

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

*CAMPUS SOROCABA*

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

Eduardo Henrique de Camargo Reis

**Funcionamento de uma impressora 3D e sua  
utilidade para a construção de modelos para o  
ensino de Física**

Sorocaba

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
*CAMPUS* SOROCABA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

Eduardo Henrique de Camargo Reis

## **Funcionamento de uma impressora 3D e sua utilidade para a construção de modelos para o ensino de Física**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Sorocaba, para obtenção do título de Licenciado em Física. Sorocaba, 15 de outubro de 2024.

Orientador: Prof. Dr. James Alves de Souza

Sorocaba

2024

Reis, Eduardo Henrique de Camargo

Funcionamento de uma impressora 3D e sua utilidade para a construção de modelos para o ensino de Física / Eduardo Henrique de Camargo Reis -- 2024.  
68f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): James Alves de Souza

Banca Examinadora: Tersio Guilherme de Souza Cruz,  
Rafael Henriques Longaresi

Bibliografia

1. Impressão 3D. 2. Modelagem. 3. Ensino de Física. I.  
Reis, Eduardo Henrique de Camargo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA - SOROCABA - CCFL-So/CCTS

Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264, s/n - Bairro Itinga, Sorocaba/SP, CEP 18052-780

Telefone: (15) 32298859 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 5/2024/CCFL-So/CCTS

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDUARDO HENRIQUE DE CAMARGO REIS

FUNCIONAMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D E SUA UTILIDADE PARA A CONSTRUÇÃO DE  
MODELOS PARA O ENSINO DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorocaba

Sorocaba, 15 de outubro de 2024

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Prof. Dr. James Alves de Souza
Membro da Banca 1	Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz
Membro da Banca 2	Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi



Documento assinado eletronicamente por **James Alves de Souza, Docente**, em 06/11/2024, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Henriques Longaresi, Docente**, em 08/11/2024, às 13:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tersio Guilherme de Souza Cruz, Servidor(a) Público(a) Federal**, em 16/12/2024, às 13:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **1610794** e o código CRC **CD9AA493**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.031432/2024-86

SEI nº 1610794

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA - SOROCABA - CCFL-So/CCTS**  
Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264, s/n - Bairro Itinga, Sorocaba/SP, CEP 18052-780  
Telefone: (15) 32298859 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-ADP nº 5/2024/CCFL-So/CCTS

**Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso**  
**Ata da Defesa Pública (GDP-TCC-ADP)**

Aos quinze dias do mês de outubro de 2024, às 14h, na sala CCTS 1008 do Campus de Sorocaba da UFSCar, realizou-se a Defesa Pública do Trabalho de Conclusão de Curso do estudante Eduardo Henrique de Camargo Reis do Curso de Licenciatura em Física - Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorocaba, devidamente matriculado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, perante a Banca Examinadora, composta pelos Professores: Prof. Dr. James Alves de Souza, Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz e Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi, segundo o estabelecido nas Normas para apresentação de Trabalho de Conclusão do Curso.

Após a apresentação e arguições, a Banca deliberou, segundo os critérios estabelecidos nas normas supracitadas:

Nome do Docente	Função	Nota
Prof. Dr. James Alves de Souza	Orientador	10
Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz	Membro da Banca 1	10
Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi	Membro da Banca 2	10

Com isso, o Trabalho foi considerado **APROVADO**, com nota final **10 (DEZ)**.

Sorocaba, 15 de outubro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **James Alves de Souza, Docente**, em 06/11/2024, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Henriques Longaresi, Docente**, em 08/11/2024, às 13:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tersio Guilherme de Souza Cruz, Servidor(a) Público(a) Federal**, em 16/12/2024, às 13:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **1610787** e o código CRC **955B3AF8**.

**Referência:** Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.031432/2024-86

SEI nº 1610787

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Ata, versão de 02/Agosto/2019

# Agradecimentos

Em primeiro quero agradecer a Deus pelas oportunidades que me proporcionou, pelas pessoas que colocou em minha jornada.

Gostaria de agradecer minha família, que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos dessa caminhada. Sem o apoio incondicional e o carinho de vocês, esta conquista não seria possível.

Quero expressar minha enorme gratidão a UFSCar, *campus* Sorocaba, por ser um vetor de transformação em minha vida, abrindo meus horizontes, alterando minha visão de mundo, além das inúmeras oportunidades de vivências em diferentes esferas.

Não poderia deixar de agradecer a todos os docentes que fizeram parte da minha jornada formativa. Cada docente que passou deixou uma marca que me motivou a continuar, a me tornar também um discente com capacidade de refletir e expor aos meus discentes o que eu pude aprender e viver nessa universidade. Em especial aos docentes do Departamento de Física, Química e Matemática (DFQM), pois suas ações diretas impactaram minha formação acadêmica. Hoje, sendo um docente vejo em mim muito do que vivi nas salas de aula, percebendo o grande impacto que todos os docentes tiveram em mim e como hoje em minhas ações reflito os grandes exemplos que tive.

Em especial quero agradecer o meu orientador Prof. Dr. James Alves de Souza. Desde nossa primeira conversa ele aceitou o desafio do presente trabalho. Sua orientação foi imprescindível para que eu conseguisse estar vivendo esse momento de finalização de ciclo. Em especial quero destacar suas aulas que transformaram conhecimentos que nunca me foram aprazíveis em conhecimentos que hoje são meus assuntos favoritos.

A conclusão deste trabalho representa não apenas uma conquista pessoal, mas também o resultado do apoio incondicional e das contribuições daqueles que estiveram ao meu lado. Minha mais sincera gratidão a todos e todas que, de alguma maneira, tornaram isso possível. Obrigado por acreditarem em mim.

*“Estou do lado de Aslam, mesmo que não haja Aslam. Quero viver como um narniano,  
mesmo que Nárnia não exista.”*

Clive Staples Lewis

# Resumo

O surgimento da tecnologia de impressão 3D tem impulsionado inúmeras aplicações em diversas áreas do conhecimento e vem introduzindo oportunidades para novas práticas de ensino em uma variedade de disciplinas e ambientes educacionais. Dentre os benefícios oferecidos por esta tecnologia no ambiente escolar tem-se o maior envolvimento dos estudantes nas atividades propostas, a capacidade de visualizar e entender melhor conceitos teóricos e a integração de habilidades práticas e teóricas. No ensino de Física, ou outras áreas das ciências da natureza, a possibilidade de construção de modelos específicos ou a melhoria da funcionalidade de modelos pré-existentes, faz com que a impressão 3D seja uma grande aliada do professor, uma vez que os modelos podem desempenhar um papel epistemológico e pedagógico significativo no ensino de ciências. Apesar das potencialidades do uso desta tecnologia para a criação de materiais didáticos e oportunidades de aprendizagem, pouco tem sido discutido na literatura sobre a necessidade de adquirir competências e habilidades para efetivar a integração da mesma no processo de ensino-aprendizagem. Nosso objetivo com este trabalho é fornecer um material que possa auxiliar professores e alunos a utilizar uma impressora 3D para iniciar os seus trabalhos de modelagem e impressão utilizando como exemplo o modelo Creality Ender-3. Além dos detalhes técnicos relacionados ao uso da impressora, softwares de modelagem 3D, escolha de materiais de impressão e avaliação de processos, nós também mostramos as vantagens de se utilizar os modelos impressos, com exemplos, para o ensino de tópicos de Física e proposição de atividades para auxiliar o professor a transformar suas aulas de ciência em um ambiente motivador e de aprendizagem efetiva.

**Palavras-chave:** Impressão 3D, modelagem, Creality Ender-3, ensino de Física, aprendizagem científica.

# Abstract

The emerging 3D printing technology has driven numerous practical applications in many sectors and has introduced opportunities for new teaching practices in a variety of disciplines and educational environments. The benefits offered by this technology in the school environment include greater student involvement in the proposed activities, the ability to visualize and better understand theoretical concepts and the integration of practical and theoretical skills. In Physics education, or other areas of natural sciences, the possibility of manufacturing specific models or improving the functionality of pre-existing models, makes 3D printing a great ally for teachers, since models can play a significant epistemological and pedagogical role in science education. Despite the potential of using this technology to create teaching materials and learning opportunities, little has been discussed about the need to acquire specific skills and competences to effectively integrate 3D printing in education. Our goal with this work is to provide a resource for educators and students interested in incorporating 3D-printing into their science classrooms. For this purpose we show how to perform the initial setup and first printing using the Creality Ender-3 model 3D printer. In addition to the technical details related to the use of the 3D printer, 3D modeling software, the evaluation of processes and printing materials, we also show the advantages of using printed models, with examples, for teaching Physics subjects and propose other activities to help teachers transform their science classes into a motivating and effective learning environment.

**Keywords:** 3D printing, modeling, Creality Ender-3, Physics education, scientific learning.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Foto de uma impressora 3D, modelo Creality Ender-3. . . . .	23
Figura 2 – Vista frontal e posterior de uma impressora Creality Ender-3 mostrando suas partes: 1) Kit eixo-XE. 2) Sensor de limite do eixo-X. 3) Plataforma de impressão. 4) Eixo-Y. 5) Caixa de ferramentas. 6) Cabeça de impressão. 7) Suporte do material de construção e porta-carretel. 8) Bloco passivo do eixo-Z. 9) Tensionador de correia do eixo-X. 10) Painel de controle. 11) Controlador. 12) Base da impressora. 13) Fonte de energia. 14) Regulador de tensão. 15) Sensor de limite do eixo-Y. 16) Motor do eixo-Y. 17) Gatilho da extrusora. 18) Motor do eixo-E. 19) Motor do eixo-X. 20) Acoplamento. 21) Sensor de limite do eixo-Z. 22) Motor do eixo-Z e 23) interruptor e soquete para alimentação de energia.	25
Figura 3 – Exemplo de formação de teias em uma peça após a impressão, devido à não configuração adequada da retração. . . . .	27
Figura 4 – Fotos mostrando a extrusora de dupla engrenagem instalada na impressora CE-3 para melhorar a eficiência da mesma durante a impressão. . .	32
Figura 5 – Foto de um dos parafusos utilizados para realizar o nivelamento manual da mesa de impressão da impressora 3D CE-3. . . . .	33
Figura 6 – Foto mostrando parte do procedimento realizado para nivelar a mesa de impressão da impressora 3D CE-3. Cada canto da mesa estará nivelado quando for possível passar uma folha de papel com um pouco de resistência por baixo do bico injetor. No procedimento apresentado utilizamos uma folha sulfite A4. . . . .	34
Figura 7 – Captura de tela mostrando o plano de trabalho do <i>Tinkercad</i> , com as formas geométricas disponíveis para a criação ou formatação de modelos 3D à direita. As formas sólidas são coloridas e as formas descontínuas para a realização de orifícios são hachuradas. . . . .	37
Figura 8 – Plano de trabalho do <i>Tinkercad</i> com um cilindro no centro destacando as suas dimensões em milímetros. . . . .	38

Figura 9 – Formato de uma maçã plana obtido após o agrupamento de dois cilindros modificados. . . . .	39
Figura 10 – Captura de tela mostrando a confecção do caule da maçã e o agrupamento das duas formas. . . . .	39
Figura 11 – Captura de tela mostrando como foi feita a edição do arquivo <i>Leaf Knob</i> utilizando um paralelepípedo em configuração furo para realizar a exclusão de uma parte do modelo. O resultado foi a obtenção da folha para a nossa maçã. . . . .	40
Figura 12 – Captura de tela mostrando o modelo finalizado do chaveiro no formato de maçã. . . . .	40
Figura 13 – Captura de tela mostrando o modelo 3D no formato de maçã aberto no software <i>Cura 3D</i> para a realização do processo de fatiamento. . . . .	42
Figura 14 – Captura de tela mostrando duas orientações possíveis para o modelo 3D no formato de maçã em relação à mesa de impressão. Na posição mostrada à esquerda o tempo total de impressão é de 1 hora e 32 minutos, enquanto que na posição à direita o tempo é reduzido para 53 minutos. . . . .	43
Figura 15 – Imagens da deposição de uma borda <i>Brim</i> utilizando PLA para melhorar as condições de aderência do modelo a ser impresso. . . . .	44
Figura 16 – Foto mostrando o modelo 3D no formato de maçã sendo impresso considerando um preenchimento em formato cúbico e o método de aderência <i>Brim</i> . O material de impressão utilizado foi o PLA. . . . .	46
Figura 17 – Fotos mostrando o chaveiro no formato de maçã pronto feito com filamento PLA. O acabamento final é dado com a remoção da borda <i>Brim</i> e o lixamento da peça para a remoção de excessos do material de impressão. . . . .	47
Figura 18 – Possíveis defeitos que podem ocorrer ao utilizar filamentos ABS, caso as devidas precauções não sejam tomadas durante a impressão 3D. À esquerda mostramos o defeito conhecido como <i>warping</i> decorrente do problema de aderência entre a mesa e o material de impressão e à direita o defeito de rachadura da peça, causado por variações na temperatura, alta umidade ou lacunas nas camadas da impressão durante a fabricação da peça. . . . .	48

Figura 19 – Projeto 3D desenvolvido com <i>Draft Shield</i> para impressão com filamentos ABS. . . . .	49
Figura 20 – Projeto 3D de um motor monocilíndrico de quatro tempos mostrando em 1) o cilindro, 2) o cabeçote, 3) as peças para as válvulas de admissão e escape, 4) e 5) o êmbolo e a haste para formar o pistão, 6) a vela de ignição e 7) o virabrequim. . . . .	53
Figura 21 – Foto mostrando todas as peças do modelo físico 3D de um motor de 4 tempos, prontas para a montagem. . . . .	53
Figura 22 – À esquerda mostramos uma foto das peças do cabeçote do modelo 3D do motor de 4 tempos. As duas haletas cinzas junto com as molas amarelas formam as válvulas de admissão e de escape e a peça verde representa a vela de ignição. À direita é mostrada uma foto do cabeçote montado. . . . .	54
Figura 23 – Foto de todas as peças utilizadas na montagem do restante do modelo 3D do motor de 4 tempos. A peça maior na cor cinza representa o cilindro (parte superior) e a câmara de óleo (parte inferior), as peças amarelas formarão o pistão, a peça maior na cor verde é o virabrequim, o pino, o parafuso e a arruela cinzas são os encaixes para fixar o cilindro no virabrequim, a manivela na cor verde é para dar mobilidade para o conjunto montado no interior do cilindro e as duas barras verdes são para dar sustentação ao modelo na posição vertical. . . . .	55
Figura 24 – Sequência de fotos mostrando o passo a passo do encaixe das peças apresentadas na figura 23. . . . .	55
Figura 25 – Finalização da montagem do modelo 3D de um motor de 4 tempos, mostrando como deve ser feito o encaixe das duas barras de sustentação e a fixação do cabeçote no cilindro com os parafusos e porcas. . . . .	56
Figura 26 – Ilustração dos quatro tempos do motor de combustão interna para serem simulados com o modelo 3D impresso. As setas vermelhas indicam o movimento do pistão e cada tempo do motor. . . . .	57
Figura 27 – Sequência de fotos mostrando da esquerda para a direita as peças utilizadas e a montagem de um carrinho tracionado por um elástico. A circunferência vermelha mostra a saliência feita em um dos eixos para tracionar o elástico. . . . .	59

Figura 28 – Fotos mostrando o corte feito em um disco de CD com tesoura para fazer a rede de difração do espectroscópio. À direita é mostrado como a camada refletora do disco pode ser facilmente removida com uma fita isolante. . . . . 61

Figura 29 – Na parte superior são apresentadas fotos de como devem ser preparadas a janela de difração e a fenda do espectroscópio nas tampas impressas. Na parte inferior é mostrado o dispositivo pronto para ser utilizado e o espectro visível da luz de uma lâmpada fluorescente. . . . . 61

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>APLICAÇÃO DE MODELOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS</b>	<b>17</b>
2.1	Modelos Mentais	18
2.2	Modelos Conceituais	19
2.3	Modelos Matemáticos	19
2.4	Modelos Computacionais	20
2.5	Modelos Físicos	20
2.6	Aplicação de Modelos Físicos Utilizando a Impressão 3D	21
<b>3</b>	<b>APRENDENDO A UTILIZAR UMA IMPRESSORA 3D</b>	<b>23</b>
3.1	Entendendo as partes da impressora 3D CE-3	24
3.2	Preparação da impressora 3D CE-3	29
3.3	Preparação do modelo de impressão	35
3.3.1	Implementação de um projeto 3D	36
3.3.2	Impressão de um modelo 3D	41
3.3.3	Materiais utilizados na impressão 3D	45
<b>4</b>	<b>IMPRESSÃO DE MATERIAIS DIDÁTICOS PARA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>65</b>

# 1 Introdução

A tecnologia de impressão 3D está se tornando cada vez mais popular e de fácil uso com o passar dos anos. Esta consiste em um processo de manufatura aditiva capaz de criar um objeto físico a partir de um modelo digital 3D, sem a necessidade de um molde, através da deposição de camadas finas de materiais, como plásticos, metais, cimento, entre outros, na forma líquida ou em pó. A difusão desta tecnologia está sendo favorecida pelo desenvolvimento de impressoras 3D com um custo cada vez menor, o desenvolvimento de diferentes técnicas e materiais de impressão e a digitalização dos processos de produção (ASSANTE; CENNAMO; PLACIDI, 2020). Isto tem permitido revolucionar diversas áreas do conhecimento tanto no nível de pesquisa científica quanto na indústria, como na nutrição, alimentação, moda, saúde, aeroespacial e na medicina, as quais se destacam pela aplicação e investigação de novos processos (LIM et al., 2016; KALASKAR, 2022; THYSSEN; MEIER, 2023; ISI; GURLEY, 2024).

A publicação de trabalhos que retratam a integração da impressão 3D na educação como um dispositivo utilizado para a impressão de recursos didáticos ou uma ferramenta de aprendizagem em sala de aula, tem aumentado significativamente nos últimos anos (CARVALHO et al., 2021; NETO; LOUBET; ALBUQUERQUE, 2021; PIRES; JÚNIOR, 2022; MONKOVIC et al., 2022; BOLL et al., 2023; MONTEIRO, 2023). Apesar disso, estudos que demonstrem o seu uso em ambientes formais e informais de ensino (FORD; MINSHALL, 2019) ou uma aprendizagem significativa dos processos envolvidos (AGUIAR, 2016; NOVAK et al., 2021), ainda são pouco pronunciados.

A utilização da tecnologia de impressão 3D na educação escolar pode ser explorada para promover um ensino multidisciplinar relacionando diversas áreas do conhecimento, como ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Ou seja, esta pode ser intimamente associada à promoção da educação STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) (FORD; MINSHALL, 2019; PEARSON; DUBÉ, 2022; THYSSEN; MEIER, 2023). Neste sentido, além de permitir o desenvolvimento de atividades que estimulem a criatividade, o pensamento crítico e independente e a aplicação prática de conceitos e princípios científicos, o uso da impressão 3D no ambiente escolar pode encorajar os estudantes a se qualificarem para seguir carreira nas áreas de ciência, tecnologia e engenharia.

Para o ensino de Física, ou qualquer outra área da ciência, essa tecnologia pode auxiliar significativamente no entendimento de fenômenos, processos, conceitos, interações e sistemas complexos através da impressão de modelos, tornando o aprendizado mais concreto e acessível. Neste contexto, essa tecnologia se alinha à *cultura maker*, que valoriza a experimentação e o aprendizado mão na massa, incentivando os alunos a projetarem, testarem e aperfeiçoarem seus próprios protótipos (GONDIM et al., 2023).

Adicionalmente às representações abstratas, concebidas através de fórmulas matemáticas e gráficos, os modelos físicos fornecem representações concretas de sistemas reais, permitindo aos estudantes realizar correlações e analogias do que está sendo discutido em sala de aula. O uso de múltiplas representações de conceitos científicos pode favorecer o sucesso dos professores na melhoria de suas explicações, gerar discussões, fazer previsões e fornecer representações visuais de conceitos abstratos (CHITTLEBOROUGH; TREGUST, 2009). Contudo, para os estudantes entenderem a finalidade e as limitações de modelos, é necessário que eles tenham um contato maior com esse tipo de abordagem, e a impressão 3D tem um grande potencial para auxiliar nesse processo.

Apesar de todos os benefícios mencionados, a integração da tecnologia de impressão 3D no processo de ensino-aprendizagem requer competências tanto do professor quanto dos estudantes, principalmente na área de modelagem 3D. Para isso, é necessário trabalhar habilidades para a resolução de problemas, a criatividade e adquirir conhecimento sobre a tecnologia do dispositivo, os processos envolvidos e os materiais de impressão 3D (AGUIAR, 2016; ASSANTE; CENNAME; PLACIDI, 2020). Isso significa que não basta o professor ou a escola adquirir uma impressora 3D para tornar essa integração realidade. É necessário que a escola possua um suporte técnico e tutoriais que possibilitem extrair todo o potencial educacional dessa tecnologia para que a mesma possa ser explorada tanto do ponto de vista metodológico quanto didático.

Com o objetivo de auxiliar professores e alunos nessa demanda, neste trabalho mostramos como operar uma impressora 3D e as vantagens de se utilizar o modelo Creality Ender-3 (CE-3) para impressão de modelos físicos. Os detalhes técnicos são descritos de maneira ampla, incluindo desde a configuração da impressora, a função de cada parte do dispositivo, calibração, inserção e troca de filamentos, possíveis erros de impressão, os tipos de materiais de impressão mais comumente utilizados, suas características e como escolher os mesmos de maneira adequada, como implementar um modelo 3D no software

livre *Tinkercad* e como realizar o seu fatiamento para impressão no software *Cura 3D*. Adicionalmente, apresentamos 3 exemplos de modelos físicos impressos para o ensino de tópicos de Física com foco dado para o ensino básico, mostrando como alguns conceitos podem ser abordados e explicados com o uso dos mesmos e fornecendo perspectivas e sugestões para a proposição de atividades em espaços de ensino formais e não formais.

Esperamos que com este trabalho o professor tenha melhores condições de iniciar ou otimizar a utilização de modelos físicos através da tecnologia de impressão 3D, para transformar suas aulas de ciências em um ambiente de aprendizagem ativa e encorajar os seus estudantes a criar os seus próprios modelos para explorar suas ideias e testar seus conceitos.

## 2 Aplicação de modelos no ensino de ciências

Os modelos têm desempenhado um papel significativo no desenvolvimento da ciência ao longo do tempo, sendo de fundamental importância tanto para a história da ciência quanto para o ensino e aprendizagem das diversas áreas das ciências nas escolas e outras instituições. Mas o que é um modelo?

Um modelo é composto por representações e analogias estabelecidas para mediar os conceitos teóricos que desenvolvemos com a realidade. Isso significa que um modelo só pode se relacionar com algumas propriedades do sistema físico, alvo real, que queremos entender e descrever. Ou seja, por mais que uma teoria na Física, por exemplo, seja bem concebida, reproduza resultados experimentais e nos permita realizar previsões, esta não consegue nos fornecer verdades absolutas sobre a natureza de um sistema ou fenômenos físicos. Em outras palavras, uma teoria não fornece uma reprodução completa daquilo que a mesma está representando (HESTENES, 1996; DRIEL; VERLOOP, 1999; GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000; MACHADO; FERNANDES, 2021).

A Física, assim como outras áreas da ciência de maneira geral, requer que os seus estudantes utilizem e explorem diferentes formas de modelo ou representação. Eles podem, por exemplo, observar um movimento de queda livre a partir de experimentos controlados em um laboratório de ensino ou pesquisa e também no cotidiano, ou representar este mesmo movimento através de modelos, utilizando mapas conceituais, simulações computacionais, análises matemáticas para calcular a posição e a velocidade do objeto em queda e ainda descrever as mudanças destas variáveis em tabelas ou gráficos. Quando colocadas em prática em sala de aula, os estudantes usualmente acham estes tipos de representações difíceis para a obtenção de informação e descrição do sistema ou fenômeno físico em estudo. Apesar disso, pesquisadores têm enfatizado a importância do uso de diferentes modelos ou representações para o ensino de Física em qualquer nível de ensino (TREAGUST; DUIT; FISCHER, 2017).

Existem diferentes tipos de modelos para serem aplicados no ensino e na aprendizagem de ciências. Nesta seção nós discutimos as características e a utilidade de alguns deles com ênfase no ensino de Física, particularmente.

## 2.1 Modelos Mentais

Os modelos mentais são representações do mundo real baseadas em situações imaginárias. Eles ocorrem na mente de uma pessoa individualmente a partir de sua percepção e seu conhecimento de situações que acontecem no mundo (FRANCO; COLINVAUX, 2000).

Uma característica marcante do cientista Albert Einstein foi a sua habilidade em utilizar experimentos mentais (*gedankenexperiment*) como uma abordagem para o entendimento de problemas na área da Física e para elucidar os seus conceitos para a comunidade científica. Esse tipo de modelo auxiliou Einstein a revolucionar a ciência a partir de suas teorias da Relatividade Restrita e Geral e ainda forneceu contribuições significativas para o desenvolvimento e consolidação da Mecânica Quântica, como teoria fundamental da Física.

Este tipo de modelo pode ser muito útil para o professor monitorar a percepção dos estudantes sobre conceitos científicos mais abstratos e auxiliar os mesmos a pensar um pouco mais sobre tais conceitos a partir de contraexemplos e outros tipos de atividades.

Contudo, quando não há uma orientação qualificada para isso, os modelos mentais podem trazer prejuízos para o desenvolvimento científico. Atualmente, estes têm sido utilizados indiscriminadamente para promover as pseudociências e o negacionismo científico. Uma vez que esse tipo de modelo é generativo e envolve um conhecimento tácito, implícito, as pessoas utilizam esse tipo de artifício para deturpar o trabalho da ciência de maneira conveniente, para benefício próprio. Um exemplo recorrente sobre isso é o grupo de pessoas que acreditam que a Terra é plana, no movimento conhecido como terraplanismo. Eles acreditam nisso com base apenas em modelos mentais, com argumentos não científicos e teorias de conspiração (GARWOOD, 2008).

Os modelos mentais, assim como quaisquer outros, devem ser utilizados de maneira responsável para complementar o ensino de ciências, seja estas naturais ou sociais, e o entendimento do mundo real de maneira geral, pois os mesmos são representações limitadas da realidade.

## 2.2 Modelos Conceituais

Um modelo conceitual é uma representação externa criada por professores ou cientistas para facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas ou estados de coisas no mundo. Estas representações podem ser feitas através de formulações matemáticas, analogias, gráficos ou objetos materiais (ORNEK, 2008).

Um exemplo de modelo conceitual é considerar a analogia do fluxo natural da água de uma região de maior energia potencial (mais alta) para outra de menor energia (mais baixa), para explicar o fluxo espontâneo de energia através de calor de um corpo de maior temperatura para outro com menor temperatura. Outro exemplo é a formulação matemática utilizada para descrever o que é um gás ideal ou ainda análogos clássicos ou mecânicos utilizados para explicar fenômenos quânticos.

Uma vez que os modelos conceituais são representações idealizadas e simplificadas de objetos, fenômenos ou situações reais, os modelos matemáticos, computacionais e físicos (objetos) podem também ser considerados como modelos conceituais.

## 2.3 Modelos Matemáticos

Modelos matemáticos são modelos conceituais que utilizam a metodologia da matemática para a descrição de um fenômeno ou do comportamento de um sistema em termos de símbolos, equações e números de maneira aproximada. Isso significa que estes modelos nem sempre fornecem um valor numérico exato para os parâmetros que representam propriedades físicas que estão sendo realmente medidas.

Um simples exemplo desse tipo de modelo é a lei de forças de Hooke, dada por:

$$\vec{F} = -k\vec{r}, \quad (2.1)$$

em que  $k$  é uma constante que depende das características do sistema em estudo. Este modelo fornece o princípio básico da elasticidade, estabelecendo que o deslocamento  $\vec{r}$  ou o tamanho de uma deformação é diretamente proporcional à força  $\vec{F}$  responsável pela deformação. Contudo, sua validade é limitada ao regime de pequenas deformações. Apesar de ser uma aproximação, este modelo é um dos mais importantes na Física, abrangendo a descrição do movimento e de interações tanto de objetos macroscópicos quanto microscópicos.

A matemática fornece um método poderoso para a modelagem e solução de problemas na ciência e em diversas outras áreas do conhecimento.

## 2.4 Modelos Computacionais

Os modelos computacionais são modelos conceituais matemáticos desenvolvidos em um ambiente virtual para simular o comportamento de sistemas e fenômenos particulares. Ou seja, a partir de um modelo criado para ser executado no computador em uma linguagem de máquina, é possível obter soluções de problemas gerais, principalmente aqueles impossíveis de serem resolvidos analiticamente por pessoas. Isso é possível porque um computador consegue executar inúmeros cálculos simultaneamente em tempo viável, nos fornecendo condições de realizar previsões confiáveis sobre o comportamento de sistemas complexos, como o clima, a partir de um conjunto de parâmetros e condições iniciais conhecidas.

Para o ensino de ciências os modelos computacionais têm se mostrado como um excelente complemento pedagógico com simulações interativas que permitem que os estudantes realizem cálculos diversos e entendam conceitos abstratos através de imagens, animações em diferentes dimensões, vetores, tratamento de dados numéricos, plotagem de gráficos, entre outros (WIEMAN et al., 2010).

Com o advento da tecnologia e o surgimento de computadores com capacidade de processamento e armazenamento de informação cada vez maiores, a modelagem computacional tem ganhado cada vez mais notoriedade para o desenvolvimento da ciência.

## 2.5 Modelos Físicos

Os modelos físicos são aqueles concebidos a partir de representações e analogias feitas com a utilização de objetos. Estes modelos são utilizados em diversos contextos e fornecem uma representação física do sistema alvo (ORNEK, 2008).

No ensino de ciências um modelo físico tem a função de permitir que os estudantes visualizem movimentos e características particulares do sistema real que o mesmo está representando. Ou seja, é um modelo cujas características físicas se assemelham às características físicas do sistema que está sendo modelado, mesmo que este não forneça uma

noção real de escala do mesmo.

O sistema alvo pode ser um único objeto, como uma bala de canhão em movimento sendo representada por uma bolinha de aço, ou um sistema composto por vários objetos, como o sistema solar, que pode ser representado por bolas de isopor ou outro material de maneira estática ou em movimento relativo entre si. Os modelos físicos podem ser concebidos de maneira mais sofisticada e complexa, com partes móveis, sistemas elétricos, componentes eletrônicos, acústicos, ópticos, entre outros.

## 2.6 Aplicação de Modelos Físicos Utilizando a Impressão 3D

A construção de modelos físicos utilizando a impressão 3D pode ser estruturada em algumas etapas fundamentais. Aguiar (2016) apresentou uma proposta considerando seis passos principais para integrar essa tecnologia ao ensino:

- **Definição do objetivo pedagógico** – Identificar quais conteúdos podem ser melhor compreendidos com o apoio de modelos físicos;
- **Planejamento do modelo** - Esboçar o formato do objeto e suas funcionalidades de acordo com a abordagem didática desejada;
- **Modelagem digital** – Criar o modelo tridimensional em softwares específicos, como o *Tinkercad* ou o *Fusion 360*;
- **Configuração da impressão** – Ajustar parâmetros como material, resolução e tempo de impressão para obter um resultado adequado;
- **Impressão e acabamento** – Realizar a impressão do modelo e, se necessário, fazer ajustes para melhorar sua usabilidade;
- **Aplicação em sala de aula** – Integrar o modelo às atividades pedagógicas e avaliar sua eficácia no processo de ensino-aprendizagem.

Segundo Aguiar (2016), essa abordagem permite que os alunos interajam diretamente com os conceitos estudados, tornando o aprendizado mais dinâmico e participativo.

Estudos recentes apontam que a inclusão de modelos físicos impressos em 3D no ensino de Física tem demonstrado impactos positivos na motivação e na assimilação dos

conteúdos. Pereira e Monteiro (2025) destacam que alunos que utilizaram esses recursos apresentaram melhor compreensão de temas como cinemática e dinâmica. Da mesma forma, Capeloto e colaboradores (2023) observaram que atividades experimentais com peças impressas ajudaram os estudantes a visualizar e manipular conceitos que antes eram apresentados apenas de forma teórica.

Dessa forma, a impressão 3D se apresenta como uma ferramenta promissora para o ensino de Física, pois permite a visualização e a manipulação de conceitos abstratos de maneira concreta. Seu potencial reside na capacidade de tornar o aprendizado mais dinâmico e interativo, incentivando a participação ativa dos alunos e possibilitando novas formas de explorar e compreender os fenômenos físicos.

Neste trabalho nós mostramos como uma impressora 3D pode beneficiar significativamente o professor de Física com a confecção e melhoria de modelos físicos para auxiliar no ensino de Física a um preço muito acessível. Nas próximas seções mostramos como utilizar uma impressora 3D, algumas sugestões de impressão de um modelo mais sofisticado e um mais simples e como a mesma pode ser utilizada para fabricar peças de um modelo físico já concebido para melhorar sua funcionalidade.

### 3 Aprendendo a utilizar uma impressora 3D

Nesta seção mostramos como manusear uma impressora 3D. Devido às pequenas diferenças técnicas para a operação de um modelo ou outro, apresentamos uma sequência padrão de procedimentos, útil para capacitar o leitor para operar qualquer modelo de impressora.

Apresentamos também algumas vantagens de se utilizar o modelo Creality Ender-3 (CE-3), figura 1, para a manufatura de materiais didáticos, assim como algumas desvantagens.

Figura 1 – Foto de uma impressora 3D, modelo Creality Ender-3.



Fonte: Foto extraída de Shenzhen (2020).

A impressora CE-3 é fabricada pela Companhia de Tecnologia chinesa Shenzhen Creality 3D (*Shenzhen Creality 3D Technology Company, Ltd.*), conhecida usualmente como Creality, cuja especialidade é a fabricação de impressoras 3D e seus insumos.

Este modelo funciona com tecnologia FDM (*Fused Deposition Modelling* - Modelagem por Deposição Fundida), utilizando o material de construção na forma de filamentos termoplásticos, liquefeitos e solidificados novamente na forma da peça desejada. O material derretido é depositado camada por camada em um caminho definido através do projeto

3D estabelecido (CAD - *Computer-Aided Design*, Desenho Assistido por Computador). Devido à sua alta precisão, baixo custo e grande seletividade de materiais, a FDM é uma das tecnologias de impressão 3D mais utilizadas e difundidas no mundo.

Além do melhor custo-benefício, a tecnologia FDM possui a vantagem de oferecer um processo mais fácil e rápido para o usuário, não exigindo pós-processamentos das peças, como na tecnologia 3D de Processamento de Luz Digital (DLP - *Digital Light Processing*), por exemplo. Na DLP é utilizada uma resina (polímero), que também é depositada camada por camada, mas que precisa ser solidificada através de um processo de fotopolimerização, que consiste em expor o polímero líquido em contato com a luz. Ou seja, cada camada do polímero líquido deve ser endurecido através desse processo antes da próxima camada ser depositada para formar um objeto, conduzindo a uma baixa capacidade de volume de impressão. Após a finalização da impressão das peças ainda é necessário um processo de cura das mesmas, com a utilização de uma estufa específica, para dar maior resistência ao material.

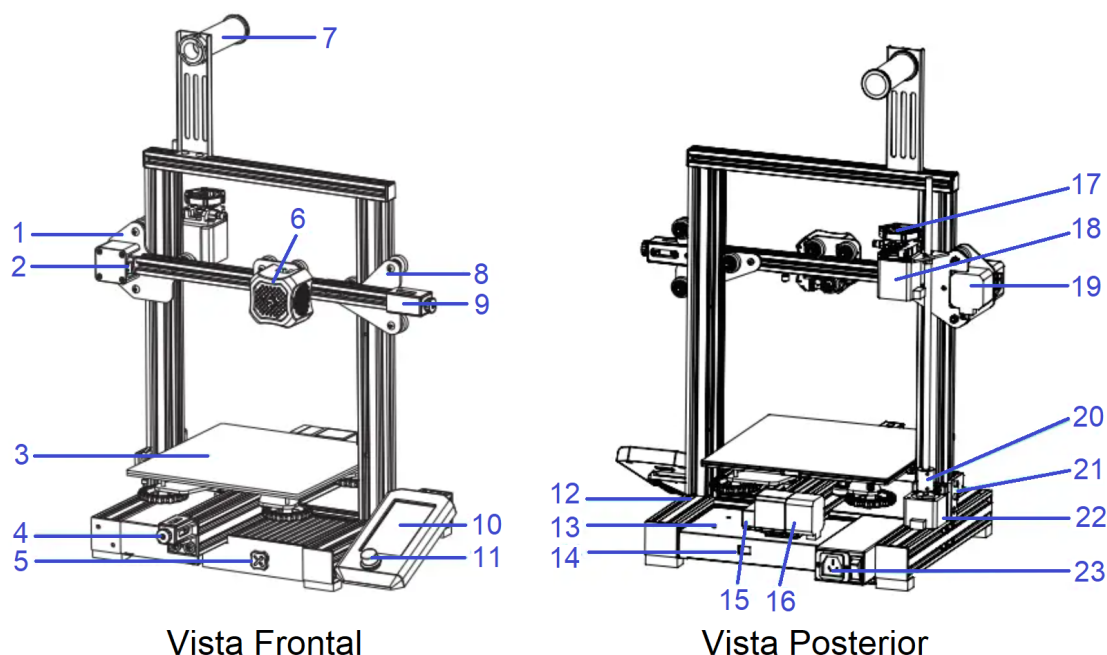
Dentre outras vantagens da tecnologia FDM, podemos citar a maior velocidade e disponibilidade de cores para impressão, menor desperdício e grande variedade de materiais, o que torna a impressora CE-3 uma ferramenta mais ágil, versátil e econômica para a fabricação de materiais didáticos.

Contudo, essa tecnologia também apresenta algumas desvantagens. A qualidade da superfície das peças impressas em FDM não é lisa como as peças impressas em DLP, por exemplo. Como a deposição em FDM é feita camada por camada, a junção das mesmas fica evidente, deixando a superfície rugosa. Esse efeito é conhecido como “escada”. Devido à natureza do plástico (polímero) derretido, a FDM também não é indicada para a fabricação de protótipos de materiais didáticos com detalhes complexos, que necessitam de precisão dimensional ou excelente acabamento superficial.

### 3.1 Entendendo as partes da impressora 3D CE-3

Para entendermos melhor o funcionamento da impressora 3D CE-3 apresentamos na figura 2 suas partes, considerando as vistas frontal e posterior do equipamento. Não faremos nenhuma abordagem sobre a montagem da impressora, porque esta é bem orientada nos tutoriais que vem junto com a mesma.

Figura 2 – Vista frontal e posterior de uma impressora Creality Ender-3 mostrando suas partes: 1) Kit eixo-XE. 2) Sensor de limite do eixo-X. 3) Plataforma de impressão. 4) Eixo-Y. 5) Caixa de ferramentas. 6) Cabeça de impressão. 7) Suporte do material de construção e porta-carretel. 8) Bloco passivo do eixo-Z. 9) Tensionador de correia do eixo-X. 10) Painel de controle. 11) Controlador. 12) Base da impressora. 13) Fonte de energia. 14) Regulador de tensão. 15) Sensor de limite do eixo-Y. 16) Motor do eixo-Y. 17) Gatilho da extrusora. 18) Motor do eixo-E. 19) Motor do eixo-X. 20) Acoplamento. 21) Sensor de limite do eixo-Z. 22) Motor do eixo-Z e 23) interruptor e soquete para alimentação de energia.



Fonte: Figura adaptada de Shenzhen (2020).

A impressora 3D CE-3 possui um arranjo mecânico cartesiano. Isso significa que ela imprime no sistema de coordenadas cartesiano (X,Y,Z). No eixo-X, a cabeça de impressão, descrita pelo item 6 da figura 2, se move da direita para a esquerda de acordo com a rotação do motor correspondente (item 19). Para o movimento preciso do carro que conduz a cabeça de impressão neste eixo é necessário ajustar a tensão da correia do mesmo através do tensionador do eixo-X (item 9).

Para alimentar a impressora, o motor da extrusora, ou motor do eixo-E (item 18), conduz o filamento até a cabeça de impressão. Ou seja, a extrusora traciona e retrai o filamento do material de construção em quantidades precisas. Esse movimento é feito continuamente a uma velocidade constante, conhecida como velocidade de “*travel*”, até que a impressão da peça desejada seja finalizada. O material de construção é fornecido em

carreteis, que são posicionados no suporte descrito pelo item 7 da figura 2. A cabeça de impressão é composta pelo fusor, responsável por derreter o filamento a uma temperatura controlada, até o mesmo sair pelo bico injetor, conhecido usualmente como *hotend*. O motor da extrusora e o motor do eixo-X são fixados na estrutura da impressora através do kit eixo-XE (item 1).

O sistema de alimentação de filamento da impressora pode variar de um dispositivo para outro, dependendo da posição da extrusora. Este sistema pode ser do tipo *Bowden* ou do tipo *Direct Drive*, ou extrusão direta. No sistema *Bowden* o motor da extrusora fica afastado da cabeça de impressão, como no modelo que utilizamos. Notem na figura 2 que o motor da extrusora é descrito pelo item 18, posicionado no perfil lateral esquerdo (vista frontal) da impressora, enquanto que a cabeça de impressão é o item 6, estando livre para se mover no eixo-X. Nesse sistema o filamento sai da extrusora, passando por um tubo branco de teflon (PTFE - politetrafluoretileno) até chegar na cabeça de impressão. Esse tubo é conhecido como *bowden* e pode ser observado na figura 1.

No sistema *Direct Drive* o motor da extrusora é conectado diretamente na cabeça de impressão, sem nenhum intermediário. Devido a isso, esse sistema também é conhecido como “*extrusão direta*”.

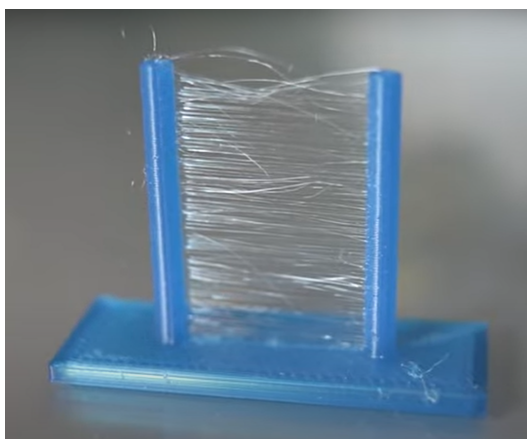
Em ambos os sistemas de alimentação existem prós e contras. O sistema *Bowden* é mais vantajoso em termos de precisão e velocidade de impressão, porque a cabeça de impressão, por ser separada do motor da extrusora, é mais leve e fácil de ser movida pelos motores. Contudo, nesse sistema é mais difícil de controlar a retração do filamento, porque o mesmo não possui o mesmo diâmetro do tubo *bowden*, podendo ocorrer dobras do mesmo, devido à grande distância que o filamento percorre entre a extrusora e a cabeça de impressão. Isso faz com que o deslocamento real do filamento que entra e sai da extrusora não seja representado nominalmente pelo valor estabelecido na configuração da retração do sistema.

Já o sistema *Direct Drive* possui a vantagem de ajustar a retração com maior facilidade, uma vez que, o filamento que entra na extrusora vai diretamente para a cabeça de impressão e sai através do bico injetor. Essa facilidade permite o uso de uma variedade maior de filamentos, especialmente materiais que são um pouco mais fluidos, como o material PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol* - Polietileno Tereftalato de Etileno

Glicol), que possui alta resistência mecânica, química e térmica, e também materiais flexíveis. Contudo, uma vez que há um peso maior na cabeça de impressão, pois o motor da extrusora é acoplado à mesma, é necessário uma força maior dos motores dos eixos para mover o sistema, o que pode diminuir a velocidade de impressão e até causar vibrações do mesmo, comprometendo a qualidade da impressão. Esse problema é mais incidente em impressoras cartesianas, como a que utilizamos.

A retração é configurada para melhorar a qualidade de impressão para evitar sobras de material evidenciadas através de fiapos, ou teias (*stringing*), e bolhas ou bolinhas (*blobs*) que ficam na peça após a impressão. É importante se atentar para essa configuração principalmente quando o bico injetor é movido de uma posição onde há impressão, passa por uma região sem impressão, e vai para outra região para continuar depositando material, como mostrado no exemplo da figura 3. Ou seja, nessa situação a cabeça de impressão recolhe, ou retrai, o filamento para passar pela região onde não há deposição, e em seguida puxa novamente o filamento para continuar a impressão.

Figura 3 – Exemplo de formação de teias em uma peça após a impressão, devido à não configuração adequada da retração.



Fonte: Figura extraída de Salzano (2019).

A configuração da retração é feita através dos fatiadores 3D, como o *Cura 3D*, o *Simplify3D*, o *Slic3r*, entre outros, que são softwares utilizados no processo de impressão. Além da retração, estes permitem configurar outros parâmetros da peça projetada, como altura de camadas, preenchimento, temperatura, etc. Segundo Salzano (2019), a retração pode ser bem configurada a partir de dois parâmetros principais: a *distância de retração* (DR) e a *velocidade de retração*.

A DR define o quanto o filamento deve ser retraído, ou puxado, e depois retornado para a impressão. Para impressoras *Direct Drive* o valor recomendável para a DR é entre 2 e 3 mm, enquanto que, para impressoras *Bowden* o valor de DR recomendado é maior, variando entre 4 e 7 mm, devido à possibilidade de dobramento do filamento no tubo *bowden*, conforme já discutido. Se mesmo com esses valores a impressão continuar apresentando sobras de material, o recomendável é aumentar a DR para minimizar as mesmas (SALZANO, 2019).

Se o problema persistir é interessante aumentar a velocidade de retração. Esse ajuste pode provocar um efeito de sucção, diminuindo a possibilidade de sobras de deposição do material quando a cabeça de impressão é movida de um local para outro. Se, mesmo com o ajuste desses dois parâmetros, ainda for observado sobras do material, pode-se também tentar realizar ajustes na temperatura ou parâmetros secundários, de acordo com a disponibilidade de cada software, conforme discutido por Salzano (2019).

Continuando com as partes da impressora, o eixo-Y, descrito pelo item 4 da figura 2, é responsável por mover a plataforma ou mesa de impressão (item 3) para frente e para trás, de acordo com a rotação do motor deste eixo (item 16). A plataforma é composta por um painel de metal que é aquecido através de uma resistência. Isso é necessário para que não haja choque térmico no material derretido, quando o mesmo for depositado sobre a plataforma, o que poderia causar sua contração ou um resfriamento muito rápido.

O eixo-Z move a cabeça de impressão para cima e para baixo através da rotação do motor correspondente (item 22). Dessa forma, a impressora contempla o movimento nas três dimensões, imprimindo peças com uma largura X, uma profundidade Y e uma altura Z. Os motores dos três eixos (X,Y,Z) tem um movimento limitado pelos seus respectivos interruptores de limite, ou chaves de fim de curso, itens 2, 15 e 21 da figura 2. Estes fazem com que os motores parem de mover os eixos quando o limite do caminho de impressão projetado chega ao fim.

O painel de controle, item 10 da figura 2, é utilizado para configurar a impressora e fornecer informações sobre a impressão, como a temperatura do fusor (*hotend*) e da plataforma de impressão, a posição (X,Y,Z) do bico injetor, o tempo e a porcentagem de conclusão da impressão e se a impressora está pronta para ser utilizada. Todas essas funções podem ser modificadas através do botão controlador, descrito pelo item 11 da

figura 2.

Na tabela 1 são apresentadas algumas especificações da impressora 3D CE-3.

Tabela 1 – Especificações básicas da impressora utilizada neste trabalho.

<b>Impressora 3D Creality Ender-3</b>	
Tecnologia de conformação	FDM ( <i>Fused Deposition Modelling</i> ) - Modelagem por Deposição Fundida;
Arranjo mecânico	Cartesiano;
Diâmetro do filamento	1,75 mm;
Materiais compatíveis	PLA, ABS, PETG, TPU, PLA Wood, PVA, Fibra de Carbono, entre outros;
Precisão de impressão	Aproximadamente 0,1 mm;
Sistema de alimentação	Bowden;
Duplo eixo-Z	Não;
Número de extrusoras	1;
Diâmetro do bico	Padrão 0,4 mm;
Diâmetros de bico compatíveis	0,1 a 1,0 mm;
Altura de camada	Ajustável de 0,1 a 0,4 mm;
Precisão de posicionamento	Eixo-Z: 0,004 mm e XY: 0,012 mm;
Tamanho útil de impressão	(220 × 220 × 250) mm;
Velocidade máxima de travel	180 mm/s;
Velocidade máxima de impressão	100 mm/s;
Temperatura máxima do hotend	255 °C;
Temperatura máxima da mesa	110 °C;
Nivelamento da mesa	Manual;
Conectividade	Cabo USB (Não incluso) e Cartão Micro SD;
Softwares compatíveis	Ultimaker Cura, Slic3r, Repetier Host, Simplify3D, etc.;
Formatos de arquivo	STL, OBJ, AMF e G-code;
Especificação de energia	Bivolt (Chaveada). Entrada: CA 115-230 V 50/60 Hz e Saída: CC 24 V;
Potência	350 W;
Sistema operacional	Windows XP, Vista, 7 a 10, MAC e Linux.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## 3.2 Preparação da impressora 3D CE-3

A impressão 3D é um processo complexo de fabricação que envolve a deposição de camadas de material plástico (polímeros), para a construção de peças em diferentes formatos. Como qualquer dispositivo tecnológico que executa funções complexas, uma impressora 3D deve ser ajustada precisamente para evitar a ocorrência de erros de impressão e desperdício de material.

Antes de iniciar qualquer impressão 3D é necessário realizar dois ajustes básicos na impressora: a *inserção do filamento* do material escolhido e o *nivelamento da mesa de impressão*.

Para escolher o material adequadamente é importante saber para qual finalidade a peça desejada será produzida. Ou seja, se a mesma ficará sujeita a algum tipo de esforço mecânico, altas ou baixas temperaturas, exposição ao sol ou qualquer outro tipo de exposição ou atividade. Se a peça impressa tiver a finalidade de armazenar alimentos, por exemplo, deve-se atentar para a possibilidade de toxicidade do material de construção.

Para inserir o filamento na impressora é necessário, primeiramente, aquecer o bico injetor (*hotend*). Esse procedimento é usualmente feito através do painel de controle da impressora. A temperatura utilizada para o aquecimento do bico depende do material do filamento que será inserido no sistema. Se o material escolhido for o PLA (Ácido Poliláctico), por exemplo, que é um bioplástico ou biopolímero amplamente utilizado na impressão 3D, por fornecer bons resultados para as peças fabricadas, além de possuir elevada dureza e brilho, a temperatura necessária para começar uma impressão é de 180 °C. Contudo, após o início da impressão é necessário monitorar como o material irá se comportar, pois a temperatura de qualquer material durante a extrusão pode variar em até 10%. A velocidade de impressão também pode ocasionar variações da temperatura do material extrudado, de maneira que a temperatura ideal de impressão deve ser avaliada de acordo com o comportamento do material. Para o PLA essa temperatura pode variar de 180 °C até 240 °C, dependendo do fabricante do material.

Ajustar corretamente a temperatura de trabalho na impressão 3D é essencial para a obtenção de bons resultados. Se a temperatura do bico injetor estiver muito alta, o material perderá viscosidade e se desconectará do bico em alguns momentos, como se estivesse pingando. Por outro lado, se a temperatura estiver muito abaixo daquela recomendada pelo fabricante, o material perderá aderência, inviabilizando a formação do objeto impresso desejado.

Mas por que é necessário aquecer o bico injetor antes de inserir o filamento? Não basta inserir o filamento até a posição do bico, aquecê-lo e começar a imprimir?

O aquecimento é necessário porque o processo de saída do material de construção é por extrusão. O material é derretido no fusor antes de sair pelo bico e é extrudado através

do mesmo, ou seja, ele é forçado, pelo motor da extrusora, a sair dessa forma.

O processo de extrusão de uma impressora 3D é semelhante ao mesmo de uma pistola de cola quente. Na pistola é inserido um bastão de cola, à temperatura ambiente, até a posição do bico injetor. Com o aquecimento do bico (*hotend*) a cola é liquefeita naquela região e ao pressionarmos manualmente o gatilho da pistola, nós empurramos o bastão de cola, forçando a cola liquefeita no bico injetor a sair, ou seja, ela é extrudada. No caso da impressora 3D, conforme já discutido, o filamento é forçado a sair pela ação do motor da extrusora. Esse procedimento deve ser realizado necessariamente por um motor, porque a quantidade de material expelida deve ser controlada e precisa para a impressão das peças.

Para aquecer o bico injetor da impressora 3D CE-3 basta ligar a impressora e executar a seguinte sequência de comandos no menu do painel de controle da mesma:

*Control → Temperature → Nozzle Temperature*

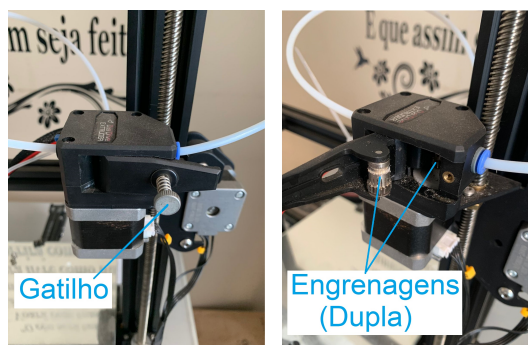
A temperatura do bico pode ser monitorada no próprio painel de controle. Ao atingir a temperatura desejada, o filamento deve ser inserido em um orifício que fica atrás do motor da extrusora. Para deixar o motor da extrusora em uma posição mais confortável para a inserção do filamento, basta executar a sequência de comandos no menu do painel de controle da impressora:

*Prepare → Move Axes → Extruder*

É recomendável cortar a ponta do filamento em um ângulo de 30°, aproximadamente, formando uma ponta, para facilitar a inserção do mesmo no sistema. Como a impressora CE-3 é do tipo *bowden*, o filamento deve ser forçado manualmente por toda a extensão do tubo *bowden*, até encostar no bico injetor. Para que o filamento possa ser inserido livremente, é necessário acionar um gatilho, que fica atrás do motor da extrusora, item 17 da figura 2. Ao soltar o gatilho o filamento ficará preso nas engrenagens da extrusora, para que essa possa realizar a extrusão controlada do material através do bico injetor (*hotend*).

Na impressora que utilizamos, a extrusora original foi atualizada para uma extrusora de duplo acionamento, ou dupla engrenagem (*Dual Drive*), veja figura 4.

Figura 4 – Fotos mostrando a extrusora de dupla engrenagem instalada na impressora CE-3 para melhorar a eficiência da mesma durante a impressão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O parafuso com a mola mostrado à esquerda da figura 4 é o gatilho da extrusora. Este tem a função de manter o filamento preso firmemente entre as duas engrenagens e pode ser ajustado manualmente. Quanto mais apertado estiver o parafuso, mais preso ficará o filamento. Neste sistema o filamento é inserido na extrusora através do tubo *bowden*, passa pelas duas engrenagens e sai por outro tubo *bowden*. Para realizar este procedimento, o gatilho deve ser desrosqueado manualmente.

A extrusora de dupla ação oferece uma melhor performance para puxar ou empurrar o filamento em comparação com a extrusora original da impressora CE-3. Nesta última, o filamento é pressionado entre uma engrenagem dentada, responsável por mover o mesmo, e um rolamento liso. Isso pode causar desgastes no filamento, entupimentos frequentes na tubulação e a engrenagem dentada pode ficar patinando no filamento, fazendo com que o mesmo não seja puxado ou empurrado. Já no sistema de dupla engrenagem que utilizamos, esses problemas raramente ocorrem, porque o movimento do filamento é controlado pelas duas engrenagens, permitindo uma maior velocidade de impressão, maior precisão, eficiência, versatilidade para filamentos flexíveis e melhor qualidade do produto final.

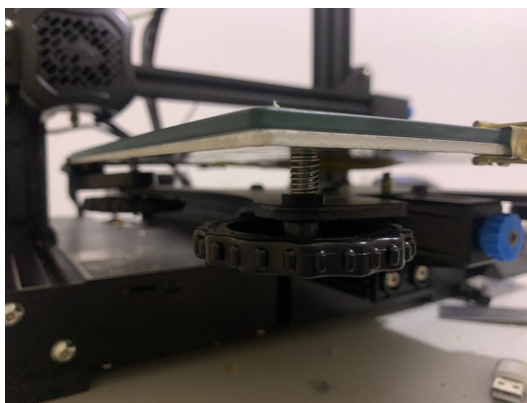
Após inserir o filamento é necessário realizar a *purga* do mesmo, que consiste em deixar o material sair naturalmente pelo bico injetor até a sua homogeneização. Esse procedimento é muito importante antes de começar uma impressão 3D para evitar que o material seja extrudado com atraso, o que pode causar falhas nas primeiras camadas da peça a ser produzida. Ele também é essencial quando for realizada a troca do filamento, principalmente quando for utilizado outro tipo de material de construção ou filamentos

com cores diferentes. Caso as sobras de material não sejam purgadas a qualidade da impressão pode ser comprometida significativamente, devido à formação de imperfeições e mudanças de cores indesejadas na peça impressa.

A quantidade de material eliminado dependerá do processo que está sendo realizado. Se for a simples inserção de um filamento, a purga é feita com alguns milímetros ou centímetros de filamento. Mas se for necessário realizar a troca de filamento, deve-se puxar o filamento manualmente, acionando o gatilho da extrusora até a sua completa remoção. Em seguida, basta inserir o novo filamento repetindo o mesmo procedimento descrito anteriormente e realizar a purga até que os resíduos do filamento anterior sejam completamente eliminados.

O nivelamento da mesa ou cama (*bed*) de impressão da impressora CE-3 é feito manualmente. Para isso, a impressora possui quatro parafusos posicionados logo abaixo de cada canto da mesa que nos permite ajustar a altura de cada região independentemente. Estes podem ser visualizados na figura 2, mas apresentamos uma foto de um desses parafusos na figura 5.

Figura 5 – Foto de um dos parafusos utilizados para realizar o nivelamento manual da mesa de impressão da impressora 3D CE-3.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O nivelamento da mesa de impressão é feito em relação ao bico injetor, ou seja, ao *hotend*. Para preparar o sistema para o nivelamento, o bico injetor precisa estar posicionado no ponto inicial de impressão do dispositivo. Se considerarmos a vista frontal da impressora, este ponto é selecionado quando a cabeça de impressão é movida até a posição dos sensores de fim de curso 2 e 21 (figura 2) dos eixos-X e -Z, respectivamente. Para mover a cabeça de impressão automaticamente para esse ponto é necessário executar a linha de comando:

`Prepare → Auto home`

Quando a cabeça de impressão é posicionada no ponto inicial ela fica travada. Para que a mesma possa ser movida no eixo-X, para realizar o nivelamento dos quatro cantos da mesa, é necessário destravar os motores de passo dos eixos acionando o comando `Disable steppers` no painel de controle.

O ajuste final da mesa de impressão em relação ao bico injetor é feito tendo como referência um pedaço de papel. Cada canto da mesa estará devidamente nivelado quando a folha de papel puder ser movida por baixo do bico injetor com um pouco de resistência. Isso significa que a folha não pode ficar presa embaixo do bico mas também não pode se mover livremente. A condição ideal é estabelecida quando o bico injetor “arranha” a folha de papel enquanto a mesma é movida. Na figura 6 mostramos uma foto do procedimento utilizando uma folha sulfite A4. Para mudar a cabeça de impressão para nivelar cada canto da mesa, esta deve ser movida no eixo-X e a mesa deve ser movida no eixo-Y.

Figura 6 – Foto mostrando parte do procedimento realizado para nivelar a mesa de impressão da impressora 3D CE-3. Cada canto da mesa estará nivelado quando for possível passar uma folha de papel com um pouco de resistência por baixo do bico injetor. No procedimento apresentado utilizamos uma folha sulfite A4.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O nivelamento da mesa de uma impressora 3D também pode ser feito automaticamente através de um sensor chamado *BLTouch*. Muitas impressoras de uso profissional já vem com esse recurso de fábrica. Impressoras 3D de baixo custo, como a CE-3, permitem a instalação desse sensor como uma atualização (EXPERTS, 2024).

O *BLTouch* é um microcontrolador com uma ponta de prova que, ao tocar à mesa, determina com precisão não só o desnível da superfície, mas também defeitos na mesma, como empenamento, ondulações e distorções. A mesa original da impressora 3D CE-3

pode apresentar esses problemas com o passar do tempo, o que dificulta o nivelamento da mesma. Uma sugestão muito eficiente e de baixo custo é trocar a mesa original por uma peça equivalente feita de vidro com espessura de 3 a 4 *mm*.

O nivelamento automático da mesa possui a vantagem de permitir que a impressora realize compensações para quaisquer inconsistências durante a impressão, garantindo uma melhor performance para a construção das primeiras camadas e para a redução de problemas de adesão da base. Para a instalação e configuração do sensor *BLTouch* é possível encontrar tutoriais satisfatórios em canais do *YouTube*, tanto para a impressora CE-3, especificamente, quanto para qualquer outro modelo de impressora (BETIOLI, 2020; CERVERA, 2021).

Outra alternativa para a realização do nivelamento da mesa de impressão é utilizar projetos de nivelamento. Estes podem ser obtidos gratuitamente em comunidades de design para impressão 3D, como o *Thingiverse* (MAKERBOT, 2024). Nestes projetos, usualmente uma camada do material de construção é depositada sobre a mesa na direção dos eixos-X e -Y para o monitoramento da altura da mesma durante a impressão. Este é o parâmetro de referência para o operador da impressora realizar o nivelamento.

Como a espessura das camadas depositadas em uma impressão 3D é da ordem de 0,1 *mm*, dependendo do material de construção utilizado, o nivelamento da mesa de impressão é essencial para garantir bons resultados.

Nas impressoras 3D de última geração, grande parte dos procedimentos mencionados foi automatizada, reduzindo a necessidade de ajustes manuais. A Creality, por exemplo, implementou um sistema de nivelamento automático no modelo Ender 3 S1, lançado em 2021, que realiza a leitura de 16 pontos na superfície da mesa para garantir ajustes precisos. Já no modelo Ender 3 V3 SE, de 2023, um sistema ainda mais avançado aprimora a experiência do usuário, tornando a preparação da impressão mais eficiente e confiável. Esses avanços refletem a tendência da indústria em simplificar o uso das impressoras 3D e torná-las mais acessíveis para diferentes perfis de usuários.

### 3.3 Preparação do modelo de impressão

Conforme já discutido, a impressão 3D é um procedimento de fabricação em que é adicionada precisamente camada sobre camada do material de construção para formação

de peças. Para que este seja bem sucedido, independentemente do operador da impressora ser profissional ou “hobbysta” é necessário dominar três eixos fundamentais:

### *Design - Material - Processo*

Antes da escolha do material e o estabelecimento das condições de impressão da peça desejada, que configura o processo de impressão, é necessário realizar a modelagem da mesma. O design do produto, ou o seu molde, é feito digitalmente em um software de modelagem e edição. Este precisa ser bem pensado e estabelecido para que, com o domínio do material escolhido e do processo de impressão, o produto possa ser materializado de maneira eficiente e efetiva.

#### 3.3.1 Implementação de um projeto 3D

Um modelo tridimensional (3D) é uma representação de um objeto criada por meio de um software do tipo CAD. Esses softwares utilizam expressões algébricas e geométricas avançadas para reproduzir graficamente essa representação em um modelo computacional 3D (VAUGHAN, 2012).

A implementação de um projeto tridimensional por meio desses softwares exige um alto nível técnico, pois demanda horas de prática para compreender todas as ferramentas e usar o software em sua plenitude. Dentre os softwares livres notáveis, podemos citar o *Blender* (ROOSENDAL, 2024), *Meshmixer* (WALKER, 2024), *Tinkercad* (BACKMAN, 2024) e o *FreeCAD* (RIEGEL, 2002). Alguns exemplos de softwares proprietários incluem o *Autodesk Inventor*, *SketchUp* e *Solidworks*.

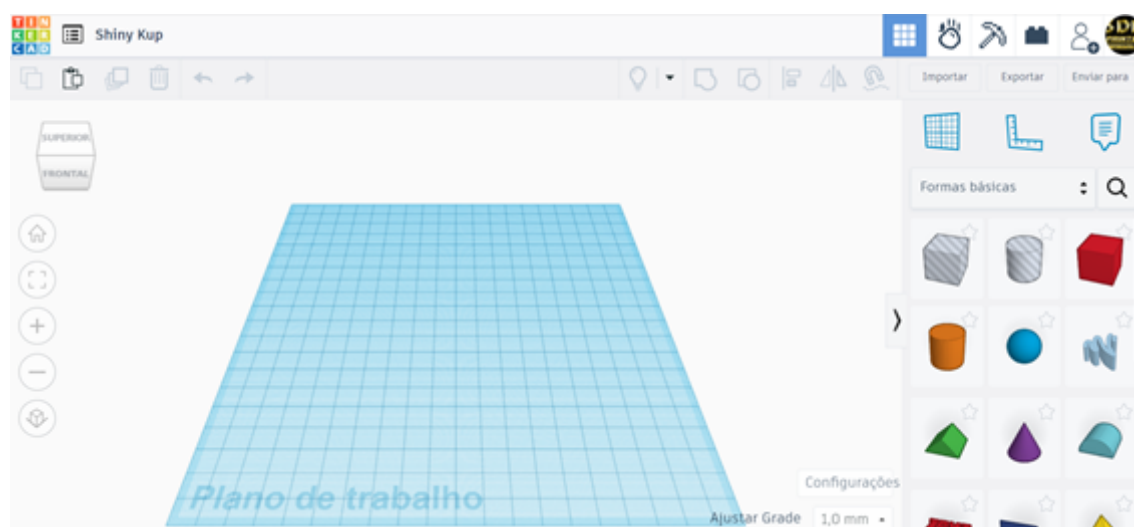
Os arquivos fornecidos pelos softwares de implementação de projetos 3D são vetorizados, o que permite que os projetos possam ser modificados em qualquer escala sem perda de qualidade. Os formatos de arquivo mais comuns são: *.STL* (*Standard Tessellation Language*), *.OBJ* (*Object File Wavefront 3D*) e *.SVG* (*Scalable Vector Graphics*).

Dentre os softwares de modelagem gratuitos vale a pena mencionar o *Tinkercad*, pois este, além de permitir a criação de modelos 3D, também possibilita a edição de modelos existentes. Adicionalmente, o site em que o *Tinkercad* é disponibilizado fornece opções educacionais interativas, com salas de aula para uso de professores, galerias, projetos, blog, tutoriais e outros recursos (BACKMAN, 2024).

Para demonstrar a produção de um modelo 3D utilizaremos o software *Tinkercad* devido à sua facilidade de uso para usuários com pouco conhecimento técnico, além das vantagens educacionais que o mesmo oferece. Neste software a modelagem é baseada em formas geométricas com opções de inclusão ou exclusão. Isso significa que as formas podem ter características “sólidas” ou contínuas, em que são adicionadas (inclusão) para a construção do modelo, ou características descontínuas, como orifícios ou cavidades produzidas pela exclusão de parte do modelo principal.

Na página inicial do *Tinkercad* são exibidos o plano de trabalho para a visualização do projeto e as ferramentas de produção para a elaboração do mesmo, incluindo formas básicas, formas pré-definidas e formas criadas pelo próprio usuário, conforme mostrado na figura 7. No primeiro acesso o site oferece um tour guiado com um tutorial das funções disponíveis.

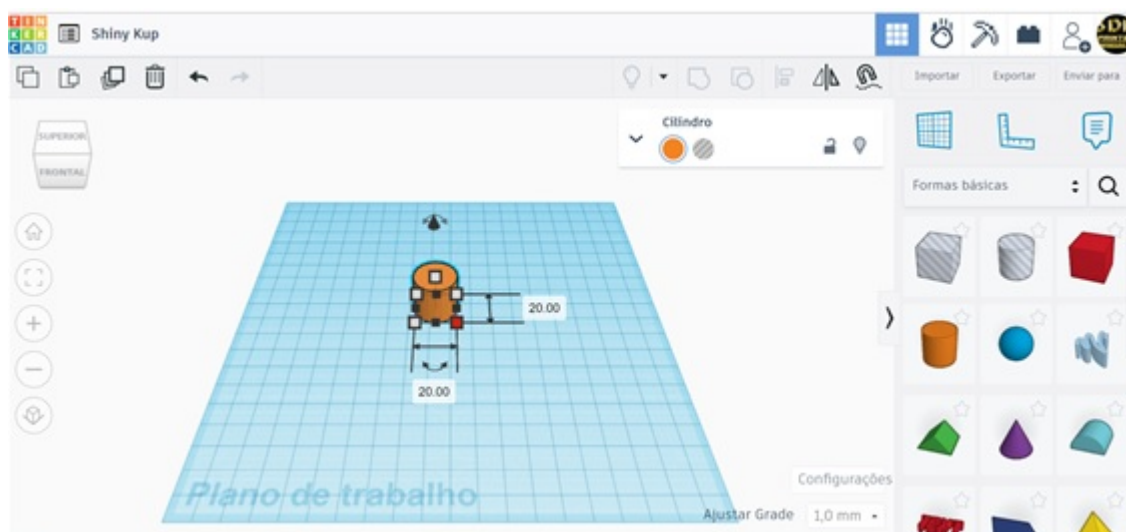
Figura 7 – Captura de tela mostrando o plano de trabalho do *Tinkercad*, com as formas geométricas disponíveis para a criação ou formatação de modelos 3D à direita. As formas sólidas são coloridas e as formas descontínuas para a realização de orifícios são hachuradas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para exemplificar a funcionalidade do software criamos um chaveiro com formato de maçã. Para isso, iniciamos o projeto adicionando-se uma forma cilíndrica ao plano de trabalho. O tamanho padrão de uma forma adicionada possui dimensões de  $(20 \times 20 \times 20)$  mm. Ao clicar nos quadrados brancos localizados nos cantos da forma geométrica é possível alterar o tamanho da mesma, como indicado na figura 8.

Figura 8 – Plano de trabalho do *Tinkercad* com um cilindro no centro destacando as suas dimensões em milímetros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

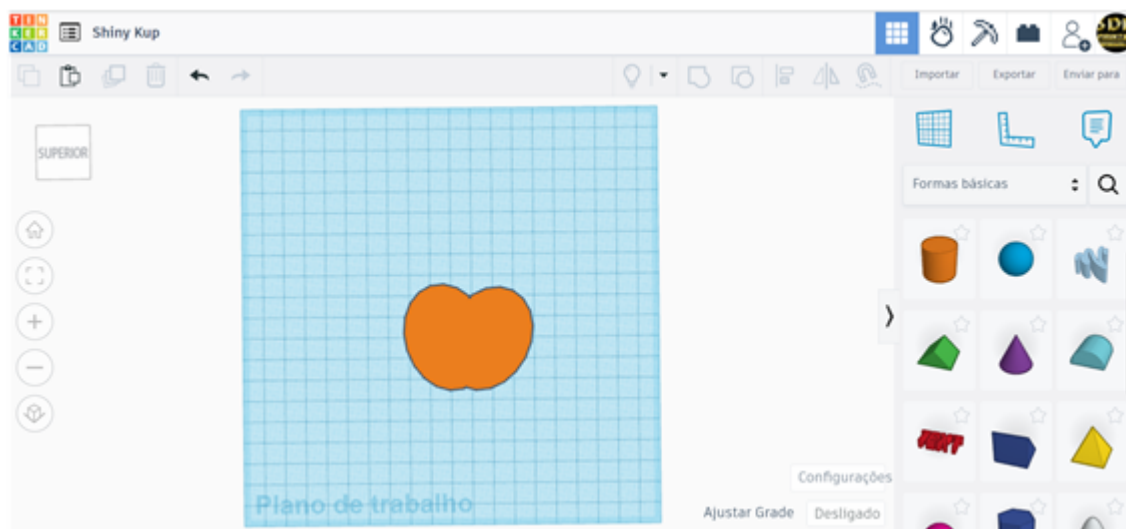
Para que a forma geométrica adquira o formato de maçã modificamos suas dimensões para  $(38 \times 49 \times 10)$ mm. Adicionalmente, é necessário duplicar a forma e rotacionar cada uma delas em um ângulo de  $22,5^\circ$  em relação à vertical e em direções opostas. Em seguida, as duas formas são unidas e agrupadas para a obtenção de uma única peça com o formato desejado. Para realizar o agrupamento, basta selecionar as duas formas e clicar em agrupar. Após esse procedimento já é possível identificar de maneira bem definida o formato de uma maçã plana, como mostrado na figura 9.

Na sequência, utilizamos a ferramenta de desenho *scribe* para fazer o caule da maçã no formato e cores desejados. Ao finalizar, posicionamos a nova forma na parte superior da maçã e agrupamos as duas formas, como mostrado na figura 10. Para inserirmos a folha modificamos um modelo pronto com extensão *.STL* utilizando a opção de editar arquivo. Esse é um diferencial muito interessante do *Tinkercad*, usualmente não disponível em outros softwares.

A folha foi confeccionada a partir do modelo *Leaf Knob* (Botão de Folha) disponível no site *Thingiverse* (MAKERBOT, 2024). O arquivo é baixado de maneira compactada, no formato *.ZIP*. A extração do mesmo pode ser feita a partir de alguns softwares livres como o WinRAR<sup>1</sup>, por exemplo. Em seguida, basta importar o arquivo no plano de trabalho do *Tinkercad* em que a maçã está sendo produzida.

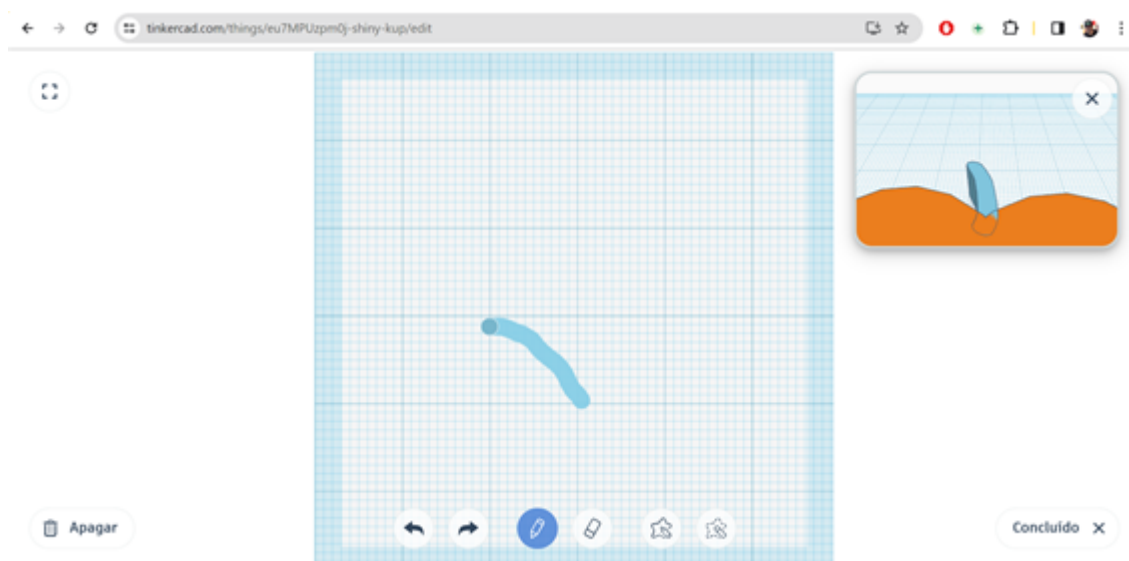
<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.win-rar.com/download.html?&L=9>>.

Figura 9 – Formato de uma maçã plana obtido após o agrupamento de dois cilindros modificados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 10 – Captura de tela mostrando a confecção do caule da maçã e o agrupamento das duas formas.



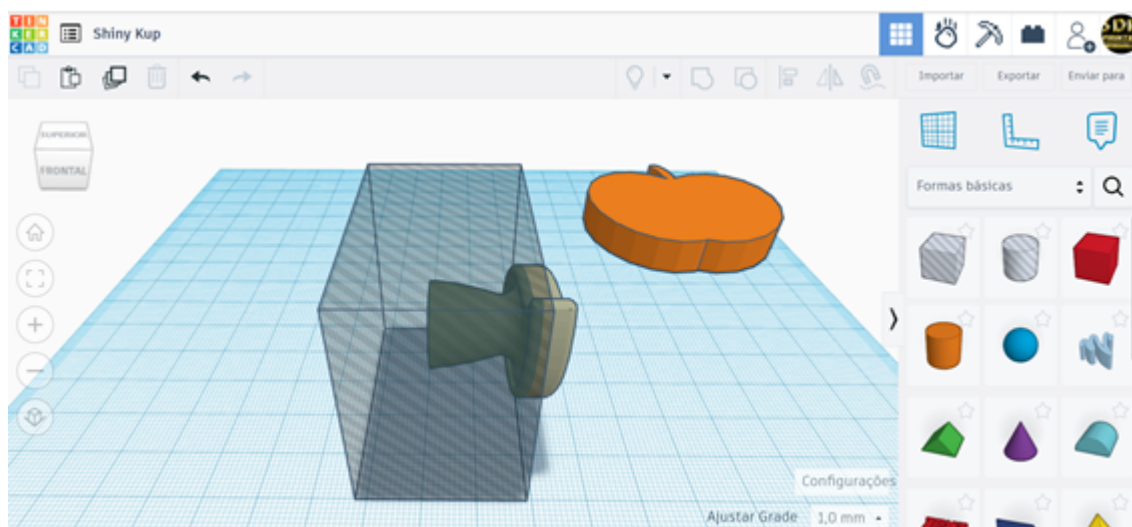
Fonte: Elaborada pelo autor.

Como o modelo escolhido possui o formato de um botão de folha é necessário modificá-lo para aproveitar apenas a parte da folha. Para isso, selecionamos um cubo na configuração furo para retirar a folha, como apresentado na figura 11.

Após a remoção do botão selecionamos a folha e a agrupamos com o restante do modelo da maçã. Como nosso projeto é de um chaveiro, é necessário adicionar, através do sólido tubo, a parte na qual a corrente ou a argola do chaveiro será presa. Na figura 12

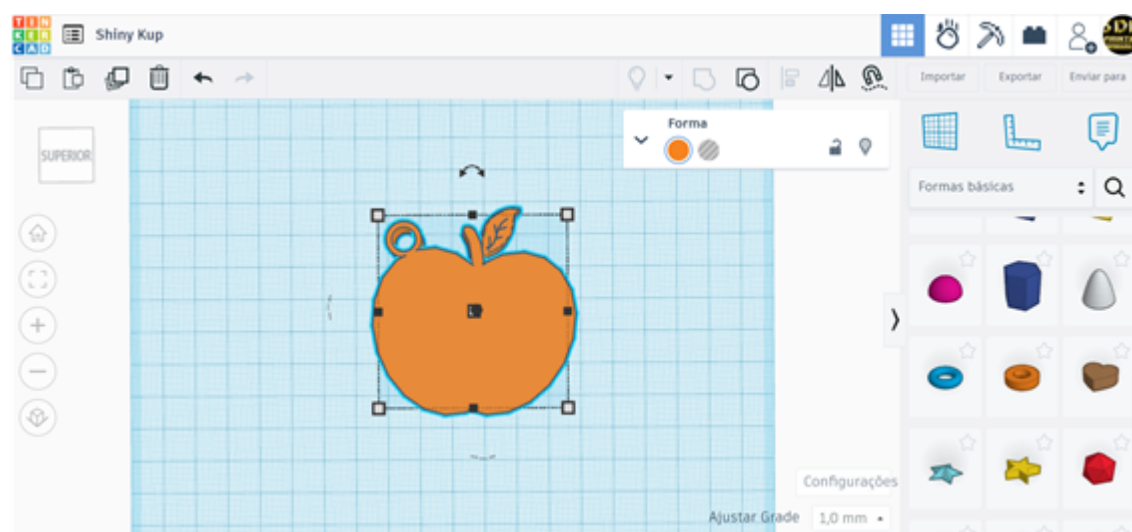
apresentamos o modelo finalizado, pronto para ser exportado no formato desejado para a realização do processo de fatiamento do modelo. O formato mais comum para isso é o .STL. O fatiamento é uma etapa anterior à impressão 3D e será apresentado na próxima seção.

Figura 11 – Captura de tela mostrando como foi feita a edição do arquivo *Leaf Knob* utilizando um paralelepípedo em configuração furo para realizar a exclusão de uma parte do modelo. O resultado foi a obtenção da folha para a nossa maçã.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Captura de tela mostrando o modelo finalizado do chaveiro no formato de maçã.



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3.2 Impressão de um modelo 3D

Após a criação do modelo 3D em um software de modelagem digital, como o *Tinkercad*, o próximo passo da impressão 3D é a preparação do mesmo para que a impressora possa fabricar a peça. Para isso é necessário utilizar softwares chamados de fatiadores 3D. Nestes, o modelo 3D é redefinido em inúmeras camadas, como se fosse literalmente fatiado, e convertido em uma linguagem de máquina, também conhecida como *G-Code* ou Código-G. Essa linguagem de programação é o que orienta a impressora no processo de construção da peça, como as coordenadas para a deposição do material, a altura das camadas, temperatura, velocidade de impressão, a porcentagem de preenchimento da peça, entre outros. Os fatiadores gratuitos mais utilizados no mercado são o *Cura 3D*<sup>2</sup> e o *Slic3r*<sup>3</sup>.

O *Cura 3D*, também conhecido como *Ultimaker Cura*, por ter sido desenvolvido pela empresa de fabricação de impressoras 3D Ultimaker, é um software de código aberto amplamente utilizado por profissionais e iniciantes em todo o mundo. Por ser de código aberto, este permite que qualquer pessoa possa modificar os seus perfis pré-definidos e compartilhá-los. Isso é uma vantagem significativa para quem está iniciando trabalhos de impressão 3D.

O *Slic3r* também é um software de código aberto e possui a vantagem de ser operacional sem demandar muito poder de processamento computacional. Adicionalmente, este possui recursos que permitem verificar como a impressão será afetada com relação a alterações de configuração feitas no projeto. Este fatiador pode não ser uma boa opção para os iniciantes, pois é necessário possuir conhecimentos específicos para a sua operação.

Além dos fatiadores *Cura 3D* e *Slic3r* vale a pena citar o software *Simplify3D*<sup>4</sup>. Apesar da desvantagem do *Simplify3D* ser um software licenciado, este é amplamente utilizado pela sua diversidade de recursos para a realização de acabamentos, fabricação das peças, dentre outras funcionalidades.

Para realizar o fatiamento do nosso modelo 3D no formato de maça utilizamos o fatiador *Cura 3D*. Para abrir o arquivo .STL gerado pelo *Tinkercad* é necessário executar a linha de comando:

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>>.

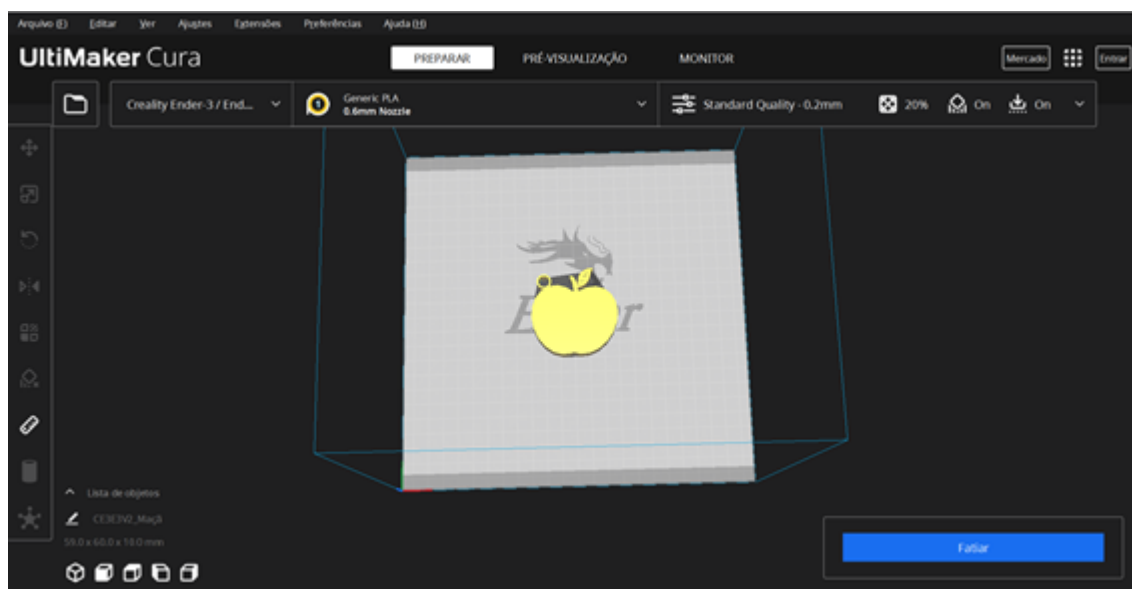
<sup>3</sup> Disponível em: <<https://slic3r.org/>>.

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.simplify3d.com/>>.

Arquivo → Abrir Arquivo → Pasta do Arquivo

Na figura 13 mostramos o arquivo aberto.

Figura 13 – Captura de tela mostrando o modelo 3D no formato de maçã aberto no software *Cura 3D* para a realização do processo de fatiamento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O fatiamento do nosso modelo 3D foi feito a partir das seguintes considerações:

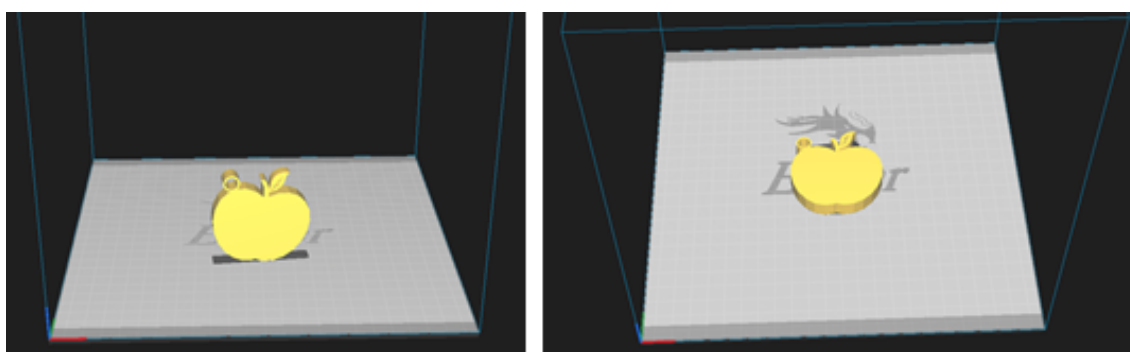
- Orientação do modelo para impressão;
- Aderência entre a peça e a mesa de impressão;
- Nível de detalhamento e/ou precisão da peça;
- Resistência mecânica necessária.

A orientação do modelo, ou sua posição na mesa de impressão, deve ser planejada conforme o resultado e o tempo de impressão desejados. Se considerarmos a impressão sobre uma superfície lisa, como o vidro, por exemplo, a primeira camada de impressão, que estará diretamente em contato com o vidro, ficará mais lisa. Se este tipo de acabamento é desejado para a face frontal da peça, é recomendável que esta fique voltada para a mesa de impressão.

A orientação da peça sobre a mesa também influenciará no tempo de impressão. A figura 14 mostra duas diferentes orientações. Se considerarmos a maçã plana na posição

vertical, como mostrado à esquerda da figura 14, o tempo total de impressão estimado é de 1 hora e 32 minutos. Se a mesma estiver apoiada totalmente sobre a mesa de impressão, conforme a figura 14 à direita, o tempo total é de 53 minutos. Se o operador da impressora desejar fabricar várias peças iguais com acabamento liso na face frontal do chaveiro é mais vantajoso optar pela segunda opção de orientação.

Figura 14 – Captura de tela mostrando duas orientações possíveis para o modelo 3D no formato de maçã em relação à mesa de impressão. Na posição mostrada à esquerda o tempo total de impressão é de 1 hora e 32 minutos, enquanto que na posição à direita o tempo é reduzido para 53 minutos.



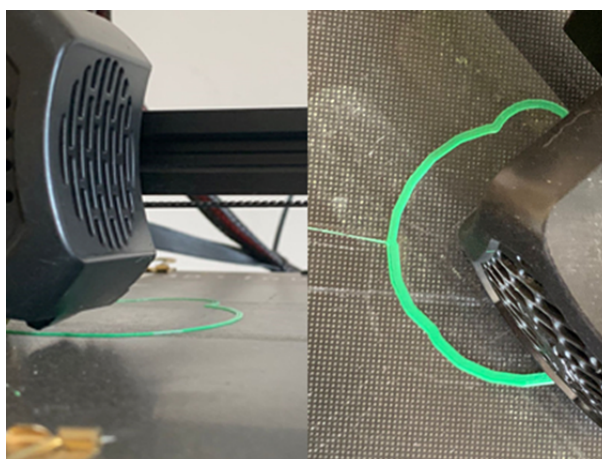
Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a escolha da orientação da peça é necessário analisar a área que a mesma irá ocupar na mesa de impressão. Isso é importante para definir o método de aderência do material utilizado à mesa, pois se o filamento não aderir completamente à camada que forma a base da peça, podem ocorrer diversos problemas e comprometer o resultado final da peça gerando desperdício de material e tempo. Essa preparação é fundamental para ajudar a melhorar o processo de impressão porque nem sempre os problemas de aderência são notados ou acontecem já no início da impressão 3D. Para evitar tais problemas existem os recursos *Raft 3D*, *Brim* e *Skirt*.

O *Raft 3D* consiste de uma camada horizontal descartável depositada sob a peça que se deseja imprimir. Ela é utilizada para evitar o contato direto da peça com a mesa de impressão. Além de evitar problemas de aderência, falhas de impressão e melhorar a estabilidade de modelos com apoios pequenos, este método é muito útil para evitar deformações e empenamentos da peça, uma vez que a área da superfície do *Raft* é maior do que a base da peça. Esta técnica é utilizada principalmente para impressão com filamentos ABS (Acrlonitrila Butadieno Estireno). A remoção do *Raft* e o acabamento áspero na face inferior da peça são as principais desvantagens de utilizar este método.

O *Brim* é um método que consiste em depositar uma borda em torno da primeira camada do modelo, como se fosse a aba de um chapéu. Esta borda, além de melhorar a aderência da peça na mesa de impressão, também tem a função de impedir o seu empenamento, principalmente em impressões com filamentos ABS. Uma vez que o *Brim* não é depositado na região sob a peça, como o *Raft 3D*, este pode ser impresso mais rapidamente utilizando uma quantidade menor de material. Como a borda do *Brim* apenas toca a parte externa da peça, este pode oferecer a possibilidade de se obter um melhor acabamento para a peça. Contudo, assim como no *Raft*, a remoção do *Brim* pode danificar a peça. Na figura 15 apresentamos imagens da produção do método de aderência *Brim* para auxiliar na fixação do modelo a ser impresso. O material de impressão utilizado foi o PLA.

Figura 15 – Imagens da deposição de uma borda *Brim* utilizando PLA para melhorar as condições de aderência do modelo a ser impresso.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O método *Skirt* é o mais comumente utilizado na impressão 3D. Este consiste em depositar um contorno em volta da peça, mas sem estabelecer qualquer contato com a mesma. A finalidade principal do *Skirt* é regular o fluxo de filamento e verificar se o equipamento está funcionando de maneira adequada. Ou seja, esta técnica é preventiva, de maneira que a impressão pode ser cancelada antes mesmo da peça começar a ser fabricada para que os ajustes necessários sejam realizados. Portanto, é aconselhável que este método seja utilizado em toda impressão.

Além destas três opções é possível evitar problemas de aderência entre a peça e a mesa de impressão utilizando-se adesivos líquidos ou outros materiais alternativos para a

mesma finalidade, como cola bastão, fixador de cabelo, entre outros.

O método de aderência também é útil para a realização do ajuste fino da altura do bico injetor, ou seja, o seu deslocamento no eixo-Z, para que o material seja depositado de maneira adequada. Este ajuste também é conhecido como *Z Offset* ou *Babystep*, dependendo do fabricante. Para a impressão do nosso modelo a altura do bico injetor foi ajustada em 0,01 mm.

Para avaliar o nível de detalhamento da peça a ser impressa é necessário ter clareza sobre as suas dimensões. Em modelos em que as superfícies são curvadas, ou que possua pequenos detalhes, é necessário que a altura das camadas a serem depositadas sejam menores, com tamanhos em torno de 0,12 a 0,20 mm. Peças muito detalhadas levam mais tempo para serem impressas, pois mais camadas deverão ser depositadas. Por outro lado, se o modelo é constituído de superfícies planas e partes retas, pode-se aumentar a altura das camadas. Isso irá diminuir o tempo de impressão, mas deve-se tomar cuidado para não haver perda na definição das peças, com a apresentação visível das camadas depositadas.

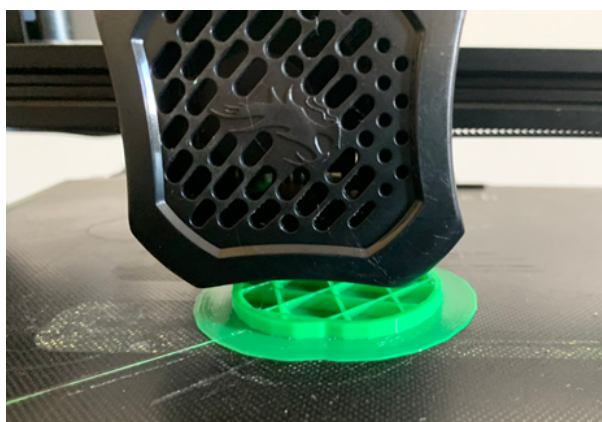
O parâmetro que define a resistência mecânica da peça é o preenchimento. Esta propriedade deve ser avaliada de acordo com a utilização pretendida para a peça. Se a mesma for submetida a diferentes tipos de estresse ou deformação mecânica é necessário aumentar a quantidade de material para o preenchimento da peça. Este procedimento aumentará o tempo de impressão e o consumo de material. Na figura 16 mostramos o nosso modelo sendo impresso com um preenchimento em padrão cúbico. Note que o método de aderência utilizado foi o *Brim*.

Na tabela 2 apresentamos os parâmetros utilizados para realizar a impressão do nosso modelo em formato de maçã em uma impressora 3D CE-3. O tempo total de impressão foi de 43 minutos e o resultado final é apresentado na figura 17.

### 3.3.3 Materiais utilizados na impressão 3D

Os materiais mais amplamente utilizados na impressão 3D constituem uma classe de termoplásticos, por serem materiais versáteis, duráveis e de baixo custo. Suas propriedades físicas e químicas permitem que esses materiais sejam utilizados em uma variedade de aplicações.

Figura 16 – Foto mostrando o modelo 3D no formato de maçã sendo impresso considerando um preenchimento em formato cúbico e o método de aderência *Brim*. O material de impressão utilizado foi o PLA.



Fonte: Elaborada pelo autor.

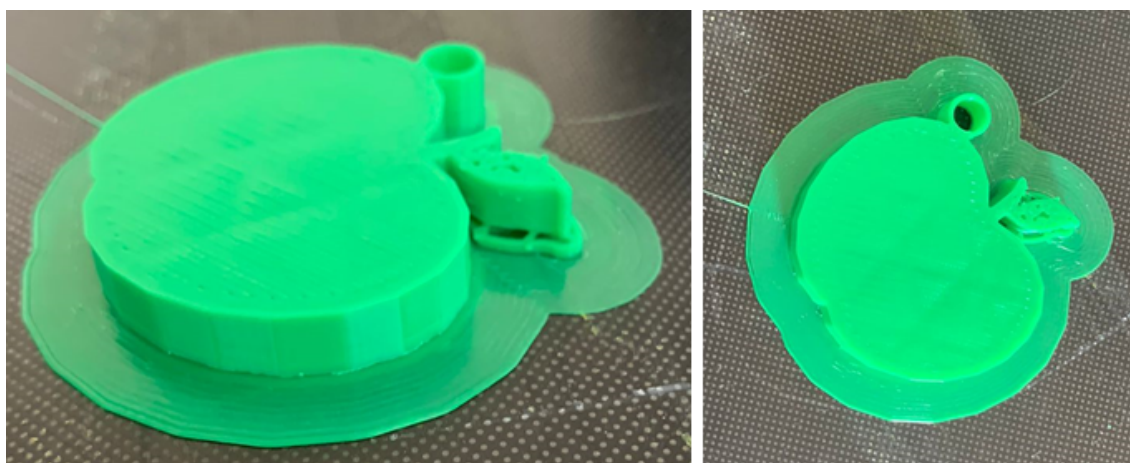
Tabela 2 – Parâmetros utilizados para a impressão do chaveiro em formato de maçã em uma impressora 3D CE-3, utilizado como exemplo de projeto 3D neste trabalho.

Material de impressão	PLA
Bico de impressão	0,8 mm
Altura da camada	0,12 mm
Temperatura de impressão	215°C
Densidade de preenchimento	20%
Padrão de preenchimento	Cúbico
Velocidade de impressão	70 mm/s
Distância de retração	7,0 mm
Velocidade de retração	50 mm/s
Velocidade da ventoinha	100%
Estrutura de suporte	Normal
Ângulo para caracterizar seções pendentes	73°
Densidade de suporte	20%
Método de aderência	<i>Brim</i>

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de impressão 3D, a indústria vem inovando e avançando além dos polímeros tradicionais com a fabricação de novos materiais termoplásticos à base de fibras vegetais e compostos metálicos. Isso tem aumentado consideravelmente a possibilidade de criação de novos produtos, que vão desde peças funcionais e protótipos até medicamentos e alimentos. Na tabela 3 são apresentados alguns destes materiais.

Figura 17 – Fotos mostrando o chaveiro no formato de maçã pronto feito com filamento PLA. O acabamento final é dado com a remoção da borda *Brim* e o lixamento da peça para a remoção de excessos do material de impressão.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Lista de alguns materiais utilizados na impressão 3D.

<b>Materiais comuns</b>	<b>Plásticos para engenharia e indústria</b>	<b>Resinas</b>	<b>Ligas Metálicas</b>
ABS	PC	Calcináveis	Aço inoxidável
PLA	Nylon	Fotossensíveis	Alumínio
PETG	PC-ABS	Epóxi	Titânio
ASA	PC-ISSO	Materiais de borracha	Níquel
	PSU		Cobalto-cromo

Fonte: Elaborada pelo autor.

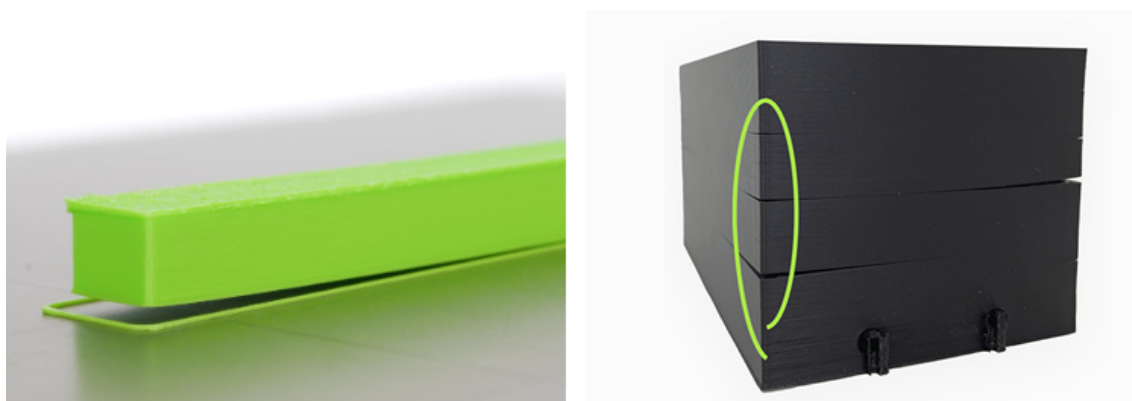
Como o foco do nosso trabalho é discutir as possibilidades do uso de uma impressora 3D para a fabricação de materiais didáticos, vamos nos limitar à descrição dos materiais mais comumente utilizados no Brasil por operadores “hobbystas” em impressoras com tecnologia de Modelagem por Deposição Fundida (FDM), como a CE-3, o que inclui os filamentos ABS, PLA e PETG.

O material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) é um polímero à base de petróleo e é um dos termoplásticos mais viáveis economicamente. Ele é um material rígido, estável termicamente, resistente a impactos mecânicos e ao desgaste, possui estabilidade dimensional, resistência química, é um isolante elétrico e pode ser encontrado no mercado em uma grande variedade de cores. Este é o mesmo plástico utilizado em peças de brinquedos como o LEGO, de automóveis, eletrodoméstico e forma a base de quase todos os materiais plásticos que utilizamos.

Apesar de não trazer nenhum risco à saúde a temperatura ambiente, durante a impressão o ABS possui algumas desvantagens. Como ele é derivado do petróleo, a fusão do material provoca a liberação de substâncias tóxicas com cheiro forte. Devido a isso, é muito importante que a impressora 3D seja operada em uma área ventilada.

A temperatura de trabalho para a impressão 3D com filamentos ABS varia entre 225 a 240°C, dependendo do fabricante. Para obtenção de um bom resultado de impressão é mandatório que a mesa de impressão seja aquecida durante o processamento, entre 90 e 120°C, pois este é um material de difícil aderência. Dentre as opções apresentadas na seção anterior, o problema de aderência entre a peça e a mesa de impressão para este material pode ser resolvido utilizando-se adesivos líquidos. Esse procedimento pode evitar o empenamento da peça (*warping*), veja figura 18 à esquerda. Variações de temperatura, alta umidade e lacunas nas camadas da impressão também podem dificultar a impressão com o uso de filamentos ABS, pois isto pode comprometer a aderência entre as camadas da peça, provocando um defeito chamado de delaminação ou rachadura (*cracking*), conforme mostrado à direita da figura 18.

Figura 18 – Possíveis defeitos que podem ocorrer ao utilizar filamentos ABS, caso as devidas precauções não sejam tomadas durante a impressão 3D. À esquerda mostramos o defeito conhecido como *warping* decorrente do problema de aderência entre a mesa e o material de impressão e à direita o defeito de rachadura da peça, causado por variações na temperatura, alta umidade ou lacunas nas camadas da impressão durante a fabricação da peça.

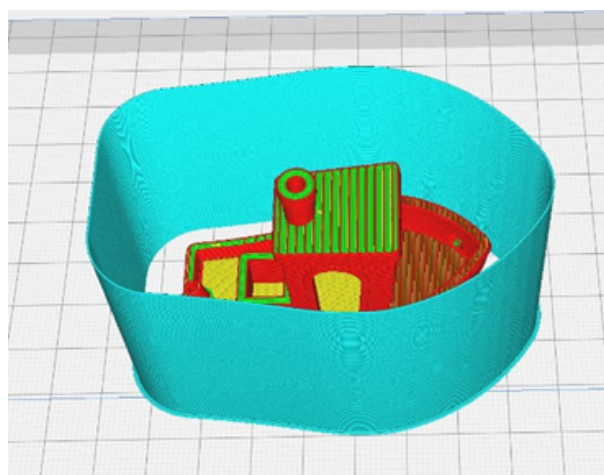


Fonte: A foto à esquerda foi extraída da referência (IMPRESSORAS3D.COM, 2021) e a da direita, da referência (PRUSA, 2024).

É possível notar que a impressão com filamentos ABS pode ser um pouco problemática para ser realizada em casa, pois a impressora precisa estar instalada em locais arejados para evitar o acúmulo de substâncias tóxicas no ar provenientes do derretimento

do filamento. Por outro lado, as correntes de ar podem causar variações de temperatura durante o processamento de fabricação podendo causar defeitos na peça, como rachaduras. Para contornar esse problema, a peça pode ser impressa utilizando-se uma técnica conhecida como *Draft Shield*, que consiste em construir uma barreira, ou escudo, em volta da peça enquanto a mesma é impressa. Isso pode contribuir para evitar variações significativas da temperatura da peça e prevenir que correntes de ar atinjam a mesma. Na figura 19 apresentamos um projeto 3D com o *Draft Shield*.

Figura 19 – Projeto 3D desenvolvido com *Draft Shield* para impressão com filamentos ABS.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O PLA (ácido poliláctico) é um material biodegradável obtido de fontes renováveis, como o milho ou a cana de açúcar. É o material de maior utilização no mercado de impressão 3D no Brasil por apresentar uma maior facilidade de impressão, variedade de cores sólidas e translúcidas e facilidade de aquisição. Como é um material de fácil impressão e com fácil acesso à matéria prima para sua fabricação, o PLA se tornou o material base para o desenvolvimento de materiais com melhores propriedades através de processos de dopagem.

As impressões com filamentos de PLA podem ser conduzidas com temperaturas entre 180 e 240°C. Por exigir um tempo maior de resfriamento é necessário que as impressoras otimizadas para trabalhar com esse material tenham uma ventoinha direcional para agilizar o seu resfriamento e permitir a deposição da próxima camada. Apesar de indicações sobre a não necessidade de uma mesa aquecida para a impressão, recomendamos que isto seja feito com uma temperatura entre 50 e 70°C para melhorar a aderência do

material. Por possuir uma boa aderência entre as camadas, as impressões com PLA podem ser conduzidas em locais abertos sem que a peça apresente empenamento, sendo muito bom para a impressão de peças grandes, e também em locais fechados, pois o PLA não emite cheiro forte ou gases tóxicos. Adicionalmente, o PLA permite a fabricação de peças mais detalhadas, brilhantes e com melhor resolução do que as feitas com ABS. Contudo, as peças impressas com PLA são mais frágeis, possuem baixa resistência à variações de temperatura e raios-UV, não sendo adequado para aplicações externas.

Os polímeros PET (Politereftalato de Tereftalato de Etileno) são amplamente utilizados para a produção de vários recipientes para bebidas, como as conhecidas garrafas PET de refrigerante. O PETG possui glicol, o que o torna mais resistente e menos agressivo ao meio ambiente que o PET. Adicionalmente, o PETG possui melhor plasticidade e um ponto de fusão menor, o que facilita a utilização deste material para a impressão 3D. Apesar deste possuir propriedades parecidas com o ABS, o PETG possui melhor aderência e quase não se deforma durante a impressão, além de não emitir gases tóxicos. Por ser muito resistente, ele é ideal para a impressão de peças mecânicas, de alta qualidade e robustez para absorção de impactos. Sua temperatura de trabalho varia de 235 a 255°C e é recomendável que a mesa de impressão seja aquecida em torno de 80 a 85°C. Portanto, o PETG possui a facilidade de impressão do PLA e a boa resistência mecânica e térmica do ABS. Pelas características apresentadas, o PETG vem ganhando cada vez mais espaço na impressão 3D no Brasil.

Diante do exposto, pode surgir a seguinte pergunta: Qual é o melhor filamento, ou o mais indicado, para iniciar os trabalhos de impressão 3D, o ABS, o PLA ou o PETG?

O filamento ABS é mais indicado para a fabricação de peças que precisam de boa resistência mecânica, principalmente peças pequenas, para peças que precisam de um acabamento posterior, como lixamento, ou que serão feitas para uso externo, ficando expostas ao sol ou ambientes mais quentes.

Para os usuários iniciais o PLA pode ser uma opção mais interessante, por ser mais fácil de imprimir, mas também é mais difícil de dar um acabamento após a impressão se for necessário, por possuir uma maior dureza superficial. O PLA é mais recomendado para peças que sofrerão desgaste por fricção, para impressão de peças grandes e demonstrativas com alta qualidade superficial sem a necessidade de acabamento, e para peças que serão

submetidas à cargas estáticas, ou seja, para serem utilizadas como suporte. Se compararmos esta última propriedade com o ABS e o PETG, o PLA é o material que suporta maior carga estática. Contudo, por apresentar um regime de deformação elástica pequeno, quando a peça chega no seu limite de carga, ela quebra rapidamente. Com relação ao custo-benefício, o PLA é comparativamente mais barato e é ecológico.

Já o PETG é mais indicado para a fabricação de peças mais flexíveis, com alta resistência mecânica e química, resistência térmica aproximada de até  $85^{\circ}C$  e peças que necessitam de esterilização. Este material é uma excelente opção para fabricação de recipientes de alimentos e máscaras de proteção contra o Covid-19, por exemplo.

Portanto, mesmo para iniciantes na impressão 3D, é essencial avaliar a finalidade da peça para escolher o material mais adequado para cada situação. Para a produção de materiais didáticos voltados ao uso em sala de aula, recomendamos a utilização de filamentos de PLA, pois é um material biodegradável, não tóxico, de fácil impressão e amplamente disponível no mercado em diversas cores, o que pode proporcionar maior versatilidade visual ao trabalho do professor.

## 4 Impressão de materiais didáticos para aplicação em sala de aula

Nesta seção apresentamos 3 exemplos de materiais impressos para o ensino de tópicos de Física com foco dado para o ensino básico.

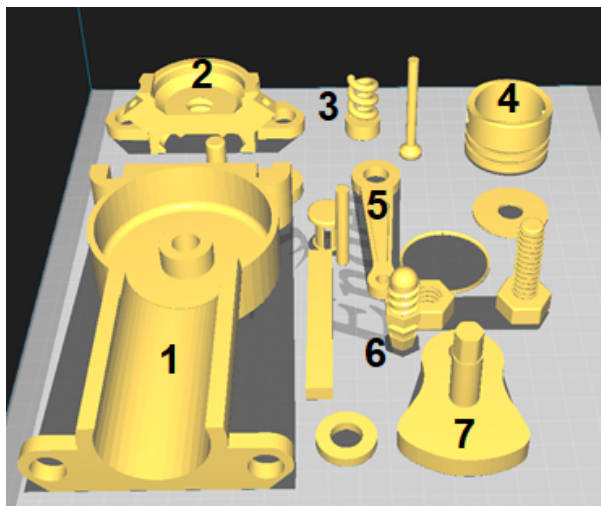
Os projetos 3D foram diretamente obtidos do site *Thingiverse* (MAKERBOT, 2024) e não necessitam de nenhuma modificação ou adaptação, sendo apresentados aqui em sua forma original.

Para cada modelo selecionamos os parâmetros de impressão de acordo com o que foi apresentado nas seções anteriores. Conforme sugerido, todas as peças foram impressas com filamentos de PLA. O diâmetro do bico considerado para a impressão das peças foi de 0,4 mm, que é o que a maioria dos usuários utilizam. Para diâmetros menores do que este, o tempo de impressão pode aumentar consideravelmente e para bicos com diâmetros maiores, pode ocorrer a perda de resolução das peças. Adicionalmente, nós apresentamos o tempo de impressão, a quantidade de material consumido e uma estimativa do custo de produção dos materiais didáticos para o professor avaliar a viabilidade de impressão. Para este último consideramos o valor médio de mercado do quilograma de PLA, dado por R\$ 100,00, e o valor do quilowatt-hora (kWh) para o estado de São Paulo, em torno de R\$ 0,89, quando este trabalho foi desenvolvido em 2024.

Para realizar o fatiamento dos modelos 3D optamos por uma orientação das peças que minimizasse a utilização de suportes para a impressão, na tentativa de diminuir o tempo de fabricação das peças e o desperdício de material para otimizar o custo de impressão. O professor irá perceber que algumas peças, principalmente as menores, podem apresentar rebarbas e fiapos devido a isso. Estas podem ser facilmente removidas com um acabamento adequado.

O primeiro modelo físico selecionado é um motor monocilíndrico de combustão interna de 4 tempos. Este é descrito no *Thingiverse* como *4-stroke engine model* (ROGOV, 2018). Na figura 20 apresentamos uma imagem obtida do *Cura 3D* de todas as peças que devem ser impressas.

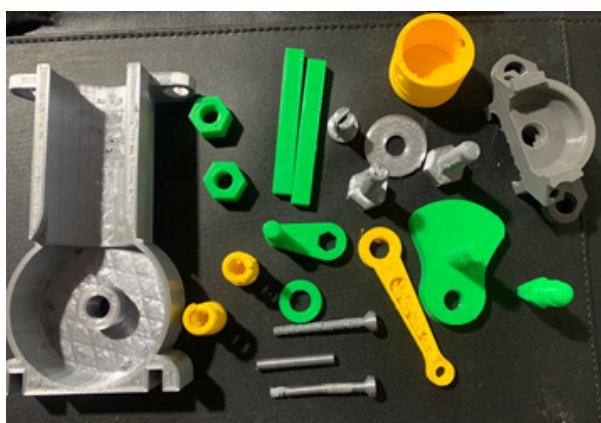
Figura 20 – Projeto 3D de um motor monocilíndrico de quatro tempos mostrando em 1) o cilindro, 2) o cabeçote, 3) as peças para as válvulas de admissão e escape, 4) e 5) o êmbolo e a haste para formar o pistão, 6) a vela de ignição e 7) o virabrequim.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para evitar a formação de teias é interessante não imprimir todas as peças de uma única vez. Na figura 21 apresentamos todas as peças impressas, prontas para a montagem do modelo de um motor de 4 tempos.

Figura 21 – Foto mostrando todas as peças do modelo físico 3D de um motor de 4 tempos, prontas para a montagem.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela 4 apresentamos os parâmetros utilizados para a impressão das peças na impressora 3D Creality Ender-3 (CE-3) utilizada neste trabalho.

Para entender melhor a funcionalidade de cada peça do modelo, vamos explicar detalhadamente como montar cada parte.

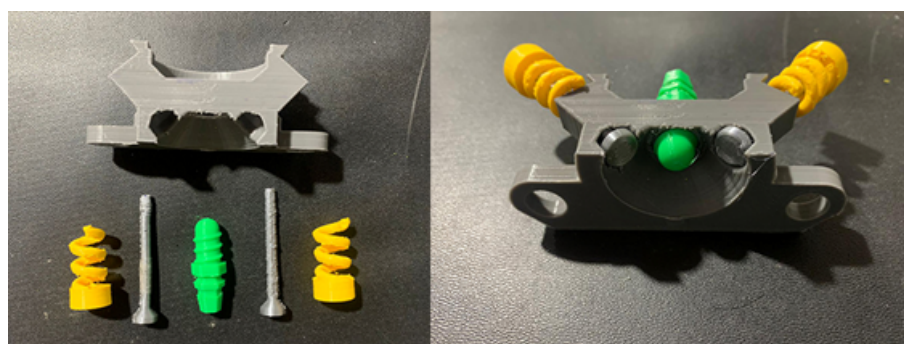
Tabela 4 – Parâmetros utilizados para a impressão do modelo físico 3D de um motor de 4 tempos e o custo estimado da impressão, utilizando a impressora 3D CE-3.

Material de impressão	PLA
Diâmetro do bico	0,4 mm
Altura da camada	0,2 mm
Densidade de preenchimento	30%
Velocidade de impressão	50 mm/s
Necessidade de suporte	Sim
Tempo de impressão	26 h
Quantidade de material	167 g (55,83 m)
Custo de produção	R\$ 40,20

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na figura 22 apresentamos a montagem do cabeçote, também conhecido como a cabeça do motor. Esta é a parte de cima da câmara de combustão e é onde estão localizadas as válvulas de admissão e de escape e a vela de ignição. Note que até as molas das válvulas (em amarelo) podem ser impressas de maneira funcional. Basta apertar as mesmas para representar o efeito de abertura e fechamento das válvulas.

Figura 22 – À esquerda mostramos uma foto das peças do cabeçote do modelo 3D do motor de 4 tempos. As duas haletas cinzas junto com as molas amarelas formam as válvulas de admissão e de escape e a peça verde representa a vela de ignição. À direita é mostrada uma foto do cabeçote montado.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na figura 23 apresentamos todas as peças necessárias para a montagem do conjunto formado pelo cilindro, o pistão e o virabrequim e também aquelas utilizadas para dar movimentação para o sistema interno e sustentação para o modelo.

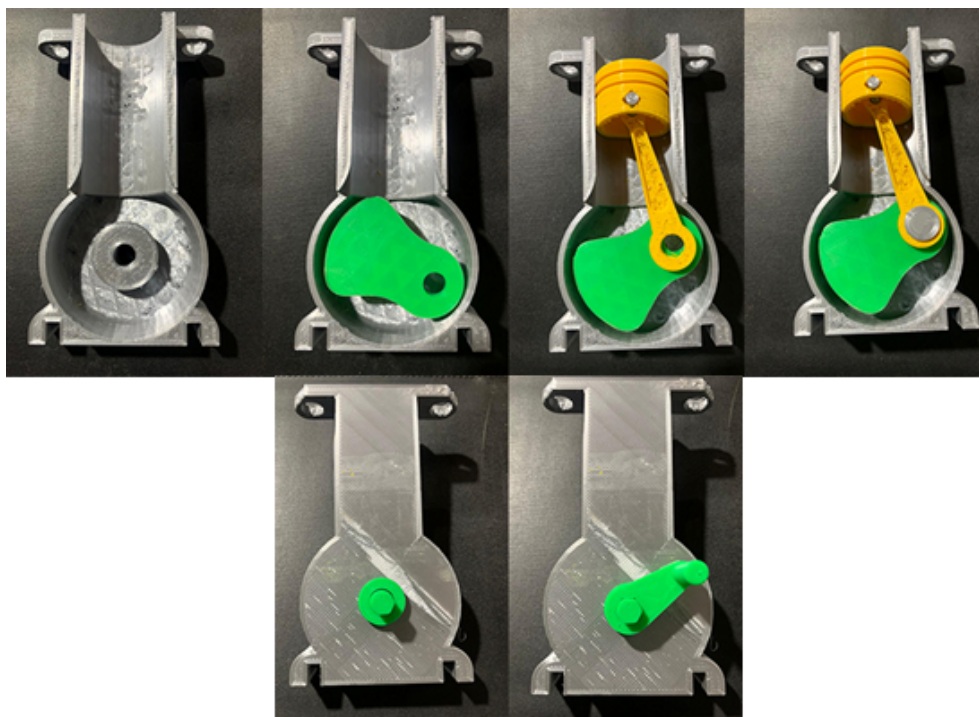
Para auxiliar o professor na montagem do modelo apresentamos na figura 24 uma sequência de fotos que mostra o passo a passo para o encaixe de todas as peças do mesmo.

Figura 23 – Foto de todas as peças utilizadas na montagem do restante do modelo 3D do motor de 4 tempos. A peça maior na cor cinza representa o cilindro (parte superior) e a câmara de óleo (parte inferior), as peças amarelas formarão o pistão, a peça maior na cor verde é o virabrequim, o pino, o parafuso e a arruela cinzas são os encaixes para fixar o cilindro no virabrequim, a manivela na cor verde é para dar mobilidade para o conjunto montado no interior do cilindro e as duas barras verdes são para dar sustentação ao modelo na posição vertical.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 – Sequência de fotos mostrando o passo a passo do encaixe das peças apresentadas na figura 23.

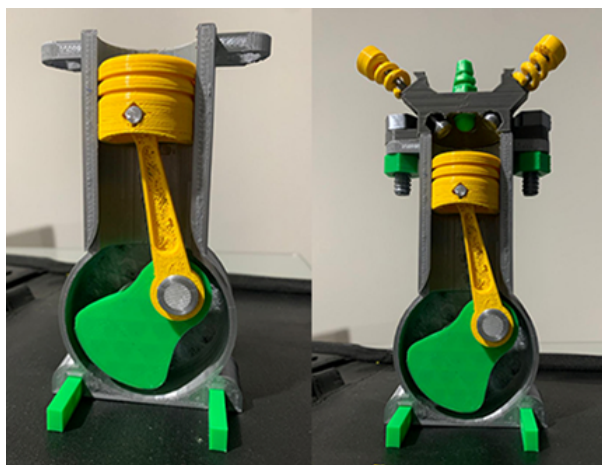


Fonte: Elaborada pelo autor.

Da esquerda para a direita na figura 24, posicionamos a arruela cinza no orifício da câmara de óleo e em seguida encaixamos o eixo do virabrequim no mesmo. O pistão é montado na sequência colocando-se o pino na parte superior para conectar o êmbolo na haste amarela e em seguida a mesma é encaixada no virabrequim com o parafuso cinza. A arruela verde é colocada na parte posterior do modelo no eixo do virabrequim, onde a manivela é encaixada para que o usuário possa mover o pistão para ilustrar os quatro tempos do motor.

A montagem é finalizada colocando-se as barras verdes nos dois encaixes inferiores do cilindro e fixando-se o cabeçote no cilindro com os dois parafusos e as porcas correspondentes, como mostrado na figura 25.

Figura 25 – Finalização da montagem do modelo 3D de um motor de 4 tempos, mostrando como deve ser feito o encaixe das duas barras de sustentação e a fixação do cabeçote no cilindro com os parafusos e porcas.

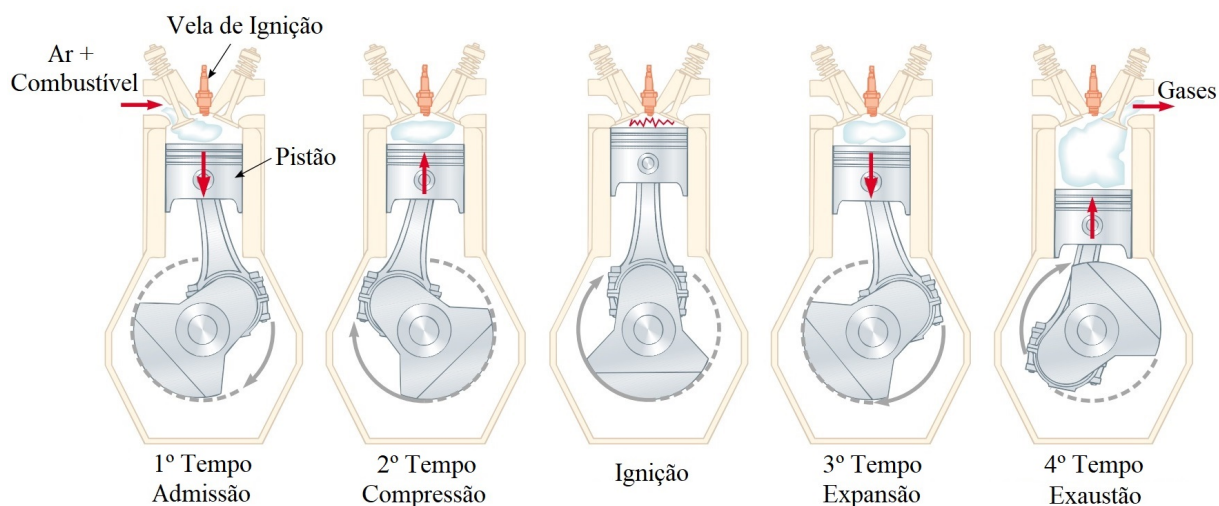


Fonte: Elaborada pelo autor.

Com o modelo impresso o professor de Física pode ilustrar de maneira bastante satisfatória todos os quatro tempos de um motor de combustão interna real. O *primeiro tempo* do motor ocorre quando o pistão desloca-se para baixo e a válvula de admissão é aberta. Neste processo a mistura ar-combustível entra na câmara de combustão. Quando o pistão sobe é iniciado o *segundo tempo*, o qual é caracterizado pela compressão da mistura ar-combustível. Ao chegar na sua posição mais alta, fazendo com que o volume da câmara de combustão seja mínimo, ocorre a ignição da mistura, que explode empurrando o pistão violentamente para baixo, iniciando o *terceiro tempo* do motor. A finalização deste processo é caracterizada pela abertura da válvula de exaustão, que ocorre quando o pistão atinge sua posição mais baixa fazendo com que os gases no cilindro sejam expelidos para a

atmosfera. Quando o pistão é movido para cima novamente é iniciado o *quarto ciclo*. Uma vez que a válvula de exaustão está aberta, todos os gases provenientes da combustão na câmara são expulsos para a atmosfera e o ciclo é reiniciado. Na figura 26 mostramos uma ilustração de como a sequência dos quatro tempos do motor podem ser reproduzidas com o modelo 3D impresso. Para simular a abertura das válvulas de admissão e exaustão, o professor precisa pressionar as molas amarelas posicionadas no cabeçote enquanto gira a manivela.

Figura 26 – Ilustração dos quatro tempos do motor de combustão interna para serem simulados com o modelo 3D impresso. As setas vermelhas indicam o movimento do pistão e cada tempo do motor.



Fonte: Figura adaptada de Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 680).

Além dos quatro tempos de um motor de combustão interna o professor pode utilizar o modelo 3D impresso para iniciar inúmeras discussões e introduzir conceitos de Termodinâmica para os estudantes analisarem e compreenderem, por exemplo, como são os ciclos termodinâmicos em máquinas térmicas, expansão e compressão de gases, processos isotérmicos, isobáricos, isovolumétricos e adiabáticos, calor e trabalho, diferentes modalidades de energia e processos de conversão, a primeira e a segunda leis da Termodinâmica, os princípios de funcionamento de um motor real, entre muitos outros (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2007; MATEAZZO, 2022).

O uso de modelos físicos interativos nas aulas de Física podem permitir que os estudantes visualizem os conceitos, os processos e os fenômenos que estão sendo discutidos de uma maneira representativa (ORNEK, 2008). Dessa forma, o modelo 3D do motor de 4 tempos impresso neste trabalho pode facilitar consideravelmente o ensino de conceitos

termodinâmicos, uma vez que o mesmo apresenta características físicas semelhantes às características físicas do sistema que está sendo modelado.

O segundo modelo físico selecionado como exemplo para aplicação em sala de aula é um carrinho tracionado com força elástica (*Rubberband Car 3D Design*). Este também foi obtido no *Thingiverse* (LEWANDOWSKI, 2016). Este projeto é bastante simples e pode ser desenvolvido com materiais alternativos, como tampinhas de garrafa PET, palitos de dente e canudos grandes de plástico rígido. Devido à sua simplicidade, baixo custo e consumo mínimo de material, o carrinho é uma excelente opção para os professores e até mesmo os estudantes da escola iniciarem os seus projetos, caso a escola possua uma impressora 3D. Os parâmetros para a impressão do carrinho são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros utilizados para a impressão do modelo físico 3D de um carrinho tracionado por força elástica e o custo estimado da impressão, utilizando a impressora 3D CE-3.

Material de impressão	PLA
Diâmetro do bico	0,4 mm
Altura da camada	0,2 mm
Densidade de preenchimento	30%
Velocidade de impressão	50 mm/s
Necessidade de suporte	Sim
Tempo de impressão	4,5 h
Quantidade de material	24 g (8,11 m)
Custo de produção	R\$ 6,40

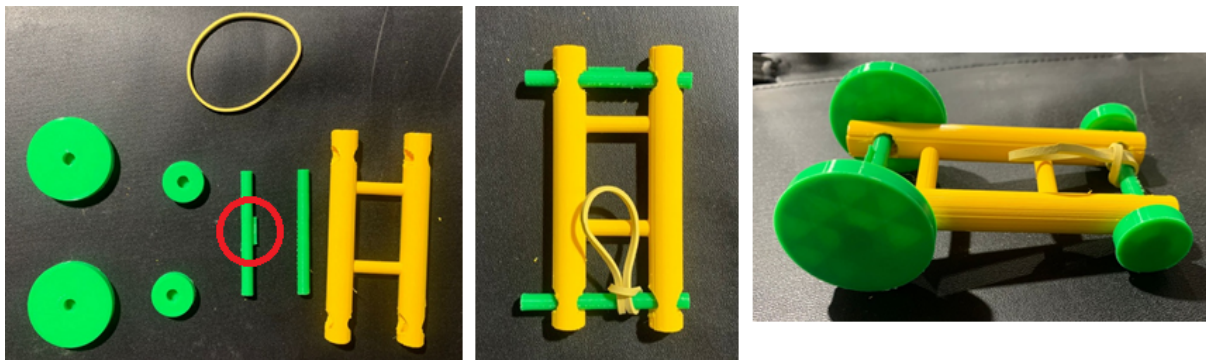
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na figura 27 apresentamos da esquerda para a direita todas as peças do modelo 3D impressas, o encaixe dos eixos e do elástico na estrutura e o carrinho completamente montado, pronto para ser utilizado em sala de aula, com as rodas maiores na parte traseira e as menores na dianteira. Note que no eixo das rodas traseiras existe uma saliência, apresentada pela circunferência vermelha na figura 27. Esta é utilizada para prender o elástico e enrolá-lo como se o eixo fosse um carretel. Isso fornecerá a força de tração elástica necessária para mover o carrinho.

Este modelo físico é muito interessante para trabalhar conceitos de mecânica clássica com os estudantes, como posição, deslocamento, velocidade instantânea e média, aceleração, tração ou tensão, força de atrito, força motriz, torque, trabalho de uma força, força restauradora e o significado prático da lei de forças de Hooke, conversão de energia

potencial elástica em energia cinética, entre outros.

Figura 27 – Sequência de fotos mostrando da esquerda para a direita as peças utilizadas e a montagem de um carrinho tracionado por um elástico. A circunferência vermelha mostra a saliência feita em um dos eixos para tracionar o elástico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além do conteúdo, esse modelo pode ser utilizado para ensinar Física em espaços não formais através de competições de carrinhos no pátio da escola, por exemplo, onde os estudantes podem realizar medidas do tempo e do deslocamento do carrinho para o cálculo da velocidade média, estabelecer relações matemáticas entre o número de voltas no elástico com a distância percorrida pelo carrinho, estimar a força aplicada pelo elástico e a eficiência da mesma em produzir rotação com o cálculo do torque, etc. O professor pode ainda promover atividades no espaço maker da escola com a reformulação do projeto para os estudantes poderem testar hipóteses, aplicar conceitos geométricos na fabricação de novas peças, entre outras possibilidades.

Para finalizar, mostramos a utilidade de uma impressora 3D para a construção de algumas peças para um modelo feito com materiais alternativos. Ensinar ciência a partir de modelos físicos construídos com esse tipo de material é importante para fornecer contextos e ensinar atitudes para os estudantes promoverem o reaproveitamento e a recuperação de recursos e, conseqüentemente, reduzir o impacto que o excesso de lixo pode causar no meio ambiente.

O modelo utilizado é um espectroscópio simples construído com um rolo de papel toalha, um CD ou DVD, fita adesiva, cola, tesoura e duas tampas feitas na impressora 3D para vedar ambas as extremidades do rolo de papel toalha. A proposta de fabricação deste modelo também pode ser encontrada no *Thingiverse* com o nome *Easy Spectroscope* (LARSEN, 2018).

A vantagem de fabricar as tampas na impressora 3D é que elas podem ser feitas no diâmetro desejado com um custo muito baixo, fornecendo um melhor acabamento e funcionalidade para o modelo. Os parâmetros utilizados para a impressão das tampas são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados para a impressão das duas tampas utilizadas para vedar o espectroscópio feito com materiais alternativos.

Material de impressão	PLA
Diâmetro do bico	0,4 mm
Altura da camada	0,2 mm
Densidade de preenchimento	30%
Velocidade de impressão	50 mm/s
Necessidade de suporte	Sim
Tempo de impressão	2,25 h
Quantidade de material	16 g (5,26 m)
Custo de produção	R\$ 3,85

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Um espectroscópio é um dispositivo que mede o espectro da luz. A luz compõe toda a radiação eletromagnética existente na natureza e se estende desde as ondas de rádio aos raios gama, mas nós podemos ver apenas uma porção deste espectro total, conhecida como luz visível. Para apreciarmos o espectro visível da luz com um espectroscópio simples é necessário uma rede de difração. Esta é feita a partir de um pequeno pedaço do disco de CD ou DVD, conforme mostrado na figura 28. Antes de recortar o pedaço do disco é necessário remover a camada refletora, o que pode ser feito facilmente com uma fita adesiva. É recomendável utilizar a parte do disco mais afastada de seu centro, pois as linhas de difração do mesmo são mais paralelas nesta região.

Em seguida é preciso fazer uma abertura com dimensões de  $(2 \times 1)$  cm aproximadamente em uma das tampas impressas. A rede de difração é fixada nesta região, formando uma janela de difração. É por esta janela que observaremos o espectro da luz visível. Na outra tampa é feita uma pequena fenda com dimensões em torno de  $2 \text{ cm} \times 1 \text{ mm}$ . É importante que a confecção da fenda seja precisa para fornecer um espectro mais nítido, menos deformado.

Para facilitar a visibilidade do espectro da luz através da janela de difração é instrutivo que a rede seja fixada na janela com as direções radial e tangencial do disco de CD seguindo a orientação da janela. O alinhamento da janela com a fenda é feito

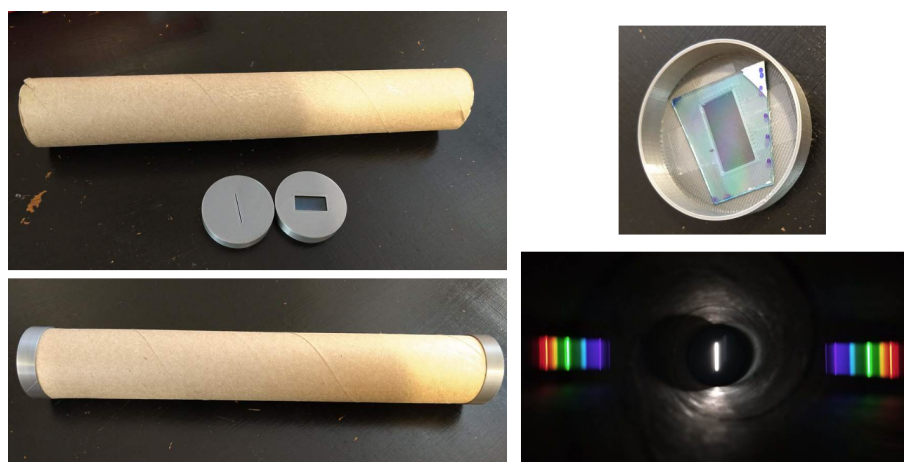
rotacionando-se a primeira. Quando for possível observar um espectro nítido perpendicular à fenda, as linhas da rede de difração estarão alinhadas com a fenda. Todo o procedimento de montagem e a observação do espectro da luz visível proveniente de uma lâmpada fluorescente são apresentados na figura 29.

Figura 28 – Fotos mostrando o corte feito em um disco de CD com tesoura para fazer a rede de difração do espectroscópio. À direita é mostrado como a camada refletora do disco pode ser facilmente removida com uma fita isolante.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 – Na parte superior são apresentadas fotos de como devem ser preparadas a janela de difração e a fenda do espectroscópio nas tampas impressas. Na parte inferior é mostrado o dispositivo pronto para ser utilizado e o espectro visível da luz de uma lâmpada fluorescente.



Fonte: Fotos extraídas de Larsen (2018).

Além da possibilidade de motivar os estudantes a entender as propriedades físicas das ondas eletromagnéticas, como as diferentes frequências e comprimentos de onda que dão origem às cores do arco-íris, por exemplo, o professor pode explorar uma infinidade de

conceitos de maneira interdisciplinar utilizando o espectroscópio. Isso é possível porque o padrão de cores observado no dispositivo varia para diferentes fontes de luz, incluindo LEDs, pois este depende do tipo de elemento químico que as compõem. A partir disso, o professor pode explorar tópicos de Astronomia e Química para contextualizar como é possível identificar os elementos químicos, dentre outras propriedades, apenas analisando a luz proveniente de estrelas, planetas e outros corpos celestes. É possível também discutir sobre os diferentes tipos de espectros que existem, contínuo, discreto e de absorção, e a utilidade dos mesmos no monitoramento ambiental para detecção de substâncias químicas poluentes e verificar a qualidade da água, do ar e do solo.

Vale ressaltar que as explicações e sugestões apresentadas neste trabalho são simplificadas e têm o objetivo de apenas introduzir o tema, que abrange conceitos mais aprofundados de espectroscopia e das interações da radiação eletromagnética com a matéria.

## 5 Considerações Finais

Um aspecto particularmente importante para o ensino e aprendizagem de disciplinas como Física, Química e Biologia em qualquer nível é entender o que é um modelo e como utilizá-lo neste processo.

Qualquer área da ciência pode ser caracterizada como uma rede complexa de modelos interrelacionados por um conjunto de leis e princípios teóricos. Na Física, por exemplo, temos dois conjuntos de leis e princípios que governam a descrição de fenômenos microscópicos e macroscópicos, os quais compõem a base das teorias conhecidas como Mecânica Quântica e Mecânica Clássica. Todo conhecimento científico estabelecido para formar a base destas teorias emergiu através do desenvolvimento e utilização de modelos.

Podemos pensar nos modelos como unidades de conhecimento estruturado para representar padrões observáveis em sistemas e fenômenos físicos. Uma vez que modelos são representações de sistemas reais, estas podem ser feitas de maneira mais simplificada para facilitar o nosso entendimento, por exemplo, sobre a composição interna de um sistema, sua configuração para expressar relações geométricas entre suas partes, sua posição em relação a um determinado referencial, como o mesmo interage com sua vizinhança, para expressar sua evolução temporal através de variáveis de estado, entre muitos outros.

Neste sentido, o ensino de ciências pode ser significativamente enriquecido através do engajamento de professores e estudantes nos diversos aspectos da modelagem, o que inclui a construção, a análise e a validação de modelos. Estes podem ser menores que o sistema alvo em estudo, como o motor monocilíndrico construído neste trabalho, do mesmo tamanho, como o corpo humano, ou maiores, para a descrição de sistemas atômicos ou o metabolismo celular. Os modelos podem ser compostos por abstrações ou ideias, como forças e energia, e estas podem ser representadas por objetos, substâncias ou entidades matemáticas, como funções e vetores.

Neste trabalho mostramos que a impressão 3D tem um grande potencial para auxiliar o professor nesse processo, pois esta fornece uma gama de possibilidades que vão desde a utilização de tecnologia, com o uso da impressora, escolha de materiais, avaliação de processos, uso de softwares para criação e manipulação de modelos pré-existentes, até

a proposição de atividades, introdução e explicação de conceitos e processos com o uso dos modelos físicos impressos. E tudo isso pode ser feito de maneira prática, sustentável e acessível economicamente.

# Referências

- AGUIAR, L. D. C. D. *Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências*. 226f p. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) — Faculdade de Ciências, Bauru, 2016.
- ASSANTE, D.; CENNAMO, G. M.; PLACIDI, L. 3d printing in education: an european perspective. In: CARDOSO, A.; ALVES, G. R.; RESTIVO, M. T. (Ed.). *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. Porto, Portugal: IEEE, 2020. p. 1133–1138.
- BACKMAN, K. *Autodesk Tinkercad*. 2024. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/>>. Acesso em: set. 2024.
- BETIOLI, A. *NIVELAMENTO DA MESA AUTOMÁTICO COM BLTOUCH - SÉRIE UPGRADES ENDER 3 - EP 005*. 2020. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=O043gf3MQo8&ab\\_channel=AB3D](https://www.youtube.com/watch?v=O043gf3MQo8&ab_channel=AB3D)>. Acesso em: fev 2024.
- BOLL, H. O. et al. Synbio in 3d: the first synthetic genetic circuit as a 3d printed stem educational resource. *Frontiers in Education*, v. 8, n. 1110464, p. 1–12, 2023.
- CAPELOTO, O. A. et al. Aplicação de modelos de impressão 3d como ferramenta para atividades práticas experimentais no ensino de física. *Revista Insignare Scientia*, v. 6, n. 6, p. 710–722, 2023.
- CARVALHO, M. M. M. e et al. O uso da impressora 3d no processo de ensino e aprendizagem. *Revista Práxis*, v. 13, n. 1, p. 50–58, 2021.
- CERVERA, R. *Tech3D Brasil: GUIA de COMO instalar BLTOUCH em qualquer Impressora 3D*. 2021. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=KQQ5YexsJZY&ab\\_channel=Tech3DBrasil](https://www.youtube.com/watch?v=KQQ5YexsJZY&ab_channel=Tech3DBrasil)>. Acesso em: fev 2024.
- CHITTLEBOROUGH, G. D.; TREAGUST, D. F. Why models are advantageous to learning science. *Educación Química*, v. 20, n. 1, p. 12–17, 2009.
- DRIEL, F. H. V.; VERLOOP, N. Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, v. 21, n. 11, p. 1141–1153, 1999.
- EXPERTS, C. *Installing BLTouch Auto-Leveling on the Creality Ender 3 or Ender 3 Pro*. 2024. Disponível em: <<https://www.crealityexperts.com/installing-bltouch-ender-3>>. Acesso em: fev 2024.
- FORD, S.; MINSHALL, T. Invited review article: where and how 3d printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, v. 25, p. 131–150, 2019.
- FRANCO, C.; COLINVAUX, D. Grasping mental models. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Ed.). *Developing models in science education*. [S.l.]: Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 93–118.

- GARWOOD, C. *Flat Earth: The History Of An Infamous Idea*. [S.l.]: Pan Macmillan, 2008.
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; ELMER, R. Positioning models in science education and in design and technology education. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Ed.). *Developing models in science education*. [S.l.]: Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 3–17.
- GONDIM, R. de S. et al. A cultura maker como estratégia de ensino e aprendizagem: uma revisão sistemática da literatura. *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas*, v. 23, n. 5, p. 840–847, 2023.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentals of Physics*. 8. ed. [S.l.]: Wiley, 2007.
- HESTENES, D. Modeling methodology for physics teachers. In: *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education*. [S.l.]: College Park, MA, 1996.
- IMPRESSORAS3D.COM. *Delaminação entre as camadas. Problemas e soluções*. 2021. Disponível em: <<https://www.impresoras3d.com/pt/delamina%C3%A7%C3%A3o-entre-camadas-problemas-solu%C3%A7%C3%B5es-impres%C3%A3o-3d/>>. Acesso em: jan. 2024.
- ISI, C.; GURLEY, M. *3D Printing Trend report 2024. Market insights and forecasts in additive manufacturing*. HUBS. 2024. Disponível em: <<https://www.hubs.com/get/trends/>>. Acesso em: set. 2024.
- KALASKAR, D. M. *3D printing in medicine*. 2nd. ed. [S.l.]: Edn Sawston: Elsevier Science, Woodhead Publishing, 2022.
- LARSEN, K. *Easy Spectroscope*. 2018. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:3054881>>. Acesso em: jan. 2024.
- LEWANDOWSKI, G. *Rubberband Car 3D design and discovery learning project*. 2016. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:1634930>>. Acesso em: jan. 2024.
- LIM, K. H. A. et al. Use of 3d printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3d prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anatomical Sciences Education*, v. 9, n. 3, p. 213–221, 2016.
- MACHADO, J.; FERNANDES, B. L. P. Model conceptions in science education research: features and trends. *Ciências Educação*, v. 27, n. e21014, p. 1–17, 2021.
- MAKERBOT, I. L. *UltiMaker Thingiverse*. 2024. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/>>. Acesso em: fev. 2024.
- MATEAZZO, A. S. *Ensino de conceitos básicos de Termodinâmica utilizando um motor de combustão interna*. 138f p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) — Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2022.
- MONKOVIC, J. M. et al. From concept to reality: the use and impact of 3d prints as academic tools for high school biology education. *Journal of Biological Education*, v. 56, n. 5, p. 528–539, 2022.

- MONTEIRO, R. de M. *Utilização da impressão 3D como ferramenta no ensino de Física: construção de objetos de aprendizagem para o ensino de mecânica no ensino médio*. 2023. 68 f. Monografia (Licenciatura em Física) — Universidade Estadual de Maringá, São Paulo, 2023.
- NETO, A. de F.; LOUBET, S. de S.; ALBUQUERQUE, L. M. O uso da impressora 3d no processo de ensino e aprendizagem. *Revista Eletrônica Sala de Aula em Foco*, v. 10, n. 2, p. 1–14, 2021.
- NOVAK, E. et al. A systematic review of empirical research on learning with 3d printing technology. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 37, n. 5, p. 1455–1478, 2021.
- ORNEK, F. Models in science education: Applications of models in learning and teaching science. *International Journal of Environmental Science Education*, v. 3, n. 2, p. 35–45, 2008.
- PEARSON, H. A.; DUBÉ, A. K. 3d printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. *Education and Information Technologies*, v. 27, p. 3037–3064, 2022.
- PEREIRA, R. F.; MONTEIRO, R. de M. A impressão 3d como recurso de ensino de física no 1º ano do ensino médio. *Revista do Professor de Física*, v. 9, n. 1, p. 234–254, 2025.
- PIRES, M. I. F.; JÚNIOR, A. J. V. Impressão 3d e pesquisas em ciências da natureza: um olhar sobre a produção científica na área. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 5, n. 1, p. 373–392, 2022.
- PRUSA, J. *Warping*. 2024. Disponível em: <[https://help.prusa3d.com/article/warping\\_2011](https://help.prusa3d.com/article/warping_2011)>. Acesso em: jan. 2024.
- RIEGEL, J. *FreeCAD: Seu próprio modelador paramétrico 3D*. 2002. Disponível em: <[https://www.freecad.org/index.php?lang=pt\\_BR](https://www.freecad.org/index.php?lang=pt_BR)>. Acesso em: out. 2024.
- ROGOV, A. *4-stroke engine model*. 2018. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:2744711>>. Acesso em: jan. 2024.
- ROOSENDAAL, T. *Blender*. 2024. Disponível em: <<https://www.blender.org/download/>>. Acesso em: set. 2024.
- SALZANO, O. *RETRAÇÃO DE MESTRE: Elimine as teias (stringing) da sua Impressão 3D*. 2019. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=Rvc4A3QHk6s&t=0s&ab\\_channel=3DPrintAcademy-AprendaImpress%C3%A3o3D](https://www.youtube.com/watch?v=Rvc4A3QHk6s&t=0s&ab_channel=3DPrintAcademy-AprendaImpress%C3%A3o3D)>. Acesso em: fev 2024.
- SHENZHEN, C. D. T. C. L. *Manual do usuário da impressora 3D Creality Ender-3*. 2020. Disponível em: <<https://pt.manuals.plus/creality/creality-ender-3-3d-printer-manual/#axzz8PrIdGQXx>>. Acesso em: fev 2024.
- THYSSEN, C.; MEIER, M. 3d printing as an element of teaching—perceptions and perspectives of teachers at german schools. *Frontiers in Education*, v. 8, n. 1233337, p. 1–15, 2023.
- TREAGUST, D. F.; DUIT, R.; FISCHER, H. E. *Models and Modeling in Science Education: Multiple Representations in Physics Education*. [S.l.]: Springer, 2017. v. 10.

VAUGHAN, V. *Digital Modeling*. 1. ed. [S.l.]: New Riders, 2012.

WALKER, J. *Autodesk Meshmixer*. 2024. Disponível em: <<https://meshmixer.com/download.html>>. Acesso em: set. 2024.

WIEMAN, C. E. et al. Teaching physics using phet simulations. *The Physics Teacher*, v. 48, p. 225–227, 2010.