmetros e otimização, preparando-os para a etapa final da sequência didática.

Foi aplicado um questionário para avaliar a experiência dos alunos e o impacto da metodologia utilizada até o momento. O questionário teve como objetivo coletar informações sobre a percepção dos alunos em relação aos conceitos abordados, a atividade prática de impressão 3D e a otimização dos parâmetros de impressão. O questionário foi aplicado no final do encontro 3, após a revisão dos conceitos de propriedades mecânicas e ensaio de tração, bem como a análise dos resultados da impressão 3D e a otimização dos parâmetros. Ele foi projetado para fornecer uma avaliação abrangente do aprendizado e da satisfação dos alunos em relação à sequência didática até aquele ponto.

O questionário abordou diversos aspectos, incluindo a experiência dos estudantes ao verem seus protótipos impressos em 3D, a qualidade dos protótipos, os desafios enfrentados durante o processo de impressão, a facilidade de operação da impressora 3D e o *feedback* recebido dos colegas de turma em relação aos protótipos impressos. Os alunos também tiveram a oportunidade de refletir sobre a contribuição da sequência didática para seu aprendizado sobre impressão 3D e prototipagem, bem como sugerir melhorias para futuras atividades envolvendo a tecnologia.

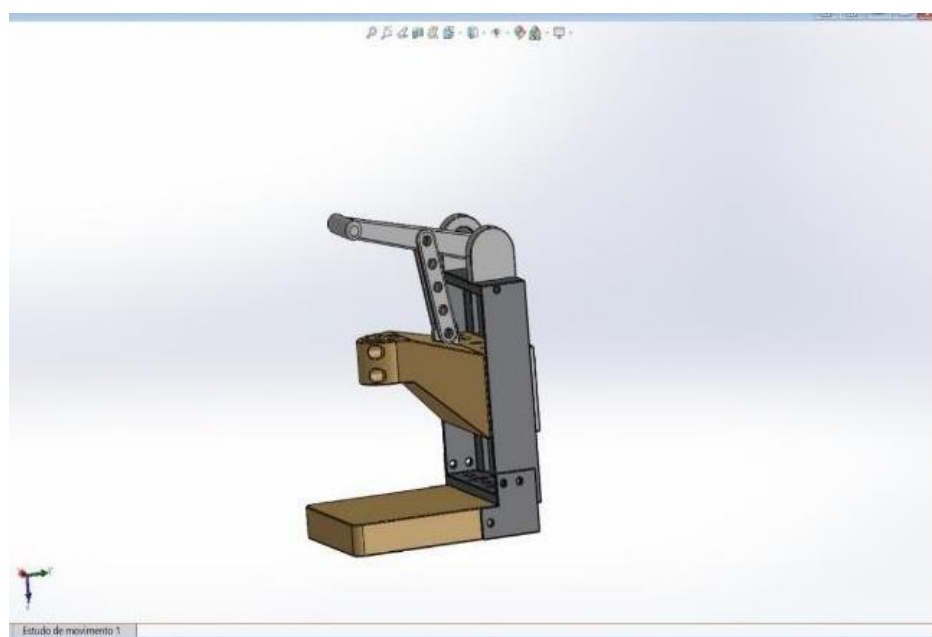
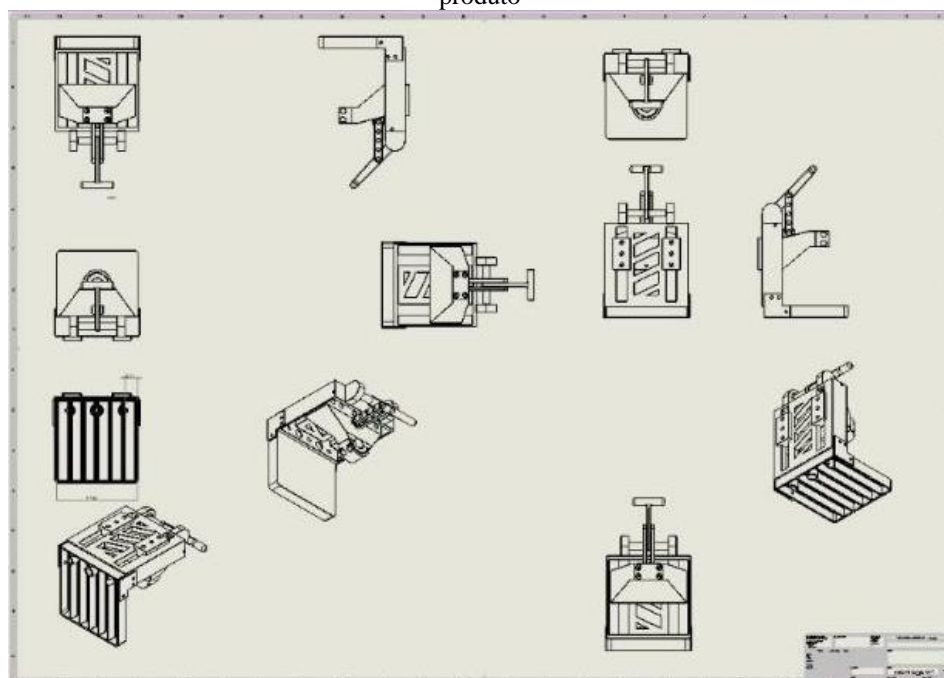
5.3.4 Encontro 4 - Projeto e impressão de uma peça final

No quarto encontro da sequência didática, os alunos foram desafiados a colocar em prática os conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores por meio do projeto e impressão de uma peça final utilizando a tecnologia de impressão 3D. O objetivo dessa etapa era aplicar os conceitos e habilidades desenvolvidos, além de incentivar a criatividade e a resolução de problemas.

Eles foram organizados para trabalharem em conjunto no desenvolvimento do projeto. Tiveram a liberdade de escolher o tipo de peça que desejavam criar, levando em consideração as aplicações da impressão 3D em diferentes setores da indústria. Essa atividade permitiu que explorassem a criatividade e visão empreendedora, aplicando os conceitos aprendidos de forma prática.

Nesta etapa da sequência didática, os alunos optaram por realizar o projeto e a impressão de uma mini furadeira de mesa como peça final (Figura 15). Essa escolha demonstra a aplicação prática dos conceitos aprendidos na área da engenharia, especificamente no desenvolvimento de produtos e protótipos. Ao escolher o projeto da mini furadeira de mesa, tiveram a oportunidade de aplicar seus conhecimentos em design, mecânica e funcionalidade. Eles precisaram considerar diversos aspectos, como o tamanho e a forma da furadeira, a disposição dos componentes, a força e a estabilidade necessárias para a operação da máquina.

Figura 15 - Desenho do projeto final- Mini furadeira de bancada a) desenho em 2D b) modelagem do produto



Fonte: De autoria própria (2023).

Antes da impressão da peça final, as equipes precisaram realizar a preparação do software de impressão e configurar a impressora 3D conforme os parâmetros adequados para o projeto. Essa etapa envolveu a seleção dos materiais de impressão, a definição da velocidade e temperatura de impressão, o preenchimento adequado da peça, entre outros fatores.

Após a configuração, as equipes procederam à impressão da peça final. Durante esse processo, os alunos tiveram a oportunidade de acompanhar e monitorar a impressão, garantindo que tudo estivesse ocorrendo conforme o planejado. Eles puderam observar os resultados da impressão em tempo real e fazer ajustes caso necessário.

Após a conclusão da impressão, as equipes realizaram uma análise detalhada da qualidade da peça final. Avaliaram a precisão da reprodução das características do projeto, verificaram se todas as funcionalidades estavam presentes e avaliaram a resistência e durabilidade da peça. Além disso, apresentaram seus projetos para a turma, compartilhando os resultados obtidos e os desafios enfrentados durante o processo de impressão. Essa apresentação permitiu que compartilhassem experiências e aprendizados, além de receberem *feedbacks* e sugestões dos colegas.

No final do encontro, os alunos puderam visualizar e comparar as peças finais impressas pelas diferentes equipes, enriquecendo sua compreensão sobre as aplicações práticas da impressão 3D em diversos setores da indústria.

5.3.5 Avaliação

A avaliação do produto educacional é uma etapa crucial para medir a efetividade da sequência didática desenvolvida, com base em critérios específicos que podem variar de acordo com a aprendizagem estabelecida. Nesse contexto, os critérios de avaliação estão relacionados à aquisição de conhecimentos sobre Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e à habilidade dos alunos em utilizar a impressão 3D como recurso pedagógico. A avaliação será realizada em três dimensões principais:

- a) Conhecimento teórico: Nessa dimensão, foi avaliado o conhecimento dos alunos sobre Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), compreendendo os conceitos fundamentais, os passos envolvidos no processo de resolução de problemas e a capacidade de aplicar esse conhecimento em situações reais;
- b) Habilidade Prática: Aqui, o foco está na habilidade dos alunos em utilizar a impressão 3D como ferramenta pedagógica. Foi avaliada a capacidade de operar a impressora 3D, compreender e interpretar modelos tridimensionais, bem como a criatividade na criação de objetos impressos em 3D relacionados ao tema da sequência didática;

- c) Trabalho Colaborativo: A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) enfatiza o trabalho colaborativo entre os alunos. Portanto, essa dimensão avaliou a capacidade dos estudantes de trabalhar em equipe, compartilhar ideias, resolver problemas coletivamente e apresentar suas descobertas de forma clara e organizada.

A avaliação foi realizada ao longo de todo o desenvolvimento da sequência didática, envolvendo observações em sala de aula, análise de atividades e trabalhos dos alunos, bem como eventuais avaliações escritas ou práticas.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Este capítulo pretende apresentar a comparação das análises entre análises prévias e posteriores das tarefas apresentadas na sequência didática. A análise prévia é o para professor, pois este é o momento em que ele planeja a atividade, define os objetivos da atividade, identifica possíveis dificuldades que os alunos possam encontrar e propõe estratégias de intervenção. Segundo Clark e Peterson (1986) e Superfine (2008), é no momento do planejamento que o professor faz decisões e escolhas. Essas atitudes podem ter um forte impacto nas oportunidades que os alunos têm de aprender (Silvern; Isenberg, 2012 *apud* serrazine, 2017). Ao planejar, os docentes obtêm os seguintes benefícios:

I. Satisfação das suas necessidades pessoais, reduzindo a ansiedade e incerteza, definindo um caminho de modo a ganharem segurança e confiança; II. Preparação do ensino, nomeadamente, para conhecerem, recolherem e organizarem o tempo e o evoluir da atividade; III. Utilização durante o ensino, organização dos alunos na aula, como iniciar uma dada atividade, como auxiliar de memória ou definindo uma estrutura para o ensino e avaliação. (Serrazina, 2017, p.10).

Ao organizar as atividades em estágios inter-relacionados, do básico ao avançado, os professores dão aos alunos a oportunidade de construir suas próprias identidades estudantis, desenvolver autonomia, entender a importância de representar e descrever o ambiente físico e os fenômenos naturais de diferentes maneiras e observar padrões, pois regularidade é a base da matemática e resolução de problemas. As análises a priori e a posteriori fornecem subsídios ao pesquisador docente para avaliar a eficácia do SD, fazer os ajustes necessários para facilitar o aprendizado e desenvolver a prática docente.

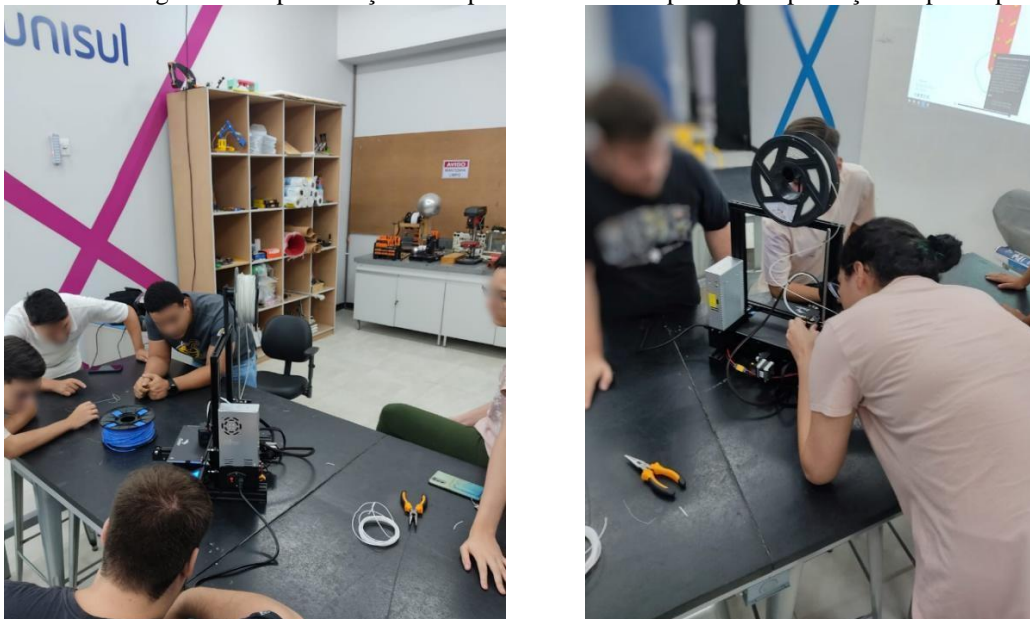
6.1 INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE PROTOTIPAGEM E MANUFATURA ADITIVA

Na primeira etapa da sequência didática, os alunos foram introduzidos aos conceitos fundamentais de prototipagem e manufatura aditiva. O propósito dessa etapa foi apresentar os fundamentos teóricos e os objetivos da sequência didática, além de

sondar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema. A seguir, descreveremos as atividades realizadas e os principais resultados obtidos. Nesse sentido, as atividades foram estruturadas para proporcionar uma introdução sólida aos conceitos de prototipagem e manufatura aditiva.

Os alunos receberam uma explicação abrangente sobre o que é a prototipagem e a manufatura aditiva. Autores como Gibson (2015) e Kalpakjian e Schmid (2014) foram utilizados como referência para abordar os principais aspectos teóricos desses processos. Eles foram informados sobre as principais características desses processos, como a criação de objetos em camadas sucessivas e a utilização de tecnologias como a impressão 3D. Também foram apresentados exemplos de aplicação dessas tecnologias em diferentes setores, como engenharia, medicina e design (Figura 16).

Figura 16 - Apresentação da impressora e matéria prima para produção do protótipo



Fonte: Autor (2023).

Após a introdução teórica, os alunos responderam a um questionário com questões objetivas que tinham como propósito sondar seu conhecimento prévio sobre o assunto. As perguntas abordaram tópicos como os princípios da prototipagem, os benefícios da manufatura aditiva e as aplicações práticas dessas tecnologias. Essa sondagem permitiu aos professores avaliarem o nível de familiaridade dos alunos com o tema e identificarem as lacunas de conhecimento que precisam ser abordadas ao longo da sequência didática.

Os resultados dos questionários mostraram que a maioria dos alunos tinha um conhecimento limitado sobre prototipagem e manufatura aditiva. Alguns alunos demonstraram uma compreensão superficial dos conceitos, enquanto outros apresentaram lacunas de conhecimento mais significativas. Esses resultados foram considerados na planificação das atividades subsequentes, buscando preencher essas lacunas e promover uma compreensão mais aprofundada dos conceitos. A percepção do professor durante essa etapa foi de que os alunos mostraram interesse no tema e estavam motivados a aprender mais sobre a prototipagem e a manufatura aditiva. O professor também observou que alguns alunos demonstraram curiosidade em relação às aplicações práticas dessas tecnologias em diferentes áreas. Em conclusão, a análise dos questionários aplicados aos alunos na primeira etapa da sequência didática permitiu avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre prototipagem e manufatura aditiva. Essa análise foi fundamental para direcionar o planejamento das atividades subsequentes e garantir que os alunos desenvolvessem uma compreensão sólida dos conceitos abordados. A participação ativa dos alunos e a motivação demonstrada durante essa etapa foram aspectos positivos observados pelo professor.

A etapa 1 da sequência didática proporcionou aos alunos uma base sólida para o desenvolvimento dos conceitos e habilidades necessárias para a construção de protótipos utilizando a tecnologia de impressão 3D. A sondagem do conhecimento prévio permitiu uma abordagem personalizada, garantindo que todos os alunos partissem de um ponto comum e tivessem a oportunidade de ampliar seus conhecimentos ao longo da sequência didática. Com a compreensão inicial dos conceitos de prototipagem e manufatura aditiva estabelecida, os alunos estavam preparados para avançar para as etapas subsequentes, nas quais explorariam em maior detalhe os aspectos práticos, técnicos e econômicos envolvidos na utilização da impressão 3D na construção de protótipos.

Vygotsky (1989) e Dewey (1986) destacam a importância da interação social e da participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem. Eles ressaltam que a troca de conhecimentos, a colaboração e a reflexão são fundamentais para o desenvolvimento cognitivo e socioemocional dos estudantes. Autores como Kolb (1984) destacam a importância da reflexão e do *feedback* dos alunos como elementos fundamentais no processo de aprendizagem. Eles ressaltam que a análise a posteriori do *feedback* dos alunos permite ao professor compreender melhor as necessidades e

interesses dos estudantes, possibilitando uma adaptação e melhoria contínua das práticas de ensino.

6.2 ENCONTRO 2 - PARÂMETROS DE IMPRESSÃO E ANÁLISE DE CUSTOS

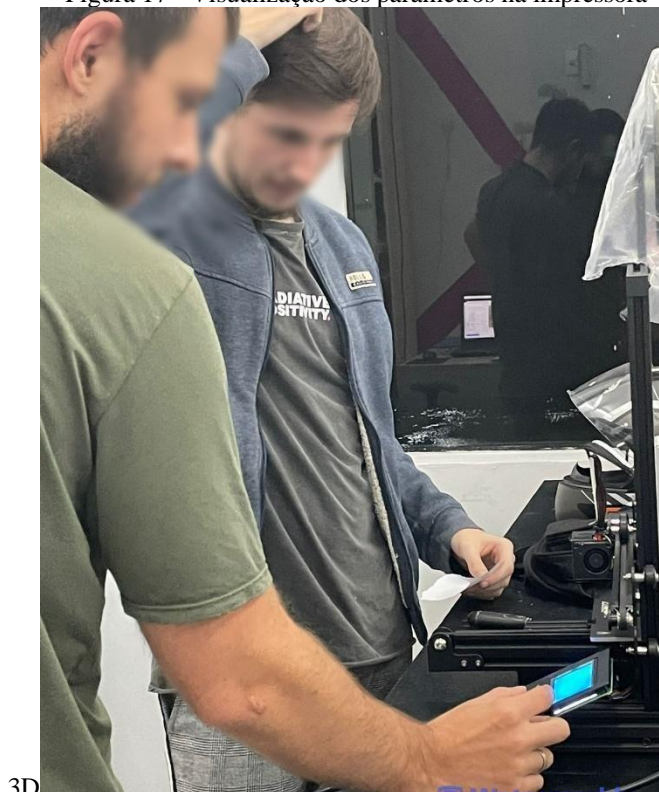
Nesta etapa da sequência didática, os alunos foram introduzidos ao tema de custos na manufatura aditiva. O objetivo era ensiná-los como os parâmetros de impressão podem influenciar diretamente nos custos de produção e a importância de escolher os parâmetros corretos para reduzir esses custos. A seguir, descrevemos as atividades realizadas nessa etapa e os principais resultados obtidos. Inicialmente, foi aplicado um questionário de sondagem aos alunos para avaliar o conhecimento prévio sobre o tema de custos na manufatura aditiva. As perguntas abordaram conceitos como material de impressão, tempo de impressão, consumo de energia e desgaste da máquina. Os resultados mostraram que a maioria tinha uma compreensão limitada sobre como esses fatores afetam os custos de produção. Essa informação foi utilizada pelo professor para adaptar as atividades e abordar esses conceitos de forma mais detalhada.

Durante as atividades, os principais parâmetros de impressão que influenciam nos custos foram apresentados aos alunos, como a velocidade de impressão, a densidade de preenchimento e a espessura das camadas. A pesquisadora destacou a importância de escolher os valores ideais para cada parâmetro, considerando a qualidade desejada do objeto e os recursos disponíveis. Foram realizados exercícios práticos em que os alunos puderam explorar diferentes combinações de parâmetros e calcular os custos de impressão resultantes. Além disso, foram discutidos os custos associados ao material de impressão, energia elétrica e manutenção da máquina. A pesquisadora apresentou dados reais de custos desses recursos, levando em consideração a realidade da cidade de Itajaí, Santa Catarina, Brasil.

Essa abordagem permitiu aos estudantes entenderem a importância de otimizar os parâmetros de impressão para minimizar os custos operacionais. Eles receberam informações teóricas sobre os parâmetros de impressão que podem afetar os custos, como a velocidade de impressão, a densidade de preenchimento e a espessura das camadas. Eles entenderam como cada um desses parâmetros impacta na eficiência e no consumo de material durante o processo de impressão. Para ilustrar a relação entre os parâmetros de impressão e os custos, foram apresentados exemplos práticos. Os alunos analisaram casos em que diferentes configurações de parâmetros resultaram em custos

variados. Isso os ajudou a compreender a importância de otimizar os parâmetros para obter um equilíbrio entre a qualidade do produto e os custos de produção (Figura 17).

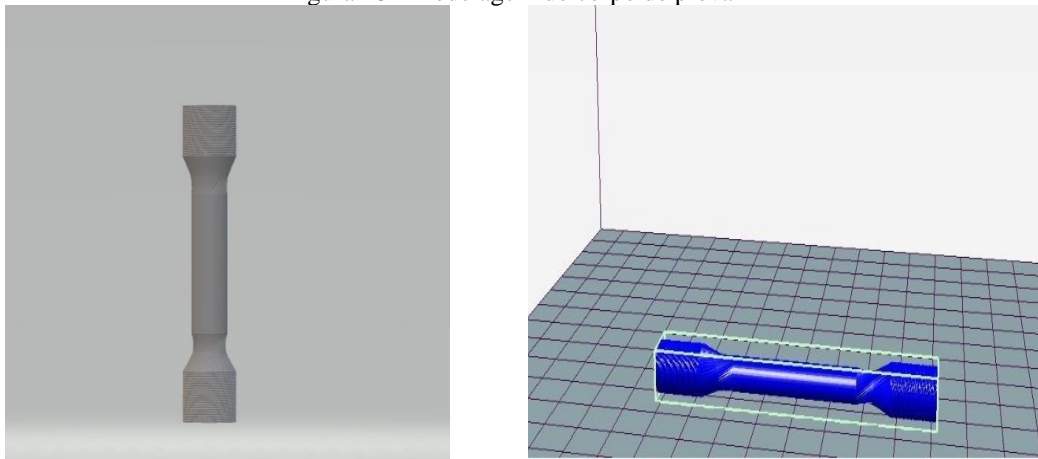
Figura 17 - Visualização dos parâmetros na impressora



Fonte: Autor (2023).

Nesta etapa, os alunos modelaram o corpo de prova utilizando software de modelagem 3D. Essa atividade teve como objetivo permitir que aplicassem os conceitos iniciais de prototipagem e impressão 3D de forma prática. Com isso, tiveram a oportunidade de explorar as ferramentas de design e criar um modelo virtual do corpo de prova, levando em consideração aspectos como forma, dimensões e características específicas. Essa atividade os preparou para a etapa seguinte, na qual utilizaram o modelo criado para realizar a impressão 3D do corpo de prova. A modelagem 3D permitiu que visualisassem e ajustassem o design do objeto antes de imprimir, garantindo a precisão e a qualidade do protótipo final (Figura 18).

Figura 18 - Modelagem do corpo de prova

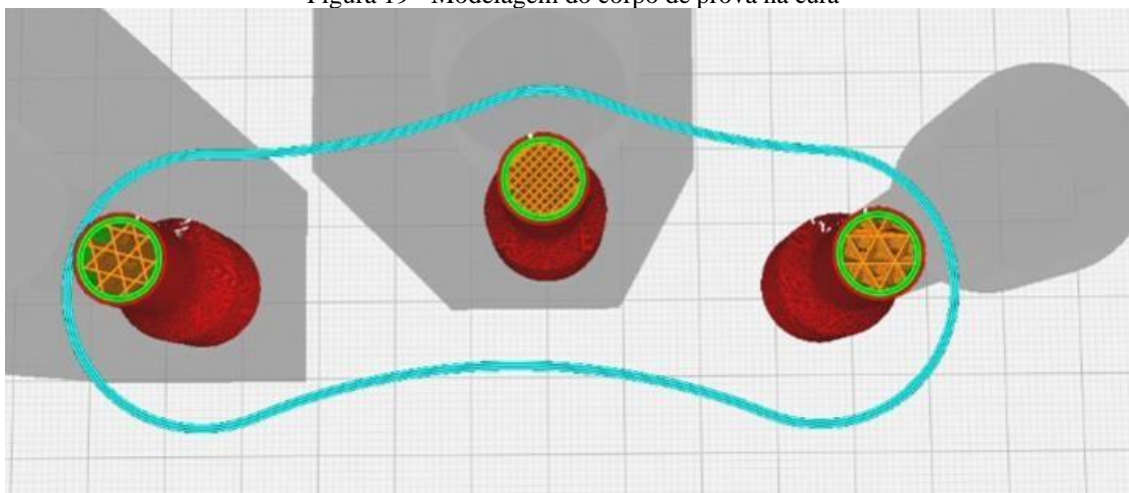


Fonte: Autor (2023).

Ao modelar o corpo de prova, eles puderam exercitar sua criatividade e habilidades técnicas de design. Também foram incentivados a pensar criticamente e considerar os requisitos e as características necessárias para um corpo de prova adequado. Nessa etapa, a professora abordou os parâmetros de impressão e análise de custos, a discussão sobre a relação entre os parâmetros de impressão e os custos de produção despertou o interesse dos alunos pela análise econômica da manufatura aditiva. De acordo com um estudo de Korner *et al.* (2020), os alunos percebem a importância de escolher os parâmetros corretos para reduzir os custos de impressão. Os comentários dos estudantes revelaram que essa compreensão os incentivou a tomar decisões mais conscientes durante as atividades práticas de comparação de parâmetros, como mencionado por Jones *et al.* (2021).

Os alunos realizaram a impressão 3D do corpo de prova utilizando três tipos diferentes de preenchimento: zigue-zag, subdivisão cúbica e tri hexagonal. Essa atividade teve como objetivo explorar e analisar como diferentes padrões de preenchimento afetam as propriedades mecânicas do objeto impresso (Figura 19).

Figura 19 - Modelagem do corpo de prova na cura



Fonte: Autor (2023).

Os estudantes tiveram a oportunidade de selecionar os parâmetros de impressão, como a taxa de preenchimento e a densidade, de acordo com cada tipo de preenchimento. Eles foram orientados a escolher parâmetros adequados que permitissem uma comparação significativa entre os diferentes padrões, os tipos de preenchimentos definidos foram: a) Zigue-zag; b) subdivisão cúbica; c) tri hexagonal (Figura 20).

Figura 20 - a) Zigue-zag b) subdivisão cúbica c) tri hexagonal



Fonte: Autor (2023).

Durante a impressão dos corpos de prova, os alunos puderam observar e analisar as características de cada tipo de preenchimento. Eles observaram como o Zigue-zag cria camadas diagonais, a subdivisão cúbica gera um padrão de células quadradas e o tri hexagonal forma hexágonos interligados (Figura 21).

Ao passar para a próxima etapa, eles já estavam familiarizados com o processo de modelagem 3D e estavam prontos para dar continuidade à fabricação do protótipo utilizando a impressora 3D. A modelagem realizada na etapa 1 serviu como base para a impressão do corpo de prova, permitindo que visualizassem o resultado físico do trabalho.

Na Tabela 7 é apresentado os custos obtidos pelos alunos através dos cálculos considerando as variáveis: consumo de material, custo do material, tempo de impressão, custo de energia. Levando em consideração o custo de energia de R\$ 0,573 por quilowatt-hora (kWh) na cidade de Itajaí.

Para isso utilizaram as equações a seguir:

$$I. \text{Custo de energia} = \text{Potência da impressora (kW)} \times \text{Tempo de impressão (h)} \times \text{Custo por kWh} \quad (\text{Equação 1})$$

$$II. \text{Custo do material total} = \text{Consumo de material (R\$)} \times \text{Custo do material (R\$)} \quad (\text{Equação 2})$$

$$III. \text{Custo total} = \text{Custo de energia (R\$)} + \text{custo do material total (R\$)}$$

Tabela 7 - Custos para os diferentes preenchimentos de impressão

Preenchimento	Consumo de material	Custo do material total	Tempo de impressão	Custo de energia	Custo total
Zigzag	100g	R\$ 0,10 por grama	2 horas	R\$ 0,30894	10,30
subdivisão cúbica	150g	R\$ 0,10 por grama	4 horas	R\$ 0,6188	15,61
tri hexagonal	200g	R\$ 0,10 por grama	5 horas	R\$ 0,7735	20,77

Fonte: De autoria própria (2023).

A avaliação dessa etapa foi realizada por meio de um questionário com questões objetivas de múltipla escolha sobre o tema abordado. Os alunos responderam perguntas

sobre como os parâmetros de impressão afetam os custos, quais são as melhores práticas para reduzir as despesas na manufatura aditiva e como realizar uma análise eficiente dos custos. Os resultados dessa etapa mostraram que eles conseguiram compreender a relação entre os parâmetros de impressão e os custos de produção na manufatura aditiva. Eles demonstraram ter adquirido conhecimentos sólidos sobre a importância de selecionar os parâmetros corretos para otimizar a relação custo-benefício.

Na segunda etapa da sequência didática proporcionou aos alunos uma visão mais aprofundada sobre os aspectos econômicos da manufatura aditiva. Eles foram capazes de realizar uma análise crítica dos custos envolvidos em diferentes configurações de impressão e entenderam a importância de considerá-los no processo de tomada de decisão. Essa etapa preparou os alunos para a próxima fase da sequência didática, em que eles irão aplicar os conhecimentos adquiridos na construção de seus protótipos utilizando a impressão 3D, levando em consideração os custos e a eficiência na produção.

6.3 ETAPA 3 - FABRICAÇÃO E ANÁLISE DO PROTÓTIPO

Na terceira etapa da sequência didática, os alunos foram introduzidos ao estudo das propriedades mecânicas dos materiais utilizados na manufatura aditiva e à análise de casos de aplicação desses materiais na indústria. O objetivo dessa etapa foi aprofundar seus conhecimentos sobre as características dos materiais e como elas influenciam o desempenho dos protótipos impressos em 3D. A seguir, descreveremos as atividades realizadas e os principais resultados obtidos. As propriedades mecânicas dos materiais foram apresentadas aos alunos, como resistência, ductilidade, dureza e tenacidade. Foram discutidos os fatores que influenciam essas propriedades, como a composição do material, o processo de impressão e os parâmetros de impressão. Além disso, foram abordados casos de aplicação bem-sucedidos na indústria, destacando exemplos em que as propriedades mecânicas dos materiais foram essenciais para o desempenho e a durabilidade dos produtos.

Após a introdução teórica, os alunos participaram de atividades práticas para análise de resistência e deformação dos materiais utilizados na manufatura aditiva. Eles realizaram testes em corpos de prova impressos em 3D, utilizando equipamentos de medição adequados. Nos corpos de prova impressos, os alunos realizaram ensaio de

tração para avaliar as propriedades mecânicas dos corpos de prova impressos com os diferentes tipos de preenchimento. Os resultados obtidos foram analisados em termos de resistência, rigidez e deformação. Eles tiveram a oportunidade de comparar os resultados dos diferentes padrões de preenchimento e discutir as diferenças observadas (Tabela 8).

Tabela 8 - Resistência mecânica dos corpos de provas impressos

Padrão de preenchimento	Força máxima (N)	Alongamento (mm)
Zigue-zag	100	20
Subdivisão cúbica	150	15
Tri hexagonal	180	10

Fonte: De autoria própria (2023).

Esses valores indicam que o padrão de preenchimento tri hexagonal apresentou a maior resistência à tração, seguido pelo padrão de preenchimento em subdivisão cúbica e, por último, o padrão de preenchimento em Zigue-zag. Esses resultados corroboram os estudos realizados por autores como *Ćwikła et al. (2017)* e *Sriya et al. (2022)*, que também observaram que diferentes padrões de preenchimento podem afetar as propriedades mecânicas dos materiais impressos em 3D. Essas pesquisas enfatizam a importância de escolher o padrão de preenchimento adequado para cada aplicação, levando em consideração os requisitos de resistência e desempenho do objeto.

Os alunos também compararam os resultados obtidos com valores de referência para materiais convencionais, como o aço e o alumínio. Embora os materiais impressos em 3D não tenham alcançado os mesmos níveis de resistência desses materiais tradicionais, os estudantes puderam perceber a viabilidade e as vantagens da manufatura aditiva na produção de protótipos e peças personalizadas e de baixo custo.

Esses resultados forneceram uma compreensão prática das propriedades mecânicas dos materiais impressos em 3D e sua relação com os parâmetros de impressão. Isso permitiu que os alunos aplicassem os conhecimentos adquiridos na

sequência didática em situações reais, contribuindo para o desenvolvimento de suas habilidades técnicas e aprimorando seu entendimento sobre a fabricação aditiva.

Essa atividade permitiu que os estudantes compreendessem a influência do padrão de preenchimento na resistência e nas propriedades mecânicas do objeto impresso. Eles puderam verificar empiricamente como a escolha do tipo de preenchimento pode impactar o desempenho do corpo de prova e, por extensão, a aplicabilidade e a funcionalidade do produto. Autores como Ćwikła (2017) e Johnson (2009) destacam a importância de analisar os diferentes padrões de preenchimento na impressão 3D e sua relação com as propriedades mecânicas dos objetos impressos.

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o preenchimento em Zigue-zag apresentou o menor consumo de material em comparação com os outros dois preenchimentos. Isso ocorre devido ao padrão de preenchimento em camadas alternadas, que requer menos material para preencher o objeto.

Em contrapartida, os preenchimentos em subdivisão cúbica e tri hexagonal apresentaram um consumo de material ligeiramente maior. Isso se deve às características desses padrões de preenchimento, que exigem uma maior densidade de material para garantir a resistência e estabilidade do objeto.

Além do consumo de material, também consideraram o tempo de impressão como um fator importante na análise de custos. Verificou-se que o preenchimento em Zigue-zag foi mais rápido em comparação com os outros dois preenchimentos. Isso se deve à simplicidade do padrão de preenchimento, que requer menos movimentos da extrusora durante a impressão.

É importante ressaltar que os custos reais podem variar dependendo de outros fatores, como o tipo de material utilizado, as configurações específicas da impressora 3D e o tamanho do objeto impresso. Portanto, é essencial realizar uma análise mais detalhada e considerar todas as variáveis relevantes ao estimar os custos de produção.

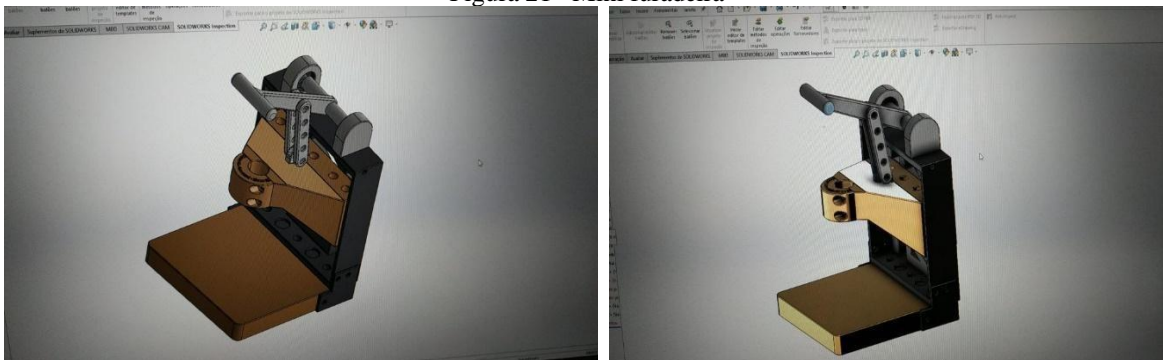
Kadir *et al.* (2020) destacam a importância de considerar o consumo de material e o tempo de impressão ao analisar os custos na manufatura aditiva. Esses estudos ressaltam que a escolha do padrão de preenchimento pode afetar diretamente os custos de produção, bem como a eficiência do processo. Os resultados dessa etapa revelaram um maior entendimento por parte dos alunos sobre a importância das propriedades mecânicas dos materiais na manufatura aditiva. Através das atividades práticas e da análise de casos de aplicação, eles puderam aplicar seus conhecimentos teóricos na

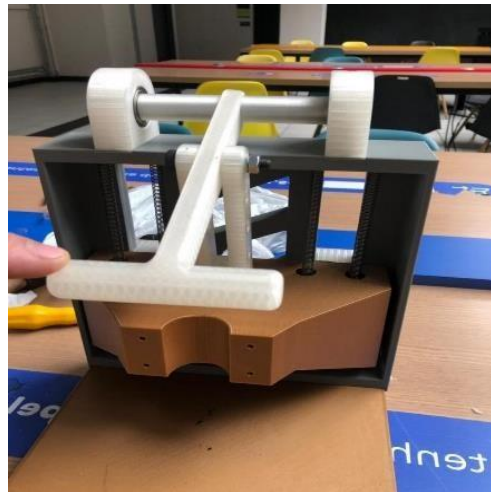
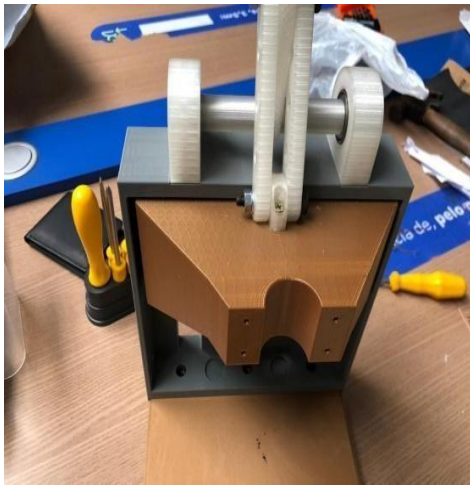
prática e desenvolver habilidades de análise crítica. Isso contribuiu para uma formação mais completa e preparou-os para as etapas seguintes, nas quais seriam desafiados a projetar e construir protótipos levando em consideração as propriedades mecânicas dos materiais.

6.4 ETAPA 4 - IMPRESSÃO 3D DO PROJETO FINAL

Na quarta fase da sequência didática, os alunos do curso de Engenharia Mecânica tiveram a oportunidade de colocar em prática seus conhecimentos e habilidades fazendo uma mini furadeira de bancada impressa em 3D. Esta atividade é particularmente importante porque permite aplicar os conceitos de prototipagem e manufatura aditiva em projetos reais que poderão ser utilizados na sua vida profissional. A criação da mini furadeira de bancada impressa em 3D envolveu várias etapas, desde a prototipagem até a fabricação e montagem do dispositivo. Eles foram desafiados a desenvolver um projeto de mini furadeira de bancada utilizando um software de modelagem 3D, levando em conta aspectos como ergonomia, funcionalidade e segurança (Figura 21).

Figura 21– Mini furadeira





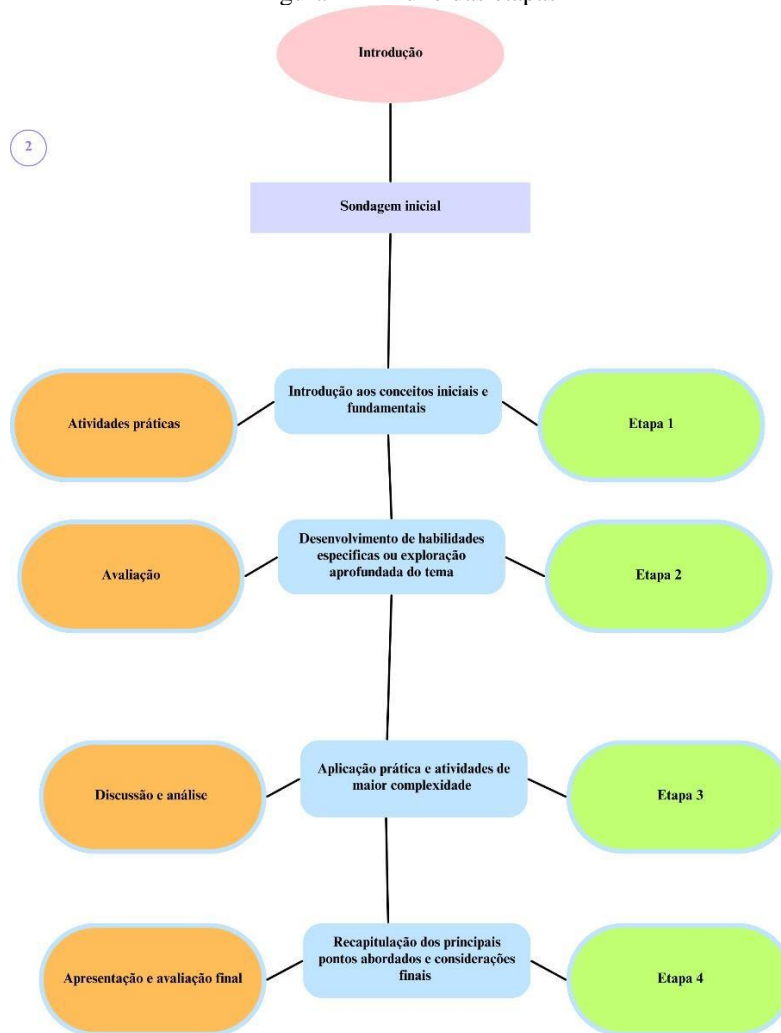
Fonte: Autor.

6.5 PROCESSO FINALIZADO

Pelas discussões desenvolvidas ao longo da sequência didática e pelos resultados obtidos nas atividades práticas, pode-se concluir que o processo de elaboração e construção do protótipo de baixo custo por meio da impressão 3D e ABP foi eficaz e enriquecedor para os estudantes. A utilização da metodologia ABP proporcionou um ambiente de aprendizagem ativo e participativo, no qual os alunos foram estimulados a buscar soluções, trabalhar em equipe e desenvolver habilidades práticas. A sequência didática permitiu que eles compreendessem os conceitos teóricos envolvidos na manufatura aditiva e aplicassem na prática por meio da construção dos protótipos. A seleção cuidadosa dos conteúdos e conceitos científicos, realizada na etapa inicial, proporcionou uma base sólida para o desenvolvimento das atividades subsequentes. Ao longo do processo, os estudantes foram desafiados a pensar criticamente, analisar problemas, buscar informações, tomar decisões e apresentar seus resultados de forma clara e objetiva.

A interação com os colegas e com o professor nas discussões e debates fortaleceu o processo de aprendizagem, permitindo a troca de ideias e o compartilhamento de conhecimentos. Além disso, a utilização da impressão 3D como ferramenta para construir os protótipos possibilitou aos estudantes experimentar na prática as possibilidades e limitações dessa tecnologia. Eles puderam vivenciar o processo de criação, desde a concepção da ideia até a materialização do objeto, e compreender como os parâmetros de impressão influenciam diretamente nos resultados. A integração entre teoria e prática, aliada à metodologia ABP, possibilitou um aprendizado mais completo e enriquecedor. O processo finalizado, contendo a representação gráfica do fluxo das etapas, está representado na Figura 22.

Figura 22 - Fluxo das etapas



Fonte: Autor (2023).

Durante a aplicação da sequência didática, foram entregues os questionários aos alunos para avaliarem seu conhecimento prévio, compreensão dos conceitos abordados e percepções sobre a experiência de aprendizagem. A análise dos questionários revelou informações valiosas sobre o impacto da sequência didática no aprendizado dos estudantes. Os questionários aplicados no início da sequência didática permitiram sondar seus conhecimentos prévios sobre os conceitos de prototipagem e manufatura aditiva (Figura 23). As respostas fornecidas foram utilizadas como base para adaptar e ajustar o conteúdo e as atividades das etapas subsequentes, visando atender às necessidades e lacunas de conhecimento identificadas.

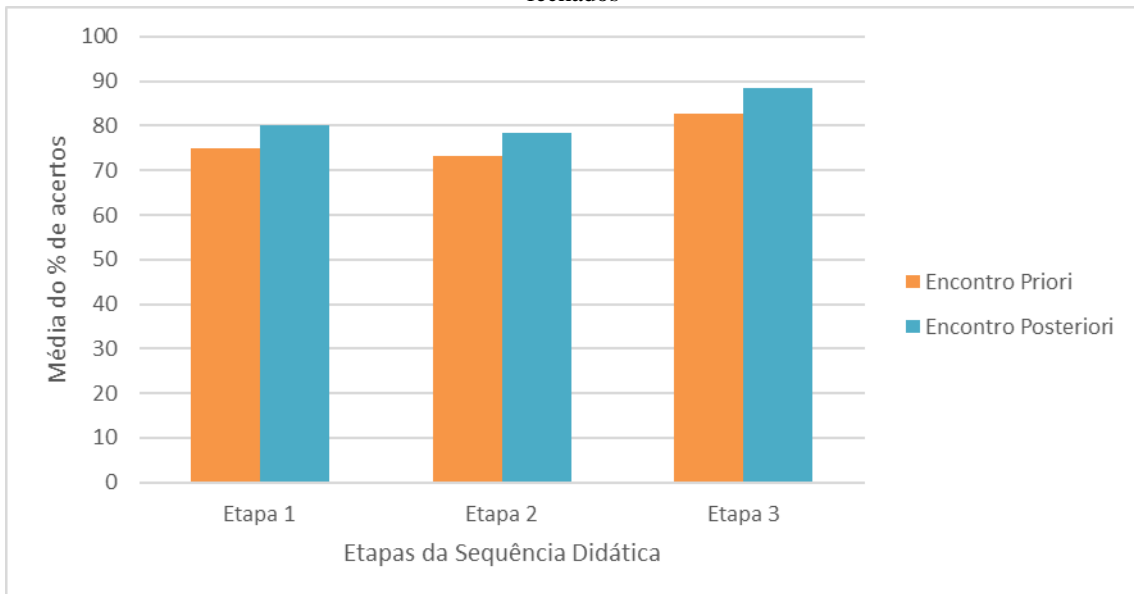
Figura 23 - Aplicação do questionário aos alunos



Fonte: Autor (2023).

Ao longo da sequência didática, novos questionários foram aplicados para avaliar a compreensão dos alunos sobre os conteúdos abordados em cada etapa. Esses questionários consistem em questões objetivas de múltipla escolha que abrangiam os principais conceitos teóricos, parâmetros de impressão, propriedades mecânicas dos materiais e aplicações da manufatura aditiva. No Gráfico 2 é apresentado a média do percentual de acertos dos questionários fechados da etapa: 1, 2 e 3.

Gráfico 2 - Avaliação dos questionários fechados



Fonte: Autor (2023).

Ao analisar a média de acertos nos questionários das diferentes etapas, podemos observar que esses resultados indicam que, de forma geral, houve um aumento na média de acertos nos questionários entre os encontros Priori e Posteriori em todas as etapas.

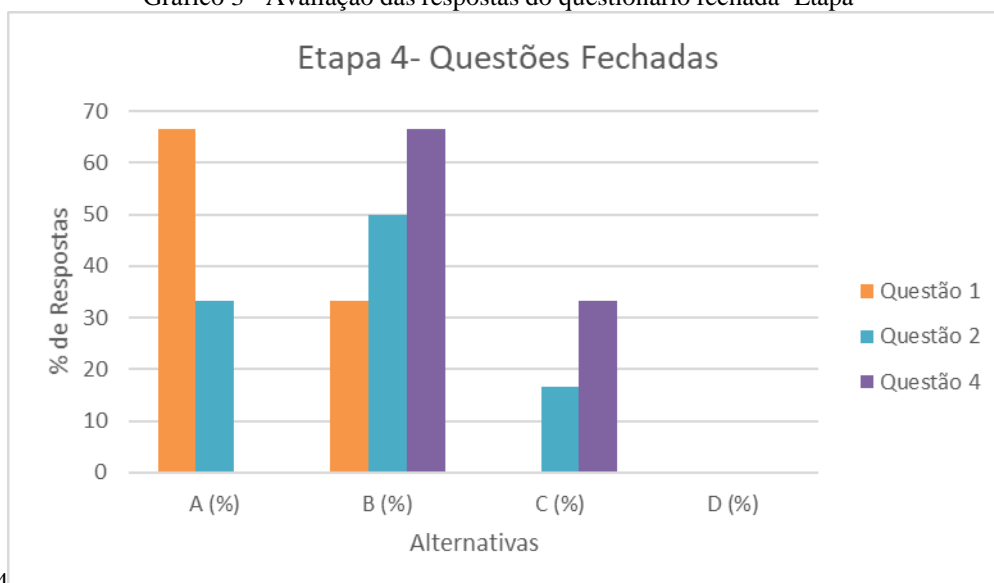
Isso sugere que os alunos tiveram um melhor aproveitamento e compreensão dos conhecimentos apresentados ao longo da sequência didática. Podemos embasar essa resposta com base em teorias e pesquisas de renomados autores. Alguns autores relevantes nesse contexto que podem ser citados é David Ausubel, que destaca a importância da conexão dos novos conhecimentos com os conhecimentos prévios dos alunos. Nesse contexto, ao aplicar a prototipagem e impressão 3D na Engenharia Mecânica, os alunos podem construir significado e compreensão dos conceitos e processos envolvidos, relacionando-os com seus conhecimentos prévios sobre propriedades mecânicas, resistência dos materiais e design de produtos.

Bruner (1966) propôs a teoria da aprendizagem por descoberta, que enfatiza a importância da interação entre os conhecimentos prévios e a exposição a novas informações. Segundo ele, os alunos constroem significado ao relacionar suas experiências prévias com os novos conceitos apresentados.

A análise dos questionários revelou que, em geral, os alunos apresentaram um ligeiro aumento em seu conhecimento e compreensão dos conceitos ao longo das etapas da sequência didática. Os resultados indicaram que a abordagem prática e a integração entre teoria e prática foram eficazes para a assimilação dos conceitos e sua aplicação na construção dos protótipos. Além disso, os questionários permitiram identificar eventuais dificuldades ou lacunas de compreensão em determinados tópicos, o que possibilitou ao professor realizar intervenções específicas para esclarecer dúvidas, revisar conceitos ou fornecer exemplos adicionais para fortalecer a aprendizagem.

No Gráfico 3, os resultados do questionário fechado são apresentados. Nele, foram avaliadas as percepções dos alunos em relação ao projeto executado na etapa 4.

Gráfico 3 - Avaliação das respostas do questionário fechada- Etapa



Fonte: Autor (2023).

A análise dos resultados do questionário revelou informações importantes sobre a percepção dos alunos em relação a diferentes etapas do processo de impressão 3D. Na questão 1, referente à experiência de ver o protótipo impresso em 3D, a maioria dos alunos (4) respondeu letra A, indicando satisfação e orgulho com o resultado. Essa resposta pode ser relacionada à teoria da motivação de Deci e Ryan (2000), que destacam a importância da satisfação intrínseca e da autonomia para o engajamento e a motivação dos alunos em suas atividades de aprendizado.

Na questão 2, que trata da qualidade do protótipo, a resposta mais escolhida pelos alunos foi a letra B, indicando que a maioria considerou a qualidade do protótipo como boa, com a reprodução correta da maioria das características. Essa avaliação pode ser compreendida à luz da teoria da aprendizagem de Bruner, que enfatiza a importância da estruturação do conhecimento e do processo de enriquecimento gradual no desenvolvimento da compreensão dos alunos.

Na questão 4, relacionada à facilidade de operação da impressora 3D, a maioria dos alunos (4) selecionou a letra B, indicando que consideraram a operação como fácil, mas com algumas dúvidas ou dificuldades menores. Essa resposta pode estar relacionada à teoria do fluxo de Mihaly (2008), que destaca a importância do equilíbrio entre o desafio da tarefa e as habilidades do indivíduo para promover um estado de envolvimento e satisfação durante a execução da atividade.

As respostas dos alunos fornecem *feedbacks* importantes sobre a experiência vivenciada por eles em cada etapa do processo de impressão 3D. As teorias de autores como Deci e Ryan, Bruner e Mihaly ajudam a compreender os aspectos motivacionais, cognitivos e emocionais envolvidos no aprendizado e na percepção dos alunos. Essas informações podem ser utilizadas para adaptar as atividades e a abordagem pedagógica, visando aprimorar a experiência e promover um ambiente de aprendizado mais significativo e engajador.

Na questão 3 da etapa 4, que trata das dificuldades enfrentadas pelos alunos durante a impressão 3D, as respostas evidenciaram diferentes vivências. Quatro deles relataram terem tido problemas com o software, um respondeu que não teve dificuldades, e outro disse que enfrentou problemas relacionados à falta de peças ou ao manuseio da impressora. Essas respostas podem ser estudadas em conjunto com os problemas de tecnologia e conhecimento técnico envolvidos no processo de aprender e usar novas ferramentas.

O registro dos problemas relacionados ao software é uma parte permanente das operações de aprendizado que envolvem novas tecnologias. Autores como Papert (1980) e Resnick (2008) recomendam a necessidade de se familiarizar com o software de forma adequada e de obter ajuda e assistência para lidar com as dificuldades iniciais. Essas complicações podem estar relacionadas à inclinação do aprendizado, à dificuldade de usar o software ou à falta de familiaridade dos alunos com o pré-requisito.

Além disso, o aluno que relatou problemas com a impressora e falta de peças devido ao bico entupido faz uma referência específica de um desafio técnico. Assim, autores como Kafai e Resnick (1996) destacam que o estudo da nova tecnologia também requer a compreensão e resolução de problemas técnicos, além de ter uma natureza complicada.

Essas respostas mostram a necessidade de disponibilizar assistência específica durante o aprendizado e uso da impressora 3D e auxílio a detalhes para enfrentar problemas técnicos e científicos, além de promover uma cultura de tentativa, persistência e resolução de problemas.

Na questão 5 do questionário da etapa 4, que aborda o *feedback* recebido pelos alunos em relação ao seu protótipo impresso em 3D, todos os seis alunos relataram ter recebido respostas positivas do professor e dos colegas que os apoiaram na construção do protótipo final. Isso reflete sua importância no processo de aprendizado e validação

do trabalho realizado, nesse contexto, o feedback recebido pelos alunos na etapa 4 pode ter contribuído para a motivação e confiança na qualidade do protótipo desenvolvido.

Diversos autores destacam a relevância do feedback como um elemento fundamental no processo educacional. Hattie e Timperley (2007) enfatizam que ele deve ser descritivo, direcionado ao processo e oferecer sugestões para a melhoria do desempenho dos alunos.

Além disso, Vygotsky (1978) destaca a importância da interação social e do apoio dos colegas na construção do conhecimento. O *feedback* positivo dos colegas pode fortalecer a autoestima dos alunos e estimular o senso de pertencimento e colaboração na comunidade de aprendizagem.

Essas respostas também demonstram a necessidade de criar um ambiente de estudo em grupo, onde os alunos se sintam livres para compartilhar e receber feedbacks positivos. Os autores como Johnson e Johnson (2009) recomendam que a troca de ideias entre os colegas, por meio de ações de cooperação, aumenta o entendimento e o ambiente de ajuda um para o outro.

Na questão 6 do questionário da etapa 4, que questiona a opinião dos alunos sobre a importância da sequência didática para o seu entendimento da impressão 3D e da prototipagem, todos os alunos responderam favoravelmente. As respostas sugerem que a sequência didática teve um papel significativo na formação de seus conhecimentos e habilidades, resultando em uma experiência de educação complementar.

Segundo Sacristán (2000), a sequência didática é uma estratégia pedagógica que visa organizar as atividades de ensino de forma articulada, buscando um objetivo comum e promovendo a progressão do aprendizado. Nesse sentido, a sequência didática aplicada nessa etapa pode ter oferecido aos alunos uma estrutura clara e coerente para adquirir conhecimentos e desenvolver habilidades específicas relacionadas à impressão 3D e prototipagem.

Além disso, Dewey (1916) destaca que a aprendizagem significativa ocorre quando os alunos conseguem estabelecer conexões entre seus conhecimentos prévios e os novos conteúdos. A sequência didática pode ter proporcionado aos alunos a oportunidade de relacionar seus conhecimentos prévios com os conceitos e práticas da impressão 3D, permitindo-lhes construir um aprendizado mais significativo e duradouro. Através da sequência didática, os alunos puderam adquirir conhecimentos e

habilidades práticas que podem ser aplicados em contextos profissionais relacionados à impressão 3D e prototipagem.

As respostas dos alunos também refletem a percepção de que a sequência didática contribuiu para seu preparo para a vida profissional. Essa abordagem está alinhada com as ideias de Perrenoud (1999), que destaca a importância de uma educação voltada para o desenvolvimento de competências que sejam relevantes para o mundo do trabalho.

Na questão 7 do questionário da etapa 4, eles foram convidados a expressar os aspectos que consideram mais importantes para melhorar em futuras atividades envolvendo impressão 3D. Suas respostas revelam diferentes perspectivas e sugestões para aprimorar suas experiências futuras nesse campo.

Um aluno ressaltou a necessidade de ter mais impressoras disponíveis para realizar o projeto com tranquilidade, pois com apenas três impressoras, os alunos consideram ineficiente. Essa observação destaca a importância de recursos adequados para a realização das atividades de impressão 3D. Segundo Blikstein (2013), ter acesso a uma quantidade suficiente de equipamentos é fundamental para que os alunos possam experimentar e explorar livremente as possibilidades dessa tecnologia, sem limitações que possam comprometer sua aprendizagem.

Outro aluno mencionou o interesse em trabalhar com novos materiais e novas tecnologias. Essa resposta indica a busca por expandir os horizontes e explorar diferentes opções de materiais e técnicas de impressão. Segundo Martinez *et al.* (2017), a diversidade de materiais disponíveis e o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias são fatores que impulsionam a evolução da impressão 3D e abrem caminho para aplicações cada vez mais inovadoras.

Um terceiro aluno enfatizou a importância da análise de desenho no software e da seleção adequada de materiais. Essa resposta destaca a necessidade de adquirir conhecimentos técnicos sólidos para obter resultados de qualidade na impressão 3D. Segundo Dym *et al.* (2005), o domínio das habilidades de modelagem e a compreensão das propriedades dos materiais são aspectos essenciais para o sucesso na impressão 3D. Na questão 8 da etapa 4, os alunos foram questionados sobre seu interesse em explorar outras aplicações da impressão 3D no futuro e quais áreas ou projetos eles gostariam de

explorar. Todos os alunos confirmaram seu interesse, cada um com suas próprias motivações e perspectivas.

Um dos alunos expressou o desejo de testar outros projetos, evidenciando o espírito de experimentação e a busca por desafios. Essa atitude está em linha com a visão de Weisberg (2013), que destaca a importância da criatividade e da experimentação para o desenvolvimento de habilidades e a descoberta de novas possibilidades na impressão 3D.

Conforme destacado por Berman (2012), a impressão 3D oferece um campo vasto de possibilidades em diversas áreas, como arquitetura, medicina, design de produtos, entre outras. Ao expressarem seu interesse em explorar outras aplicações, os alunos demonstram a consciência das oportunidades e do potencial dessa tecnologia.

Outro aluno mencionou o interesse em conhecer a impressão 3D de pó metálico. Essa resposta reflete o desejo de explorar novos materiais e técnicas de impressão, buscando expandir os horizontes da aplicação da tecnologia. Conforme enfatizado por Gibson *et al.* (2015), a impressão 3D de metais apresenta uma ampla gama de aplicações industriais e inovadoras, permitindo a produção de peças complexas e personalizadas com propriedades específicas.

Um terceiro aluno expressou o desejo de produzir mais protótipos. Essa resposta revela a vontade de continuar explorando a impressão 3D como uma ferramenta para materializar suas ideias e conceitos. De acordo com Wohlers (2019), a prototipagem rápida e a capacidade de produzir protótipos funcionais são vantagens significativas da impressão 3D. Ao expressar o interesse em produzir mais protótipos, o aluno demonstra a compreensão de que a impressão 3D pode ser uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de projetos em diferentes áreas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), da prototipagem rápida (impressão 3D) e de uma sequência didática adequada é uma abordagem pedagógica promissora para promover uma aprendizagem significativa e aplicável ao mundo real no contexto do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica. Ao longo da realização das atividades propostas na sequência didática, os alunos foram desafiados a resolver problemas reais, aplicando seus conhecimentos teóricos de forma prática e concreta. Através da ABP, eles foram estimulados a se engajar em atividades de investigação, pesquisa e discussão, o que promoveu a construção do conhecimento de maneira mais profunda e significativa.

A prototipagem rápida desempenhou um papel fundamental na aplicação prática dos conceitos aprendidos. Os alunos tiveram a oportunidade de visualizar e manipular seus projetos, experimentando diferentes padrões de preenchimento e analisando suas propriedades mecânicas. Essa abordagem proporcionou uma experiência tangível e enriquecedora, incentivando a criatividade, o pensamento crítico e a resolução de problemas.

O papel do professor como mediador do aprendizado foi crucial para o sucesso dessa abordagem. Ao assumir o papel de facilitador, o professor estimulou a criatividade dos alunos, oferecendo orientação e *feedback* construtivo ao longo do processo. Essa interação entre professor e alunos fortaleceu a aprendizagem colaborativa, proporcionando um ambiente propício para a troca de ideias e a construção coletiva do conhecimento.

A adoção de princípios construtivistas e de aprendizagem colaborativa, respaldados pelos estudos de Vygotsky e Ausubel, permitiu que os alunos desenvolvessem habilidades essenciais para o mercado de trabalho, como trabalho em equipe, tomada de decisão com base em critérios técnicos e econômicos, além de análise de resultados e *feedback*.

Os resultados desta pesquisa indicam que a abordagem proposta resultou em um engajamento dos alunos, demonstrando um aumento no interesse e na motivação em relação ao conteúdo estudado. Através da resolução de problemas reais e da criação de protótipos físicos, eles puderam aplicar seus conhecimentos de forma prática, o que contribuiu para uma aprendizagem efetiva e significativa.

É essencial reconhecer que esta pesquisa foi conduzida em um contexto específico e com uma amostra limitada de alunos. Portanto, é relevante sugerir a realização de estudos adicionais para validar e generalizar esses resultados em outras instituições de ensino e cursos de engenharia. Além disso, é crucial destacar que o produto educacional desenvolvido tem o potencial de ser reproduzido, adaptado e implementado por outros professores e instituições. Isso enfatiza a importância de avaliar a Replicabilidade do produto educacional em pesquisas subsequentes.

A abordagem que combina a Aprendizagem Baseada em Problemas, a prototipagem rápida e uma sequência didática estruturada mostrou-se eficaz para promover uma aprendizagem mais significativa e relevante à prática profissional. Essa abordagem inovadora representa um caminho promissor para aprimorar constantemente as práticas de ensino e preparar os alunos para os desafios do mercado de trabalho, capacitando-os para se tornarem engenheiros mecânicos qualificados e criativos.

Por fim, é essencial destacar a importância de fornecer suporte contínuo aos professores e estudantes para implementar com sucesso essa abordagem inovadora. Os educadores devem receber treinamento adequado e recursos para se tornarem facilitadores eficazes do processo de aprendizagem baseado em problemas, estimulando o pensamento crítico, a resolução de problemas e a criatividade dos alunos.

Além disso, é fundamental fornecer aos estudantes acesso a tecnologias de prototipagem rápida, como a impressão 3D e recursos para poderem realizar suas atividades práticas de forma eficiente. Isso inclui laboratórios bem equipados, acesso a materiais de qualidade e suporte técnico adequado para lidar com os desafios técnicos da prototipagem.

Espera-se que os resultados deste estudo incentivem outras instituições de ensino a explorarem essa abordagem e a adaptá-la de acordo com suas necessidades e realidades locais. O contínuo aprimoramento das práticas de ensino é fundamental para o desenvolvimento de uma educação contemporânea de qualidade, preparando os futuros engenheiros para serem profissionais competentes, criativos e comprometidos com a inovação e o avanço tecnológico.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. C. D. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências**. 2016. 226 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2016.

AHLERT, A. A avaliação como um processo interno da prática pedagógica. **Caderno de Educação Física: estudos e reflexões**, Marechal Cândido Rondon, v. 4, n. 8, p. 119-125, 2002. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/cadernoedfisica/article/view/1340>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ALMEIDA, E. G.; BATISTA, N. A. Desempenho Docente no Contexto PBL: Essência para Aprendizagem e Formação Médica. **Revista brasileira de educação médica**, Montes Claros, v. 37, n. 2, p. 192-201, 26 fev. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbem/a/7dPbSyZTXNgQmvd46rZH9qc/>. Acesso em: 02 out. 2022.

AMARAL, R. D. C. do; FILHO, A. C. de P. A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia. In: **Nono Simpósio de Mecânica Computacional**, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/211611404/A-Evolucao-do-CAD-e-sua-Aplicacao-em-Projetos-de-Engenharia#>. Acesso em: 17 jul. 2023.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Editora, 2003.

BERNARD; DOLZ, J. (Org.). **Gêneros orais e escritos na escola**. Campinas, SP: Mercado de Letras, 2004. p. 95-128.

BARBOSA, J. B. M.; MENDONÇA, F. J. S. de F.; TAVARES, F. R. M.; FIGUEREDO, J. F. de S.; LEITE, M. J. F. Utilização de impressoras 3D para o desenvolvimento de metodologias ativas em cursos de Engenharia. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 10, p. e181101018657, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18657>. Acesso em: 10 fev. 2023. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18657>

BATISTA, N. A. Planejamento na prática docente em saúde. In: BATISTA, N. A.;

BATISTA, S. H. **Docência em saúde: temas e experiências**. São Paulo: Senac, 2004.

BELL, J. (2002). **Como realizar um projecto de investigação**. Lisboa: Gradiva, 2002.
BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Penso Editora, 2014.

BERMAN, B. 3-D printing: The new industrial revolution. **Business horizons**, [S. l.], v. 55, n. 2, p. 155-162, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007681311001790>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BLIKSTEIN, P. Digital fabrication and "making" in education: The democratization of invention. In: WALTER-HERMANN, J.; BUCHING, C. **FabLabs: Of machines, makers and inventors**. Bielefeld: Transcript Publishers, 2013. p. 31-42.

Brasil Escola. **Exercícios sobre copolímeros**. 2023. Disponível em: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-quimica/exercicios-sobre-copolimeros.htm>. Acesso em: 21 abr. 2023.

BRUNER, J. S. **Toward a theory of instruction**. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1966.

CAMARGO, L. R. de C. Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) na educação em engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, São Carlos, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008. Disponível em: http://www2.ugb.edu.br/arquivossite/MetodologiasAtivas/AprendizagemBaseadaEmProblemas/APRENDIZAGEM_BASEADA_EM_PROBLEMAS_PBL_NA_EDUCACAO_.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

CHICCA JÚNIOR, N. A. **A integração da impressora 3D FDM no processo ensino-aprendizagem da prática projetual de design**. 2017. 259 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Design) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CHUA, C. K.; and LEONG, K. **3D Printing and Additive Manufacturing**. Singapura: World Scientific, 2014.

COSTA, L. R. J.; HONKALA, M.; LEHTOVUORI, A. Applying the problem-based learning approach to teach elementary circuit analysis. **IEEE Transactions on Education**, [S. l.], v. 50, n. 1, p. 41-48, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TE.2006.886455>. Acesso em: 22 abr. 2022.

CUNICO, M. W. M. **Impressoras 3D: O novo meio produtivo**. Curitiba: Concep3D, 2015.

ĆWIKŁA, G.; GRABOWIK, C.; KALINOWSKI, K.; PAPROCKA, I.; OCIEPKA, P. The Influence of Printing Parameters on Selected Mechanical Properties of FDM/FFF 3D-Printed Parts. **IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng**, 2017, v. 227, p. 012033, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318922708_The_influence_of_printing_parameters_on_selected_mechanical_properties_of_FDMFFF_3D-printed_parts. Acesso em: 19 fev. 2023.

DECI, E. L.; RYAN, R. M. The 'what' and 'why' of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. **Psychological Inquiry**, v. 11, n. (4, p.): 227–268, 2000. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327965pli1104_01. Acesso em: 19 abr. 2023.

DEWEY, J. (1986). **Experience and Education**. Kappa Delta Pi, 1986.

DOLZ, J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento. In: SCHNEUWLY,

DOMINGOS, C. M. **Análise Comparativa das Propriedades do Políácido Láctico (PLA) de Fornecedores Distintos para Aplicações em Manufatura Aditiva: Uma avaliação dos parâmetros de impressão na busca da otimização do processo de impressão 3D via Fabricação Filamento Fundido (FFF)**. 2022. 90 f. Trabalho Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

Dreamstime. **Estrutura química do polímero de nylon [imagem]**. Disponível em: <https://pt.dreamstime.com/estrutura-qu%C3%ADmica-pol%C3%ADmero-de-nylon-policaprolactama-poli%C3%A2mida-frequentemente-utilizada-na-produ%C3%A7%C3%A3o-fibras-sint%C3%A9ticas-image187169461>. Acesso em: 21 abr. 2023.

DYM, C. L.; AGOGINO, A. M.; ERIS, O.; FREY, D. D.; LEIFER, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. **Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 94, n. (1), p. 104–120, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ENKENBERG, J. Jorma Instructional design and emerging teaching models in higher education. **Computers in Human Behavior**, [S. l.], v. - 2001. - Vol. 17, n. 5-6, p. 495-506, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0747563201000218>. Acesso em: 10 mar. 2023.

FERREIRA, C. C.; FREITAS-GUTIERRES, L. F. Aprendizagem ativa por meio da prototipagem rápida em um Curso de Graduação em Engenharia de Energia. **Revista Thema**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 776-795, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/2197>. Acesso em: 19 fev. 2023.

FRIED, J. **Polymer Science & Technology**. Prentice Hall, 2003.

GAULIO, B. O. **Estudo da viabilidade de aplicação de material polimérico utilizando otimização topológica e manufatura aditiva fdm em um componente automotivo**. 2022. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies**. New York: Springer, 2010.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOWIN, D. B. **Educating**. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1981.

GUIN, U.; FORTE, D.; TEHRANIPOOR, M. Design of Accurate Low-Cost On-Chip Structures for Protecting Integrated Circuits Against Recycling. **IEEE Transactions on**

Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 1233-1246, 2016. doi: 10.1109/TVLSI.2015.2466551. Acesso em: 16 jul. 2023.

HATTIE, J.; & TIMPERLEY, H. (2007). The power of feedback. **Review of Educational Research**, [S. l.], v. 77, n. (1), p. 81–112, 2007. doi: <https://doi.org/10.3102/003465430298487>. Acesso em: 19 nov. 2022.

HMELO-SILVER, C. E. Problem-based learning: what and how do students learn? **Educ psychol review. Review**, [S. l.], v. 16, p. 235-266, (2004). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>. Acesso em: 09 abr. 2023.

HODSON, D. Experiments in science teaching. **Educational philosophy and theory**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 53-66, [Seção do Livro]. - 1998. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-5812.1988.tb00144.x>. Acesso em: 10 fev. 2023.

HOFFMANN, J. M. L. Avaliação mediadora: uma relação dialógica na construção do conhecimento. **Centro de Referência em Educação**, 1994. Disponível em: <http://www.crmariocovas.sp.gov.br>. Acesso em: 20 set. 202209.

HORN, M. S.; STAKER, H. (2015). **Blended**: Using disruptive innovation to improve schools. John Wiley & Sons, 2015.

HUANG, Y.; LEU, M. C. **Leu, Frontiers of Additive Manufacturing Research and Education, Research and Education Report of NSF Additive Manufacturing Workshop**. University of Florida, 2014. Disponível em: <https://nsfam.mae.ufl.edu/2013nsfamworkshopreport.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023. p. 1–35.

HUANG, Y.; LEU, M. C.; MAZUMDER, J.;, DONMEZ, A. (2015). Additive Manufacturing: Current State, Future Potential, Gaps and Needs, and Recommendations. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, [S. l.], v. 137, n. 1, p. 014001, 2015. Disponível em: <https://asmedigitalcollection.asme.org/manufacturingscience/article-abstract/137/1/014001/375256/Additive-Manufacturing-Current-State-Future>. Acesso em: 10 maio. 2023.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T. (2009). An educational psychology success story: social interdependence theory and cooperative learning. **Educ. Res.** [S. l.], v. 38, p. 365–379, 2009. doi: 10.3102/0013189X09339057. Acesso em: 19 dez. 2022.

JONES, K.; MENDEZ, J. D. (2021). Enhancing learning with 3D print technology: A case study of problem based learning. **Journal of Education**, [S. l.], v. 96, n. (3), p. 187-94, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08832323.2020.1774735>. Acesso em: 15 nov. 2022.

KADIR, Y.; YUSOF, Y.; WAHAB, M. S., "Additive manufacturing cost estimation models—A classification review"., **Int. J. Adv. Manuf. Technol.**, [S. l.], vol. 107, n. 9,

pp. 4033-4053, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-05262-5>. Acesso em: 17 maio. 2023.

KAFAI, Y. B.; RESNICK, M. **Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world**. Routledge, 1996.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing engineering and technology**. Pearson, 2014.

KELLY, J. F.; HOOD-DANIEL, P. **Printing in Plastic: Build your own 3D printer**. Apress, 2011.

KHORASANI, M.; GHASEMI, A.; ROLFE, B.; GIBSON, I. Additive manufacturing a powerful tool for the aerospace industry. **Rapid Prototyp.** [S. l.], J.v. 2021, 28, n. 1, p. 87–100, 2021. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-01-2021-0009/full/html>. Acesso em: 19 nov. 2022.

KOLB, D. A. **Experiential learning: Experience as the source of learning and development**. Prentice-Hall, 1984.

KORNER, M.E.H.; LAMBÁN, M.P.; ALBAJEZ, J.A.; SANTOLARIA, J.; CORRALES, L.C.N.; ROYO, J. Systematic Literature Review: Integration of Additive Manufacturing and Industry 4.0. **Metals** 2020, [S. l.], v. 10, n. 8, p. 1061, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4701/10/8/1061>. Acesso em: 18 maio. 2023.

LORENZIN, M. P. **Sistemas de Atividade, tensões e transformações em movimento na construção de um currículo orientado pela abordagem STEAM**. 2019. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

MARTINEZ, S. L.; STAGER, G. (2013). Invent to learn: Making, tinkering, and engineering in the classroom. Constructing Modern Knowledge Press. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistema**, [S. l.], ano 2017, v. 12, n. 3, p. 1-34, 24 jul. 2017.

MARTINS, J. G. **Aprendizagem baseada em problemas aplicada a ambiente virtual de aprendizagem**. - 2002. 219 f.- Tese (Dde doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. .

MEIRIEU, P. **Aprender... Sim, mas como?**. Porto Alegre: ArtMed, 1999.

MERRITT, J.; LEE, M. Y.; RILLERO P.; KINACH B. M. (2017). Problem-based learning in K–8 mathematics and science education: A literature review. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, [S. l.], v. 11, n. (2), p. 3–15, 2017. doi: <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1674>. Acesso em: 09 nov. 2023.

MESQUITA, A.; LEÃO, F.; SOUZA, L. O método da sequência didática na formação de professores de língua portuguesa: análise de uma experiência formativa. **Revista Cerrados**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 118-136, 2016.

MIAO, Y. **Design implementation of a collaborative virtual problem-based learning environment.** 2000. Disponível em: <http://elib.tudarmstadt.de/diss/000086/thesis.miao.PDF>. Acesso em: 19 nov. 2022. 10 de 4 de 2021.

MIHALY, P. H.; CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow: The Psychology of Optimal Experience.** Harper Perennial Modern Classics, 2008.

MOGAN, Y.; SA'ABAN, N.; IBRAHIM, M.; PERIYASAMY, R. (2016). Thermoplastic elastomer infill pattern impact on mechanical properties 3D printed customized orthotic insole. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 10, p. 6519–6524, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304887411_Thermoplastic_elastomer_infill_pattern_impact_on_mechanical_properties_3D_printed_customized_orthotic_insole. Acesso em: 07 maio. 2023.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982.

PAPERT, S. **Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas.** Basic Books, 1980.

PERRENOUD, P. **Construir competências desde a escola.** Artmed, 1999.

PIAGET, J. **A psicologia da criança: do nascimento à adolescência.** Universidade de Évora, 2007.

PIAGET, J. **Epistemologia Genética.** São Paulo: Martins Fontes, 2007.

PORTELA S. **Afinal o que é um arquivo STL.** 2019. Disponível em :< <https://3dlab.com.br/afinal-o-que-e-um-arquivo-stl/>>. Acessado em: 19 jan.eiro de 2022.

PRINZ, F. B.; ATWOOD, C. L. **JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan.** Volume I: Analytical Chapters; Loyola Coll.; International Technology Research Inst.: Baltimore, MD, USA, 1997

PUPO, R.; CELANI, G. Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades. In: **XIV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura**, 2008. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~lapac/papers/pupo-celani-2008.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.

QUEIROZ, A. PBL, PROBLEMAS QUE TRAZEM SOLUÇÕES. **Revista Psicologia, Diversidade e Saúde**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 26-38, 2012. Disponível em: <https://www5.bahiana.edu.br/index.php/psicologia/article/view/36>. Acesso em: 07 fev. 2023.

RACZ, L. Effects of Raster Orientation, Infill Rate and Infill Pattern on the Mechanical Properties of 3D Printed Materials Acta Universitatis Cibiniensis. **Technical Series**, [S.

l.], v. 69, n. (1, p. 23-30,) (2018. doi:), pp. 23-30 <https://doi.org/10.1515/aucts-2017-0004>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RESNICK, M. Scaffolding learning: Breaking the cycle of generative failure. In: **The Cambridge Handbook of the Learning Sciences.** Cambridge University Press, 2008. (pp. 275-293.)

RIBEIRO, L. R. de C. **A aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores.** 2005. 236 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

RIBEIRO, L. R. de C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008. doi: <https://doi.org/10.7476/9788576002970>. Acesso em: 10 jul. 2023.

RODRIGUES, V. P.; ZANCUL, E de S.; MANÇANARES, C. G.; GIORDANO, C. M.; SALERNO, M. S. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Revista Gepros**, Bauru, v. 12, n. 3, p. 1-34, 2017. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/gepros/article/view/1657/784>. Acesso em: 13 abr. 2023.

SALUM, M. J. G. Os currículos de Engenharia no Brasil: estágio atual e tendências. In: LINSINGEN, I von. (Ed.). **Formação do engenheiro: desafios da atuação docente, tendências curriculares e questões da organização tecnológica.** Florianópolis: EDUFSC, 1999.

SIGMA-ALDRICH. **1-Octanol, 98%.** 2023.. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/product/aldrich/38534>. Acesso em: 21 abr. 2023.

SILVA, J. C.; TONINI, A. M. O processo educativo baseado em problemas e a formação de competências do engenheiro. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 11, Ponta Grossa, n. 3, p. 366-385, 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/6680>. Acesso em: 19 maio. 2023.

SILVEIRA, F. P. R. A., Levantamento preliminar de habilidades prévias: subsídios para a utilização de mapas conceituais como recurso didático. In: **Revista Eletrônica Experiências em Ensino de Ciência**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 85-96, 2008. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/269>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SOLUÇÕES EM IMPRESSÃO 3D, 3D Lab. Conheça as propriedades técnicas dos materiais para impressora 3D. 3D Lab Soluções em impressão 3D. **Soluções em Impressão 35**, , 6 out. 2017. Disponível em: <https://www.3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

SOUSA, J. G. Q. **Efeito dos parâmetros de impressão 3D na resistência à tração de peças impressas com filamento ABS.** 2022. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Russas, 2022.

VALENTE, J. A. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. **Educar em Revista**, Curitiba, n. 4, p. 79-97, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/er/a/GLd4P7sVN8McLBcbdQVyZyG/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em: 25 set. 2017.

VALLIM, M. B. R.; FARINES, J.; CURY, J. E. R., Em direção à melhoria do ensino na área tecnológica: a experiência de uma disciplina de introdução à engenharia de controle e automação, In: **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Automática**, Florianópolis-SC, Brasil, 2000.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. **Récherches en Didactique des Mathématiques**, [S. l.], v. 10, n. (23), p.: 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. A abordagem ergonômica da atividade: contribuições recentes para a concepção de sistemas de trabalho. In: DANIELLOU, F.; & LAVILLE, A. (Orgs.). **Ergonomia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1990. p. 217-230.

VIGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

VOLPATO N. *et al.* **Manufatura aditiva**: Tecnologia e aplicações da impressão 3D Editora Edgard Bucher Ltda., 2017.

VYGOTSKY, L. S. **Mind in society**: The development of higher psychological processes. Harvard University Press, 1978.

WEISBERG, R. W. **Creativity**: Understanding innovation in problem solving, science, invention, and the arts. John Wiley & Sons, 2013.

WILLIAMS, J. M. Transformations in technical communication pedagogy: Engineering, writing, and the ABET engineering criteria 2000. **Technical Communication Quarterly**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 149-168, 2001. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15427625tcq1002_3. Acesso em: 13 jul. 2023.

WOHLERS, T.; CAFFREY, T.; CAMPBELL, R.; DIEGEL, O.; KOWEN, J. **Wohlers report 2019: 3D printing and additive manufacturing state of the industry**. Wohlers Associates, 2019.

YADAV, A. *et al.* Problem-based learning: Influence on students' learning in an electrical engineering course. **Journal of Engineering Education**, v. 100, n. 2, p. 253-280, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.2168-9830.2011.tb00013.x>. Acesso em: 02 jun. 2023.

YEOH, C.; CHEAH, C.; PUSHPANATHAN, R.; SONG, C.; TAN, M.; TEH, P. L. Effect of infill pattern on mechanical properties of 3D printed PLA and cPLA. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S. l.], v. 957, p. 012064, 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/957/1/012064>. Acesso em: 02 maio. 2023.

YOSHIDA, K. et al., A Primer on Rapid Prototyping of Genomic Databases in Prolog. **Academic Press Biocomputing**, [S. l.], 1994, pp. 233-247, 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080925967500113>. Acesso em: 19 jan. 2023.

ANEXO A – PRODUTO EDUCACIONAL

Impressão 3D da teoria à prática: uma sequência didática abordando a relação entre parâmetros de impressão, resistência mecânica e custos de produção a partir da Aprendizagem Baseada em Problemas

Este recurso educacional, denominado "Sequência didática para o ensino de engenharia: uma proposta para o uso pedagógico da prototipagem rápida", foi concebido com o propósito de atender às necessidades dos alunos que participam da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). O seu conteúdo compreende uma Sequência Didática (SD) criteriosamente elaborada, com a finalidade de estimular a participação ativa dos estudantes e promover um ambiente propício ao diálogo construtivo em sala de aula.

Este produto educacional almeja proporcionar um recurso pedagógico robusto por meio da referida sequência didática. Ela foi desenvolvida com base no método da Aprendizagem Baseada em Problemas, que serviu de fundamento para o seu planejamento e estruturação. A principal meta dessa sequência é capacitar os alunos a compreenderem a relevância da prototipagem e da tecnologia 3D no contexto do curso de engenharia.

- a) Título: Impressão 3D da teoria à prática: uma sequência didática abordando a relação entre parâmetros de impressão, resistência mecânica e custos de produção a partir da Aprendizagem Baseada em Problemas.
- b) Tipo de produto: sequência didática – material didático-instrucional digital
- c) Público-alvo: Professores do ensino superior em engenharia
- d) Objetivo: O objetivo desta sequência didática é proporcionar aos alunos do curso de Engenharia Mecânica uma compreensão mais aprofundada sobre a relação entre os parâmetros de impressão em 3D, a resistência mecânica e os custos de produção, utilizando a metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a ferramenta da impressora 3D. Com isso, pretende-se desenvolver habilidades e competências necessárias para a aplicação prática de conhecimentos adquiridos no curso e na futura atuação profissional.
- e) Nível de escolaridade: Ensino Superior, a partir do 8º semestre

- f) Dinâmica de aplicação: Intervenção em salas de aula por meio de uma sequência didática
- g) Replicabilidade: Ensino Superior em Engenharia.
- h) Aplicação: no decorrer de quatro encontros de aproximadamente 180 minutos cada, com a produção de um protótipo ao final do projeto.

Encontro 1 - Introdução aos conceitos básicos: será realizada uma sondagem para avaliar o conhecimento prévio dos alunos e, em seguida, haverá uma aula expositiva com uso de recursos audiovisuais. Os alunos serão introduzidos aos conceitos básicos relacionados às propriedades mecânicas dos materiais e aos processos de manufatura aditiva que serão apresentados aos alunos.

Encontro 2 - Parâmetros de impressão - Nesta etapa, os alunos irão aprender sobre os parâmetros de impressão e como eles afetam as propriedades mecânicas das peças impressas. Serão realizadas atividades práticas para que os alunos possam experimentar diferentes configurações de parâmetros e comparar as propriedades mecânicas das peças resultantes.

Encontro 3: Análise de resultados e otimização de parâmetros - Nesta etapa, os alunos irão aprender a analisar os resultados obtidos na etapa anterior e a otimizar os parâmetros de impressão para melhorar as propriedades mecânicas das peças correlacionando com os custos de produção. Serão realizadas atividades práticas para que os alunos possam experimentar diferentes configurações de parâmetros e analisar os resultados.

Encontro 4: Projeto e impressão de uma peça final - Nesta etapa, os alunos irão aplicar todos os conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores para projetar e imprimir uma peça final, levando em consideração as propriedades mecânicas desejadas e a otimização dos parâmetros de impressão. Serão realizadas atividades práticas para que os alunos possam projetar e imprimir a peça final.

- i) Avaliação: ocorrerá de maneira contínua e formativa, em todas as aulas, levando em consideração a participação nas aulas, realização das atividades propostas e interação com os colegas e professora/pesquisadora.

ENCONTRO 1- INTRODUÇÃO À PROTOTIPAGEM E IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D é uma tecnologia inovadora que vem revolucionando diversos setores da indústria, inclusive a engenharia mecânica. Por meio dela, é possível criar modelos e protótipos de produtos de maneira rápida, eficiente e precisa, utilizando materiais como plástico, metal, resina, entre outros. Essa tecnologia permite que engenheiros e projetistas criem e testem projetos antes mesmo de serem produzidos em larga escala, reduzindo custos e tempo de desenvolvimento. Além disso, a impressão 3D também possibilita a personalização de produtos, adaptando-os às necessidades específicas de cada cliente. Nesta sequência didática, os alunos terão a oportunidade de conhecer e aplicar a tecnologia de impressão 3D em projetos relacionados à engenharia mecânica. Por meio de atividades práticas e trabalho em grupo, eles irão desenvolver habilidades em modelagem 3D, análise e resolução de problemas, além de estimular a criatividade e a inovação.

USO DA IMPRESSORA 3D COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A impressão 3D é uma tecnologia que tem ganhado cada vez mais espaço na indústria e na engenharia mecânica. Também conhecida como fabricação aditiva, a impressão 3D permite a criação de objetos tridimensionais a partir de um modelo digital, adicionando camadas de material uma sobre a outra.

Na engenharia mecânica, a impressão 3D tem diversas aplicações, como na prototipagem de peças e componentes, na fabricação de ferramentas e moldes, na produção de peças sob medida e na criação de modelos para testes e simulações. Além disso, a impressão 3D permite a produção de peças complexas e com geometrias que seriam difíceis ou impossíveis de serem criadas com outros métodos de fabricação. Isso pode resultar em redução de custos e de tempo de produção, além de possibilitar maior liberdade criativa no design de produtos.

Por isso, é importante que os estudantes de engenharia mecânica tenham conhecimento sobre a impressão 3D e suas aplicações na área. Na sequência didática proposta, os professores terão a oportunidade de aprender sobre a tecnologia de impressão 3D e aplicá-la na resolução de problemas relacionados à engenharia mecânica, desenvolvendo suas habilidades e competências nessa área.

Existem vários tipos de impressão 3D, cada um com sua própria técnica e material de impressão. Cada tipo de impressão 3D tem suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo do tipo de objeto que está sendo criado e do material utilizado. Alguns dos principais tipos incluem:

- a) FDM (Fused Deposition Modeling): um dos tipos mais populares e acessíveis de impressão 3D, usa um filamento de plástico derretido depositado em camadas para criar o objeto desejado.
- b) SLA (Stereolithography): Usa uma resina líquida solidificada por um laser ultravioleta para criar o objeto desejado.
- c) SLS (Selective Laser Sintering): usa um laser para fundir um pó de plástico ou metal em camadas para criar o objeto desejado.
- d) DLP (Digital Light Processing): similar ao SLA, usa uma resina líquida solidificada por um projetor de luz para criar o objeto desejado.
- e) Binder Jetting: Usa um material em pó unido por uma cola ou agente de ligação para criar o objeto desejado.

Os softwares de modelagem 3D são usados para criar modelos digitais que podem ser impressos em 3D. A impressão 3D é a realização física do modelo digital em 3D criado por um software de modelagem 3D. É uma ferramenta usada para criar modelos digitais de objetos tridimensionais. Ele é utilizado em diversos setores, como a engenharia, arquitetura, design, jogos, cinema e animação.

Existem diversos tipos de software de modelagem 3D, cada um com suas próprias características e funcionalidades. Alguns exemplos são:

- a) Blender: é um software de modelagem 3D de código aberto e gratuito, muito utilizado na produção de filmes e jogos.
- b) Autodesk 3DS Max: é um software de modelagem 3D amplamente utilizado na indústria de jogos e animação.
- c) SketchUp: é um software de modelagem 3D fácil de usar e com uma ampla variedade de recursos, muito utilizado na arquitetura e engenharia civil.
- d) SolidWorks: é um software de modelagem 3D muito utilizado na engenharia mecânica e design de produtos.
- e) Tinkercad: é um software de modelagem 3D gratuito e fácil de usar, indicado para iniciantes e estudantes.

Cada software tem suas próprias peculiaridades e é importante escolher aquele que melhor atende às necessidades do projeto em questão. Além disso, é fundamental que os usuários tenham um bom conhecimento técnico e prático do software escolhido, para poderem criar modelos 3D de qualidade e com eficiência.

Existem diversos materiais que podem ser utilizados na impressão 3D, e a escolha do material depende da finalidade do objeto a ser impresso. Alguns dos materiais mais comuns são:

- a) PLA (ácido polilático): é um plástico biodegradável derivado de recursos renováveis, como amido de milho, tapioca ou cana-de-açúcar. É fácil de imprimir e é utilizado em projetos de prototipagem e objetos de decoração.
- b) ABS (acrilonitrila butadieno estireno): é um material resistente e durável, muito utilizado na fabricação de brinquedos, peças automotivas e eletrônicas. É mais difícil de imprimir do que o PLA e emite um cheiro forte durante a impressão.
- c) PETG (tereftalato de polietileno glicol): é um material resistente e transparente, utilizado em peças que precisam ser rígidas e duráveis, como peças de máquinas e objetos que serão submetidos a altas temperaturas.
- d) Nylon: é um material forte e flexível, utilizado em peças que precisam suportar impacto e tensão, como peças mecânicas e objetos de uso diário.
- e) Policarbonato: é um material transparente e resistente a altas temperaturas, utilizado em peças que precisam ser rígidas e transparentes, como lentes de câmeras e janelas de aviões.

Esses são apenas alguns exemplos de materiais utilizados na impressão 3D, e cada vez mais novos materiais estão sendo desenvolvidos para atender às demandas de diferentes aplicações. O processo de impressão 3D geralmente envolve as seguintes etapas:

- a) Criação do modelo 3D: etapa de criação de um modelo tridimensional em um software de modelagem 3D, que pode ser desenvolvido a partir de um arquivo CAD, scan 3D ou outro tipo de arquivo. É importante que o modelo seja criado levando em consideração as limitações da impressora 3D, como a resolução e a capacidade de suporte de determinados formatos e estruturas.
- b) Preparação do modelo para impressão: após a criação do modelo, ele deve ser preparado para a impressão 3D, o que envolve a análise e correção de erros, como sobreposições, gaps ou intersecções no modelo. Além disso, deve ser

gerado um arquivo STL, que é o formato de arquivo necessário para a impressão 3D.

- c) Configuração da impressora 3D: nesta etapa, a impressora 3D deve ser configurada para imprimir o modelo 3D, o que inclui a seleção do material a ser utilizado, a temperatura ideal de impressão, a velocidade de impressão e outras configurações relacionadas.
- d) Impressão do modelo 3D: com a impressora 3D configurada, o modelo 3D é impresso camada por camada, com o material fundido ou depositado conforme o modelo 3D.
- e) Pós-processamento: após a impressão 3D, o modelo pode precisar de pós-processamento, como a remoção de suportes de impressão, a limpeza de resíduos ou a aplicação de acabamento.

Essas são as etapas básicas do processo de impressão 3D, embora possa haver variações dependendo da impressora 3D e do modelo a ser impresso, que são etapas essenciais no processo de impressão 3D. Após a impressão do modelo em 3D, é importante verificar se ele atende às especificações definidas na etapa de definição do projeto.

ROTEIRO

Local: Laboratório Maker

Descrição: introdução aos conceitos de prototipagem e manufatura aditiva. Apresentação dos objetivos da sequência didática e sondagem do conhecimento prévio dos alunos por um questionário com questões objetivas.

Duração: 1 aula (180 minutos).

● **Objetivos:**

- Introduzir o tema de prototipagem e impressão 3D;
- Apresentar os diferentes tipos de impressoras 3D;
- Demonstrar o funcionamento básico de uma impressora 3D;
- Introduzir os parâmetros de impressão básicos;
- Apresentação do projeto que será realizado na etapa 4.

Atividades:

- Apresentação do tema e dos objetivos do encontro (10 minutos)
- Discussão em grupo: o que é prototipagem e qual sua importância na engenharia mecânica? (20 minutos)
- Apresentação dos diferentes tipos de impressoras 3D e suas características (30 minutos)
- Demonstração do funcionamento básico de uma impressora 3D (40 minutos)
- Atividade prática: configuração de parâmetros básicos de impressão em um software de slicing (60 minutos)
- Discussão em grupo: qual a relação entre os parâmetros de impressão e as propriedades mecânicas e custos das peças produzidas? (20 minutos).

Materiais utilizados:

- Projetor e tela para apresentação
- Impressora 3D
- Computador com software de slicing instalado
- Filamento de impressão 3D
- Peças de exemplo impressas em 3D
- Materiais de escrita e papel para anotações

ENCONTRO 1 - SONDAGEM DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Qual é a definição de manufatura aditiva?

- a) Um processo de produção em que o material é removido de uma peça para criar uma forma desejada.
- b) Um processo de produção em que um objeto é criado adicionando material camada por camada.
- c) Um processo de produção em que o material é fundido e moldado para criar uma forma desejada.
- d) Um processo de produção em que o material é extrudado e moldado para criar uma forma desejada.

2. O que são propriedades mecânicas de um material?

- a) As propriedades ópticas do material.
- b) As propriedades elétricas do material.
- c) As propriedades físicas do material.
- d) As propriedades que descrevem como um material responde a forças e cargas.

3. Qual é a função do preenchimento em um objeto impresso em 3D?

- a) Adicionar cor ao objeto.
- b) Tornar o objeto mais resistente.
- c) Ajudar a reduzir o tempo de impressão.
- d) Dar ao objeto uma textura mais suave.

4. Qual é a principal diferença entre prototipagem e produção em massa?

- a) Prototipagem é mais rápida do que produção em massa.
- b) Prototipagem é mais barata do que produção em massa.
- c) Prototipagem é usada para criar um modelo inicial, enquanto produção em massa é usada para criar muitas cópias do mesmo objeto.
- d) Não há diferença entre prototipagem e produção em massa.

5. Qual é a vantagem da manufatura aditiva em comparação com a manufatura subtrativa?

- a) Manufatura aditiva permite maior precisão.
- b) Manufatura aditiva é mais rápida.
- c) Manufatura aditiva cria menos resíduos de material.
- d) Manufatura aditiva é mais barata.

QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS A POSTERIORI

1. O que é prototipagem?

- a) Um processo de produção em larga escala.
- b) A criação de objetos tridimensionais por camadas sucessivas.
- c) Uma técnica de pintura em tela.
- d) A modelagem de objetos em papel.

2. Qual é a principal tecnologia utilizada na impressão 3D?

- a) Corte a laser.
- b) Usinagem CNC.
- c) Injeção de plástico.
- d) Criação por camadas sucessivas.

3. Quais são as principais aplicações da manufatura aditiva?

- a) Artesanato e decoração.
- b) Indústria automotiva e aeroespacial.
- c) Agricultura e pecuária.
- d) Setor de alimentos e bebidas.

4. Quais são os benefícios da utilização da impressão 3D na indústria?

- a) Redução de custos e aumento da produtividade.
- b) Aumento da poluição e do desperdício de materiais.
- c) Diminuição da qualidade dos produtos.
- d) Limitação na personalização e customização dos produtos.

5. Qual é a importância dos parâmetros de impressão na qualidade e precisão dos objetos impressos?

- a) Não há influência dos parâmetros de impressão na qualidade do objeto.
- b) Os parâmetros de impressão afetam apenas a velocidade de impressão.
- c) Os parâmetros de impressão podem impactar a resistência e a precisão dimensional do objeto.
- d) Os parâmetros de impressão são irrelevantes para a qualidade do objeto impresso.

ENCONTRO 2 - PARÂMETROS DE IMPRESSÃO E ANÁLISE DE CUSTOS

ROTEIRO

Local: Laboratório Maker

Descrição: Nesta etapa da sequência didática, os alunos serão introduzidos ao tema de custos na manufatura aditiva. Eles irão aprender sobre como os parâmetros de impressão podem influenciar diretamente nos custos de produção e como é importante escolher os parâmetros corretos para reduzir esses custos. Serão apresentados alguns exemplos práticos para ilustrar essa relação entre parâmetros e custos. Além disso, os alunos terão a oportunidade de realizar uma atividade prática em que irão comparar diferentes parâmetros de impressão e avaliar os custos associados a cada um deles. A avaliação será realizada por meio de um questionário com questões objetivas de múltipla escolha sobre o tema abordado na etapa.

Duração: 1 aula (180 minutos).

Objetivos:

- Entender como os parâmetros de impressão afetam o custo de produção;
- Aprender a calcular o custo de produção de uma peça impressa em 3D;
- Identificar oportunidades para otimizar os custos de produção;

ETAPAS

I. Apresentação teórica (30 minutos):

- Conceito de custos de produção;
- Como os parâmetros de impressão afetam os custos de produção;
- Métodos para calcular o custo de produção de uma peça impressa em 3D.

II. Análise de casos práticos (60 minutos):

- Divisão da turma em três duplas;
- Cada grupo receberá um conjunto de parâmetros de impressão e deverá calcular o custo de produção de uma peça específica;

- Os grupos apresentarão seus resultados e discutirão as diferenças entre os custos calculados.

III. Discussão em grupo (30 minutos):

- Discussão sobre as principais diferenças entre os custos calculados pelos diferentes grupos;
- Identificação das principais razões para as diferenças observadas.

IV. Apresentação de oportunidades de otimização de custos (30 minutos):

- Apresentação de técnicas para reduzir os custos de produção, tais como a escolha adequada dos parâmetros de impressão e a utilização de materiais mais baratos;
- Discussão em grupo sobre as técnicas apresentadas e identificação das principais oportunidades para otimização de custos.

V. Atividade prática (30 minutos):

- Cada grupo escolhe uma peça para imprimir;
- Os grupos deverão escolher os parâmetros de impressão e materiais que minimizem o custo de produção;
- Os resultados serão apresentados ao final da atividade.

Materiais utilizados

- Computador e projetor para a apresentação teórica;
- Casos práticos com diferentes parâmetros de impressão e peças a serem produzidas;
- Materiais de impressão 3D (filamentos, resinas etc.).

Avaliação:

- Participação ativa dos alunos nas atividades em grupo;
- Correção dos cálculos de custo de produção;
- Avaliação dos resultados da atividade prática.

SONDAGEM DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS- ENCONTRO 2

1. Qual é a definição de manufatura aditiva?

- a) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da remoção de material.
- b) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da adição de material.
- c) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da fundição.
- d) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da extrusão.

2. Qual é a importância dos parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Não influenciam na qualidade da peça produzida.
- b) Aumentam o custo de produção.
- c) Podem influenciar na qualidade, resistência e acabamento da peça produzida.
- d) São responsáveis pela escolha do tipo de material utilizado.

3. Quais são as propriedades mecânicas que podem ser avaliadas em uma peça produzida por manufatura aditiva?

- a) Apenas a resistência à tração.
- b) Apenas a resistência à compressão.
- c) Apenas a resistência à flexão.
- d) Diversas propriedades mecânicas como a resistência à tração, compressão, flexão, entre outras.

4. Quais são os principais fatores que afetam o custo de produção em impressão 3D?

- a) Tipo de impressora e software utilizado.
- b) Materiais e parâmetros de impressão.
- c) Localização geográfica e tamanho da peça a ser produzida.
- d) Todas as alternativas estão corretas.

5. Qual é a fórmula utilizada para calcular o custo de produção de uma peça impressa em 3D?

- a) $\text{Custo} = \text{Peso do material} \times \text{Preço do material}$.
- b) $\text{Custo} = \text{Peso do material} / \text{velocidade de impressão}$.
- c) $\text{Custo} = \text{Área da peça} \times \text{Preço do material}$.
- d) $\text{Custo} = \text{Área da peça}$.

Questionário a posteriori

1. Qual é o objetivo de analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Aumentar a velocidade de impressão.
- b) Reduzir os custos de produção.
- c) Melhorar a qualidade dos objetos impressos.
- d) Aumentar a durabilidade dos materiais.

2. Qual parâmetro de impressão influencia diretamente nos custos de produção?

- a) Velocidade de impressão.
- b) Tipo de preenchimento.
- c) Resolução de impressão.
- d) Cor do filamento utilizado.

3. Qual é o objetivo de escolher os parâmetros corretos de impressão?

- a) Aumentar a complexidade do objeto impresso.
- b) Melhorar a aparência estética do objeto impresso.
- c) Reduzir os defeitos de impressão.
- d) Reduzir o tempo de impressão.

4. Quais são os principais benefícios da análise de custos na manufatura aditiva?

- a) Melhoria na resistência dos objetos impressos.
- b) Aumento da velocidade de impressão.
- c) Redução dos custos de produção.
- d) Aumento da durabilidade dos materiais.

5. Por que é importante analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Para obter objetos impressos com maior complexidade.
- b) Para melhorar a estética dos objetos impressos.

- c) Para garantir a qualidade e a precisão dimensional dos objetos impressos.
- d) Para reduzir o tempo de impressão.

ENCONTRO 3 - FABRICAÇÃO E ANÁLISE DE PROTÓTIPOS UTILIZANDO A IMPRESSORA 3D

Local: Sala de aula

Descrição: Estudo das propriedades mecânicas dos materiais utilizados em manufatura aditiva e análise de casos de aplicação na indústria. Atividades práticas para análise de resistência e deformação. Avaliação da compreensão dos alunos por uma atividade em grupo.

Duração: 02 aulas (aproximadamente 180 minutos cada)

Objetivos:

- Identificar e compreender os diferentes tipos de filamentos utilizados na impressora 3D;
- Analisar e aplicar os parâmetros de impressão para obtenção de um protótipo de qualidade;
- Compreender a importância da análise das propriedades mecânicas dos protótipos;
- Aplicar os conhecimentos adquiridos na construção de um protótipo.

Etapas:

- Apresentação dos tipos de filamentos e suas características;
- Demonstração da aplicação dos parâmetros de impressão na construção de um protótipo simples;
- Construção do protótipo pelos alunos utilizando os conhecimentos adquiridos;
- Análise visual das propriedades mecânicas do protótipo;
- Discussão em grupo sobre a importância da análise das propriedades mecânicas na produção de protótipos.

Materiais utilizados:

- Impressora 3D;
- Filamentos ABS e PLA;
- Software de modelagem 3D;
- Máquina de ensaios mecânicos.

Avaliação:

- Observação do desempenho dos alunos durante a construção do protótipo;
- Análise das propriedades mecânicas do protótipo construído pelos alunos;
- Participação e contribuição nas discussões em grupo.

ENCONTRO 3 - SONDAGEM DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Qual a importância da análise das propriedades mecânicas dos protótipos?

- a) Não é importante;
- b) É importante apenas para fins estéticos;
- c) É importante para garantir a funcionalidade e qualidade do protótipo;
- d) É importante apenas para fins de marketing.

2. Quais são os principais tipos de filamentos utilizados na impressora 3D?

- a) Metal e madeira;
- b) ABS e PLA;
- c) Vidro e cerâmica;
- d) Alumínio e titânio.

Resposta: b)

3. O que são parâmetros de impressão na impressora 3D?

- a) São os materiais utilizados na impressão;
- b) São as configurações do software de modelagem;
- c) São as propriedades mecânicas do protótipo;
- d) NDA.

Questionário a posteriori

1. Qual é o objetivo de analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Aumentar a velocidade de impressão.
- b) Reduzir os custos de produção.
- c) Melhorar a qualidade dos objetos impressos.
- d) Aumentar a durabilidade dos materiais.

2. Qual parâmetro de impressão influencia diretamente nos custos de produção?

- a) Velocidade de impressão.
- b) Tipo de preenchimento.
- c) Resolução de impressão.
- d) Cor do filamento utilizado.

3. Qual é o objetivo de escolher os parâmetros corretos de impressão?

- a) Aumentar a complexidade do objeto impresso.
- b) Melhorar a aparência estética do objeto impresso.
- c) Reduzir os defeitos de impressão.
- d) Reduzir o tempo de impressão.

4. Quais são os principais benefícios da análise de custos na manufatura aditiva?

- a) Melhoria na resistência dos objetos impressos.
- b) Aumento da velocidade de impressão.
- c) Redução dos custos de produção.
- d) Aumento da durabilidade dos materiais.

5. Por que é importante analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Para obter objetos impressos com maior complexidade.
- b) Para melhorar a estética dos objetos impressos.
- c) Para garantir a qualidade e a precisão dimensional dos objetos impressos.

d) Para reduzir o tempo de impressão.

ENCONTRO 4 - Impressão 3D do protótipo

Local: Sala de aula

Descrição: Discussão sobre as aplicações da manufatura aditiva em diversos setores da indústria. Trabalho em equipe para elaboração de um projeto utilizando a técnica de prototipagem e apresentação dos resultados para a turma.

Duração: 2 aulas (aproximadamente 180 minutos cada)

Objetivo:

- Aplicar os conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores, na prática, por meio da impressão 3D de um protótipo;
- Desenvolver habilidades de trabalho em equipe e organização.

Etapas:

- Organização da turma em equipes para a impressão dos protótipos;
- Preparação do software de impressão e configuração da impressora 3D para a impressão do protótipo;
- Impressão dos protótipos;
- Análise dos resultados da impressão e ajustes necessários.

Materiais utilizados:

- Protótipo desenvolvido pelos alunos nas etapas anteriores;
- Software de impressão 3D;
- Impressora 3D.

Avaliação:

- Análise da qualidade do protótipo impresso;
- Verificação do cumprimento dos objetivos da etapa 4.



QUESTIONÁRIO

1. Qual foi a sua experiência ao ver o seu protótipo impresso em 3D?

- a) Fiquei muito satisfeito e orgulhoso com o resultado.
- b) Fiquei satisfeito, mas esperava um resultado melhor.
- c) Fiquei indiferente, não vi diferença entre o protótipo impresso e a versão digital.
- d) Fiquei desapontado com o resultado.

2. Como você descreveria a qualidade do seu protótipo impresso em 3D?

- a) Excelente qualidade, todas as características foram reproduzidas com precisão.
- b) Boa qualidade, a maioria das características foi reproduzida corretamente.
- c) Qualidade razoável, algumas características não foram bem reproduzidas.
- d) Baixa qualidade, o protótipo apresentou muitas imperfeições e falhas.

3. Você enfrentou algum desafio durante o processo de impressão 3D? Se sim, descreva-o brevemente.

4. Como você avaliaria a facilidade de operação da impressora 3D?

- a) Muito fácil, não tive dificuldades em operá-la.
- b) Fácil, mas tive algumas dúvidas ou dificuldades menores.
- c) Um pouco difícil, precisei de ajuda para operar a impressora.
- d) Muito difícil, tive dificuldades significativas em operá-la.

5. Qual foi o feedback recebido dos seus colegas de turma em relação ao seu protótipo impresso em 3D?

6. Você considera que a sequência didática contribuiu para o seu aprendizado sobre impressão 3D e prototipagem? Justifique sua resposta.

7. Quais aspectos você considera mais importantes para melhorar em futuras atividades envolvendo impressão 3D?

- 8. Você tem interesse em explorar outras aplicações da impressão 3D no futuro? Se sim, quais áreas ou projetos você gostaria de explorar?**

ANEXO B – QUESTIONÁRIO PARA OS ALUNOS SOBRE ABP

Prezado aluno, este questionário visa avaliar a sua percepção em relação à metodologia ABP – Aprendizagem Baseada em Problemas – utilizada nesta disciplina. Suas respostas são importantes para podermos aprimorar a metodologia e garantir uma melhor qualidade de ensino. Por favor, responda com sinceridade.

- 1. Você entendeu bem como funciona a metodologia ABP?**

- a) Sim.
- b) Não.

- 2. Você sentiu dificuldade em trabalhar em grupo durante as atividades propostas?**

- a) Sim.
- b) Não.

- 3. Você se sentiu mais motivado para estudar com a utilização da metodologia ABP?**

- a) Sim.
- b) Não.

- 4. Você considera que a metodologia ABP ajudou a fixar melhor os conteúdos abordados?**

- a) Sim.
- b) Não.

- 5. Você sentiu que a metodologia ABP ajudou a desenvolver habilidades de pesquisa e resolução de problemas?**

- a) Sim.
- b) Não.

ANEXO C- EXEMPLOS DE QUESTIONÁRIOS RESPONDIDOS

Encontro 3- Posteriori
Nome: JONATHAN
RA: 121924205

Questionário a posteriori

1. Qual é o objetivo de analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Aumentar a velocidade de impressão.
- b) Reduzir os custos de produção.
- c) Melhorar a qualidade dos objetos impressos.
- d) Aumentar a durabilidade dos materiais.

2. Qual parâmetro de impressão influencia diretamente nos custos de produção?

- a) Velocidade de impressão.
- b) Tipo de preenchimento.
- c) Resolução de impressão.
- d) Cor do filamento utilizado.

3. Qual é o objetivo de escolher os parâmetros corretos de impressão?

- a) Aumentar a complexidade do objeto impresso.
- b) Melhorar a aparência estética do objeto impresso.
- c) Reduzir os defeitos de impressão.
- d) Reduzir o tempo de impressão.

4. Quais são os principais benefícios da análise de custos na manufatura aditiva?

- a) Melhoria na resistência dos objetos impressos.
- b) Aumento da velocidade de impressão.
- c) Redução dos custos de produção.
- d) Aumento da durabilidade dos materiais.

5. Por que é importante analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Para obter objetos impressos com maior complexidade.
- b) Para melhorar a estética dos objetos impressos.
- c) Para garantir a qualidade e a precisão dimensional dos objetos impressos.
- d) Para reduzir o tempo de impressão.

Encontro 2- Priori

Nome: Thiago Vargas de

RA: 122114423

SONDAGEM DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS- ENCONTRO 2

1. Qual é a definição de manufatura aditiva?

- a) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da remoção de material.
b) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da adição de material.
c) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da fundição.
d) Uma técnica de manufatura em que as peças são produzidas através da extrusão.

2. Qual é a importância dos parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Não influenciam na qualidade da peça produzida.
b) Aumentam o custo de produção.
c) Podem influenciar na qualidade, resistência e acabamento da peça produzida.
d) São responsáveis pela escolha do tipo de material utilizado.

3. Quais são as propriedades mecânicas que podem ser avaliadas em uma peça produzida por manufatura aditiva?

- a) Apenas a resistência à tração.
b) Apenas a resistência à compressão.
c) Apenas a resistência à flexão.
d) Diversas propriedades mecânicas como a resistência à tração, compressão, flexão, entre outras.

4. Quais são os principais fatores que afetam o custo de produção em impressão 3D?

- a) Tipo de impressora e software utilizado
b) Materiais e parâmetros de impressão
c) Localização geográfica e tamanho da peça a ser produzida
d) Todas as alternativas estão corretas

5. Qual é a fórmula utilizada para calcular o custo de produção de uma peça impressa em 3D?

- a) Custo = Peso do material x Preço do material
b) Custo = Peso do material / Velocidade de impressão

Encontro 2- Posteriori

Nome: Thiago Vargas de

RA: 122114423

Questionário a posteriori

1. Qual é o objetivo de analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Aumentar a velocidade de impressão.
b) Reduzir os custos de produção.
c) Melhorar a qualidade dos objetos impressos.
d) Aumentar a durabilidade dos materiais.

2. Qual parâmetro de impressão influencia diretamente nos custos de produção?

- a) Velocidade de impressão.
b) Tipo de preenchimento.
c) Resolução de impressão.
d) Cor do filamento utilizado.

3. Qual é o objetivo de escolher os parâmetros corretos de impressão?

- a) Aumentar a complexidade do objeto impresso.
b) Melhorar a aparência estética do objeto impresso.
c) Reduzir os defeitos de impressão.
d) Reduzir o tempo de impressão.

4. Quais são os principais benefícios da análise de custos na manufatura aditiva?

- a) Melhoria na resistência dos objetos impressos.
b) Aumento da velocidade de impressão.
c) Redução dos custos de produção.
d) Aumento da durabilidade dos materiais.

5. Por que é importante analisar os parâmetros de impressão na manufatura aditiva?

- a) Para obter objetos impressos com maior complexidade.
b) Para melhorar a estética dos objetos impressos.
c) Para garantir a qualidade e a precisão dimensional dos objetos impressos.
d) Para reduzir o tempo de impressão.

Encontro 3- Piori

Nome: Matheus da Silva

RA: 11.06.01940

100%

SONDAGEM DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS- ENCONTRO 3

1. Qual a importância da análise das propriedades mecânicas dos protótipos?

- a) Não é importante;
- b) É importante apenas para fins estéticos;
- c) É importante para garantir a funcionalidade e qualidade do protótipo;
- d) É importante apenas para fins de marketing.

2. Quais são os principais tipos de filamentos utilizados na impressora 3D?

- a) Metal e madeira;
- b) ABS e PLA;
- c) Vidro e cerâmica;
- d) Alumínio e titânio.

3. O que são parâmetros de impressão na impressora 3D?

- a) São os materiais utilizados na impressão;
- b) São as configurações do software de modelagem;
- c) São as propriedades mecânicas do protótipo.
- d) NDA