

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

**IMPRESSÃO 3D NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS  
PARA O LABORATÓRIO DE FÍSICA: UMA  
POSSIBILIDADE**

**REGINALDO DE ABREU**

**ORIENTADOR: PROF. DR. RAFAEL HENRIQUES LONGARES**

Sorocaba - SP

2025

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

**IMPRESSÃO 3D NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS  
PARA O LABORATÓRIO DE FÍSICA: UMA  
POSSIBILIDADE**

**REGINALDO DE ABREU**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.  
Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.  
Orientador: Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi.

Sorocaba - SP  
2025



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade  
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Reginaldo de Abreu, realizada em 20/06/2025.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi (UFSCar)

Prof. Dr. Henrique Takashi Idogava (UNIVASF)

Profa. Dra. Adriana de Oliveira Delgado Silva (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Abreu, Reginaldo de

Impressão 3D na produção de materiais para o  
laboratório de Física: uma possibilidade / Reginaldo de  
Abreu -- 2025.  
127f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São  
Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): Rafael Henriques Longaresi  
Banca Examinadora: Rafael Henriques Longaresi,  
Adriana de Oliveira Delgado Silva, Henrique Takashi  
Idogava  
Bibliografia

1. Ensino de física. 2. Manufatura aditiva. 3. Material  
didático. I. Abreu, Reginaldo de. 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

**REGINALDO DE ABREU**

**IMPRESSÃO 3D NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS PARA O LABORATÓRIO DE  
FÍSICA: UMA POSSIBILIDADE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Sorocaba, 20 de junho de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi (Orientador)  
Universidade Federal de São Carlos

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Adriana de Oliveira Delgado Silva  
Universidade Federal de São Carlos

---

Prof. Dr. Henrique Takashi Idogava  
Universidade Federal do Vale do São Francisco

## DEDICATÓRIA

Aprendi, com a vida, que alguns  
desafios só são vencidos à custa  
do tempo que deixamos de  
dedicar às pessoas que  
são verdadeiramente  
importantes.

Como reconhecimento por tanta  
ausência, dedico este trabalho  
a toda a minha família,  
que conviveu com  
essa lacuna sem  
deixar de me  
apoiar.

## AGRADECIMENTO

Começo com um agradecimento especial ao meu Orientador, Professor Dr. Rafael Henriques Longaresi. Orientar, é a sua função, mas incentivar, quando eu já estava a ponto de desistir, ter paciência, quando estive sufocado pelo trabalho e acolher, quando a criatividade esteve em baixa, é algo além. Foi um verdadeiro companheiro nesta jornada.

Tenho poucos, mas excepcionais amigos. Daqueles que a distância não afasta, as críticas soam como ensinamentos e seu incentivo é um combustível inigualável. Por isso, aos queridos Cláudio e Fernanda, Daniel e Larissa, Marcelo e Vanessa e Maurício e Fernanda, manifesto a minha gratidão pelo apoio oferecido em diferentes momentos de minha vida.

Agradeço aos colegas da turma de 2022 do MNPEF. Cada um, a seu modo, também contribuiu para fazer valer os 700 km das segundas-feiras, durante os dois anos de viagens.

Sou muito grato a todos os professores e Coordenação do MNPEF – Polo Sorocaba, pelo empenho e zelo durante o meu processo formativo.

Aos estudantes que participaram da atividade que viabilizou este trabalho, meus sinceros agradecimentos. Fazem-me crer que ainda há esperança...

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001. Por isso, agradeço à CAPES pela oportunidade que me foi concedida, através do fomento a este Programa de pós-graduação.

## EPÍGRAFE

Quando em meu peito rebentar-se a fibra,  
Que o espírito enlaça à dor vivente,  
Não derramem por mim nenhuma lágrima,  
Em pálpebra demente...  
Pois hei de fazer uma fibra nova, e melhor,  
Usando uma impressora 3D.  
Álvares de Azevedo  
(Remixado por RegixAbreu)

## RESUMO

ABREU, Reginaldo de. Impressão 3D na Produção de Materiais para o Laboratório de Física: Uma Possibilidade. 2025. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2025

Há uma preocupação de que as novas gerações estão cada vez menos propensas às carreiras científicas e mais apáticas nas atividades escolares. Impulsionado por esse contexto, o presente trabalho busca lançar luz sobre a possibilidade de resgatar o interesse dos jovens pela Física através de atividades experimentais. Partindo do pressuposto de que há uma carência de equipamentos nos laboratórios didáticos das escolas de ensino médio e que os estudantes são ávidos consumidores de tecnologia, propõe-se usar a impressão 3D para produzir materiais instrucionais para o laboratório de Física e, ao mesmo tempo, seduzir os estudantes a partir de uma tecnologia de manufatura da qual muito se fala, mas pouco se compreende. Para avaliar essa possibilidade, construiu-se um conjunto de materiais para laboratório, projetados e impressos pelo autor, que foram utilizados num curso para 8 estudantes do Ensino Médio em uma escola particular no estado de São Paulo, durante 7 semanas. Foram executadas atividades envolvendo Dinâmica (determinação da aceleração gravitacional e aceleração em sistemas com polias) e Estática (Condições de equilíbrio em sistemas com forças concorrentes em diferentes configurações). Os estudantes foram responsáveis por montar os equipamentos, realizar previsões teóricas, obter experimentalmente as grandezas previstas e comparar os resultados apontando possíveis fontes de divergência. Ao final do curso, alguns estudantes foram ouvidos em entrevistas semiestruturadas e foi possível constatar os efeitos motivacionais e metodológicos que a impressão 3D agrega ao ensino de Física: por um lado, alimentando e suprimindo a curiosidade dos estudantes pela área tecnológica, a partir da percepção de que os equipamentos foram projetados e impressos dentro da escola, o que demonstra a viabilidade da impressão 3D para uso escolar e doméstico; e, por outro lado, viabilizando o uso de estratégias experimentais em Física concebidas a partir de materiais que podem ser projetados e impressos, pelo próprio professor, a um custo relativamente baixo e que pode ser compartilhado com as demais áreas do conhecimento.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Manufatura Aditiva; Prototipagem; Material Didático; Polias; Mesa de Forças.

## ABSTRACT

There is a growing concern that new generations are becoming increasingly less inclined toward scientific careers and more apathetic in school activities. Driven by this context, this study aims to shed light on the possibility of increasing students' interest in Physics through experimental activities. Based on the assumption that there is a lack of equipment in high school physics laboratories and that students are avid consumers of technology, this research proposes using 3D printing to produce instructional materials for physics laboratories while also captivating students through a manufacturing technology that is widely discussed but not well understood. To assess this possibility, a set of laboratory materials was designed and 3D-printed by the author and subsequently employed in a seven-week course with eight high school students at a private school in the state of São Paulo, Brazil. The activities covered Dynamics (determination of gravitational acceleration and acceleration in pulley systems) and Statics (conditions of equilibrium in systems with concurrent forces in different configurations). Students were responsible for assembling the equipment, making theoretical predictions, experimentally obtaining the expected quantities, and comparing the results while identifying possible sources of discrepancy. At the end of the course, semi-structured interviews were conducted with some students, which revealed both motivational and methodological impacts of 3D printing in Physics teaching: on the one hand, fostering curiosity in the technological field by demonstrating that the equipment was designed and manufactured within the school itself - thus highlighting the feasibility of 3D printing for educational and domestic use - and, on the other hand, enabling the implementation of experimental strategies in Physics through low-cost, teacher-designed materials that can also be shared across other areas of knowledge.

Keywords: Physics teaching; Additive Manufacturing; Prototyping; Instructional Material; Pulleys; Force Table.

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Autor observando equipamentos do laboratório de estrutura da matéria: banco óptico .....	<b>3</b>
<b>Figura 1.2</b> – Banco óptico para a determinação da constante de Planck e aparelho para a execução da experiência de Millikan .....	<b>3</b>
<b>Figura 1.3</b> – Preferência dos estudantes quanto à técnica de impressão 3D .....	<b>5</b>
<b>Figura 1.4</b> – Kit DIY ( <i>Do It Yourself</i> ) de impressora 3D importado da China .....	<b>7</b>
<b>Figura 1.5</b> – Impressora montada e pronta para o primeiro teste de impressão .....	<b>8</b>
<b>Figura 1.6</b> – Imagens das primeiras tentativas de imprimir um objeto .....	<b>8</b>
<b>Figura 1.7</b> – Equipamento projetado e impresso pelo autor após pouco mais de um ano de treinamento autônomo .....	<b>9</b>
<b>Figura 3.1</b> – Reprodução da figura usada por Newton em sua explicação do Corolário I .....	<b>24</b>
<b>Figura 3.2</b> – Reprodução de uma ilustração atual para justificar o efeito da resultante de duas forças atuando sobre um corpo.....	<b>25</b>
<b>Figura 3.3</b> – Representação de forças de um par ação e reação atuando durante a interação entre o pé e a bola.....	<b>26</b>
<b>Figura 3.4</b> – Dois sistemas de referência (A e B) contendo a representação dos vetores posição do corpo S em relação aos dois sistemas.....	<b>30</b>
<b>Figura 3.5</b> – Máquina de Atwood com dois corpos de massas $m_1$ e $m_2$ suspensos através de um fio ideal, com a representação das forças atuantes.....	<b>32</b>
<b>Figura 3.6</b> – Representação individual dos dois corpos suspensos com as respectivas forças atuantes.....	<b>33</b>
<b>Figura 3.7</b> – Máquina de Atwood com dois corpos de massas $m_1$ e $m_2$ suspensos através de um fio ideal, com a representação das forças atuantes, considerando o movimento acelerado do elevador.....	<b>36</b>
<b>Figura 4.1</b> – Polias encaixadas nas hastes de alumínio com algumas massas suspensas.....	<b>41</b>
<b>Figura 4.2</b> – Disco central da Mesa de Forças sendo impresso.....	<b>42</b>
<b>Figura 4.3</b> – Mesa de Forças montada com um conjunto de 3 fios concorrentes tracionando a argola central.....	<b>42</b>
<b>Figura 4.4</b> – Estudantes fixando o fio do pêndulo na estrutura de um banco que foi colocado sobre a bancada do laboratório.....	<b>45</b>
<b>Figura 4.5</b> – Suportes do conjunto de tubos de alumínio que sustentam as polias.....	<b>45</b>
<b>Figura 4.6</b> – Estudantes trabalhando na montagem dos kits de suporte aos sistemas de polias.....	<b>46</b>

<b>Figura 4.7</b> – Estudantes fazendo cálculos para determinar o tempo de queda do sistema de corpos para encontrar a aceleração.....	<b>47</b>
<b>Figura 4.8</b> – Estudantes analisando um sistema de polias com alguns corpos suspensos.....	<b>48</b>
<b>Figura 4.9</b> – Estudantes fazendo ajustes nas Mesas de Forças.....	<b>48</b>
<b>Figura 4.10</b> – Estudantes colocando massas suspensas em busca de configurações de equilíbrio sobre as Mesas de Forças.....	<b>49</b>
<b>Figura 4.11</b> – Diagramas apresentados aos estudantes para a implementação e verificação do equilíbrio .....	<b>50</b>
<b>Figura 4.12</b> – Duas Mesas de Forças com conjuntos de pesos mantendo a situação de equilíbrio .....	<b>50</b>

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b>	1
<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 Histórico Acadêmico e Profissional do Autor	1
1.2 O Primeiro Contato com a Impressão 3D	5
1.3 Pertinência e Objetivo da Pesquisa	10
1.4 Estrutura da Dissertação	12
<b>Capítulo 2</b>	14
<b>PRESSUPOSTOS TEÓRICOS</b>	14
2.1 Introdução à Teoria da Sensibilidade ao Reforço - TSR	14
2.2 Vigotski e a Aprendizagem Sociocultural	16
<b>Capítulo 3</b>	22
<b>A FÍSICA APLICADA AO PRODUTO EDUCACIONAL</b>	22
3.1 As Leis de Newton para o movimento	22
3.2 A Importância do Referencial Para a Aplicação das Leis de Newton	30
3.3 Aplicação das Leis de Newton à Máquina de Atwood	33
<b>Capítulo 4</b>	41
<b>APLICAÇÃO E RESULTADOS</b>	41
4.1 Metodologia e Constituição de Dados	41
4.2 Aplicação do Produto	44
4.3 Perguntas Apresentadas aos Estudantes Durante as Entrevistas	52
4.4 Constituição de Categorias de Análise a partir da fala dos estudantes	54
<b>Capítulo 5</b>	62
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	62
5.1 Conclusão	62
5.2 Possibilidades Para Outros Projetos	63
<b>REFERÊNCIAS</b>	64
<b>APÊNDICE A</b>	66
Transcrição das Entrevistas	66
<b>APÊNDICE B</b>	77
Produto Educacional	77
<b>ANEXO A</b>	112
Material impresso relativo à primeira aula	112
<b>ANEXO B</b>	113
Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	113

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 Histórico Acadêmico e Profissional do Autor

A primeira vez que entrei numa sala de aula, como professor de Física, foi em 1992. Porém, já havia passado por uma experiência “docente” durante os anos de 1989 e 1990, ministrando aulas de informática numa pequena escola, na qual havia estudado graças a uma bolsa de estudos que ganhara alguns anos antes. Logo que concluí o primeiro curso ganhei outra bolsa de estudos, desta vez condicionada a um trabalho de monitoria para os alunos ingressantes. Era uma época de escassez, tanto de equipamentos quanto de materiais didáticos adequados. Para mim, frequentar a escola de computação significava, sobretudo, ter acesso aos computadores e às apostilas. Foi nesse contexto que, alguns meses mais tarde, fui alçado à posição de professor de informática, mais pela inexistência de candidatos à vaga do que pelas minhas qualidades. Enfim, por dois anos, trabalhei como professor de informática, experiência que viria a ser crucial alguns anos depois quando me candidatei a uma vaga como professor substituto para aulas de Física.

Ao ingressar na faculdade de Engenharia, enquanto passava pelas dificuldades características do primeiro ano, inclusive a reprovação no curso de Cálculo, identifiquei-me com a Física Experimental. As aulas práticas eram uma espécie de oásis, cercado pela aridez das disciplinas teóricas. Apesar da dificuldade inicial com a Teoria de Erros e elaboração de relatórios, passei a me divertir bastante com as aulas experimentais, tanto de Física quanto de Química. Foi nessa época que, graças à experiência anterior, na escola de informática, passei numa seleção para professor de Física. Imaginava que seria apenas uma forma momentânea de conseguir recursos financeiros, tão restritos naquela época. Nos primeiros anos de docência eu não compreendia o valor das atividades experimentais para os processos de ensino e aprendizagem, considerando o objetivo das aulas de Física para o Ensino médio que, até então, eu imagina servirem apenas para passar no Vestibular. Outro motivo pode ter sido minha precária formação em ciências na educação básica, período em que jamais frequentei um laboratório. A percepção dessa importância só ocorreu mais tarde, a partir de referenciais

teóricos que viriam a ser estudados na Licenciatura. Alguns deles, inclusive, trouxeram um novo olhar sobre as potencialidades das práticas experimentais para além das questões conceituais, impactando na motivação e ampliando a autoestima dos estudantes.

Foi no laboratório de Física que me senti fortemente motivado. Assistia à minha volta colegas que, embora apresentassem desempenho acadêmico superior ao meu, não tinham a menor destreza e criatividade para contornar as questões práticas que se apresentavam. Foi nesse contexto que comecei a pensar: “talvez eu tenha alguma chance”.

Embora a internet já existisse, com muita lentidão e hora marcada para uso, era possível acessar materiais de outras universidades e até livros didáticos disponibilizados ao redor do mundo, principalmente em instituições de pesquisa, e materiais sobre Ensino de Física. Porém, aquilo que realmente me atraía continuava inacessível: componentes eletrônicos, instrumentos de medida e equipamentos de laboratório tinham preços proibitivos. Ainda me recordo do susto que levei quando descobri o preço de um osciloscópio.

Nos semestres seguintes, ainda na Engenharia, quando começaram as aulas experimentais de eletrônica analógica, eletrônica digital e microprocessadores, passei a me sentir totalmente à vontade. Não compreendia a relutância dos colegas de turma em relação a essas aulas. Sempre que podia, ficava no laboratório após o término das aulas, muitas vezes auxiliando o técnico na organização dos equipamentos. (Hoje, é difícil explicar para a família e amigos porque tenho tantas caixas com componentes eletrônicos, ferramentas e instrumentos de medida de todos os tipos, incluindo o sonhado osciloscópio).

Conforme o curso avançava, seguia ministrando aulas de Física em cursinhos pré-vestibulares noturnos e nas primeiras escolas de Ensino Médio. Comecei então a cogitar a mudança para o curso de Física, o que só viria a acontecer quando já cursava o quarto ano da Engenharia, ocasião em que houve a implantação da Licenciatura em Física no campus onde estudava. Ingressei no curso de Física em sua primeira turma. Muitas disciplinas foram aproveitadas em regime de equivalência com aquelas que eu já havia cursado na Engenharia, processo facilitado por ocorrer dentro da mesma instituição. Essas equivalências fizeram com que eu tivesse muito tempo livre, comparativamente aos demais estudantes e, percebendo isso, o Coordenador do curso me fez uma proposta: usar esse tempo para montar o laboratório de Estrutura da Matéria (cujos equipamentos haviam sido recém adquiridos), criar roteiros para as aulas experimentais dessa disciplina e testá-los para que os meus colegas de turma, quando

fossem cursar a disciplina, já encontrassem um laboratório estruturado. Aceitei prontamente e esse tempo que passei no laboratório foi um dos períodos mais felizes e produtivos de minha vida acadêmica. Embora eu trabalhasse durante o dia, ministrando aulas de Física, passava boa parte das noites envolvido com o laboratório, refinando as medidas da experiência de Millikan, melhorando os procedimentos para obter a constante de Planck, aprendendo a operar um aparelho de Raios-X e estudando as raias espectrais de emissão e absorção de gases, entre outras aventuras. Alguns desses momentos foram registrados conforme mostrado nas Figuras 1.1 e 1.2. Não fosse o fato de que nessa época eu já estava bem estabelecido, inclusive financeiramente, como professor de Física no Ensino Médio, principalmente em escolas particulares, teria construído uma carreira acadêmica em Física Experimental, o que cheguei a cogitar muitas vezes.

**Figura 1.1** – Autor observando equipamentos do laboratório de estrutura da matéria: banco óptico;



**Fonte:** acervo do autor. (2005).

**Figura 1.2** – Banco óptico para a determinação da constante de Planck e aparelho para a execução da experiência de Millikan.



**Fonte:** acervo do autor. (2005).

À medida que avancei na Licenciatura, orientado pelas pessoas certas, compreendi a importância do Laboratório para as aulas de Física. No entanto, embora nos anos seguintes as escolas tenham sido invadidas pela tecnologia, o laboratório de Física continuou negligenciado. Chegaram computadores, projetores multimídia, *smart boards*, *smartphones* e *tablets*. Proliferaram, inclusive, ótimas ferramentas computacionais para simular atividades experimentais, os “laboratórios virtuais”.

Assim, segui incomodado com a ideia de ensinar uma Ciência da Natureza sem que a Natureza de fato fosse personagem central. Ao longo dos anos tentei aderir à ideia de experimentos com sucata, materiais reciclados e materiais de baixo custo. De fato, é possível criar boas condições experimentais gastando pouco, como aponta Silva (2016):

A implementação de laboratórios didáticos de Física, tendo como base a construção de equipamentos e a realização de um conjunto de experimentos qualitativos e quantitativos, utilizando materiais recicláveis e/ou de baixo custo pode se tornar uma excelente oportunidade pedagógica e de grande incentivo ao desenvolvimento científico nas escolas públicas de ensino médio.

Porém, considerando que a maioria dos estudantes das escolas em que atuei possuíam alto poder aquisitivo, o que implica em smartphones, tablets e todo tipo de acessório de última geração, essas abordagens não surtiram efeito. Aí um dilema: como é possível justificar que em escolas com recursos financeiros, tanto do lado mantenedor quanto dos estudantes, não há laboratórios de Física adequados? Arrisco uma resposta: equipamentos para laboratório de Física, além de caros, são demasiadamente específicos. Atualmente, um conjunto de trilho de ar, para simular movimentos sem atrito, custa cerca de R\$10.000,00. Um conjunto para Cinemática e Dinâmica custa em torno de R\$5.000,00 e algo mais simples como uma mesa de forças não se compra por menos de R\$1.400,00. Embora sejam equipamentos duráveis, parece sempre haver outras “urgências” para as escolas. A situação piora quando consideramos as escolas públicas. Investimentos dessa grandeza acabam sendo destinados a necessidades, de fato, mais urgentes.

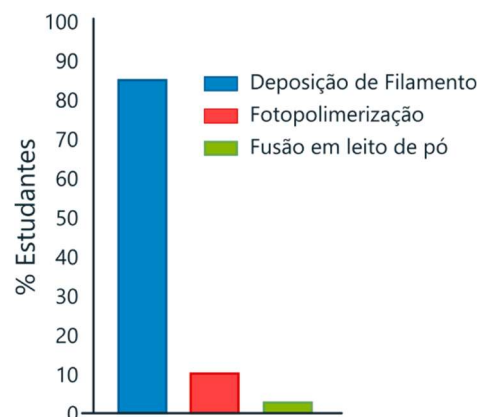
Segui com a carreira na docência por mais de 20 anos. Porém, desde 2010 fui assumindo posições administrativas, sem nunca abandonar a sala de aula. Felizmente, graças ao repertório que construí ao longo de minha formação, consegui implementar projetos e metodologias mais efetivos e próximos da realidade dos estudantes, e em sintonia com o desenvolvimento tecnológico da sociedade. Preocupado, sempre, em preservar a importância e a Epistemologia

da Ciência que ensino, fugindo do esvaziamento e de modismos que nada acrescentam ao ensino dessa ciência.

## 1.2 O Primeiro Contato com a Impressão 3D

Na busca por novas metodologias e pretendendo trazer inovações tecnológicas para as aulas de Física, há aproximadamente 10 anos, tive meu primeiro contato com a Impressão 3D. Como, naquele momento, a impressão com resina ainda era pouco difundida e cara, optei por adentrar esse universo através da técnica FDM<sup>®</sup> (*Fused Deposition Modeling*) ou FFF (*Fused Filament Fabrication*), conforme estabelecido pela norma ISO/ASTM 52900, ambas correspondendo à mesma técnica que consiste em depositar um material fundido, camada sobre camada, materializando o objeto que foi previamente projetado, usando *softwares* específicos. Devido a esse processo, essa é uma técnica classificada como “aditiva”, uma vez que novas camadas vão sendo adicionadas para produzir o objeto. Embora apresente algumas limitações, a impressão FFF também tem algumas vantagens, principalmente em aplicações pedagógicas. Uma delas é não envolver insumos líquidos, já que os filamentos são comercializados em formato de fio enrolado em carretel. O valor de um carretel contendo 1 kg de filamento é bastante acessível (cerca de R\$ 80,00, atualmente) e permite a construção de inúmeras peças, considerando que os objetos não precisam ser totalmente sólidos. Uma pesquisa recente, realizada no Marrocos por En-Nkhili, Mitique e Igouzal (2024), com estudantes universitários, constatou que, ainda hoje, mais de 80% dos participantes responderam preferir a técnica FFF em comparação com outras técnicas disponíveis, conforme os dados apresentados na Figura 1.3.

**Figura 1.3** – Preferência dos estudantes quanto à técnica de impressão 3D.



**Fonte:** Adaptado de En-Nkhili, Mitique e Igouzal (2024).

Voltando ao meu primeiro contato essa tecnologia, naquela época pouco se falava sobre o assunto aqui no Brasil. Um dos trabalhos pioneiros nessa área foi publicado em 2016, no qual o autor já concluía as potencialidades do uso da impressão 3D destacando que:

... o uso da tecnologia de impressão 3D para construir instrumentos didáticos, em vez de um método artesanal, ocasiona, na verdade, uma mudança das habilidades necessárias e dos materiais utilizados, e não na dispensa de novas habilidades e nem que os materiais possibilitam construir qualquer coisa. Uma das vantagens em desenvolver as habilidades e fazer o uso de recursos e do ferramental para trabalhar com a impressão 3D é a multiplicidade de realizações que um único conjunto de habilidades e ferramentas pode prover. Isso foi constatado nos resultados desta pesquisa, onde houve a construção de diferentes instrumentos didáticos utilizando os mesmos recursos. (Aguiar, 2016, p.188)

No exterior, instituições de ensino superior já se articulavam para instrumentalizar professores na aplicação dessa técnica na educação básica, motivados pela preocupação em manter os educadores envolvidos com projetos STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) à altura do desafio de formar profissionais competitivos nessas áreas, para atender à crescente demanda. Segundo dados atuais do *U.S. Buereau of Labor Statistics*, é previsto, até 2033, um aumento de 10,5% nos postos de trabalho relacionados a STEM, enquanto as outras áreas crescerão apenas 3,6 %. Além disso, os salários médios anuais para profissionais ligados a STEM são praticamente o dobro dos oferecidos a profissionais de outras áreas.

Para atender a essa necessidade, centros de ensino e pesquisa norte-americanos implementaram projetos de incentivo e popularização à manufatura por deposição (FFF). Em 2015, os departamentos de Ciências Sociais, Ciências de Materiais e Engenharia da Computação da Universidade de Michigan, propuseram atividades em que docentes da Educação Básica participaram da montagem de impressoras 3D com tecnologia FFF, visando a demonstrar a viabilidade, potencialidades e baixo custo dessa técnica. Como desdobramento dessa atividade, os professores participantes implementaram, em suas escolas de origem, projetos envolvendo impressão 3D. O potencial transformador e motivador desse projeto é ilustrado pelo relato de um dos professores participantes:

“A popularidade dessa tecnologia entre os estudantes tem consequências inesperadas. Um aluno de uma das escolas que participava do projeto foi pego tentando invadir a escola no meio da noite, não para vandalizar, mas para ter algum tempo extra com as impressoras e melhorar seu projeto. Esse nível de entusiasmo com uma atividade escolar extra é, geralmente, incomum” (Schelly *et al*, 2015 – Tradução nossa).

Enquanto isso, aqui no Brasil, com os recursos que eu tinha à disposição (uma impressora chinesa, adquirida na forma de kit DIY - *Do it Yourself* - por US\$300, cuja fonte de alimentação se incendiou na primeira ligação) comecei focando em produzir protótipos de alavancas, polias e outras máquinas simples (vale ressaltar que a referida impressora ainda está em pleno funcionamento, embora suas especificações técnicas tenham sido superadas há tempos). À medida que fui evoluindo nas técnicas de *design* (usando diferentes *softwares*) e impressão (usando diferentes materiais e impressoras), percebi que se abria à minha frente uma possibilidade, a baixíssimo custo, para a produção de equipamentos destinados às aulas práticas de Física.

As figuras a seguir ilustram o caminho desde o kit inicial, mostrado na Figura 1.4, a impressora montada, apresentada na Figura 1.5, minha primeira tentativa de impressão em 3D, mostrada na Figura 1.5 e um produto obtido pouco mais de um ano depois, ilustrado na Figura 1.6.

**Figura 1.4** – Kit DIY (*Do It Yourself*) de impressora 3D importado na China.



**Fonte:** acervo do autor. (2018).

**Figura 1.5** – Impressora montada e pronta para o primeiro teste de impressão.



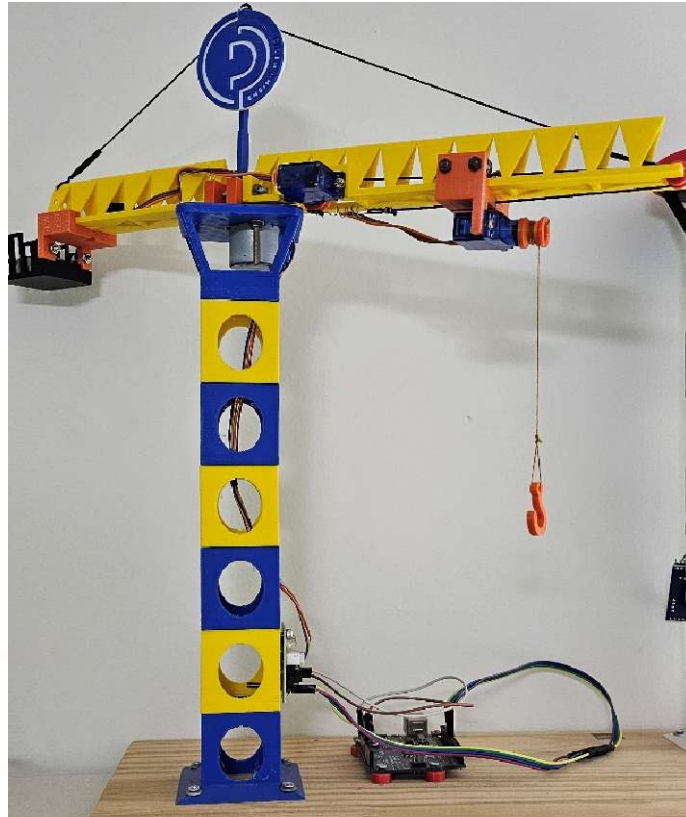
**Fonte:** acervo do autor. (2018).

**Figura 1.6** – Imagens das primeiras tentativas de imprimir um objeto.



**Fonte:** acervo do autor. (2018).

**Figura 1.7** – Equipamento projetado e impresso pelo autor após pouco mais de um ano de treinamento autônomo.



**Fonte:** acervo do autor. (2020)

Passei, então, a desenvolver e imprimir meus próprios *kits* de laboratório, que uso em aulas de Mecânica, Óptica e Eletromagnetismo, durante os cursos regulares no Ensino Médio. Em atividades diversificadas, previstas pela introdução dos Itinerários Formativos, a partir da lei 13.415/2017 (alterada recentemente pela Lei 14.945/2024), propus e executei atividades voltadas às ferramentas de *design* e construção de modelos robóticos, inclusive alguns microprocessados e incluindo IoT (*Internet of Things*).

Foram essas experiências bem-sucedidas, considerando o visível engajamento dos estudantes, aliadas à minha percepção, enquanto Coordenador Pedagógico, da necessidade de apresentar novas estratégias e tecnologias ao corpo docente, que me levaram a pensar em caminhos para popularizar e instrumentalizar outros professores de Física no uso da impressão 3D. Apresentar novas estratégias e tecnologias aos professores pode ser um estímulo igual ou maior ao produzido nos estudantes.

Se nossa proposta for viável, os professores teriam à disposição uma técnica para fabricar seus próprios materiais e usá-los em atividades experimentais, reduzindo a necessidade de adquirir equipamentos específicos e de valor elevado.

Finalmente, outro aspecto positivo dessa técnica é que, considerando o baixo custo dos insumos necessários à produção, ao final das atividades alguns dos itens impressos podem ficar com o estudante, tornando-se assim uma forma de ampliar, fora do espaço escolar, o alcance dos objetos experimentais utilizados – e da ciência que representam – mediante o acesso da família, amigos e demais pessoas do círculo de convivência do estudante.

### 1.3 Pertinência e Objetivo da Pesquisa

Num cenário em que as carreiras científicas atraem cada vez menos estudantes, é necessário encontrar estratégias para encantar e despertar o interesse de estudantes para essas áreas. Conforme já mencionado, há uma perspectiva de grande crescimento no mercado de trabalho para profissionais da área tecnológica. Para suprir tanto a necessidade de mão de obra especializada quanto a de pesquisadores que promovam a inovação é necessário mudar esse cenário de rejeição por parte dos estudantes. O primeiro passo é justamente identificar como atraí-los para essas áreas. No caso da Física, por exemplo, numa categorização criada por Oliveira e Menezes (2023), há vários fatores que podem levar à escolha da carreira: curiosidade científica, divulgação científica, jogos, brinquedos e experimentos científicos. “Fica evidente a importância de, desde cedo, cultivar o gosto dos jovens pela leitura científica e possibilitar que eles tenham acesso a livros de divulgação científica, brinquedos, jogos e experimentos científicos.” (grifo nosso). Porém, destacam que

É comum estudantes reclamarem da ausência de aulas experimentais, até mesmo naquelas situações em que a escola tem em sua estrutura um laboratório de Física. Segundo Oliveira, Andrade e Siqueira (2018), os alunos da educação básica anseiam por aulas experimentais e muitas vezes não são atendidos. (Oliveira e Menezes, 2023. p.5)

Se, por um lado, as escolas oferecem poucas (ou nenhuma) aulas experimentais, por outro lado, o laboratório didático pode ser um importante aliado para despertar e atrair novos talentos.

Não é novidade que, os mesmos jovens que não se interessam pelas carreiras científicas, são ávidos consumidores de tecnologia. A novidade está no fato de que, quase sempre, a

tecnologia que têm à disposição é subutilizada. Para Michel Desmurget, importante neurocientista francês, autor de *A Fábrica de Cretinos Digitais*,

convém dizer que, em grande parte, esses jovens sofrem para dominar as competências de informática mais rudimentares: criar parâmetros de segurança; utilizar os programas funcionais habituais (processador de texto, planilhas, etc); manipular um documento em vídeo; escrever um programa simples (em qualquer linguagem); configurar um software de proteção; estabelecer uma conexão remota; acrescentar memória a um computador; ativar ou desativar a execução de certos programas na inicialização do sistema operacional, etc. (Desmurget, 2021, p.24)

Refletindo sobre esses dois cenários, acreditamos que possam ser associados objetivando aumentar o engajamento dos estudantes já propensos às carreiras científicas, através do laboratório e, através do apelo a uma tecnologia acessível e popular, fomentar a curiosidade de estudantes menos interessados por essas carreiras. Para criar esse espaço de engajamento e motivação, inexistente ou subutilizado em grande parte das escolas brasileiras, pensei em criar equipamentos usando a tecnologia de Impressão 3D.

O projeto tem como finalidades:

- Avaliar, a partir da percepção de estudantes, a viabilidade da impressão 3D na construção de materiais para atividades experimentais em Física. Foram consideradas questões de disponibilidade financeira, de forma que os equipamentos e demais recursos sugeridos têm custo acessível;
- Identificar o impacto das atividades experimentais realizadas com esses materiais sobre a motivação e engajamento dos estudantes. Pretendemos observar como os estudantes reagem ao usar equipamentos que foram concebidos, projetados e impressos pelo próprio professor, dentro do ambiente escolar, conforme sua necessidade.
- Produzir, como produto educacional, um manual de instruções denominado “**Guia para iniciar na IMPRESSÃO 3D – Produção de materiais para Atividades Experimentais em Física**”. Esse manual conterà instruções e procedimentos desde o projeto até a impressão, apresentando as principais ferramentas digitais e equipamentos necessários, assim como dicas sobre a sua utilização. Além disso, apresentará o caminho para acessar os arquivos referentes aos projetos desenvolvidos

para este trabalho, para que possam ser impressos ou modificados por professores ou por qualquer pessoa que tenha interesse pelo assunto.

Esperamos que, a partir das ideias iniciais apresentadas, seja possível pensar em outros projetos e, acima de tudo, executá-los desde a concepção, passando por diferentes etapas de projeto e posterior impressão, montagem e, finalmente, seu uso em atividades experimentais. Buscamos, dessa forma, atacar o problema apontado por Pereira & Moreira (2017):

Na realidade brasileira, os estudantes, quando têm aulas de laboratório, normalmente fazem uso de roteiros fechados, devendo seguir procedimentos determinados, medir e relatar resultados, não sendo, assim, capacitados a demonstrar ou construir os objetos envolvidos na atividade, nem explorar relações, testar previsões ou selecionar entre duas ou mais explicações para o fenômeno. (Grifo nosso)

Ou seja, a impressão 3D, se disponível no contexto defendido neste trabalho, pode ser uma aliada de professores e estudantes, possibilitando a construção e adaptação dos objetos alvo de curiosidade e estudo durante atividades práticas.

#### **1.4 Estrutura da Dissertação**

No capítulo 2, apresento justificativas para o uso do laboratório didático trazendo referências teóricas da Neurociência e da Educação. Ao laboratório didático será atribuído o importante papel de resgatar a curiosidade dos estudantes, o interesse pela descoberta, a autonomia e a prática do trabalho colaborativo.

No capítulo 3, discuto as bases conceituais necessárias para a compreensão dos fenômenos físicos investigados. Procuo apresentar a teoria subjacente aos dois artefatos projetados e impressos, cujos processos de projeto e fabricação constarão no Produto Educacional gerado.

No capítulo 4, abordo o percurso metodológico da aplicação do produto. Procuo articular o referencial teórico adotado com a percepção dos estudantes que participaram das atividades propostas, interagindo com os objetos previamente impressos. Busco identificar pontos positivos e negativos dessas interações e possíveis impactos na motivação, relacionados à origem desses objetos.

Finalmente, no capítulo 5 apresento reflexões sobre o processo e pistas encontradas na busca por validação da proposta que motivou este trabalho. Apresento também outras propostas para futuros trabalhos na mesma área.

O Apêndice A contém a íntegra das respostas fornecidas pelos estudantes durante as entrevistas; o Apêndice B contém o Produto Educacional. O Anexo A traz o material impresso fornecido aos estudantes para a primeira atividade realizada. No Anexo B encontra-se o modelo da autorização (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) enviado aos responsáveis para a participação dos estudantes na pesquisa.

# Capítulo 2

## PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

---

### 2.1 Introdução à Teoria da Sensibilidade ao Reforço - TSR

A Teoria da Sensibilidade ao Reforço (*Reinforcement Sensitivity Theory - RST*) é um modelo psicológico que visa a explicar as diferenças individuais no comportamento humano com base na resposta a estímulos de recompensa e punição. Proposta originalmente pelo neurocientista britânico Jeffrey Gray, na década de 1970 (Gray, 1970), apoia-se em estudos sobre o cérebro e a regulação emocional, destacando como os sistemas neurais influenciam a personalidade e o comportamento. Gray concebeu seu modelo como uma evolução do modelo de Hans Eysenck, um polêmico psicólogo alemão que se interessava, entre outros assuntos, pela constituição da inteligência e da personalidade. Porém, enquanto Eysenck focava nos traços de extroversão, neuroticismo e psicoticismo, Gray propunha que as diferenças individuais seriam mais bem explicadas pela sensibilidade a estímulos reforçadores e punitivos. Inicialmente sua teoria postulava dois sistemas neurais principais:

1. *Behavioral Approach System* – BAS (Sistema de Ativação Comportamental): relacionado à resposta a recompensas e ao incentivo para buscar experiências prazerosas.

2. *Behavioral Inhibition System* – BIS (Sistema de Inibição Comportamental): responsável pela detecção de ameaças e pela regulação do medo e da ansiedade.

Posteriormente, na reformulação da teoria feita por Gray & McNaughton (2000), um terceiro sistema foi incorporado:

3. *Fight, Flight, Freeze System* – FFFS (Sistema de Luta ou Fuga): ativado em situações de perigo imediato, promovendo respostas de luta, fuga ou paralisação.

Essa atualização permitiu refinar o entendimento do BIS, reconhecendo que essa resposta se relaciona mais com a avaliação de incertezas e conflitos, enquanto o FFFS se concentra em ameaças diretas (Bijttebier et al., 2009). Com os avanços em neurociência e psicologia, a RST tornou-se uma referência importante para entender transtornos emocionais, como ansiedade e

depressão. Além disso, a teoria tem sido aplicada em diversas áreas, incluindo educação, psicologia organizacional e saúde mental.

Mais recentemente, o psicólogo americano Jonathan Haidt incorporou essa teoria em sua análise sobre o impacto das mudanças sociais, principalmente com a abundante inclusão de tecnologias digitais móveis (*smartphones, tablets, smartwatches*) na infância e adolescência. Em seu livro "A Geração Ansiosa" (Haidt, 2024), que tem sido muito lido e debatido em ambientes educacionais, entre pais e entre profissionais ligados à saúde mental, o autor associa a piora na saúde mental de crianças e adolescentes, que se acentuou na última década, ao uso prematuro e excessivo de dispositivos portáteis com acesso à internet.

A geração Z foi a primeira a passar pela puberdade com um portal no bolso, que os afastava das pessoas próximas e os atraía para um universo alternativo empolgante, viciante, instável e - como vou mostrar - inadequado a crianças e adolescentes. Ser socialmente bem-sucedido nesse universo exigia que eles dedicassem grande parte de sua consciência - o tempo todo - a gerenciar o que viria a se tornar sua marca na internet. (Haidt, 2024, p.15)

Ainda nesse contexto de hiperconectividade e de alienação da vida física, chamada por ele de “vida corpórea”, Haidt alerta para um declínio na vivência de experiências no mundo real, alterando processos de desenvolvimento neurológico estabelecidos pela nossa história evolutiva, originalmente vivenciados no mundo real. Segundo Haidt (2024, p.85)

Os ambientes que moldaram a evolução hominídea ao longo dos últimos milhões de anos eram extremamente variáveis, com períodos de segurança e abundância se alternando com temporadas de escassez, perigo, seca e fome. [...] Essa alternância de ambientes moldou e definiu redes cerebrais mais antigas em dois sistemas especializados para cada uma dessas situações. O BAS (*modo descoberta*) é acionado quando são detectadas oportunidades [...] Já o BIS (*modo defesa*) é acionado quando se detectam ameaças.

Em seu livro Haidt substitui os termos BAS e BIS por modo descoberta e modo defesa, respectivamente, por julgá-los mais intuitivos. Uma das teses que defende ao longo do livro é a de que a falta de brincadeiras e interações ativas pode levar os jovens a um predomínio do modo defesa:

Jovens nascidos depois de 1995 têm mais chances de ficar presos ao modo defesa, comparados às pessoas nascidas antes disso. Eles estão sempre alertas à possibilidade de ameaças, em vez de sedentos por novas experiências, e são mais ansiosos. (Haidt, 2024, p.114)

Essas colocações levam à reflexão sobre um importante papel que pode ser atribuído ao Laboratório Didático: o exercício do modo descoberta. Partindo dos argumentos apresentados por Haidt, que levam à inevitável conclusão de que os jovens estão menos abertos a descobertas e mais arredios a novas experiências, é possível cogitar que atividades experimentais criem oportunidades para reconstruir e resgatar a curiosidade e o desejo de explorar. Pelas suas características, as atividades experimentais permitem uma maior personalização do ensino, possibilitando criar desafios específicos para estudantes com um sistema BAS mais ativo (modo descoberta) e, por outro lado, pode oferecer um ambiente de aprendizagem mais seguro e estruturado para evitar ansiedade em estudantes com um BIS mais sensível (modo defesa). Considerando que o último grupo possa se sentir acolhido nesse espaço, uma redistribuição entre os dois sistemas neurais pode ocorrer, levando a uma ampliação do modo descoberta.

Como será apresentado no próximo tópico, há uma convergência entre o exposto acima e o importante papel das interações sociais para o desenvolvimento dos estudantes, conforme a Teoria da Mediação de Vigotski.

## **2.2 Vigotski e a Aprendizagem Sociocultural**

Lev Semiónovitch Vigotski (também grafado como Vygotsky ou Vigotskii em diferentes transliterações do russo), será referido neste trabalho como Vigotski. Iniciou sua trajetória intelectual na Psicologia após obter o diploma em Direito pela Universidade de Moscou, em 1917. Segundo Dias e Faria (2025), durante sua formação Vigotski estudou, simultaneamente, outros assuntos como Literatura e Psicologia. De 1917 a 1923, foi professor de Literatura e Psicologia numa escola em Gomel, onde dedicava-se também a dar palestras sobre os problemas da literatura e da ciência e dirigiu a seção de teatro do centro de educação de adultos.

No âmbito desses cursos Vigotski organizou o gabinete de psicologia, onde as ideias eram sistematizadas em relatório e apresentadas no IIº Congresso Russo de Psiconeurologia, em Petrogrado, no início de 1924 causando espanto e admiração em pesquisadores renomados. (Dias e Faria, 2025)

Sua importância acadêmica seria formalmente reconhecida a partir de uma apresentação, em 1924, no Congresso de Neuropsicologia de Leningrado, no qual estava presente, entre outros importantes nomes da época, A. R. Luria. Ao descrever o impacto causado por essa apresentação, Luria relembra que Vigotski não tinha um texto escrito para ler, nem mesmo notas. Todavia, falou fluentemente, parecendo nunca parar para buscar na memória a ideia

seguinte (Vigotskii, Luria e Leontiev, 2010). Em função de sua participação brilhante foi convidado a trabalhar no Instituto de Psicologia de Moscou (Dias e Faria, 2025).

Entre 1925 e 1934 Vigotski reuniu em torno de si um grande grupo de jovens cientistas, que trabalhavam nas áreas da psicologia e no estudo das anormalidades físicas e mentais. Simultaneamente, o interesse pela medicina levou Vigotski a fazer o curso de medicina, primeiro no Instituto Médico, em Moscou, e posteriormente em Kharkov, onde também deu um curso de psicologia na Academia de Psiconeurologia da Ucrânia. (Vigotski, 2007, p. XXXVIII)

No Instituto, Vigotski imediatamente fundou um grupo de pesquisa com outros pesquisadores como Alexander Luria e Alexei Leontiev, grupo que produziu importantes trabalhos nos campos da Psicologia e do Desenvolvimento. Ao mesmo tempo, dedicava-se às atividades educacionais em várias instituições, principalmente no Instituto Pedagógico de Moscou e no Instituto de Defectologia, dedicado à escolarização de crianças com deficiência. Neste último, Vigotski desenvolveu novas estratégias de ensino voltadas a crianças atípicas.

Mesmo com sua morte prematura, aos 37 anos, vítima da tuberculose, Vigotski produziu mais de 280 trabalhos (Dias e Faria, 2025), alguns dos quais seriam agrupados posteriormente na forma de livros.

Após sua morte teve a publicação de suas obras proibidas na União Soviética, no período de 1936 a 1956, por conta da sua ligação com a pedologia (estudo da criança). No entanto isso já vinha sendo resultado de acusações feitas no início de 1929, de que a Psicologia Histórico Cultural era antimarxista e reacionária (Dias e Faria, 2025).

Nos últimos anos a obra de Vigotski tem recebido críticas de revisionistas que alegam falta de integridade acadêmica em seus escritos e de seus colaboradores. Em busca de esclarecimentos sobre o contexto da produção de Vigotski, outros elementos acabaram vindo à tona. Em uma resenha sobre a coletânea intitulada “Revolução revisionista nos estudos Vigotskianos”, organizada por Anton Yasnitsky e René van der Veer, publicada em 2016, Costa (2016) observa que:

De forma complementar a argumentação anterior, Jennifer Fraser e Anton Yasnitsky têm como objetivo, no terceiro capítulo, desconstruir a narrativa do “banimento de Vigotski” na União Soviética. O núcleo desse banimento seria a ausência de publicações dos textos de Vigotski durante vinte anos, entre 1936 e 1956. A supressão da Pedologia pode ter sido um possível culpado para o banimento. É esclarecido que apesar da ausência de publicações, seu nome não foi evitado em vários fóruns públicos importantes. Apesar de evidenciar que a história sobre o banimento pode ter sido propagada de forma laudatória

e ter carecido de fontes documentais, ao final os autores constataam, a partir de descobertas recentes, que de fato algumas obras foram banidas oficialmente, ao que tudo indica, principalmente por fazerem referência a Trótski.

Enfim, sob ataque ou não, a obra de Vigotski continua sendo um dos pilares para o entendimento do papel das relações sociais no aprendizado, na importância da linguagem e sua relação com a constituição do pensamento humano.

A Teoria Sociocultural de Vygotsky, também denominada Teoria da Mediação, é amplamente classificada como uma abordagem construtivista de base histórico-cultural, uma vez que compreende o desenvolvimento humano como resultado das interações sociais mediadas por instrumentos e signos (Vigotski, 2007; Moreira, 2022).

As palavras, por exemplo, são signos linguísticos. Gestos também são exemplos de signos. Os significados de palavras e gestos são construídos socialmente. Consideremos a palavra “mesa”: socialmente, está acordado que esse signo linguístico significa o que há de regularidade em uma quantidade infinita de determinado tipo de objetos. Consideremos o gesto de apontar: socialmente se aceita para ele, entre outros, o significado de indicar um objeto, de querer esse objeto. Mas os significados são contextuais: em outra língua, a palavra “mesa” pode não significar nada ou ter significado distinto. A palavra “pesquisa”, por exemplo, em português se aplica geralmente a atividade científica, enquanto em espanhol se refere mais à investigação policial. Gestos que têm significado obscuro em uma cultura podem não o ter em outra. (Moreira, 2022. P.90)

Ao contrário de outras teorias, que privilegiam o desenvolvimento individual e inato, a Teoria da Mediação considera que a aprendizagem é essencialmente social.

Embora a obra de Vigotski seja bastante vasta, para o fim a que se destina este trabalho será dedicada especial atenção a um aspecto em particular que, não por acaso, é um aspecto central em sua teoria: a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Porém, antes de apresentar esse conceito, apresentarei dois pontos do trabalho de Vigotski que podem ser de interesse para o leitor que pretenda aplicar a Teoria da Mediação em contextos educacionais voltados a crianças e adolescentes:

**- O olhar sobre o brincar no desenvolvimento da criança:** Vigotski considera o brincar como um fator essencial para o desenvolvimento uma vez que permite à criança explorar os papéis sociais e de desenvolver as competências relacionadas com seu nível atual.

Em um sentido, no brinquedo a criança é livre para determinar suas próprias ações. No entanto, em outro sentido, é uma liberdade ilusória, pois suas ações são, de fato, subordinadas aos significados dos objetos, e a criança age de acordo com eles. Sob o ponto de vista do desenvolvimento, a criação de uma situação imaginária pode ser considerada como um meio para desenvolver o pensamento abstrato. O desenvolvimento correspondente de regras conduz a ações, com base nas quais se torna possível a divisão entre trabalho e brinquedo, divisão esta encontrada na idade escolar como um fato fundamental. (Vigotski, 2007, p.123-124)

**- O papel da mediação:** para Vigotski, a mediação é o conceito fundamental que explica como ocorrem a aprendizagem e o desenvolvimento. Os seres humanos não interagem com o seu ambiente de maneira direta e imediata; ao contrário, sua relação com o mundo é sempre mediada por instrumentos e signos, ora de natureza material, ora de natureza simbólica.

A inclusão de uma nova ferramenta, ela própria portadora de uma carga cultural anterior que conduziu à sua concepção e construção, num processo de comportamento, introduz diversas funções novas relacionadas com o uso da referida ferramenta e com o seu controle. (Fino, 2001)

Dessa forma, a mediação transforma profundamente a maneira como o indivíduo pensa e aprende. Nessa perspectiva, um ensino eficaz implica criar situações nas quais o estudante possa realizar tarefas com o auxílio de um mediador, que não conseguiria realizar de forma autônoma, caracterizando a Zona de Desenvolvimento Proximal.

Para cumprir seu papel, o mediador deve oferecer possibilidades de exploração compatíveis com o nível de desenvolvimento do aprendiz. Um jogo, por exemplo, não deve ser excessivamente complexo nem exigir operações mentais que estejam além de sua capacidade potencial. Um quebra-cabeças pode favorecer a elaboração de estratégias de categorização das peças, desde que sua complexidade seja adequada à faixa etária do estudante.

Quando o mediador é humano, como no caso do professor, torna-se necessário ajustar o nível de assistência às necessidades do estudante, reduzindo-o progressivamente à medida que este desenvolve maior autonomia.

Por exemplo, na interação social que deve caracterizar o ensino, o professor é o participante que já internalizou significados socialmente compartilhados para os materiais educativos do currículo. Em um episódio de ensino o professor, de alguma maneira, apresenta ao aluno significados socialmente aceitos, no contexto de matéria de ensino, para determinado signo - da Física, da Matemática, da Língua Portuguesa, da Geografia. O aluno deve, então, de alguma maneira “devolver” ao professor o significado que captou. Nesse

processo, o professor é responsável por verificar se o significado que o aluno captou é aceito, compartilhado socialmente. (Moreira, 2022. p.96)

### **Zona de Desenvolvimento Proximal (ou Próximo) - ZDP**

Conceito central na teoria de Vigotski, a Zona de desenvolvimento Proximal ou Zona de Desenvolvimento Próximo, como também tem sido denominada, descreve o espaço cognitivo dentro do qual a aprendizagem apresenta seu maior potencial de desenvolvimento (Vigotski, 2007; Fino 2001). Essa região de aprendizagem situa-se entre dois níveis de desenvolvimento cognitivo: o nível atual e o nível potencial. O primeiro corresponde às tarefas que um estudante pode realizar de maneira autônoma, sem qualquer assistência. O segundo, por outro lado, engloba as tarefas que o estudante poderia realizar com a ajuda de um par mais experiente no domínio em questão. Vigotski considerava que, enquanto o desenvolvimento atual caracteriza retrospectivamente o desenvolvimento, a ZDP caracteriza o desenvolvimento mental prospectivamente (Fino, 2001).

A Zona de Desenvolvimento Proximal define as funções que ainda não amadureceram, mas que estão no processo de maturação. É uma medida do potencial de aprendizagem; representa a região na qual o desenvolvimento cognitivo ocorre; é dinâmica, está constantemente mudando. A interação social que provoca a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal, mas, ao mesmo tempo, tem um papel importante na determinação dos limites dessa zona. (Moreira, 2022. p. 93)

No contexto do Laboratório Didático, principalmente quando se trata das ciências da natureza e, no caso do trabalho em questão, da Física, é inevitável que o estudante traga consigo alguma compreensão, ainda que rudimentar, sobre o assunto que se pretende ensinar. Por exemplo, desde muito cedo a criança aprende que os objetos caem. Esse entendimento pertence ao nível atual do estudante, nos termos definidos pela teoria vigotskiana. Cabe ao instrutor estabelecer até onde esse entendimento pode ser refinado levando em conta a idade e o nível de desenvolvimento cognitivo desse estudante. Para crianças mais jovens, conceitos como cair mais depressa ou mais devagar poderiam ser explorados no universo da região potencial. Em se tratando de estudantes mais velhos, a região potencial poderia ser expandida até ferramentas para calcular o tempo de queda, velocidades envolvidas e, quando for o caso, envolver a aceleração gravitacional. Portanto, no exemplo citado, a Zona de Desenvolvimento Proximal corresponderia ao conjunto de habilidades que podem ser desenvolvidas a partir do

conhecimento espontâneo sobre a queda dos corpos até a elaboração de modelos quantitativos que envolvem tempo, velocidade e aceleração gravitacional.

Torna-se evidente, assim, que essa região é específica para cada indivíduo uma vez que, mesmo considerando que os estudantes são agrupados por faixa etária, as experiências prévias e interações sociais vivenciadas por cada um, seja na escola, seja fora dela, levam à assimilação de diferentes instrumentos e signos e, portanto, diferentes predisposições para refinar o seu conhecimento.

# Capítulo 3

## A FÍSICA APLICADA AO PRODUTO EDUCACIONAL

---

Durante a aplicação do produto educacional gerado por este trabalho, os estudantes foram confrontados com sistemas físicos impressos em 3D e aplicaram conceitos de Física previamente estudados nas disciplinas regulares. Neste capítulo, apresento alguns aspectos históricos e conceituais das três Leis de Newton para o movimento, que constituem o principal conteúdo utilizado durante as atividades.

Inicialmente, faço um paralelo entre a forma como essas leis foram originalmente enunciadas por Newton e como foram impactadas por diferentes métodos de análise ao longo do tempo até chegar no formato em que hoje são apresentadas aos estudantes do Ensino Médio e em cursos introdutórios de Física no ensino superior.

Em seguida, essas leis são aplicadas a dois problemas clássicos da mecânica que possibilitam uma discussão sobre os referenciais adequados para a aplicação dessas leis.

### 3.1 As Leis de Newton para o movimento

É possível que a maioria dos professores de Física atuantes no Ensino Médio considerem *Os Principia (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural)* como a principal e mais impactante obra no campo da Física e ciências correlatas. *Os Principia* são a primeira exposição sistemática e rigorosa, sob o ponto de vista matemático, da compreensão científica do mundo, projetando a sua influência, de uma forma decisiva, na forma e no método como, a partir de então, começou-se a pensar e a fazer ciência (Fitas, 1996). Todos reconhecem a posição de Isaac Newton na história da ciência, de tal modo que muitos autores defendem que o seu trabalho é um dos maiores alcançados pelo intelecto humano (Balola, 2010).

Porém, uma questão diferente é conhecer e compreender as ferramentas e linguagem usados por Newton para apresentar e argumentar a favor de suas ideias. É natural que, por desconhecimento ou esquecimento, não se considere que os recursos conceituais disponíveis,

assim como a cultura científica na época da publicação dessa obra, eram muito diferentes. Conforme alerta Martins (2021, p. 196-197):

Nossos livros didáticos sobre Mecânica utilizam constantemente equações escalares e vetoriais para representar as relações entre as grandezas físicas. Além disso, no nível universitário, mostram como manipular essas grandezas utilizando as técnicas do cálculo diferencial e integral. Isso é tão familiar atualmente que pode parecer que sempre foi assim e que o próprio Isaac Newton já devia utilizar esse tipo de formalismo e essas técnicas. Afinal de contas, não foi ele um dos descobridores do cálculo diferencial e integral? No entanto, em nenhum ponto de suas obras Newton apresentou equações mecânicas como as que utilizamos (nem escalares, nem vetoriais). Ele jamais escreveu, por exemplo,  $F = ma$  nem  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Na mecânica, ele trabalhava constantemente com as ideias de limite, derivada e integral, mas não utilizava símbolos para representar esses conceitos, nem empregava os métodos matemáticos para determinar seus valores. Seu método era, essencialmente, geométrico – em um sentido que será mostrado mais adiante.

*Os Principia* são compostos por três livros, escritos em latim:

Livro I: O Movimento dos Corpos;

Livro II: O Movimento dos Corpos (em Meios com Resistência);

Livro III: O Sistema do Mundo (Tratado Matematicamente).

O Livro I introduz as bases da Mecânica Clássica, iniciando com oito Definições e três Axiomas (ou Leis). As definições caracterizam conceitos de matéria, movimento e força, sendo as últimas quatro dedicadas aos movimentos curvilíneos:

**Definição I:** *a quantidade de matéria é a medida da mesma, obtida conjuntamente a partir de sua densidade e volume.* (Newton, 2020. p.39)

**Definição II:** *a quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria.* (Newton, 2020. p.40)

**Definição III:** *A vis insita, ou força inata da matéria é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.* (Newton, 2020. p.40)

**Definição IV:** *Uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, seja de movimento uniforme em uma linha reta.* (Newton, 2020. p.41)

**Definição V:** *Uma força centrípeta é aquela pela qual os corpos são dirigidos ou impelidos, ou tendem, de qualquer maneira, para um ponto ou centro.* (Newton, 2020. p.41)

**Definição VI:** *A quantidade absoluta de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à eficácia da causa que a propaga a partir do centro, através dos espaços ao seu redor.* (Newton, 2020. p.42)

**Definição VII:** *A quantidade acelerar ativa de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que ela gera em um dado tempo.* (Newton, 2020. p.43)

**Definição VIII:** *A quantidade motora de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional ao movimento que ela gera em um dado tempo.* (Newton, 2020. p.43)

Há, é claro, vários aspectos a serem esclarecidos sobre essas definições. Inclusive quanto aos conceitos que o próprio Newton não esclarece. Por exemplo, na Definição I, em que o conceito de densidade não é definido.

Newton não discute o conceito de densidade. Newton não se sente na obrigação de o explicitar porque parte do princípio que é um dado adquirido. Ainda no seu comentário à definição de quantidade de matéria, Newton esclarece que dali em diante designará a quantidade de matéria “sob o nome de corpo ou massa, indistintamente”, ou seja, a quantidade de matéria é equivalente à massa ou ao corpo. E que a referida quantidade de matéria “é conhecida pelo peso de qualquer corpo”, pois como o autor dos *Principia* clarifica, “por meio de experiências cuidadosamente realizadas com pêndulos”, descobriu que “é proporcional ao peso”. Com isto Newton pretende significar que as experiências dos pêndulos provam a proporcionalidade dos pesos dos corpos e as suas massas. (Balola, 2010. p. 19)

Em seguida, são apresentadas as três Leis do Movimento:

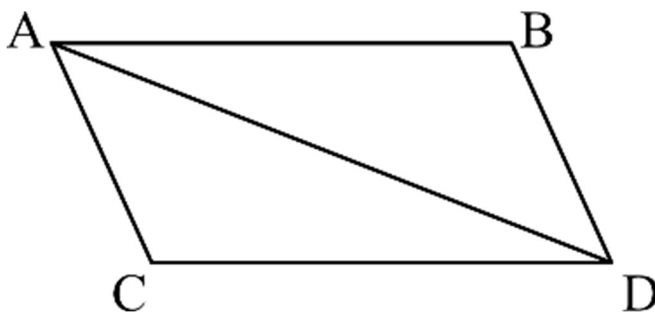
**Lei I:** *Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.* (Newton, 2020. p.53)

**Lei II:** *A mudança de movimento é proporcional a força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.* (Newton, 2020. p.54)

**Lei III:** *A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.* (Newton, 2020. p.54)

Para justificar a argumentação apresentada no início deste capítulo, sobre as diferentes ferramentas e linguagens adotadas por Newton em sua obra, vejamos como ele justifica a equivalência entre a ação da resultante de duas forças concorrentes atuando sobre um corpo e a ação individual e simultânea dessas duas forças sobre o mesmo corpo, usando como referência a Figura 3.1, apresentada em seu Corolário I:

**Figura 3.1** – Reprodução da figura usada por Newton em sua explicação do Corolário I.

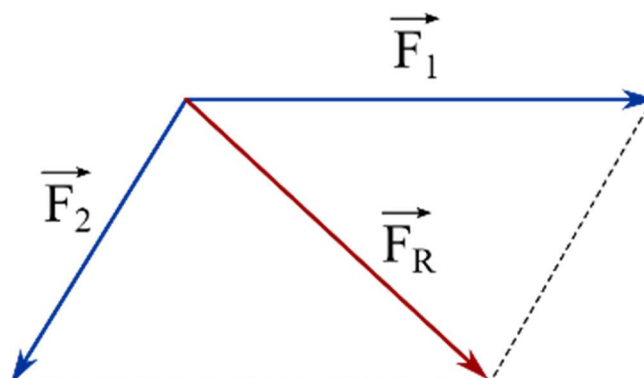


**Fonte:** Elaborada pelo autor. (2025)

Se um corpo num dado tempo, pela força M imprimida separadamente no lugar A, fosse levado com um movimento uniforme de A até B, e pela força N imprimida separadamente no mesmo lugar, fosse levado de A para C, completa o paralelogramo ABCD, e por ambas as forças agindo juntas, o corpo seria levado, no mesmo tempo, na diagonal de A para D. Pois, uma vez que a força N age na direção da linha AC, paralela a BD, essa força (pela Segunda Lei) de modo algum altera a velocidade gerada pela outra força M, pela qual o corpo é levado em direção à linha BD. O corpo, portanto, chegará na linha BD no mesmo tempo, seja a força N imprimida ou não e, portanto, ao final daquele tempo será encontrado em algum lugar da linha BD. Pelo mesmo argumento, ao final do mesmo tempo, ele será encontrado em algum lugar da linha CD. Portanto, ele será encontrado no ponto D, onde ambas as linhas se encontram. Mas mover-se-á numa linha reta de A para D, pela Lei I. (Newton, 2020, p.55)

Observa-se uma grande diferença entre o raciocínio empregado por Newton e a estratégia atual para justificar o mesmo fato, cuja representação está na Figura 3.2:

**Figura 3.2** – Reprodução de uma ilustração atual para justificar o efeito da resultante de duas forças atuando sobre um corpo.



**Fonte:** elaborada pelo autor. (2025)

Se duas ou mais forças individuais ( $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$ ) atuam simultaneamente sobre um objeto, o resultado é similar ao de uma única força ( $\vec{F}_R$ ) que corresponde ao vetor soma das forças individuais atuando no lugar delas. As forças combinadas dessa forma correspondem ao princípio da superposição. (Tipler *et al*, 2008. p. 96 – Tradução nossa).

Entretanto, ainda que a linguagem e os recursos matemáticos utilizados por Newton sejam diferentes daqueles que estão em prática atualmente, uma leitura atenta de seu texto possibilita reconhecer algumas situações bastante frisadas nas aulas de Física, como ocorre com o Corolário III:

A quantidade de movimento, que é obtida tomando-se a soma dos movimentos dirigidos para as mesmas partes, e a diferença daqueles que são dirigidos a partes contrárias, não sofre mudança a partir da ação de corpos entre si. (Newton, 2022, p.57)

É possível que, a partir da leitura do fragmento acima, um estudante do Ensino Médio interessado em Física reconheça a situação em que, não ausência de forças externas (sistema mecanicamente isolado) a quantidade de movimento se conserva.

Embora as implicações (e aplicações) da 1ª e da 3ª Lei sejam, ainda, motivo de debates, seus formatos permanecem praticamente idênticos à formulação original. Referente à Lei I, encontramos em um livro didático atual a seguinte definição: “um corpo permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme se nenhuma força for exercida sobre ele” (Gaspar, 2011, p. 111).

Essa lei, conhecida como Primeira Lei de Newton ou Lei da Inércia, pode ser apresentada, numa linguagem mais concisa, na forma

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \text{Repouso ou MRU} \quad (3.1)$$

A representação acima pode ser entendida como: Quando a resultante das forças externas que atua sobre um corpo for nula, o corpo permanecerá em repouso ou em Movimento Retilíneo Uniforme.

O enunciado dessa lei remete à característica inata do corpo de permanecer no seu estado atual, definida por Newton como a *força inata da matéria*, em sua Definição II.

Para a Lei III, encontramos em outro livro a seguinte definição: “A toda ação existe uma reação de mesma intensidade e direção, mas de sentido oposto”. (Pietrocola *et al*, 2011, p. 271).

**Figura 3.3** – Representação de forças de um par ação e reação atuando durante a interação entre o pé e a bola.



**Fonte:** elaborada pelo autor. (2025)

Da representação da Figura 3.3, decorre que  $\vec{F}_{PB} = -\vec{F}_{BP}$ , de forma que, embora essas forças não se anulem mutuamente, quando se considera o sistema bola+pé, a resultante de forças é nula e, por isso, a quantidade de movimento (ou momento linear) do sistema não se altera pela ação de forças internas ao sistema. Nas palavras de Newton:

Se um corpo se choca com outro, e pela sua força muda o movimento desse, aquele corpo também (por causa da igualdade da pressão mútua) sofrerá uma mudança igual no seu próprio movimento, em direção à parte contrária. As mudanças feitas por essa ação são iguais não nas velocidades, mas nos movimentos dos corpos. (Newton, 2020, p.54)

Vale lembrar que, na citação anterior, “movimento” corresponde a quantidade de movimento, numa linguagem moderna.

É notável o fato de esses enunciados permanecerem praticamente inalterados após mais de 300 anos! Por outro lado, o mesmo não ocorre com a Lei II. O motivo para isso é que dessa

última decorrem resultados quantitativos significativos e que foram obtidos por Newton através das ferramentas que tinha à sua disposição e nas quais confiava. Já no prefácio da 1ª edição dos *Principia*, Newton argumenta em favor da geometria:

Como os artesãos não trabalham com rigor perfeito, diferenciam a mecânica da geometria, o que é perfeitamente preciso é chamado geométrico, o que é menos rigoroso é chamado mecânico (...) Aquele que trabalha com menor rigor é um mecânico imperfeito; e se alguém pudesse trabalhar com rigor perfeito, seria o mais perfeito dos mecânicos, pois os desenhos de linhas retas e círculos, sobre os quais a geometria está fundada, pertence à mecânica (...) Desenhar linhas retas e círculos é um problema, mas não um problema geométrico. A solução deste problema é exigida da mecânica, e seu uso é mostrado pela geometria; e é a glória da geometria que, a partir desses poucos princípios, trazidos do nada, seja capaz de exibir tantos resultados. (Newton, 2020, p.13-14).

Com o passar dos anos, o trabalho de outros cientistas trouxe novos recursos matemáticos que possibilitaram novas aplicações e justificativas para as ideias de Newton. Ou seja, se atualmente nossos livros são tão diferentes daqueles produzidos por Newton (e provavelmente por seus contemporâneos), em grande parte essa diferença se deve aos *formalismos matemáticos* empregados naquela época e hoje em dia (Martins, 2021, p.3). Por esse motivo não se encontra na obra de Newton nada parecido com a Lei II que há atualmente nos livros didáticos do Ensino Médio, apresentada na forma  $\vec{F} = m\vec{a}$ .

Quanto ao formalismo matemático empregado no estudo das leis da Natureza, uma das importantes mudanças de abordagem foi introduzida por Leonhard Euler em 1727, alguns anos após a morte de Newton. Em sua obra *Mecânica, ou a Ciência do Movimento Exposta de Modo Analítico*, Euler revisita o estudo dos movimentos com uma estratégia diferente.

O próprio título da obra é uma novidade, em dois sentidos. Primeiramente, porque até aquela época se dava o nome de “mecânica” principalmente ao estudo das máquinas e da estática. Em segundo lugar, porque o título do livro indica que o estudo será apresentado através de fórmulas (ou seja, de modo analítico) e não pelo método geométrico, como na obra de Newton. (Martins, 2021, p. 24)

Nessa nova perspectiva, podemos reescrever a Definição II, em que Newton estabelece o conceito de quantidade de movimento (também chamado momento linear) que representaremos por  $\vec{p}$  e considerando o aspecto vetorial da velocidade ( $\vec{v}$ ), na forma  $\vec{p} = m\vec{v}$ , com  $m$  representando a quantidade de matéria (massa, numa interpretação moderna). A Lei II estabelece uma proporção entre a mudança do “movimento” (que entendemos como quantidade de movimento) e a força motora ( $\vec{F}$ ) que corresponde à resultante das forças externas que atuam

sobre o corpo. Podemos então conjecturar que essa força motora, atuando sobre o corpo durante certo tempo, corresponderá à mudança da quantidade de movimento do corpo durante esse tempo, ou seja,  $\vec{F}$  corresponderá à taxa de variação de  $\vec{p}$ . Recorrendo ao cálculo diferencial, para intervalos pequenos de tempo, representados por  $dt$ , teremos pequenas variações de  $\vec{p}$ , representadas por  $d\vec{p}$  ou

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (3.2)$$

Como  $\vec{p} = m\vec{v}$ , teremos:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt} \quad (3.3)$$

Considerando que a massa do corpo permanece constante, a sua taxa de variação será nula e a segunda parcela da soma se anulará, restando

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (3.4)$$

Mas a parcela  $\frac{d\vec{v}}{dt}$  corresponde à taxa de variação da velocidade em relação ao tempo, ou seja, à aceleração. Assim, podemos escrever

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (3.5)$$

que corresponde à forma encontrada para a Lei II ou Segunda Lei de Newton nos livros didáticos de Ensino Médio.

Embora não seja utilizada neste trabalho, outra implicação importante da Lei II pode ser obtida escrevendo a equação 3.4 da seguinte forma:

$$\vec{F} dt = m d\vec{v} \Rightarrow \int \vec{F} dt = \int m d\vec{v} = m \int d\vec{v} \quad (3.6)$$

Para uma resultante de forças constante, durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ , teremos

$$\vec{F}(t - t_0) = m(\vec{v} - \vec{v}_0) \Rightarrow \vec{F}\Delta t = \vec{p} - \vec{p}_0 \quad (3.7)$$

A primeira parcela ( $\vec{F}\Delta t$ ) é chamada de Impulso e a segunda corresponde à variação da quantidade de movimento, o que leva a

$$\vec{I} = \Delta\vec{p} \text{ (Teorema de Impulso)} \quad (3.8)$$

### 3.2 A Importância do Referencial Para a Aplicação das Leis de Newton

Em seu trabalho, Newton explicitou a importância de estabelecer um sistema de referência para que suas leis fossem válidas (atualmente chamado de referencial inercial). Para isso, definiu os conceitos de tempo absoluto e espaço absoluto. Newton acreditava que existiria algum corpo que pudesse ser tomado como referencial absoluto:

Mas podemos diferenciar repouso e movimento, absoluto e relativo, por suas propriedades, causas e efeitos. É uma propriedade do repouso que os corpos realmente em repouso repousem uns com relação aos outros. É, portanto, é possível que nas regiões remotas das estrelas fixas, ou talvez muito além delas, possa haver algum corpo em repouso absoluto. (Newton, 2020, p.47)

Posteriormente, a ideia de repouso absoluto viria a ser contestada por Ernst Mach e Albert Einstein.

Ao fazer menção às estrelas fixas, que por estarem muito distantes funcionam como uma boa aproximação para um referencial inercial, Newton conjecturou que elas, assim como o sol, poderiam ser o centro de sistemas análogos ao solar. Para se fundar uma teoria consistente era preciso evitar que as estrelas fixas se atraíssem gravitacionalmente levando a um colapso da sua cosmologia, o que pelo ponto de vista de Mach seria não só o colapso da cosmologia quanto do próprio significado de espaço, haja vista que o colapso da matéria num ponto tornaria impossível a intuição do espaço pois se estaria na ausência de outros sistemas que poderiam servir como referência. (Gracia, 2019)

Sob um ponto de vista moderno, os referenciais para análise de um movimento são divididos em inerciais e não inerciais. O critério para essa divisão é justamente a validade das Leis de Newton. Um referencial é classificado como inercial quando, observado a partir desse referencial, um corpo livre da ação de forças externas (ou cuja resultante das forças externas atuantes seja nula), permanece em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme”. Colocando de outra forma: um referencial inercial (A) é aquele que apresenta aceleração nula em relação ao sistema em análise (S). Outra característica marcante é que, se um referencial (A) é considerado inercial para um dado sistema (S), também o será qualquer outro referencial (B) que estejam em repouso ou descrevendo um movimento retilíneo uniforme em relação ao primeiro (A), o que se chama Princípio da Equivalência de Galileu. Portanto, a aplicação da Segunda Lei de Newton considerando o referencial B leva ao mesmo resultado que se obteria adotando o referencial A.

Ainda que as estrelas fixas sejam um sistema de referência aceitável para muitos propósitos, devemos enfatizar que a definição formal de referencial inercial não menciona estrelas, sejam fixas ou não. Se um corpo está livre da ação de forças e se desloca com velocidade constante em determinado sistema de coordenadas, esse sistema é, por definição, um referencial inercial. (Thornton *et al*, 2004, p.53 – Tradução nossa)

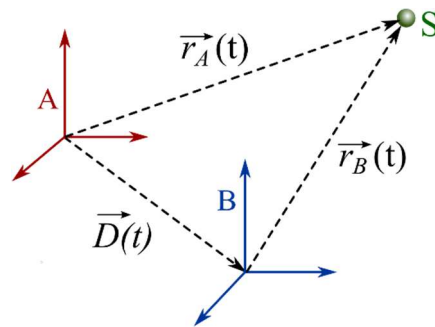
Consideremos um evento em que um corpo S é observado a partir de dois referenciais, A e B, conforme representado na Figura 3.4. Para uma situação em que o referencial B se desloca com velocidade constante  $\vec{v}_0$  em relação ao referencial A, considerado inercial, teremos

$\vec{r}_A(t)$  : posição do corpo em relação ao referencial A

$\vec{r}_B(t)$  : posição do corpo em relação ao referencial B

$\vec{D}(t)$  : posição da origem de B em relação à origem de A

**Figura 3.4** – Dois sistemas de referência (A e B) contendo a representação dos vetores posição do corpo S em relação aos dois sistemas.



Fonte: elaborada pelo autor. (2025).

Em relação ao novo referencial, a posição do corpo S será

$$\vec{r}_A(t) = \vec{r}_B(t) + \vec{D}(t) \quad (3.9)$$

Como a velocidade do referencial B é constante, para um determinado instante de tempo ( $t$ ) teremos

$$\vec{D}(t) = \vec{D}_0 + \vec{v}_0 t \quad (3.10)$$

Derivando a posição do corpo, obtida em 3.9, em relação ao tempo, teremos

$$\frac{d\vec{r}_A}{dt} = \frac{d\vec{r}_B}{dt} + \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (3.11)$$

$$\vec{v}_A = \vec{v}_B + \vec{v}_0 \quad (3.12)$$

Agora, derivando a velocidade do corpo (3.12) em relação ao tempo, teremos

$$\frac{d\vec{v}_A}{dt} = \frac{d\vec{v}_B}{dt} + \frac{d\vec{v}_0}{dt} \quad (3.13)$$

$$\vec{a}_A = \vec{a}_B \quad (3.14)$$

Ou seja, a aceleração encontrada para o corpo S será a mesma considerando-se os dois referenciais, o que leva à conclusão de que o referencial B também é inercial.

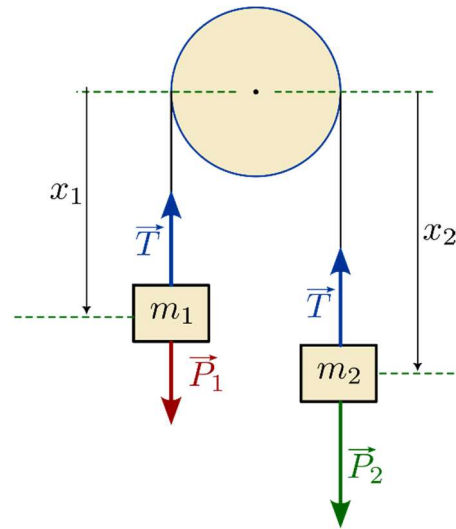
Esse resultado explica por que dois observadores  $O_1$  e  $O_2$ , tais que  $O_1$  está parado à margem de uma rodovia e  $O_2$  está dentro de um veículo que freia (referencial acelerado) têm percepções diferentes do que ocorre aos demais corpos dentro do veículo: enquanto  $O_1$  afirmaria que a velocidade do veículo diminuiu e os demais objetos mantêm seu movimento retilíneo e uniforme (conforme a Lei I),  $O_2$  afirmaria que os demais corpos dentro do veículo, inclusive o seu, estão sendo puxados para a frente por alguma força. Nesse caso,  $O_2$  forma sua percepção a partir de um referencial não inercial.

### 3.3 Aplicação das Leis de Newton à Máquina de Atwood

Para ilustrar como o referencial impacta na aplicação das Leis de Newton, vamos analisar um sistema bastante conhecido que é a máquina de Atwood, representada na Figura 3.5. Esse sistema é constituído por uma polia, fixa pelo centro, da qual pendem dois corpos unidos por um fio.

Inicialmente, vamos procurar a aceleração dos corpos suspensos e a força de tração no fio que os une quando o centro da polia está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, ou seja, quando pode ser considerada um referencial inercial. Em seguida faremos outra análise, considerando que a máquina de Atwood está fixa num elevador que se move com determinada aceleração. Nesse caso, o centro da polia se desloca com a mesma aceleração que o elevador e não poderá mais ser considerada um referencial inercial.

**Figura 3.5** – Máquina de Atwood com dois corpos de massas  $m_1$  e  $m_2$  suspensos através de um fio ideal, com a representação das forças atuantes.



**Fonte:** elaborada pelo autor. (2025).

Em ambos os casos, trataremos o fio como inextensível, desconsideraremos a sua massa e assumiremos que a polia é muito lisa, de forma que não ofereça qualquer resistência ao movimento do fio, ou seja, a polia não rotaciona em torno de seu eixo. Essas simplificações serão adotadas para que não seja necessário adicionar a influência de fenômenos e características inerentes à polia que afetam seu movimento, como o seu momento de inércia e o atrito com o eixo. Essas simplificações são aceitáveis porque

Descrever o movimento de um objeto real no mundo real é normalmente difícil. Frequentemente recorremos a idealizações e aproximações em vários níveis. Ou seja, comumente negligenciamos as pequenas forças que atuam sobre um corpo se essas forças não afetam significativamente o movimento desse corpo. (Thornton *et al*, 2004, p.53 – Tradução nossa)

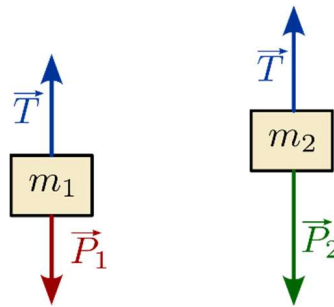
Estamos interessados em determinar a aceleração dos corpos suspensos, que chamaremos de  $a_1$  e  $a_2$  e a intensidade da força de tração ( $T$ ) transmitida pelo fio.

$$a_1 = \frac{d^2 x_1}{dt^2} \quad e \quad a_2 = \frac{d^2 x_2}{dt^2} \quad (3.15)$$

Os dois corpos são atraídos para o centro do planeta. Dessa forma, para que  $m_1$  desça, deverá exercer uma força em  $m_2$ , transmitida através do fio, que chamamos de força de tração, representada por  $\vec{T}$  e direcionada para cima. Porém,  $m_2$  reage a essa força, nos termos da Lei III, exercendo em  $m_1$  uma força de mesma intensidade, também voltada para cima.

Aplicando a Lei II a cada um dos corpos separadamente, conforme representado na Figura 3.6, teremos:

**Figura 3.6** – Representação individual dos dois corpos suspensos com as respectivas forças atuantes.



Fonte: elaborada pelo autor. (2025).

$$\vec{F}_{Res1} = m_1 a_1 = m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} \Rightarrow P_1 - T = m_1 a_1 \Rightarrow m_1 g - T = m_1 a_1 \quad (3.16)$$

$$\vec{F}_{Res2} = m_2 a_2 = m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} \Rightarrow P_2 - T = m_2 a_2 \Rightarrow m_2 g - T = m_2 a_2 \quad (3.17)$$

Como a Lei III estabelece que ação e reação devem ter o mesmo módulo, o valor de  $T$  é o mesmo nas duas equações. Além disso, para que um dos corpos desça é necessário que o outro suba uma distância igual (consideramos o fio inextensível). Ou seja, as acelerações dos dois corpos serão iguais, mas em sentidos contrários:

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = -\frac{d^2 x_2}{dt^2} \Rightarrow a_1 = -a_2 \quad (3.18)$$

Usando o fato de que a força de tração (T) tem o mesmo módulo em ambos os lados do fio, podemos reorganizar as equações (3.16) e (3.17) e escrever

$$m_1g - m_1a_1 = m_2g - m_2a_2 = m_2g + m_2a_1 \quad (3.19)$$

$$m_1g - m_2g = m_1a_1 + m_2a_1 \quad \therefore \quad (3.20)$$

$$a_1 = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}g = -a_2 \quad (3.21)$$

Para o caso em que  $m_1 > m_2$ , a aceleração do corpo 1 será positiva, enquanto a aceleração do corpo 2 será negativa. No sistema de coordenadas adotado na Figura 3.5, o sentido positivo do eixo  $x$  aponta para baixo, o que significa que, sendo abandonado do repouso, o corpo 1 desce enquanto o corpo 2 sobe.

Para determinar a tração no fio, basta aplicar o resultado obtido na equação 3.21 à equação 3.16 ou 3.17:

$$m_1g - T = m_1a_1 \quad \Rightarrow \quad m_1g - T = m_1 \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}g \quad (3.22)$$

Reorganizando, teremos

$$T = m_1g - m_1g \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} \quad \Rightarrow \quad T = m_1g \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) \quad \therefore \quad (3.23)$$

$$T = \frac{2m_1m_2g}{m_1 + m_2} \quad (3.24)$$

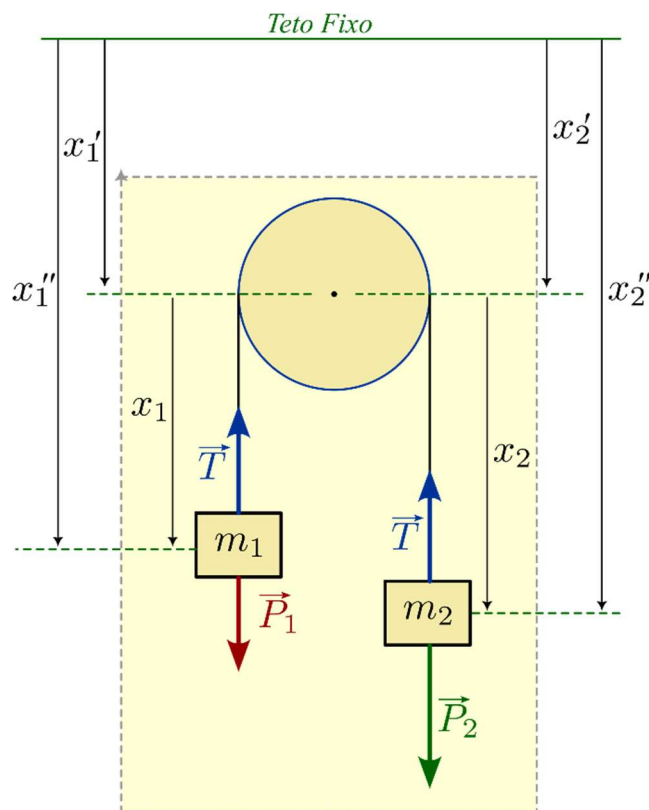
Agora, vamos procurar a aceleração dos corpos suspensos e a força de tração no fio que os une quando a máquina de Atwood está fixa num elevador que se move com determinada aceleração. Nesse caso, o centro da polia se desloca com a mesma aceleração que o elevador e

ela não poderá mais ser considerada um referencial inercial. Para equacionar a nova situação, teremos que considerar também o movimento do elevador, adotando como referencial inercial o teto onde ele está fixo.

Na figura 3.7, a região sombreada em amarelo corresponde à cabine do elevador, já analisada anteriormente. A figura destaca ainda o movimento da cabine em relação ao teto fixo, considerado o novo referencial inercial. Nessa nova situação teremos:

$$x_1'' = x_1 + x_1' \quad \text{e} \quad x_2'' = x_2 + x_2' \quad (3.25)$$

**Figura 3.7** – Máquina de Atwood com dois corpos de massas  $m_1$  e  $m_2$  suspensos através de um fio ideal, com a representação das forças atuantes, considerando o movimento acelerado do elevador.



Fonte: elaborada pelo autor. (2025).

Analisando cada corpo individualmente, conforme já apresentado na Figura 3.6, teremos

$$\vec{F}_{Res1} = m_1 a_1 = m_1 \frac{d^2 x_1''}{dt^2} \Rightarrow P_1 - T = m_1 \frac{d^2 x_1''}{dt^2} = m_1 \frac{d^2(x_1 + x_1')}{dt^2} \quad (3.26)$$

$$\vec{F}_{Res2} = m_2 a_2 = m_2 \frac{d^2 x_2''}{dt^2} \Rightarrow P_2 - T = m_2 \frac{d^2 x_2''}{dt^2} = m_2 \frac{d^2(x_2 + x_2')}{dt^2} \quad (3.27)$$

Isolando T nas equações 3.26 e 3.27 teremos

$$T = m_1 g - m_1 \frac{d^2 x_1'}{dt^2} - m_1 \frac{d^2(x_1)}{dt^2} \quad (3.28)$$

$$T = m_2 g - m_2 \frac{d^2 x_2'}{dt^2} - m_2 \frac{d^2(x_2)}{dt^2} \quad (3.29)$$

Continua válido que, sendo o fio inextensível, para que um dos corpos desça é necessário que o outro suba uma distância igual. Ou seja, internamente ao elevador, as acelerações dos dois corpos serão iguais, mas em sentidos contrários:

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = -\frac{d^2 x_2}{dt^2} \Rightarrow a_1 = -a_2 \quad (3.30)$$

Além disso, vamos considerar que o elevador apresenta uma aceleração  $\alpha$  tal que

$$\alpha = \frac{d^2 x_2'}{dt^2} \quad (3.31)$$

Novamente, usaremos a Lei III para justificar que ação e reação devem ter o mesmo módulo. Assim, igualando os valores de T nas equações 3.28 e 3.29 e substituindo as igualdades das equações 3.30 e 3.31 teremos

$$m_1 g - m_1 \alpha - m_1 a_1 = m_2 g - m_2 \alpha - m_2 a_2 = m_2 g - m_2 \alpha + m_2 a_1 \quad (3.32)$$

$$m_1 g - m_1 \alpha - m_2 g + m_2 \alpha = a_1 (m_1 + m_2) \quad \therefore \quad (3.33)$$

$$a_1 = \frac{(g - \alpha)(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} = -a_2 \quad (3.34)$$

Aplicando o resultado obtido na equação 3.34 à equação 3.28 encontraremos o valor da força de tração no fio, para o caso em que o elevador se desloca com uma aceleração constante  $\alpha$ :

$$T = m_1 g - m_1 \alpha - m_1 \frac{(g - \alpha)(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} \quad (3.35)$$

$$T = (g - \alpha)m_1 - \frac{(g - \alpha)m_1(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} \quad \therefore \quad (3.36)$$

$$T = \frac{2m_1 m_2 (g - \alpha)}{m_1 + m_2} \quad (3.37)$$

Do resultado obtido na equação 3.34 é possível concluir que, quanto maior for a aceleração do elevador, orientada para baixo, menor será a aceleração desenvolvida pelos corpos 1 e 2 observada de dentro do elevador. Caso a aceleração do elevador seja igual à aceleração gravitacional, ou seja, esteja em queda livre, a aceleração interna observada para os corpos será nula, assim como a tração no fio. Isso implica numa situação curiosa: caso seja possível observar o interior do elevador em queda livre, um dinamômetro instalado no fio indicaria o valor zero. Isso corresponde a dizer que se o fio fosse cortado durante a queda, os corpos permaneceriam em repouso, caso fosse essa a sua situação inicial.

Por outro lado, numa situação hipotética em que o elevador estivesse livre de qualquer campo gravitacional significativo, uma aceleração para cima, com valor correspondente à aceleração gravitacional ( $\alpha = -g$ ), aplicada à equação 3.34 levaria ao mesmo resultado que o obtido na equação 3.21, que corresponderia ao elevador em repouso (ou movimento uniforme) num campo gravitacional uniforme de valor  $g$ . Essa constatação é compatível com o Princípio da Equivalência, no contexto da teoria da Relatividade Geral, proposta por Albert Einstein. Esse princípio, formulado a partir das contribuições de Galileo e Newton, foi aperfeiçoado e generalizado por Einstein para todos os sistemas físicos, inclusive para a luz.

Einstein estabelece uma hipótese sobre a natureza física do campo gravitacional. Assume-se a existência de um campo gravitacional homogêneo, que sob a ótica de um referencial inercial  $K$ , tem intensidade  $g$ . Considerando o Princípio de Equivalência de Newton,  $g$  é a aceleração que o campo gravitacional homogêneo produz sobre todas as partículas pontuais, observadas pelo referencial  $K$ . Logo, a descrição do movimento dessas partículas em  $K$  seria equivalente à descrição do movimento em um referencial não-inercial  $K_0$ , sem campo gravitacional, que possui aceleração  $g$  em relação ao referencial  $K$ . Essa similaridade na descrição do movimento das partículas pontuais é consequência do Princípio de Equivalência de Newton. A hipótese de Einstein foi que a equivalência dos referenciais  $K$  e  $K_0$  é válida não somente para fenômenos mecânicos, mas para todos os fenômenos físicos. (Acevedo, Morais e Pimentel, 2019, p.4-5)

O Princípio da Equivalência é considerado o principal pilar da teoria da Relatividade Geral.

# Capítulo 4

## APLICAÇÃO E RESULTADOS

---

### 4.1 Metodologia e Aquisição de Dados

Durante o desenvolvimento deste trabalho utilizei equipamentos autorais, desenvolvidos exclusivamente para este projeto, em aulas de Física que ministrei numa Escola Particular na cidade de Ribeirão Preto, durante um curso optativo oferecido no contexto dos Itinerários Formativos, destinado a estudantes da 2ª série do Ensino Médio.

Pretendemos, com isso, investigar a questão motivadora do trabalho, a saber, a viabilidade de usar a Impressão 3D na construção de materiais para o laboratório didático, a partir da percepção dos estudantes.

Para colher essa percepção, após o término do curso, os estudantes foram convidados, individualmente, para uma entrevista. Optamos pela entrevista semiestruturada, formato que combina uma sequência de perguntas intencionalmente elaboradas com a flexibilidade de uma conversa. Tal escolha levou em consideração, sobretudo, a faixa etária dos estudantes, num esforço para contornar a armadilha de um contato muito artificial que poderia dissuadi-los de se expressarem com espontaneidade. Em pesquisas qualitativas, essa técnica apresenta bons resultados,

Especificamente no âmbito da pesquisa educacional, no qual a natureza do objeto do estudo exige interação entre pesquisador e pesquisado para contextualizar experiências, vivências e sentidos, a entrevista se apresenta como uma técnica adequada para a obtenção de informações dos diversos atores envolvidos nos fenômenos educativos, fornecendo dados para a compreensão das relações entre os sujeitos e o recorte analisado. (Oliveira *et al*, 2023. p.217)

As transcrições das entrevistas, que são apresentadas no Apêndice A, preservaram a formal coloquial e descontraída com que os estudantes expressaram suas respostas e opiniões.

As atividades executadas foram divididas em dois grupos, correspondendo aos dois kits de equipamentos desenvolvidos:

- 1) Conjunto de polias móveis montadas num pórtico constituído por três hastes cilíndricas de alumínio, encaixadas entre si e na plataforma de suporte por conectores projetados e impressos em 3D. As polias foram equipadas com um pequeno gancho para conexão e uma pequena alça no lado oposto, possibilitando diferentes formas de associação. Para fixá-las nas hastes, projetamos e imprimimos argolas de fixação com um gancho móvel, possibilitando orientação de diferentes formas. As argolas foram equipadas com um sistema de fixação para impedir que deslizassem ao longo da haste, depois de posicionadas. Essas partes são mostradas na Figura 4.1.

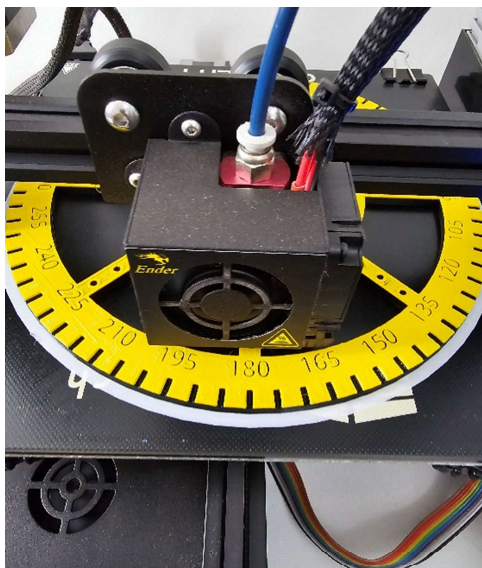
**Figura 4.1** – Polias encaixadas nas hastes de alumínio com algumas massas suspensas.



**Fonte:** acervo do autor. (2024).

- 2) Uma mesa de forças, constituída por um disco graduado, cujo processo de impressão foi capturado e está representado na Figura 4.2. Ao longo desse disco, pequenos suportes com roldanas podem ser deslocados até uma posição desejada, onde podem ser fixados com parafusos inseridos em sua base. Sobre esses suportes inserimos pequenas polias, com o intuito de direcionar fios que sustentam cargas suspensas. Esses fios, cuja quantidade pode ser definida pelo usuário, conectam-se a uma argola que deve ficar imóvel no centro do disco para comprovar o equilíbrio de forças. Esse dispositivo completo é mostrado na Figura 4.3.

**Figura 4.2** – Disco central da Mesa de Forças sendo impresso.



**Fonte:** acervo do autor. (2024).

**Figura 4.3** – Mesa de Forças montada com um conjunto de 3 fios concorrentes tracionando a argola central.



**Fonte:** acervo do autor. (2024).

Com esses aparelhos disponíveis, os estudantes foram orientados a resolver numericamente determinados problemas, relativos a assuntos que já haviam sido abordados no curso regular de Física e, usando os equipamentos, verificar experimentalmente a discrepância entre os valores calculados e os valores medidos, apresentando possíveis motivos para as diferenças encontradas. As atividades propostas foram:

- Determinar, experimentalmente, o módulo da aceleração gravitacional a partir do período de oscilação de um pêndulo simples. Esta atividade serviu como atividade introdutória e permitiu apresentar aos estudantes os instrumentos de medida que seriam utilizados durante todo o curso (balança, régua, trena, paquímetro, cronômetro e câmera digital – estes dois últimos, usados nos *smartphones*). Serviu também como referência para avaliar o impacto dos outros materiais, impressos em 3D, quando foram apresentados na aula seguinte. Foram dadas todas as instruções de medida e apresentado um pequeno texto versando sobre a contribuição de Galileo Galilei no estudo do pêndulo. Esse material está disponível no Anexo A.
- Apresentação e montagem do suporte das polias (pórtico) com peças impressas em 3D e tubos de alumínio; fixação das peças de encaixe sobre a base de madeira; encaixe das partes móveis no pórtico.
- Determinar a aceleração de um sistema com 1 polia fixa e dois corpos suspensos ligados por um fio (máquina de Atwood);
- Investigar, qualitativamente, a vantagem mecânica de associar várias polias;
- Calcular a massa suspensa necessária para equilibrar um sistema com três corpos;
- Calcular o ângulo entre três forças, sendo duas delas perpendiculares entre si, para que o sistema permanecesse em equilíbrio;
- Determinar as características (módulo e direção) de uma força que equilibraria um sistema constituído por três forças, em diferentes configurações. Para uma das situações, o equilíbrio era impossível. Tinha como objetivo levá-los a refletir sobre as condições necessárias para que um sistema de forças concorrentes possa permanecer em equilíbrio.

## 4.2 Aplicação do Produto

O curso foi planejado para 7 encontros de 1h30 min, nos meses de agosto (8, 15, 22 e 29) e setembro (05, 12 e 26) de 2024. Conforme explicado anteriormente, foi oferecida no contexto dos Itinerários Formativos, que pertencem à carga horária regular dos estudantes do Ensino Médio. Na mesma ocasião, foram oferecidas outras atividades, contemplando as demais áreas do conhecimento. Seguindo a metodologia da escola, os alunos foram convidados por meio de um vídeo, disponibilizado através do AVA (Ambiente Virtual de Aprendizagem) da instituição.

No vídeo, expliquei aos estudantes qual seria a metodologia e objetivos do curso. Ou seja, os estudantes estavam cientes de que a abordagem seria experimental.

Inicialmente, inscreveram-se 10 estudantes. Porém, após a segunda semana de aula, dois deles se afastaram para realizar intercâmbios em outros países. O curso seguiu até o final com 8 estudantes. Durante as atividades esses estudantes foram divididos em 2 grupos que realizaram as atividades simultaneamente, cada grupo contando com seu próprio conjunto de materiais.

**1º Encontro (08/08/24): Determinação da aceleração gravitacional a partir do período de oscilação de um pêndulo.**

Esta atividade foi introduzida no curso como uma atividade de controle, uma vez que os materiais utilizados foram materiais comuns (fio de NYLON, régua, cronômetro e chumbada). Buscava-se observar se (e em que nível) os estudantes apresentariam alguma mudança de comportamento com a chegada dos objetos impressos em 3D.

Os estudantes foram orientados a realizar medidas do período de um pêndulo simples, usando como cronômetro os seus *smartphones*, e o comprimento do fio, usando réguas ou trenas. Na Figura 4.4 estão representados dois estudantes que estão fixando o fio para realizar as medidas. Com esses dados, determinaram o valor da aceleração gravitacional, calculando também o erro percentual. Essas instruções foram fornecidas aos estudantes, no início da atividade e seu texto explicativo, na forma em que foi entregue aos estudantes encontra-se no Anexo A. Outras informações, como estratégias para minimizar o erro durante a cronometragem e maneiras de calcular o erro percentual foram fornecidas pelo professor durante a atividade. Embora bons resultados tenham sido obtidos, não serão apresentados por se tratar de um estudo qualitativo.

**Figura 4.4** – Estudantes fixando o fio do pêndulo na estrutura de um banco que foi colocado sobre a bancada do laboratório.

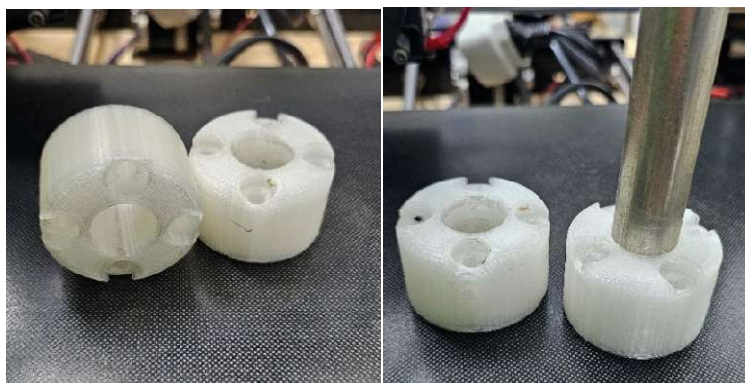


**Fonte:** acervo do autor. (2024).

**2º Encontro (15/08/24): Apresentação do conjunto de Polias e montagem do suporte.**

Nesse encontro foram introduzidos os equipamentos impressos em 3D. Alguns ajustes e montagens foram necessários, como acoplar os ganchos às polias e montar o pórtico de sustentação para o sistema. Esse pórtico foi construído com tubos de alumínio, normalmente usados como varão de cortinas, e foram fixados a uma base de madeira através de encaixes projetados e impressos em 3D, mostrados na Figura 4.5.

**Figura 4.5** – Suportes do conjunto de tubos de alumínio que sustentam as polias.



**Fonte:** acervo do autor. (2024).

A montagem desse dispositivo ficou a cargo dos estudantes. Curiosamente, após o final da montagem foi necessário desmontar para que outros estudantes também tivessem a oportunidade de manusear as ferramentas, conforme mostra a Figura 4.6. Alguns deles confessaram nunca ter usado uma chave de fenda ou parafusadeira elétrica.

**Figura 4.6** – Estudantes trabalhando na montagem dos kits de suporte aos sistemas de polias.



Fonte: acervo do autor. (2024).

### **3º Encontro (22/08/24): Cálculo da aceleração de uma máquina de Atwood e verificação experimental.**

Novamente, os estudantes tiveram que montar a estrutura de suporte que foi desmontada previamente para oferecer a eles uma nova oportunidade para manipular as ferramentas. Em seguida os principais conceitos que seriam usados na atividade foram revisados com os alunos. Os assuntos escolhidos já haviam sido estudados na disciplina regular de Física. Por isso, a ênfase recaiu sobre os conceitos de dinâmica envolvidos numa máquina de Atwood, desconsiderando efeitos como atrito, momento de inércia da polia, extensibilidade do fio e resistência do ar. Durante todo o projeto, os estudantes tiveram à sua disposição, esferas de chumbo de, aproximadamente 50g, para usar como carga. Utilizaram, também, uma balança digital de carga máxima 500 g, réguas, trenas e um paquímetro. Após instruções sobre o uso dos instrumentos, alguns dos quais já conhecidos da aula anterior, os estudantes foram informados sobre o procedimento que seria seguido:

- 1) Escolher a quantidade de esferas que penderá de cada lado do fio. Identificar as esferas (usando fita adesiva) e medir suas massas usando a balança digital;
- 2) Equacionar a máquina de Atwood, aplicando as Leis de Newton e usando os valores obtidos para as massas selecionadas no item anterior. Calcular a aceleração do sistema e a força de tração no fio. Usar, para a aceleração gravitacional, o resultado que julgarem mais próximo da realidade, dentre aqueles que foram obtidos na primeira aula.
- 3) Passar o fio pelo furo das esferas e montar o sistema conforme a quantidade de esferas determinadas no passo 1. Ajustar o comprimento do fio de forma que quando o lado de maior massa tocar a polia, o outro lado esteja tocando a base do suporte.
- 4) Medir a distância entre a parte inferior do lado mais pesado (próximo à polia) e a base do suporte (distância que será percorrida durante a queda).
- 5) Posicionar o smartphone de forma a capturar toda a extensão da queda e ajustar a filmagem para 30 fps (*frames* por segundo).
- 6) Segurar o lado mais leve rente à base e iniciar a gravação do vídeo. Após alguns segundos, liberar o sistema e filmar a queda.
- 7) Usar um editor de vídeo para contar os *frames* entre o instante em que o corpo começa a cair e aquele em que toca a base. Multiplicar o número de *frames* por  $1/30$  s para obter o tempo de queda.
- 8) Usando as equações de MRUV calcular a aceleração da queda.
- 9) Calcular o erro percentual entre o valor calculado e o valor medido. Anotar possíveis causas para a diferença.

Na primeira tentativa, os dois grupos escolheram aleatoriamente as quantidades de esferas que seriam usadas em cada extremidade do fio para calcular a aceleração. Porém, quando foram realizar as medidas, perceberam que com uma diferença grande de cargas entre os dois lados

da máquina de Atwood, a queda seria muito rápida, dificultando a medida do tempo. Passaram a adotar a menor diferença possível (1 esfera). A Figura 4.7 retrata um momento da atividade.

**Figura 4.7** – Estudante fazendo cálculos para determinar o tempo de queda do sistema de corpos para encontrar a aceleração.

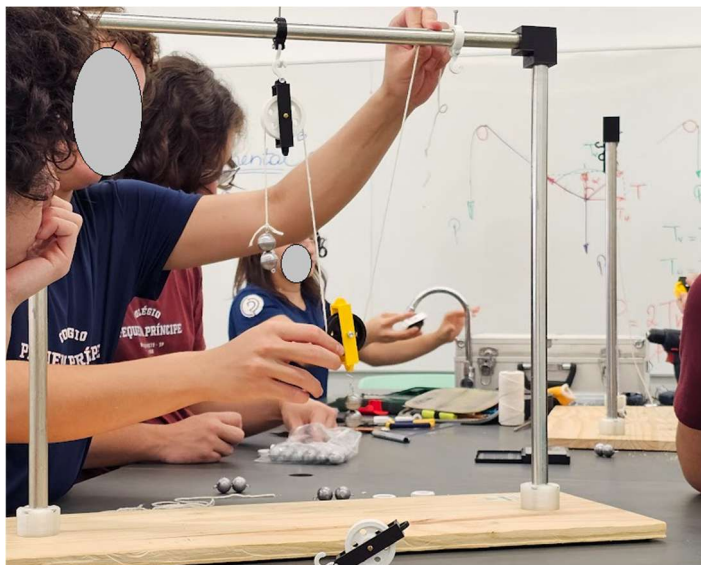


**Fonte:** acervo do autor. (2024).

#### **4º Encontro (29/08/24):** Estudo qualitativo de sistemas com várias polias.

Diferentemente das atividades anteriores, no quarto encontro os estudantes tiveram liberdade para montar suas próprias estruturas, usando as polias, fios e esferas disponíveis. Como resultado, obtiveram sistemas compostos com polias fixas e móveis, fios tracionando verticalmente ou de forma inclinada, como é possível observa na Figura 4.8. Puderam avaliar, qualitativamente, a vantagem mecânica obtida quando polias são associadas. Ao final, houve uma explicação sobre o funcionamento de uma talha exponencial. Nesta aula os estudantes notaram que o sistema de encaixe das polias havia sido alterado e compararam o novo modelo com o antigo. Esse fato desencadeou uma discussão sobre a versatilidade da impressão 3D para resolver, rapidamente, problemas técnicos durante a execução de um projeto.

**Figura 4.8** – Estudantes analisando um sistema de polias com alguns corpos suspensos.



Fonte: acervo do autor. (2024).

#### **5º Encontro (05/09/24): Apresentação e montagem da mesa de forças**

O encontro começou com uma rápida explanação sobre o conceito de vetor e principais operações vetoriais. Em seguida, foram apresentadas aos estudantes as peças que compõem a mesa de forças, sua aplicação e manejo (Figura 4.9). Nessa ocasião alguns estudantes se interessaram pelo processo de projeto e fabricação, fazendo perguntas sobre os programas utilizados, etapas da construção, tempo de impressão, materiais utilizados na impressão e demais características técnicas. Foi, portanto, uma ótima oportunidade para apresentar alguns aspectos dessa técnica. Em seguida, passou-se à montagem das mesas pelos 2 grupos.

**Figura 4.9** – Estudantes fazendo ajustes nas Mesas de Forças.



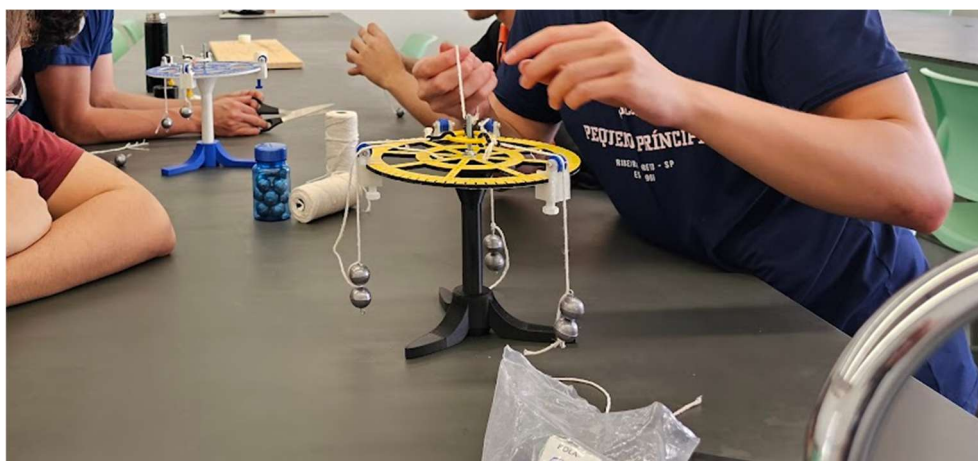
Fonte: acervo do autor. (2024).

**6º Encontro (12/09/24):** Construção teórica de situações de equilíbrio e verificação experimental.

Usando as propriedades apresentadas na aula anterior, os estudantes foram convidados a encontrar, teoricamente, os vetores que produziram situações de equilíbrio em diferentes configurações de forças concorrentes. Para isso, adotou-se o peso de cada esfera como uma unidade de força.

Em seguida, foram desafiados a construir essas situações na prática, conforme se vê na Figura 4.10, e verificar se os resultados obtidos correspondiam aos resultados previstos teoricamente.

**Figura 4.10** – Estudantes colocando massas suspensas em busca de configurações de equilíbrio sobre as Mesas de Forças.

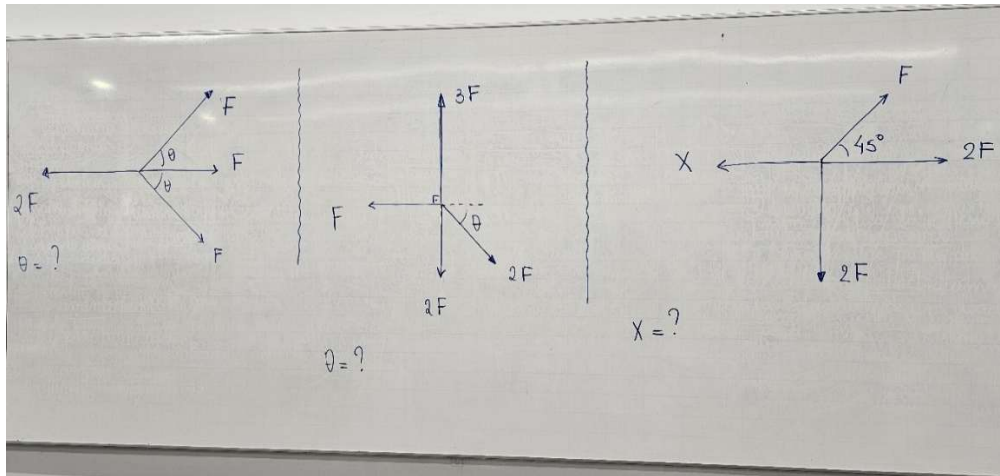


**Fonte:** acervo do autor. (2024).

**7º Encontro (26/09/24):** Estudo sobre o equilíbrio de sistemas com forças concorrentes.

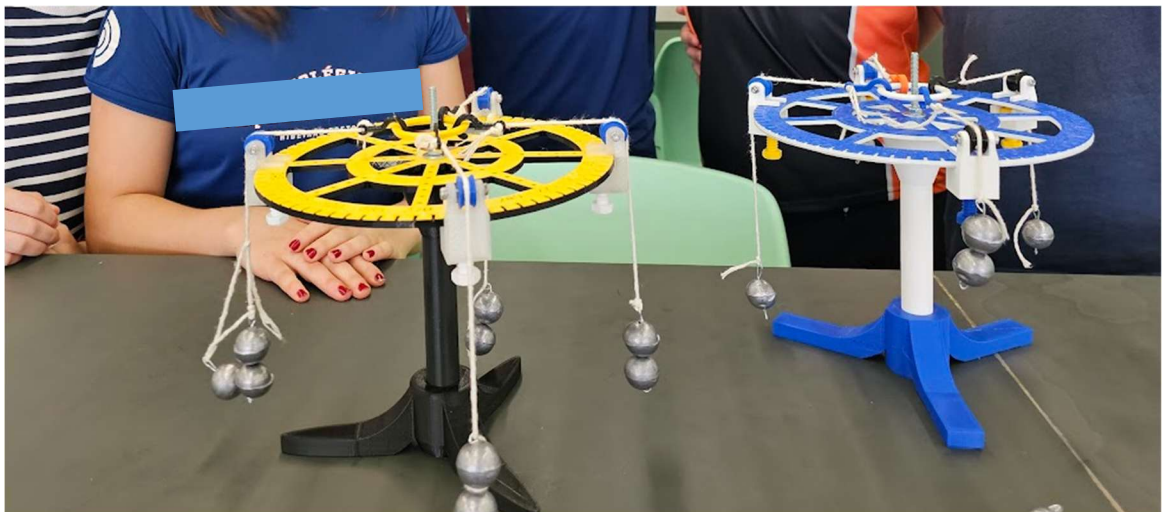
No último encontro, foram propostos alguns sistemas, mostrados na Figura 4.11, constituídos por forças concorrentes e aos estudantes coube a tarefa de verificar a possibilidade do equilíbrio, determinando o ângulo entre as forças ou, quando fosse o caso, sua intensidade. Nem todas as situações apresentadas correspondiam a situações possíveis. Ou seja, não havia ângulo ou intensidade de força que equilibrasse o sistema. Foi interessante observar que, a exemplo das atividades experimentais no ensino superior, alguns estudantes tentam produzir resultados que satisfaçam (o que acreditam ser) a expectativa do professor. Foi uma ótima oportunidade para discutir questões como a Ética na ciência e implicações de resultados forjados ou fraudados.

**Figura 4.11** – Diagramas apresentados aos estudantes para a implementação e verificação do equilíbrio.



**Fonte:** acervo do autor. (2024).

**Figura 4.12** – Duas Mesas de Forças com conjuntos de pesos mantendo a situação de equilíbrio.



**Fonte:** acervo do autor. (2024).

### 4.3 Perguntas Apresentadas aos Estudantes Durante as Entrevistas

Durante as entrevistas, que foram registradas em áudio, com o conhecimento dos estudantes, e posteriormente transcritas, apresentei, em sequência, as seguintes perguntas:

- 1) Qual foi o principal aspecto que te levou a se inscrever na atividade?
- 2) A primeira impressão foi boa, correspondeu ao que você imaginava para o curso? Você ficou animado(a), desanimado(a), frustrado(a), ...?

- 3) Como você avalia a experiência de trabalhar com algo que você já havia estudado na teoria, como o caso das polias, aplicando as leis de Newton?
- 4) Quando vocês fizeram as medidas e depois compararam com os valores calculados ficaram próximos, distantes, muito distantes... E como você reagiu em relação a isso?
- 5) A que você atribui a diferença entre os valores teóricos e os valores obtidos experimentalmente?
- 6) Você considera que o fato de as peças, os equipamentos, terem sido impressos em 3D influenciou nos resultados, ou seja, com melhores equipamentos você acha que os resultados seriam melhores ou acredita que com os equipamentos que foram fornecidos os resultados são aceitáveis?
- 7) Como você avalia a experiência com a mesa de forças em relação ao que você já imaginava sobre soma de vetores?
- 8) Houve alguma expectativa que foi quebrada? Ou algum conceito que você já tinha sobre como o sistema com várias forças funcionava e, vendo na prática, a sua percepção tenha mudado?
- 9) Quanto aos valores solicitados e desafios que foram propostos, vocês conseguiram medir e encontrar o que se pedia?
- 10) Se você fosse convidado(a) para outra atividade com as mesmas características você aceitaria? Consegue justificar sua resposta?
- 11) Você conseguiria apontar alguma melhoria ou modificação nos equipamentos que foram usados?
- 12) Como você avalia o uso desse tipo de equipamento que é impresso na própria escola para usar nas atividades de Física Experimental?

#### 4.4 Constituição de Categorias de Análise a partir da fala dos estudantes

A partir da análise das respostas obtidas nas entrevistas com os estudantes, emergiram três grupos de justificativas que foram organizados em categorias relacionadas à questão central do trabalho (viabilidade da impressão 3D na fabricação de objetos para aulas experimentais). Embora o impacto positivo de atividades experimentais na motivação dos estudantes seja um dos pressupostos deste trabalho, atentei-me, também, para manifestações que contradigam ou corroborem esse entendimento.

As categorias constituídas são:

##### I. Efeito Motivacional da Tecnologia de Impressão 3D Sobre os Estudantes;

Nesta categoria estão alocadas observações que justificam o uso da impressão 3D enquanto elemento de conexão dos estudantes com tecnologias contemporâneas, da qual eles ouvem falar frequentemente sem, no entanto, se apropriar. Essa curiosidade pode motivar um maior interesse pelo repertório científico que viabiliza os equipamentos, como impressoras 3D, e ser um primeiro passo rumo às carreiras científicas. Esta categoria também contempla elementos de proximidade com o universo tecnológico, na medida em que os instrumentos de laboratório, que os estudantes consideraram sofisticados e caros, foram fabricados na escola e por pessoas de sua convivência, ou seja, numa comunidade à qual eles se sentem pertencentes.

Esses elementos motivacionais, são constatados em falas como do estudante A3, quando afirma *“Fora que é bem legal mexer com isso. Foi você que fez aí... Tipo, é legal!”* e, logo depois: *“Foi você que fez todas as pecinhas e foi incrível porque todas elas conseguiram se encaixar e dá a conta certa.”*. Numa fala mais reveladora, A3 demonstra ter mudado o entendimento sobre essa tecnologia, afirmando: *“Eu achei muito incrível. Porque meu pai, ele sempre falou sobre a impressora 3D, que ele quer muito comprar e tal e não sei o que, só que ficou só um sonho assim dele. E aí quando a gente chegou aqui no Colégio, você montou tudo e eu fiquei, caramba, é realmente possível isso?! É tipo, eles estão fazendo, dá para fazer coisas com a impressora 3D. Então foi bem motivador, assim, tipo, meu Deus...”* Esse conjunto de manifestações permitem considerar que o estudante passou por um processo de desvelamento sobre a viabilidade da tecnologia 3D. Há, também, uma tomada de consciência sobre sua proximidade com essa tecnologia.

Esse ambiente pode fornecer o estímulo necessário para que os estudantes exercitem o modo descoberta (BAS) conforme prevê a Teoria da Sensibilidade ao Reforço, apresentada no

Capítulo 2. Sob essa ótica, o laboratório assume o lugar de *playground* para os estudantes, onde podem se aventurar, impelidos por sua aptidão natural para as modernas tecnologias, como a impressão 3D.

Sob outro prisma, é possível considerar que a tecnologia mencionada esteja dentro da Zona de Desenvolvimento Proximal dos estudantes. Note-se que eles, em geral, já ouviram falar da impressão 3D e talvez já tenham até consumido produtos por ela gerados (chaveiros, brindes, brinquedos etc.). Na situação de ensino que foi estruturada, os estudantes podem ser guiados, se for do seu interesse, até se tornarem produtores de objetos, dominando as técnicas necessárias. Nesse cenário, o simples conhecimento ou consciência da existência da tecnologia corresponde ao nível atual do estudante. Tornar-se autônomo no design e na impressão é até onde o estudante pode chegar com a ajuda de um mediador, ou seja, corresponde ao seu nível potencial, numa referência ao pensamento de Vigotski.

Na mesma linha, o estudante A2, embora tenha gostado da atividade inicial com o pêndulo, demonstra certo entusiasmo com a chegada dos elementos impressos: *“a primeira impressão não foi ruim, tipo não desapontou, mas é tipo, foi uma impressão boa, foi bem o que eu estava esperando mesmo, mas é tipo, foi até melhor depois, quando você trouxe as coisas, que você tinha imprimido”*. A2 não é tão explícito quanto A3, mas, mesmo tentando não minimizar sua satisfação com a primeira atividade, conclui exaltando o impacto do material impresso.

Na fala do estudante A5 é possível perceber uma tentativa de conexão do mundo escolar com o mundo extra escola. Avaliando a manifestação *“Cara, eu acho que é extremamente útil, sabe? Tipo assim, é muito bom porque, principalmente, você consegue fazer aqui na própria escola, né? Você não precisa, sei lá, ir em algum lugar pra, sabe, comprar, né? Então, tipo, eu acho que é extremamente útil, extremamente interessante. O Brasil é o país da gambiarra, né? É bacana”*, imaginamos que talvez seja uma tentativa de conexão com o “jeitinho brasileiro”, remetendo inclusive às curiosidades que frequentemente circulam pela internet com o título “Agora a NASA vem”, aludindo a alguma nova “gambiarra” que circula pelas redes sociais. Embora pareça uma associação ingênua, é desejável que os estudantes entendam a escola como uma extensão de sua realidade e não como um universo à parte.

O estudante A4, o mais falante e empolgado durante as entrevistas, verbaliza sua satisfação quanto ao curso ministrado além do desejo de participar de outras atividades: *“Eu*

*estou louco para ver coisas de magnetismo. Se trouxesse uns ímãs malucos lá pra gente ver movimento centrípeto sabe, a força? Eu ia encarar, com certeza. Eu queria ver coisas novas, né? Tudo que eu estou aprendendo agora eu queria ver, pô, ser posto em prática, né. Porque a gente deu sorte de as coisas... Você tem mostrado pra gente. A gente teve isso no segundo ano, né?”.*

Uma característica marcante em A4 é a sua percepção de que os equipamentos atuam como mediadores, no sentido apontado por Vigotski, embora muito provavelmente não conheça esse conceito. Em certo momento da entrevista, o estudante afirma que *“A estrutura 3D cumpriu o papel dela bem (...) Porque a beleza está no fenômeno, né?! Não no equipamento.”* (grifo nosso). Ainda recorrendo a Vigotski, é possível verificar, além do entusiasmo, uma reestruturação na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de A4. Embora ele já conhecesse as principais funções trigonométricas, seu entendimento quanto às possibilidades de aplicação parece ter sido ampliado quando confrontado como uma nova experiência, uma vez que afirma: *“Tinha que fazer cálculos com tangentes, não, não é possível que aquilo lá existia... Então, assim, eu diria que fui surpreendido positivamente.*

Entre todas as justificativas que ouvimos, para a adesão à atividade experimental, talvez nenhuma seja mais explícita e reveladora do que a proferida por A4 ao final de sua argumentação, afirmando que *“Então, quando a gente calcula, faz aquele cálculo experimental e o resultado real, quando aqueles números batem próximos assim um do outro, é aquela descarga, dopamina...”*

## II. Impacto Metodológico da Tecnologia de Impressão 3D Sobre o Ensino de Física.

Aqui agrupamos pistas sobre a contribuição dos materiais impressos no desenvolvimento das atividades curriculares. A impressão 3D possibilita o acesso ao espaço do laboratório e coloca os estudantes no centro do processo educacional. O entendimento sobre alguns conteúdos pode ser aprofundado, uma vez que possibilita a manipulação dos materiais (mediadores, no entendimento de Vigotski) pelos estudantes, sem uma preocupação exagerada de que, por se tratar de materiais caros, é necessário extremo cuidado no manuseio. Embora essas atividades possam ser executadas com equipamentos comprados em lojas especializadas, já foi mencionado neste trabalho que esses equipamentos costumam ter valores elevados o que, de alguma forma, é uma percepção correta que os estudantes têm. Por exemplo, quando perguntando sobre a experiência com materiais impressos em 3D, A4 responde: “(...) *acho positivo que a gente não tem que gastar uma quantidade absurda de dinheiro, né? Só para fazer uns experimentos que não são uns experimentos complexos (...)*”.

A consciência sobre o alto valor dos materiais acaba levando tanto professores quanto estudantes a limitar ou evitar ao máximo o manuseio dos equipamentos, o que está alinhado à Teoria da Sensibilidade ao Reforço (TSR) quanto à ativação do modo defesa (BIS) o que, num ambiente de aprendizagem, é o pior cenário que se poderia imaginar.

De outra forma, se os estudantes estiverem cientes de que os materiais foram produzidos dentro da escola, a um baixo custo, é possível que se sintam mais confortáveis para explorá-los. Trata-se, portanto, de um mecanismo para, no contexto da TSR, potencializar o modo descoberta (BAS).

O estudante A1, por exemplo, manifestou a preocupação de que não fosse hábil o suficiente para frequentar o laboratório. Afirmou, com certo alívio: “*Eu imaginei que eu ia ser mais desastroso ainda. Foi um pouco “menos pior” do que eu achava, minha presença*”.

Ainda nessa linha, tanto A1 quanto A2 festejam a possibilidade de fazer atividades experimentais. A1 comenta: “*Eu quero cursar engenharia. E aí eu vi isso como possibilidade de... Pôr a mão no laboratório, vê se, vê se é a minha praia mesmo*”. Já A2, embora tenha uma motivação diferente, também externa sua satisfação. Comenta que não viu o vídeo de divulgação, mesmo assim argumenta: “*Eu fiquei interessado, que eu já gosto de física, né? Tipo a descrição da física experimental e tal ... mas só questão de ser física experimental já me interessou*“. Em outro momento, A1 reforça que “*O jeito que dava certo, dava certo na prática também. Eu gostei dessa parte e, Ah, eu achei legal mesmo ficar pegando as coisas, colocando...*”. Esse tipo de manifestação faz lembrar os meus primeiros passos no laboratório,

conforme relatei anteriormente, o que viria a ser determinante para toda a minha carreira. Ilustra, ainda, a ativação do modo descoberta, conforme já discutido.

Outra evidência da contribuição da atividade na formação dos estudantes é anunciada por A3: *“É, a gente já tinha estudado a teoria disso e já tinha feito exercícios. O que a gente fez, foi bem mais legal, que foi na prática né!? É uma concretização dos saberes, eu acho. Eu gostei mesmo.”*. É uma fala que mostra certa distância entre o que se faz nas escolas e o que motiva os estudantes.

Merece destaque também o fato de que os estudantes manifestam o interesse na continuidade desse tipo de atividade. Quando perguntados se gostaria de fazer outras atividades como a realizada todos respondem positivamente. A1 responde que *“se tivesse outra Física experimental, eu iria. É, eu gostei da experiência, foi me ajudou a ter mais certeza sobre as coisas.”*. A2 responde por ele e pelos colegas: *“Com certeza, gostei bastante de experiência, sei que tipo, pelo menos o pessoal que participou comigo também gostaria, sem o problema do estudo”*. Chama atenção a ressalva feita por A2. O estudante parece não considerar a atividade no laboratório como “estudo”. Há dois aspectos importantes nessa resposta. Em primeiro lugar, A2, assim como os demais participantes, cursa atualmente a 3ª série do Ensino Médio, o que significa que em breve fará o concurso Vestibular para ingressar no ensino superior. O fato de considerar que o estudo é um “problema”, mais uma vez sugere que as estratégias educacionais usadas com os jovens estão equivocadas. A resposta mostra, na ótica do estudante, uma desconexão entre o que é aprender e o que é necessário para passar no Vestibular. Em segundo lugar, a resposta confirma que o laboratório é um lugar aprazível para alguns estudantes. Mesmo considerando que não corresponde a “estudo”, estão dispostos a passar algum tempo nesse ambiente.

Por fim, A3 não só se diz disposto a fazer outras atividades semelhantes como faz um paralelo bastante perspicaz: *“Eu faria completamente. Eu não sei, acho que inclui mais. Acho que a gente sai com uma bagagem melhor, tipo, você consegue entender mais o que foi passado. É tipo, eu vou fazer uma analogia estranha. Quando os filósofos antigos, eles levavam os alunos, explicavam por que que a folha cai da árvore mostrando a folha caindo... Eu consigo imaginar que seja uma coisa parecida”*.

Embora seja lugar comum afirmar que “também se aprende com os erros”, atividades experimentais podem ser uma ótima forma de colocar essa máxima em prática. Novamente, a TSR oferece uma valiosa oportunidade de análise para o comportamento dos estudantes durante atividades experimentais. Em algum momento da entrevista, A4 reflete: *“Acho que esse*

*primeiro experimento é um experimento frustrante, porque as coisas dão errado. (...) os nossos resultados, do meu grupo foram desastrosos, porque primeiro que eu coloquei, eu usei a medida de distância, né, do comprimento do pêndulo, eu taquei em centímetros na fórmula, né? Quando a aceleração deu 800 metros por segundo ao quadrado, ficou estranho, (...) Pois é, né? Tem o tal do SI que a gente tem que obedecer, né? (...) Foi o primeiro experimento, até porque quando a gente foi fazer esse experimento de novo lá com o [professor de Física], (...) a gente já tinha mais maturidade para fazer isso, né!?”*. Nesse trecho, o estudante externaliza seu primeiro sentimento, reflete sobre o erro e compreende a importância de seguir determinados protocolos. Reconhece a importância de obedecer ao Sistema Internacional de Unidades (SI) e avalia, ao final da frase, que a lição foi devidamente aprendida. Esse comportamento está alinhado ao Modo Descoberta (BAS) da Neurociência, apresentado no Capítulo 2, na medida em que o estudante, tendo cometido um erro, procura maneiras de compreendê-lo e contorná-lo sem, no entanto, evitar novos confrontos com o problema.

Entre todas as características positivas presentes numa aula experimental, há que se considerar o impacto para os estudantes que, normalmente têm dificuldades com os conteúdos de Física. É revigorante ouvir um estudante que, tendo reconhecido sua dificuldade, demonstra entusiasmo ao vivenciar a mudança metodológica, o que é o caso de A5: “(...) *eu não estava esperando. Eu não fazia ideia do que era. E aí, tipo, foi surpreendente, sabe?! É, acho que é isso. Eu não, não fazia ideia. Tipo, quando você olha na lousa, parece que é um negócio totalmente diferente do que está ali no laboratório.*”

### III. Contribuição da Atividade Experimental para a Apropriação de Conceitos Físicos

Nesta categoria alocamos falas relativas à pertinência e influência das atividades sobre os conteúdos abordados. Verificamos que os estudantes, à sua maneira, se empenham em falar sobre Física, usando o vocabulário que foi sendo construído nas interações com os colegas durante as atividades. Essa apropriação da linguagem, normalmente evitada pelos estudantes, aparentemente é um efeito da Mediação Social, conforme a teoria de Vigotski. O sentimento de apropriação coletiva que se desenvolve durante as atividades experimentais vai além do aparato e técnicas que estão sendo utilizados. Há, também a assimilação de instrumentos e signos. São esses novos elementos que permitem aos estudantes uma melhor comunicação de seus pensamentos.

Algumas evidências do exposto acima aparecem na fala de A1, quando tenta ordenar seu pensamento para explicar a vantagem da atividade prática em relação à teórica: *“Ah, ajuda a visualizar melhor, né? Quando você tá fazendo, Estilo mecânica, por exemplo, que é polia, tem um bloquinho, vai ter um desenho assim...”*. É importante notar que as palavras “Mecânica” e “polia” não fazem parte do discurso dos estudantes no contexto da disciplina.

Num sentido mais amplo, as falas dos estudantes permitem identificar algumas situações em que a atividade experimental esclarece, melhora ou complementa o estudo teórico. Por exemplo, quando A1 comenta que *“Mas lá na sua física experimental, isto foi, foi um pouco melhor. E no cálculo, muitas vezes se despreza algumas coisas que tem na realidade.”* Provavelmente está se referindo a atrito, resistência do ar e outros fatores que são descartados.

O estudante A2 menciona ainda a melhor visualização dos fenômenos: *“Hum, eu acho que ajuda bastante, porque o uso dos barbantes, dava a questão da direção e o sentido do peso, né?! E, também, a mesa ajuda também com a questão dos ângulos, que aí também ajuda com as contas dos vetores.”*

Outro aspecto viabilizado pelas atividades experimentais é a condição de oferecer diferentes estímulos para os estudantes. Na proposta de Vigotski, apresentada no Capítulo 2, a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) se estende desde o nível atual do estudante até o nível potencial. Vejamos primeiro o que ocorre, frequentemente, durante uma aula expositiva: os estudantes assistem passivamente à apresentação do professor, num cenário em que é quase impossível diagnosticar o nível atual de cada estudante. Então, geralmente o professor considera que os estudantes, por frequentarem a mesma turma, apresentam o mesmo nível atual. Assim,

a aula transcorre de forma a levar os estudantes até o seu nível potencial, projetado a partir da percepção anterior. De outro modo, no laboratório cada estudante vai se encarregando das atividades para as quais se julga competente. Dessa forma o professor, se estiver atento a esse jogo social de escolhas de tarefas, consegue ter alguma percepção de onde cada estudante pode chegar, a partir dos recursos que demonstra dominar. Embora fosse desejável que a maioria dos estudantes tivesse uma boa relação com os conteúdos de Física, não é o que se observa. Porém, durante as atividades experimentais, mesmo os estudantes que apresentam grandes dificuldades conceituais conseguem encontrar o seu espaço. Essa divisão de tarefas possibilita que cada estudante, em algum nível, possa se apropriar dos conteúdos. Relatando o funcionamento de seu grupo, A4 dá algumas pistas desse processo: *“Ah primeiro, lembro que eu deixava a galera fazendo, né!? Tentando fazer a configuração. (...) Eu falei, vou resolver. Para ver que que vai dar, né? Fui resolver na mão. (...) Eu estava aqui, mas rapaz, não está não, está coisa aqui. A galera ia tentando mexer, eu falei, por que será que não está dando certo, né? Porque o vetor não vai rolar, a resultante não é nula. Por isso que está dando errado.”*. No relato acima, o estudante demonstra sua aptidão para o trabalho teórico, enquanto os colegas tentam, sem sucesso, montar uma configuração que era inviável. Embora tenha partido de lugares diferentes, acabaram chegando à mesma conclusão (de que a resultante procurada jamais seria nula, como exigia a atividade). Ao final desse episódio, na discussão com a turma, foi possível verificar que todos entenderam que havia um pré-requisito para a situação exigida que não era atendido. É claro que, do ponto de vista analítico, o estudante A5, que tentou resolver o desafio antes de fazer a montagem experimental, desenvolveu ainda mais suas habilidades nesse quesito. Porém, caso essa estratégia fosse exigida de todos os participantes, para alguns seria apenas motivo para frustração em relação ao aprendizado de Física.

# Capítulo 5

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

### 5.1 Conclusão

Avaliando as respostas dos estudantes e seu comportamento durante as atividades, algumas inferências são possíveis. A primeira delas, e talvez a mais evidente, é que o laboratório didático é, de fato, um grande aliado para o ensino de Física o que, aliás, foi uma das premissas para esta pesquisa. Justamente por acreditar nesse potencial, propusemos o uso da Impressão 3D como um meio para expandir a frequência de atividades experimentais, através do projeto e impressão de materiais. Poder-se-ia objetar que os estudantes que participaram já possuíam uma pré-disposição para essa modalidade de ensino, uma vez que aderiram espontaneamente ao curso. Porém, há estudantes que confessaram nunca ter participado de uma aula experimental, outros que se inscreveram seguindo os colegas e, inclusive, aqueles que confessaram ter dificuldade em Física. Todos relataram uma experiência positiva com o Laboratório. Essa diversidade de motivações para participar do curso, seguida pelas manifestações de surpresa positiva durante o processo e a taxa zero de desistência ou mudança durante o andamento, o que seria uma possibilidade por se tratar de um curso de Itinerário Formativo, corroboram nosso entendimento.

Embora seja difícil separar as diferentes componentes motivacionais, presentes nas falas dos estudantes, entre aquelas que são intrínsecas à atividade experimental e aquelas que são decorrentes da novidade inserida pela Impressão 3D, entendemos que, no mínimo, os recursos gerados pela Impressão 3D viabilizam a visita ao laboratório. Por isso, mesmo sem ponderar as contribuições de cada um desses elementos, acreditamos que em conjunto produzem um efeito positivo suficiente para justificar a defesa de uma maior difusão das técnicas de Impressão 3D no meio escolar.

Há, além da praticidade na produção de equipamentos, um outro aspecto que, embora intangível, salta aos olhos: o fascínio que essa nova tecnologia produz nos estudantes. Foi possível observar, durante as aulas e nas entrevistas, a curiosidade neles despertada pelas peças

impressas. Esse fascínio aparece também nas conversas entre outros estudantes, professores e demais pessoas que tenham acesso a essa tecnologia. Se explorada adequadamente, pode ser mais elemento para diversificar as estratégias e metodologias disponíveis para o Ensino de Física.

Enfim, parece-nos que investir na Impressão 3D é um caminho possível e promissor em busca de diversificar e implementar novas estratégias de ensino. Trata-se de uma área em rápida evolução, que já experimenta significativa redução nos custos dos equipamentos e insumos e conta com uma vasta comunidade de adeptos que trocam informações, projetos e estratégias através de comunidades especializadas espalhadas pela *World Wide Web*. Porém, para que o ensino possa se aproveitar dessa torrente de inovação se faz necessário investir tanto em equipamentos quanto em capacitação dos professores. O ponto de vista dos estudantes nos parece bastante claro, que o diga um estudante que, embora tenha manifestado sua dificuldade na disciplina de Física, quando indagado se participaria de outra atividade como a desenvolvida respondeu prontamente que *“Sim, aceitaria, com certeza. Eu sou uma pessoa que adora experiências novas, né!? Então, com certeza sim!”*. Resta saber o nível de entusiasmo, recursos e capacitação dos demais atores do meio Educacional.

## 5.2 Propostas Para Trabalhos Futuros

Durante o desenvolvimento deste trabalho avaliamos a pertinência de ouvir também os professores. Acreditamos que o efetivo uso de uma tecnologia educacional só se verifica quando os professores estão devidamente instrumentalizados e motivados para o uso dessa tecnologia. Por isso optamos por produzir um Produto Educacional voltado às habilidades necessárias para produzir instrumentos usando a impressão 3D. Será enriquecedor se pudermos, num trabalho futuro, entender como os professores enxergam essa nova possibilidade.

Outro caminho que se mostra bastante pertinente é a produção de materiais para estudantes que tenham alguma deficiência visual. Usando a impressão 3D é possível desenvolver modelos para auxiliar esses estudantes e outros que tenham alguma necessidade especial, visando à construir espaços educacionais inclusivos.

## REFERÊNCIAS

---

ACEVEDO, O. A.; MORAIS, E. M.; PIMENTEL, B.M. O Princípio de Equivalência. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.41, n.3. 2019.

AGUIAR, L. C. D. Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3d na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Bauru. 2016.

BIJTTEBIER, P.; BECK, I.; CLAES, L.; VANDEREYCKEN, Gray's Reinforcement Sensitivity Theory as a framework for research on personality-psychopathology associations. Clinical Psychology Review, 29(5), 421-430. 2009.

BALOLA, R. Princípios Matemáticos da Filosofia Natural: A lei de inércia. Dissertação (Mestrado em Estudos Clássicos). Universidade de Lisboa. Faculdade de Letras. 2010.

COSTA, E. M. Revolução revisionista nos estudos vigotskianos. (2017). Memorandum: Memória E História Em Psicologia, 31, 307-312. 2016.

DESMURGET, M. A Fábrica de Cretinos Digitais. Editora Vestígio. SP. 2021.

DIAS, R. S. S.; FARIA, L. R. A. Trajetória pessoal e intelectual dos principais expoentes da psicologia histórico-cultural: Vigotsky e Leontiev. Revista Communitas. Vol 9, n.22. 2025.

EN-NKHILI; H. MITIQUE; IGOUZAL, M. Opinions des étudiants sur l'utilisation de la technologie d'impression 3D en physique, étude de cas de l'Université Ibn Tofail. ISTE OpenScience, London, UK. v.8, n.2. 2024.

FINO, C. N., Vigotski e a zona de desenvolvimento proximal (ZDP): três implicações pedagógicas. Revista Portuguesa de Educação. v.14, n.2, p.273-291. 2001.

FITAS, A. J. S. Os Principia de Newton, alguns comentários (Primeira parte, a Axiomática). Revista Vértice. Coimbra. n. 72. p.61-68. 1996.

GASPAR, A. Física 1 – Mecânica. Editora Ática. São Paulo. 2ª edição. 2011.

GRACIA, G. G. de. A física na visão de Ernst Mach: De uma crítica a Newton às teorias gravitacionais. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, nº 3. 2019.

GRAY, J. A. The psychophysiological basis of introversion-extraversion. Behaviour Research and Therapy, Vol. 8. 1970.

GRAY, J. A.; MCNAUGHTON, N. The neuropsychology of anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system. Oxford University Press. 2000.

HAI DT, J. A Geração Ansiosa: Como a Grande Reconfiguração da Infância Está Causando uma Epidemia de Doenças Mentais. Editora Zahar. 2024.

- MARTINS, R. A. O desenvolvimento do formalismo da mecânica clássica, de Christiaan Huygens e Isaac Newton até Leonhard Euler. Ensaio sobre História e Filosofia das Ciências I. Scientiarum Historia et Theoria Studia, volume 4. 2021.
- MOREIRA, M.A. Teorias de aprendizagem. 3ª edição. Ampl. Rio de Janeiro. LTC. 2022.
- NEWTON, I. Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural. Livro I. 2ª. edição. 5ª reimpressão. São Paulo: Edusp, 2020.
- OLIVEIRA, A. N.; MENEZES, J. W. M. Por que me tornei um físico: análise das motivações para a escolha e permanência na carreira científica a partir de entrevistas conduzidas por ocasião do Dia do Física (2020). Revista Thema, Pelotas, v.22, n.2, p.553-564, 2023.
- OLIVEIRA, S.; GUIMARÃES, O. M.; FERREIRA, J. L. As entrevistas semiestruturadas na pesquisa qualitativa em educação. Revista Linhas, Florianópolis, v.24, n.55, p.210-236, 2023.
- PEREIRA, M. V.; MOREIRA, M. C. DO A., Atividades prático-experimentais no ensino de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 1, p. 265-277, abr. 2017.
- PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. Física em Contextos. v.1. Editora FTD. São Paulo. 1ª edição. 2011.
- SCHELLY, C.; ANZALONE, G.; WIJNEN, B.; PEARCE, J. Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. Journal of Visual Languages and Computing v.28, p.226–237, 2015.
- SILVA, J. C. X.; LEAL, C. E. S., Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.39, n.1. 2017.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. PHYSICS For Scientists and Engineers. W. H. Freeman and Company. New York. 6<sup>th</sup> edition. 2008.
- THORNTON, S. T.; MARION, J.B. Classical Dynamics of Particles and Systems. Brooks/Cole – Thomson Learning. USA. 5<sup>th</sup> edition. 2004.
- VIGOTSKII, L. S., LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem. Icone Editora. 11ª edição. 2010.
- VIGOTSKI, L. S., A Formação Social da Mente. COLE, P., JOHN-STEINER, V., SCRIBNER, S., SOUBERMAN, E. (Org.). Editora Martins Fontes. 7ª edição. 2007.

# APÊNDICE A

## Transcrição das Entrevistas

---

1) Qual foi o principal aspecto que te levou a se inscrever na atividade?

A1 - É, eu curto exatas. Foi algo que eu comecei a gostar mais ano passado. Eu quero cursar engenharia. E aí eu vi isso como possibilidade de... Pôr a mão no laboratório, vê se, vê se é a minha praia mesmo.

A2 - Ah, um pouco de tudo. Eu fiquei interessado que eu já gosto de física, né? Tipo a descrição da física experimental e tal. Eu acabei não vendo vídeo... No site, mas só questão de ser física experimental já me interessou.

A3 – Acho que foi uma motivação dos meninos. Foi uma motivação dos meninos, mas foi legal porque não era só física de papel, que é o que eu não gosto. É a teoria de ver as coisas. Eu gostei disso.

A4 – Primeiro, o horário. O horário já é favorável, não é? Então se eu não tivesse horário disponível, eu já não poderia. Mas o horário, o horário ajudou. E o fato de física ser uma matéria que eu gosto e o algo que eu queria muito fazer, né, era fazer um resultado no papel e obter um resultado próximo na prática. Então, quando a gente calcula, faz aquele cálculo experimental e o resultado real, quando aqueles números batem próximos assim um do outro, é aquela descarga, dopamina...

A5 – Eu acho que foi, principalmente porque eu acho que me ajuda a entender melhor física, sabe? Porque, como você viu, eu fiquei de recuperação, né? E aí, tipo, eu acho que se você vê na prática, sabe, facilita. Bom, pelo menos a meu ver, facilita você aprender a matéria, sabe? E aí foi o principal motivo.

- 2) A primeira impressão foi boa, correspondeu ao que você imaginava para o curso? Você ficou animado(a), desanimado(a), frustrado(a), ...?

A1 – Achei bem legal a ideia, .... É, eu gostei que misturou um pouco de teoria com prática, né? Porque ao mesmo tempo a gente tinha cálculo, então, tipo no papel, a gente já falava: isso não dá pra fazer, a gente vai fazer e dava errado mesmo. O jeito que dava certo, dava certo na prática também. Eu gostei dessa parte e, Ah, eu achei legal mesmo ficar pegando as coisas, colocando.

A2 – Eu fiquei animado, porque eu já estava bem animado com a ideia. Foi tipo, a primeira impressão não foi ruim, tipo não desapontou, mas é tipo, foi uma impressão boa, foi bem o que eu estava esperando mesmo, mas é tipo, foi até melhor depois, quando você trouxe as coisas, que você tinha imprimido.

Tipo, a primeira impressão foi bem dentro do que dentro do que eu esperava. A gente só usou um fio e as bolinhas. Mas depois, tipo, chamou bastante atenção com as coisas que você imprimiu.

A3 – Eu fiquei bem animada porque foi tipo, o que todas as apostilas estavam dizendo que ia acontecer, aconteceu. Foi tipo um exemplo, foi ver acontecendo uma coisa que a gente já tinha estudado. Fora que é bem legal mexer com isso. Foi você que fez aí... Tipo, é legal!

A4 – Acho que esse primeiro experimento é um experimento frustrante, porque as coisas dão errado. Porque você vai fazer o bagulho pela primeira vez. Vai dar, vai ser um desastre assim... Foi... os nossos resultados, do meu grupo foram desastrosos, porque primeiro que eu coloquei, eu usei a medida de distância, né, do comprimento do pêndulo, eu taquei em centímetros na fórmula, né? Quando a aceleração deu 800 metros por segundo ao quadrado, ficou estranho, é ... Algo de errado não está certo. Pois é, né? Tem o tal do SI que a gente tem que obedecer, né? Mas isso é coisa de primeiro experimento, né? Foi o primeiro experimento, até porque quando a gente foi fazer esse experimento de novo lá com o Fernando, quando a gente tem que usar o pêndulo, a gente fez a mesma coisa e a gente já tinha mais maturidade para fazer isso, né? Mas assim, como o primeiro experimento foi, foi normal. As coisas, no primeiro experimento, é esperado que dê errado.

A5 – Eu fiquei, eu fiquei bastante empolgado, tipo, a minha expectativa foi, sabe supriu bem. Eu acho que eu adorei. Foi um Itinerário, não foi?! Era um Itinerário, né? Eu adorei, foi perfeito.

- 3) Como você avalia a experiência de trabalhar com algo que você já havia estudado na teoria, como o caso das polias, aplicando as leis de Newton?

A1 – Ah, ajuda a visualizar melhor, né? Quando você tá fazendo, Estilo mecânica, por exemplo, que é polia, tem um bloquinho, vai ter um desenho assim... É meio difícil de ver. É legal! [na prática]

A2 – Uma compreensão maior, né? Tipo, a gente fez... viu na prática ali, com a mesa, com a questão das acelerações e tal. A gente colocou exemplos, mostrando tipo praticamente com os exemplos figurados por questão das polias do palco e tal. E na mesa de força a questão de tipo construção e tal. E aí trouxe uma compreensão maior dessa matéria, junto com umas contas que a gente acabou fazendo que aí casou as 2 coisas.

A3 – É, a gente já tinha estudado a teoria disso e já tinha feito exercícios. O que a gente fez, foi bem mais legal, que foi na prática né!? É uma concretização dos saberes, eu acho. Eu gostei mesmo. Foi bem legal ver o negocinho se mexendo. [Referindo-se à queda de corpos ligados às polias]

A4 – Eu acho que é realmente interessante você fazer a teoria, depois fazer o experimento... Só que depois você voltar para a teoria de novo, tendo o experimento é, já tendo feito experimento em prática, eu acho que é enriquecedor... demais. Então assim, agora que a gente está vendo isso no terceiro ano de novo, eu acho que é uma experiência muito, muito melhor. Volto com mais maturidade.

A5 – Ah, querendo ou não, dá uma facilidade maior. Porque, tipo, você já viu o negócio, né? Então aí você já tem um pouquinho mais de facilidade, mesmo tendo um pouquinho de dificuldade em física, já é melhor.

- 4) Quando vocês fizeram as medidas e depois compararam com os valores calculados ficaram próximos, distantes, muito distantes... E como você reagiu em relação a isso?

A1 – Não tinha nada exato, mas também não foi nada absurdo. Eu lembro, tinha uma aula do professor X, no ano passado, de pêndulo do laboratório, que, meu, a gravidade deu 18. Isso mais ou menos. Mas lá na sua física experimental, isto foi, foi um pouco melhor. E no cálculo, muitas vezes se despreza algumas coisas que tem na realidade.

A2 – Às vezes ficava complicado fazer a conta em si, que a gente fazia o negócio todo lá na mesa a gente fazia, ficava complicado mais como aplicar as fórmulas, como enxergar a questão da força resultante e tal...

A3 – Não lembro. Acho que eu sei que o segundo que a gente fez o da mesa foi o que deu bem próximo valor.

A4 – Depende, depende... O do pêndulo foi um desastre, né? Porque a gente cometeu, a gente cometeu vários erros, né? É que o do pêndulo, a gente não tinha visto o pêndulo na sala de aula ainda. Foi o contrário: a gente fez primeiro na prática, para depois [fazer] na teoria.

É... O [do disco de forças] foi muito legal (...) porque ele realmente ficava equilibrado, o disco realmente equilibrava no centro.

A5 – Eu lembro que que, eu acho que eram 2 grupos, né? O nosso grupo, deu um erro, fez um errinho de cálculo, mas depois a gente percebeu o nosso erro e aí deu próximo sim, que eu me lembre. Bom, então não tem por que ficar recepcionado aqui.

- 5) A que você atribui a diferença entre os valores teóricos e os valores obtidos experimentalmente?

A1 – Tem a resistência do ar. Muitas vezes o atrito...

A2 – Mas valores, tirando quando a gente errava diretamente, né, na conta, os valores estavam bem próximos, tipo não era erro do equipamento, né!? Mas quando a gente errava.

A3 – (Não soube responder)

A4 – Primeiro que quando a gente vai fazer o cálculo teórico, tem muita coisa que a gente não considera como atrito, resistência do ar, né? Esses diversos fatores, então é impossível. Eu diria que se o experimento, né, se o valor do resultado deu muito próximo do real, deu muito próximo do real, você fez alguma coisa errada, porque não é não é pra dar o valor muito próximo do real, né? Uma margem de meio por cento de erro, não tem como.

A5 – Eu acho que foi, é, eu acho que foi por unidade de medida que a gente errou.

- 6) Você considera que o fato de as peças, os equipamentos, terem sido impressos em 3D influenciou nos resultados, ou seja, com melhores equipamentos você acha que os resultados seriam melhores ou acredita que com os equipamentos que foram fornecidos os resultados são aceitáveis?

A1 – É, sinceramente, nunca mexi muito em outro laboratório, que essa foi a minha primeira experiência assim. Então eu não sei. Eu não senti nada muito ruim com o material. Não! Eu gostei de mexer com o material. Achei bom.

A2 – Hum, acho que a única peça que deu mais problema de ser... De ser impressa, foi mais essa polia aqui. [Apontando a polia de direcionamento da força]. Porque tipo, às vezes dava muita atração com o cordão que a gente estava usando, e aí dava problema a questão da aceleração e tal. É que dava tração com o barbante, aí tipo influenciava na força e tal.

A3 – Foi você que fez todas as pecinhas e foi incrível porque todas elas conseguiram se encaixar e dá a conta certa. A gente conseguiu obter bastante resultados aceitáveis.

A4 – Não. Eu acredito que cumpriu o propósito. Sem dúvidas porque o que é importante é o experimento dar certo. Se o experimento deu certo, o que eu posso falar?!

É, assim, a gente tem que analisar a fonte de erro. Então, se a fonte de erro for a qualidade do material, a gente tem um problema. Mas não, a fonte de erro não era a

qualidade do material, eram os nossos cálculos, né? Nossos cálculos, as ferramentas de matemática que a gente estava usando eram muito limitadas, né? A gente não pode ficar levando em consideração cada atrito, cada resistência do ar...

A qualidade do material da Impressora 3D era boa, a qualidade material era boa sim. Então não era essa a fonte de erro.

A5 – Acho que não, acho que não é um fator. Uma boa pergunta, mas eu acho que não. Creio que não. Ah, tipo foi algo que a gente só não prestou atenção, entendeu?

7) Como você avalia a experiência com a mesa de forças em relação ao que você já imaginava sobre soma de vetores?

A1 – Ah, também é outra coisa que deixa, que deixa mais visível, que deixa mais facilmente visível. É a mesma ideia da polia, em relação ao que ajuda.

A2 – Hum, eu acho que ajuda bastante, porque o uso dos barbantes, dava a questão da direção e o sentido do peso, né?! E, também, a mesa ajuda também com a questão dos ângulos, que aí também ajuda com as contas dos vetores.

A3 – Conseguir exemplificar bastante aquilo que a gente tinha visto, que dependendo do ângulo maior, vai ficar pra baixo ou mais pra cima. Isso é legal.

A4 – Ah primeiro, lembro que eu deixava a galera fazendo, né!? Tentando fazer a configuração. Você botou os exemplos na lousa, né?! Dos vetores. A galera ia fazendo. Eu falei, vou resolver. Para ver que vai dar, né? Fui resolver na mão. Eu lembro que um tinha um exemplo, se eu não me engano, o segundo exemplo que a gente tinha que fazer, não dava, não dava a configuração. Eu estava aqui, mas rapaz, não está não, está coisa aqui. A galera ia tentando mexer, eu falei, por que será que não está dando certo, né? Porque o vetor não vai rolar, a resultante não é nula. E os caras estão tentando assim. Eu falei: não, não. A resultante não é nula nesse bagulho. Por isso que está dando errado.

A5 – Cara, foi meio tipo... eu não estava esperando. Eu não fazia ideia do que era. E aí, tipo, foi surpreendente, sabe?! É, acho que é isso. Eu não, não fazia ideia. Tipo, quando

você olha na lousa, parece que é um negócio totalmente diferente do que está ali no laboratório.

- 8) Houve alguma expectativa que foi quebrada? Ou algum conceito que você já tinha sobre como o sistema com várias forças funcionava e, vendo na prática, a sua percepção tenha mudado?

A1 – Não. Eu imaginei que eu ia ser mais desastroso ainda. Foi um pouco “menos pior” do que eu achava, a minha presença.

A2 – Hum, teve um experimento, eu não vou lembrar com detalhes, que tipo a gente fez, que era genérico, uma mistura de pesos, vetores e tal. Só que aí o resultado não tinha dado. Aí depois, com a explicação, fazia sentido, mas tipo, [com] o senso comum não dava, né!?

A3 – Acho que não. Foi bem coerente, foi bem divertido. Tem que estimular, e estimular bastante.

A4 – Não, pelo contrário, fui surpreendido, né? Hum, é que cada vez que você, cada vez que a gente chegava lá, quando você chegou pra mim dizendo que a gente ia medir o comprimento de onda de laser, aí eu falei, não é possível que ele vai fazer isso. Falei não, não é possível, né? Quando você mostrou aquela fórmula maluca, quando a gente mediu o ângulo, né? Tinha que fazer cálculos com tangentes, não, não é possível que aquilo lá existia... Então, assim, eu diria que fui surpreendido positivamente.

A5 – Não. tirando essa parte de que, né, é totalmente diferente você ver na lousa e você fazer ali. Eu acho que só isso mesmo.

- 9) Quanto aos valores solicitados e desafios que foram propostos, vocês conseguiram medir e encontrar o que se pedia?

A1 – Eu lembro que teve uma, não lembro exatamente, teve uma que o meu colega roubou. Assim, ele deu um jeito de colocar o fio de um jeito que mudava tudo assim, não fazia nem força direito...

A2 – Sim

A3 – Sim. É, calcular não fui eu que calculei, mas sim.

A4 – É, sim, tinha um caso que era impossível. Mas o propósito, o propósito, era realmente a gente deduzir que o bagulho era impossível, né?! Era uma configuração não viável, né!? Ah, mas os experimentos a gente conseguiu resultados bons.

Ah, eu lembro que até tinha uma galera do ano passado com a gente. Tinha uma galera do terceiro ano que foi com a gente fazer isso... Sim, lembro que deu um valor, uma margem de erro de 10% por aí, né?

A5 – Acho que sim, o meu grupo conseguiu sim.

10) Se você fosse convidado(a) para outra atividade com as mesmas características você aceitaria? Consegue justificar sua resposta?

A1 – Ah, eu aceitaria, com certeza eu iria pra outra. Para mais uma. Enfim, se tivesse outra Física experimental, eu iria. É, eu gostei da experiência, me ajudou a ter mais certeza sobre as coisas.

A2 – Com certeza, gostei bastante de experiência, sei que tipo, pelo menos o pessoal que participou comigo também gostaria, sem o problema do estudo. [referindo-se à proximidade do vestibular – Chama a atenção como o estudante parece não associar o laboratório com “estudo”]. Acho que tipo, se tivesse a possibilidade... ah essa questão das forças, é bem interessante, né? Tipo, se tivesse, ah, eu não vou saber dar um exemplo, mas tipo, outras partes da física prática também. Tipo, ficaria até mais interessante do que é.

A3 – Eu faria completamente. Eu não sei, acho que inclui mais. Acho que a gente sai com uma bagagem melhor, tipo, você consegue entender mais o que foi passado. É tipo,

eu vou fazer uma analogia estranha. Quando os filósofos antigos, eles levavam os alunos, explicavam por que que a folha cai da árvore mostrando a folha caindo... Eu consigo imaginar que seja uma coisa parecida. É, uma coisa é falar sobre os vetores, outra coisa é ver os vetores fazendo... É a concretização mesmo.

A4 – Eu faria esse tipo [de atividade] sim. Eu estou louco para ver coisas de magnetismo. Se trouxesse uns ímãs malucos lá pra gente ver movimento centrípeto sabe, a força? Eu ia encarar, com certeza. Eu queria ver coisas novas, né? Tudo que eu estou aprendendo agora eu queria ver, pô, ser posto em prática, né. Porque a gente deu sorte de as coisas... Você tem mostrado pra gente. A gente teve isso no segundo ano, né? Então você trouxe pra gente o laboratório de óptica, sendo que a gente já tinha estudado óptica; trouxe pra gente um laboratório de mecânica, com forças. A gente tinha estudado força, né? Agora que a gente tá aprendendo coisas novas, eu também queria ver essas coisas novas sendo postas em laboratório.

A5 – Sim, aceitaria, com certeza. Eu sou uma pessoa que adora experiências novas, né!? Então, com certeza sim.

11) Você conseguiria apontar alguma melhoria ou modificação nos equipamentos que foram usados?

A1 – Ah, eu lembro que... É que tinha um cabo de tamanho diferente. Eu lembro isso. Teve que trocar, teve que alterar toda, teve que refazer basicamente. Aí tirando isso, acho que não tem nada não. O resto foi culpa nossa.

A2 – Sugestão feita na questão 6 (Trocar o fio para diminuir o atrito com as polias). Tinha dado alguma coisa com essas [apontando as polias], mas eu não lembro o que é... Era questão de pendurar as bolinhas... [Problema para fixar a quantidade de pesos na extremidade do fio]

A3 – Tinha aquelas questões lá das pecinhas que às vezes desencaixavam. Aí deve ter sido alguma coisa do molde, que na hora que foi fazer, ficava desencaixando essas coisinhas aí, que você já até fez a melhoria, né? Porque era só de encaixar. E o segundo já era de parafusar. Bem criativo! [Referindo-se ao suporte deslizante da mesa de forças]

A4 – Não, eu acho que o equipamento 3D era de boa qualidade, né? Então, as fontes de erro dos nossos resultados definitivamente não eram por causa da qualidade dos materiais.

A5 – Cara, Eu acredito que não, porque assim, eu não sou uma pessoa que tem muita ideia sobre isso, mas, eu acho que não.

12) Como você avalia o uso desse tipo de equipamento que é impresso na própria escola para usar nas atividades de Física Experimental?

A1 – Do equipamento, eu gostei... Acho que dá para investir nisso sim. Não sei se o melhor seria um pouco dos 2, talvez... [Provavelmente, referindo-se a equipamentos comprados] Cumpre o papel. Tudo certo!

A2 – Ah, seria incrível né!? Você ajudaria bastante, como eu disse, a gente que tem dificuldade mais em abstrair a questão dos vetores e ajudaria a enxergar, não é? E também, a questão das contas, a gente enxergar os ângulos e tal...

Eu teria um desses fácil e ficaria brincando. Com a questão das forças...

A3 – Eu achei muito incrível. Porque meu pai, ele sempre falou sobre a impressora 3D, que ele quer muito comprar e tal e não sei o que, só que ficou só um sonho assim dele. E aí quando a gente chegou aqui no Colégio, você montou tudo e eu fiquei, caramba, é realmente possível isso?! É tipo: eles estão fazendo, dá para fazer coisas com a impressora 3D. Então foi bem motivador, assim, tipo, meu Deus... Bem criativo também!

A4 – Como eu falei, isso eu acho, eu acho positivo, acho positivo que a gente não tem que gastar, né, uma quantidade absurda de dinheiro, né? Só para fazer uns experimentos que não são uns experimentos complexos, né? Uma mesa de força, não é algo, uma maquinaria muito complexa... só chumbada e barbante e uma estrutura para sustentar, né? Então assim, sem precisar ficar gastando muito dinheiro com isso. Não precisa. A estrutura 3D cumpriu o papel dela bem (...) Porque a beleza está no fenômeno, né?! Não no equipamento.

A5 – Cara, eu acho que é extremamente útil, sabe? Tipo assim, é muito bom porque, principalmente, você consegue fazer aqui na própria escola, né? Você não precisa, sei lá, ir em algum lugar pra, sabe, comprar, né? Então, tipo, eu acho que é extremamente útil, extremamente interessante. O Brasil é o país da gambiarra, né? É bacana.

# **APÊNDICE B**

**Produto Educacional**

---

**(Página em branco)**

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física  
Polo **ufscar** Sorocaba



**GUIA PARA  
INICIAR NA**

# **IMPRESSÃO 3D**

Produção de materiais para  
Atividades Experimentais em Física

por Reginaldo de Abreu

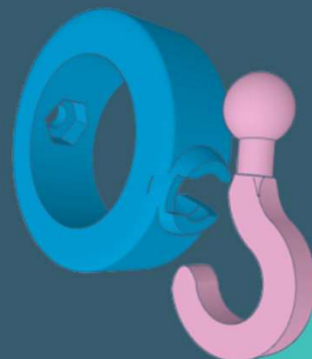
**2025**



Neste guia você encontrará as informações essenciais para seu ingresso no universo da Impressão 3D. Embora essa tecnologia só tenha se difundido recentemente, suas técnicas e processos já são aplicadas na indústria há algumas décadas. Nos últimos anos, os equipamentos e insumos se popularizaram, ficaram menores e mais acessíveis. Objetos impressos já são usados na Odontologia, Medicina, Arquitetura e Engenharia. No entanto, pouco se fala sobre suas aplicações educacionais. Se você está interessado em iniciar na Impressão 3D, aqui você encontrará alguma ajuda. Este trabalho é derivado de uma pesquisa de Mestrado durante a qual materiais foram projetados e impressos para auxiliar os estudantes em atividades experimentais de Física. Os arquivos relativos a esses materiais estão disponíveis para download a partir de links disponibilizados no tópico V. Espero que sirvam como inspiração para outros projetos. Boas Impressões!

## Sumário

<b>3</b>	I - Visão geral do Processo
<b>6</b>	II - Softwares para modelar
<b>14</b>	III - Softwares para fatiar
<b>22</b>	IV - Impressoras e Filamentos
<b>31</b>	V - Amostras



# I – Visão Geral do Processo

## DERRUBANDO ALGUNS MITOS

- Impressão 3D não é mágica! É trabalho, paciência e criatividade. Mesmo que você não seja tão criativo assim, ainda conseguirá se surpreender com os seus projetos. A internet está cheia de vídeos em que o apresentador dá “dicas” sobre como imprimir uma máscara idêntica ao personagem de um filme, uma espada mágica, uma nave espacial etc., etc. Não se engane: Na maioria das vezes, esses arquivos foram baixados da internet, em sites especializados que oferecem alguns arquivos gratuitos e vendem os demais. Muitos desses modelos foram criados por designers profissionais. Nosso objetivo é diferente: produzir peças funcionais para usar em atividades experimentais!



### Perigo:

Na etapa de projeto é difícil manter o foco na atividade quando buscamos arquivos prontos em sites e repositórios para 3DP. O motivo é muito simples: não dá para resistir aos infinitos objetos úteis e personagens “fofos” que vamos encontrar. É ainda mais complicado ao trabalhar com crianças. Dúvida? Verifique os endereços a seguir:

- <https://cults3d.com/pt>
- <https://www.myminifactory.com/>
- <https://www.thingiverse.com/>
- <https://www.printables.com/>



Fonte:  
[Printables.com/@29flo\\_2608524](https://www.printables.com/@29flo_2608524)

- A impressão é demorada! Por isso é necessário ter paciência. Muitas vezes, os vídeos sobre o assunto são mostrados em timelapse, o que significa que horas de impressão foram reduzidas a alguns segundos. Vários fatores afetam o tempo de impressão (complexidade da peça, preenchimento, uso de suportes etc.). Porém, o mais impactante é a velocidade da impressora. Há impressoras muito rápidas, mas o preço é inviável.
- Normalmente é monocromática! A maioria das impressoras acessíveis imprime em apenas 1 cor! Na técnica que exploramos neste guia (FDM), usamos um carretel de filamento como matéria prima. Há filamento de várias cores. Embora seja possível, é trabalhoso trocar o filamento durante a impressão. Algumas impressoras trabalham com vários carretéis ao mesmo tempo, mas, mais uma vez, o preço é proibitivo. Se você encontrar uma peça impressa multicolorida, das duas uma: ou foi pintada após a impressão, ou foi impressa com uma impressora caríssima. Claro que sempre há a possibilidade de imprimir em várias etapas, trocando o filamento ao final de cada uma.



### Perigo:

- A propaganda pode enganar os desavisados. Ao buscar por impressoras 3D na internet, os anúncios mostrarão impressoras com objetos prontos, dando a entender que foram impressos por ela. Nem sempre é verdade ou, na melhor das hipóteses, deu um trabalho enorme para imprimir em partes separadas. No exemplo abaixo, retirado de um anúncio de e-commerce, a impressora mostrada é de filamento único. Isso significa que para imprimir o objeto mostrado, seria necessário fazer cada uma das partes na respectiva cor e depois montar o objeto.



## ETAPAS DO PROCESSO

### PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D



Basicamente, temos 4 etapas para materializar uma ideia:

# 1

#### **PROJETO** (CAD – Desenho Assistido por Computador)

O objeto é criado digitalmente utilizando um software de modelagem 3D. No tópico II vamos abordar essa ferramenta. Também é possível utilizar um tipo de scanner que gera uma imagem 3D de um objeto real. Como é uma tecnologia bastante sofisticada, ainda é pouco viável para uso doméstico.

# 2

#### **FATIAMENTO (Slicer)**

Com o projeto concluído, ele precisa ser “fatiado”. O software de fatiamento divide o modelo em camadas horizontais e gera o código (G-code) que será lido pela impressora. Há várias opções disponíveis e vamos falar sobre elas no tópico III.

# 3

#### **IMPRESSÃO**

O arquivo G-code gerado pelo fatiador é transferido para a impressora (via cartão SD, pendrive, USB ou Wi-Fi). A impressora funde o filamento e deposita o material camada por camada até formar o objeto final. Falaremos sobre esse processo no tópico IV. Como já mencionado, a impressão pode durar várias horas, dependendo do tamanho, complexidade e qualidade do objeto.

# 4

#### **PÓS-PRODUÇÃO**

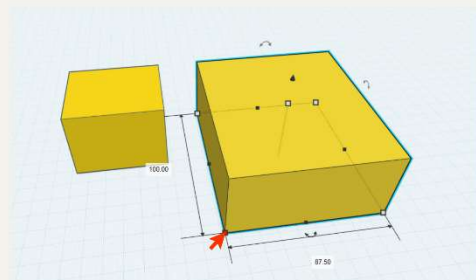
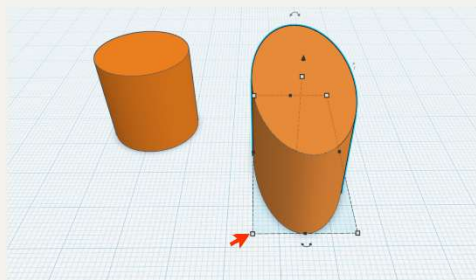
Embora não seja nosso propósito (à princípio), é possível melhorar a estética das peças após a impressão. Em alguns casos será necessário remover sobras, lixar, pintar e até colar diferentes partes. Para nosso propósito, pode ser necessário realizar testes funcionais, ou seja, verificar se as peças se encaixam nos locais previstos.

## II - Softwares para Modelar

O processo de criação da imagem tridimensional relativa ao objeto que se deseja imprimir é chamado de modelagem e pode ocorrer de 2 formas: Direta ou Paramétrica.

### Modelagem Direta:

O objeto é criado através da adição e subtração dos volumes de formas básicas como esferas, cilindros, paralelepípedos e pirâmides. O processo é mais visual e independe de conhecimentos matemáticos. Consiste, basicamente, em colocar uma forma básica na área de trabalho e, a seguir, clicar nos cantos e arrastar para alterar as dimensões. A modelagem é mais intuitiva e de rápido aprendizado.



O principal representante dessa categoria é o Tinkercad, fornecido pela empresa Autodesk. Trata-se de um aplicativo Web, ou seja, não é necessário baixar e instalar, sem propaganda e totalmente gratuito. Você deve estar se perguntando: "certo, e onde está a pegadinha?". Na verdade, não há. A empresa deixa muito clara a sua intenção: atrair usuários para seus outros produtos.

***"O Tinkercad é um aplicativo Web gratuito para projetos 3D, eletrônica e codificação. Somos a introdução ideal à Autodesk, empresa líder global em tecnologia de projeto e criação."***

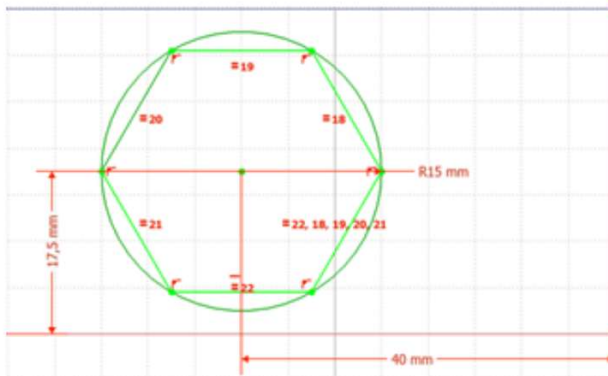


Fonte: tinkercad.com



## Modelagem Paramétrica:

Parte da definição de **parâmetros** e nas **relações** entre esses parâmetros para definir a forma do objeto. Na modelagem paramétrica é possível manter um histórico das operações realizadas para criar o objeto. Modificando um parâmetro anterior na linha do tempo, as alterações irão se propagar por todo o modelo de forma automática.



Também é possível definir relações matemáticas e geométricas entre diferentes partes do modelo, por exemplo, definindo o tamanho de um furo como uma proporção do tamanho do objeto. Alterando o tamanho do objeto, o tamanho do furo também mudará na mesma proporção.

Nessa categoria há diversas ferramentas, algumas básicas e outras bastante sofisticadas. Há uma delas que é desenvolvida na modalidade Open Source (código aberto) disponível gratuitamente. Trata-se do FreeCAD. Outras empresas fornecem licenças gratuitas para professores e estudantes, como é o caso da Autodesk, citada anteriormente, que fornece o acesso ao Fusion 360, uma ferramenta bastante completa.

## RESUMINDO:

### Modelagem Direta

✓ Intuitiva, rápido aprendizado, aplicativos leves que rodam no navegador.

⚠ Pouco precisas, difícil alteração depois de algumas etapas.

**Tinkercad (tinkercad.com)**

### Modelagem Paramétrica

✓ Precisa, reprodutível, totalmente controlada.

⚠ Aprendizagem demorada, interface menos intuitiva para iniciantes.

**FreeCAD e Fusion 360**

Se você não tem experiência prévia com design e pretende usar a impressão 3D em seus projetos (educacionais ou não), o Tinkercad é a melhor opção. Totalmente intuitivo e baseado em formas geométricas básicas. Perfeito para começar com o pé direito e ter seu primeiro projeto pronto em algumas horas.



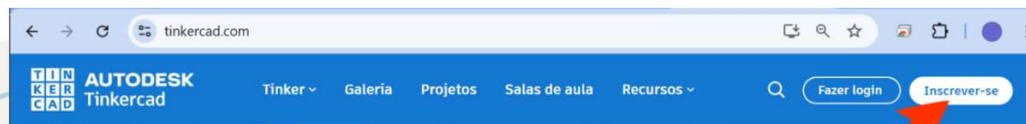
### Perigo:

- Pode ser tentador trabalhar num projeto deitado no sofá ou na rede. Infelizmente, algumas funcionalidades ficam comprometidas em tablets e smartphones. Sugiro o velho e bom PC, seja desktop ou notebook.

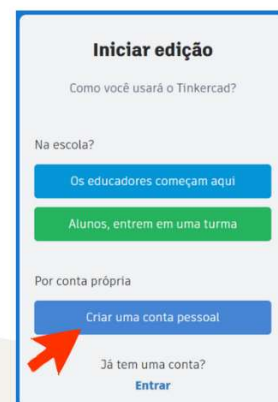
Se você vai seguir as recomendações anteriores, vamos lá...

Abra um navegador no seu Computador (Chrome, Edge, Opera etc.) e acesse o endereço abaixo:

[www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com)



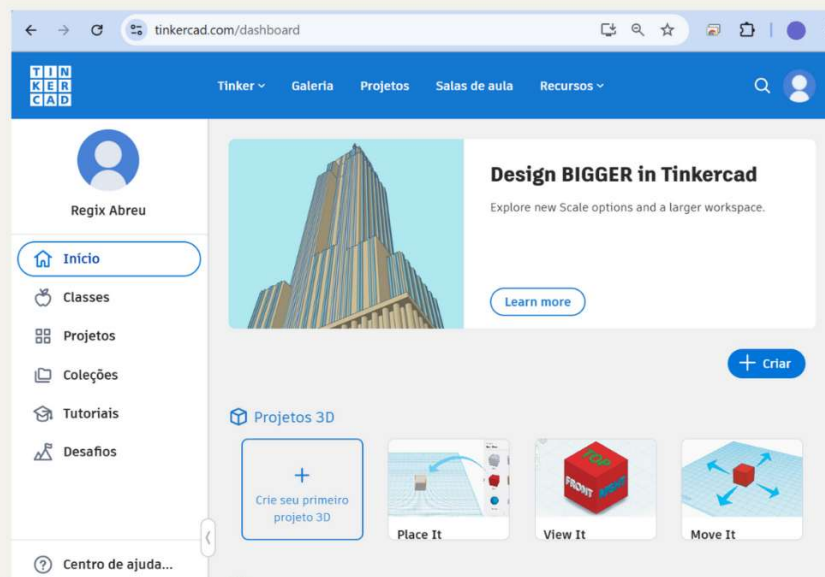
No primeiro acesso você terá que fazer um cadastro. Não se preocupe. É seguro e seus dados não serão usado para enviar propaganda. Você receberá apenas informações sobre eventos e atualizações do próprio produto. Fique à vontade para escolher uma das duas opções em azul. Se você pretende usar a ferramenta com os seus filhos ou alunos, sugiro a primeira opção (os educadores começam aqui). Se pretende apenas desenvolver os seus próprios projetos, uma conta pessoal resolve (criar uma conta pessoal). Vou considerar que você está criando uma conta pessoal.



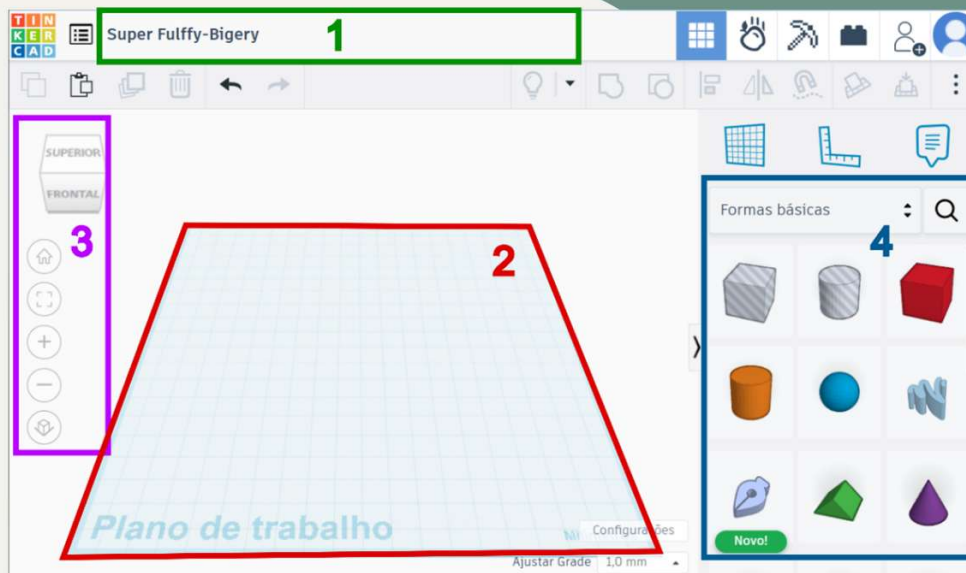
Na próxima tela, você poderá escolher entre criar um cadastro usando o seu e-mail ou usar uma conta pré-existente (Google ou Apple) para fazer o login. Se você escolher uma dessas opções, terá que usar os dados de login da conta escolhida (e-mail, senha e outras opções de verificação que estejam ativadas). Faça como julgar melhor.

A seguir, escolha o país e insira a sua data de nascimento. Isso é importante por dois motivos. Para ajustar idioma e unidades de medida e para saber se você é maior de idade.

Após aceitar o **Termos** e a **Declaração de privacidade**, você será direcionado para a tela inicial. Parabéns, agora você faz parte de uma das maiores comunidades de projetistas, designers, professores, estudantes e curiosos do mundo!



Na página inicial há vários tutoriais sobre o uso da ferramenta. Na internet também há muito material sobre isso. Por esse motivo, seremos breves quanto ao processo de design. Clique em **crie seu primeiro projeto 3D**. A tela deverá mudar para a seguinte.



A tela acima tem 4 regiões importantes, destacadas com os números de 1 a 4.

1 – Onde você deverá inserir o nome do seu projeto. Note que o Tinkercad é muito criativo e sempre sugere um nome para os novos projetos. Cabe a você decidir se aceitará a sugestão ou mudará.

2 – O plano de trabalho é a região onde o projeto será construído. É possível mudar suas configurações (tamanho, cor, unidades etc.) no canto inferior direito. Por ora, deixaremos como está.

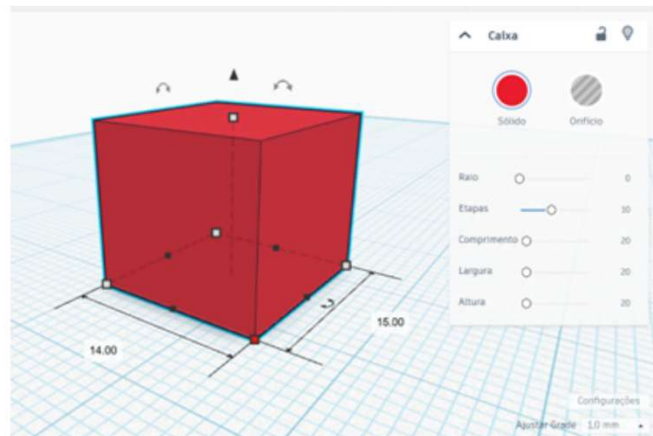
3 – Ferramentas de visualização. Aumentar, diminuir, girar etc. Nada disso irá alterar o tamanho dos seus objetos. Apenas muda a posição (e a distância) do observador. Nessa área há um pequeno cubo com as inscrições superior, frontal, esquerda, direita etc. Clique e segure enquanto move o mouse. O plano de trabalho (4) deverá se mover.

Tente também clicar com o botão direito do mouse sobre o plano de trabalho e segurando o clique mova o mouse. Essa ação também deve mover a área de trabalho. A “rodinha” do mouse (scroll) também funciona como controle de zoom. Rodando para um lado a imagem se aproxima e para o outro ela se afasta.

4 – Formas básicas para construção e recorte. Tudo começa com **um clique** sobre uma das formas coloridas e após posicioná-la no plano de trabalho, **outro clique** para fixar.

Para treinar, tente o seguinte:

- À direita da tela, na aba “Formas básicas” (4), clique em um objeto (por exemplo, o Paralelepípedo). Mova até o Plano de trabalho e clique novamente.
- Você notará que o objeto ficará com quadradinhos brancos em algumas posições. Clique e segure um desses quadradinhos e arraste o mouse para redimensionar. Outra possibilidade é clicar no quadradinho branco e quando as medidas aparecerem no plano clicar sobre uma delas para alterar o seu valor.



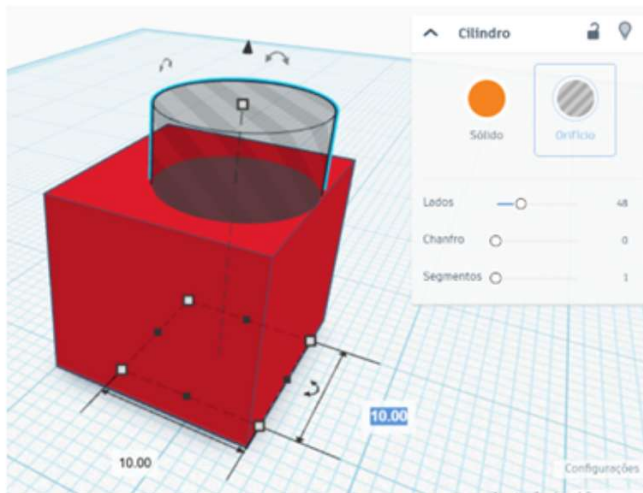
Ao selecionar um objeto no Plano de trabalho, uma pequena janela se abrirá à direita. É a janela de propriedades do objeto que está selecionado. Nela é possível alterar a cor, as medidas e outras características do objeto.



### Perigo:

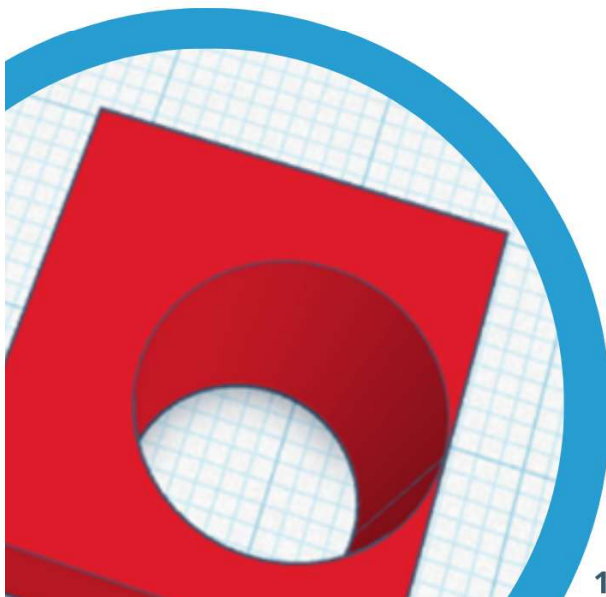
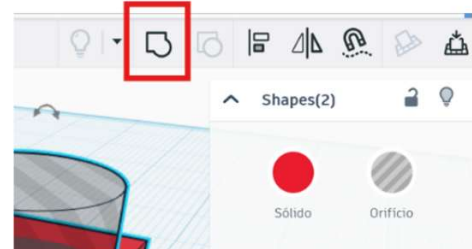
- É natural pensar (principalmente as crianças) que a cor do objeto na tela corresponderá será a cor da impressão, o que não é verdade. Independentemente da cor que o objeto tem no design, o que determinará a sua cor na impressão será a cor do filamento usado. Em impressoras mais sofisticadas é possível trabalhar com várias cores, mas esse não é o nosso propósito.

Vamos adicionar outro objeto ao plano de trabalho, um cilindro, por exemplo, que será posicionado no centro do cubo. Note que existe um quadradinho branco na parte superior cuja função é aumentar a altura do objeto. Próximo a ele existe ainda uma pequena seta preta que aponta para cima. O objetivo dela é elevar o objeto em relação ao plano de trabalho sem, no entanto, alterar suas medidas. Mudaremos as medidas da base do cilindro para 10 cm e, na janela de propriedades, vamos clicar na bolinha cinza listrada onde está escrito Orifício. O cilindro ficará cinza e semitransparente.

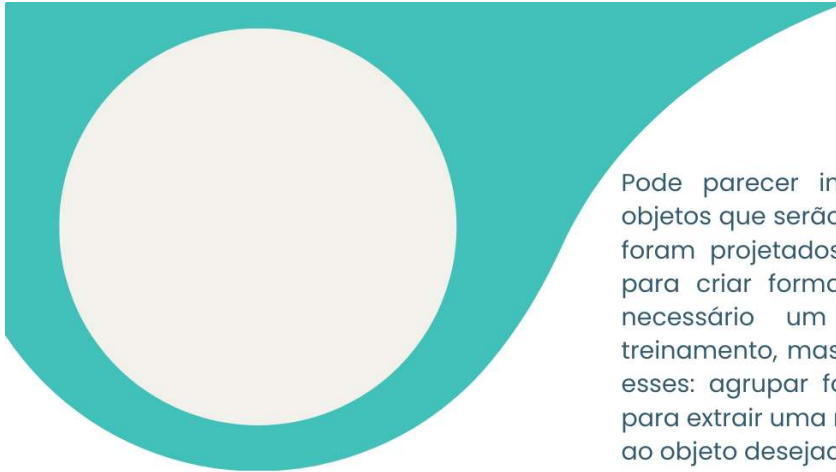


Agora, a mágica irá acontecer: segurando a tecla Shift do teclado vamos selecionar também o cubo vermelho. Outra forma de selecionar múltiplos objetos é levar o cursor do mouse até uma posição superior esquerda em relação aos objetos e clicando e segurando o botão esquerdo levar o cursor do mouse até a posição inferior direita que capture os 2 objetos.

Com os dois objetos selecionados, vamos clicar na ferramenta de Agrupar, que ainda não havia sido mencionada, e está logo acima da janela de propriedades.

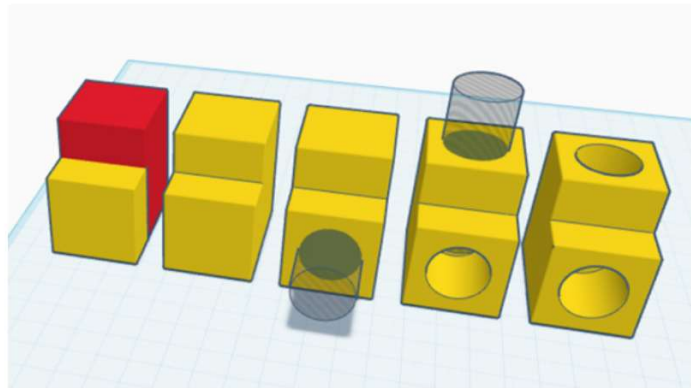


Surpresa! Agora temos um cubo com um buraco no meio. Quando alteramos a cor do cilindro que era alaranjada clicando na opção orifício, o cilindro foi transformado num elemento de subtração. Ou seja, ao agrupar o cubo com o cilindro, a região do cubo que estava ocupada pelo cilindro foi subtraída.

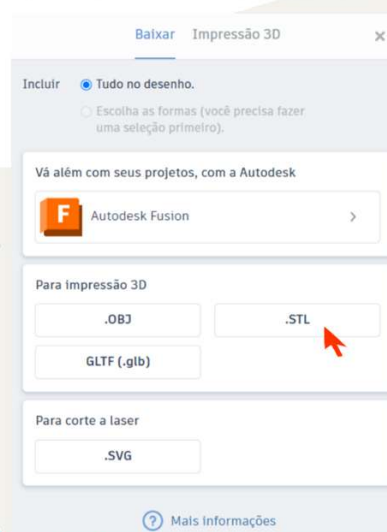


Pode parecer impossível, mas todos os objetos que serão apresentados no tópico 5 foram projetados dessa forma. Claro que para criar formas mais sofisticadas será necessário um pouco de prática e treinamento, mas os princípios básicos são esses: agrupar formas e usar uma forma para extrair uma região da outra até chegar ao objeto desejado.

Por exemplo, para projetar um encaixe que conecta dois tubos cilíndricos para formar uma estrutura de sustentação, comecei com duas caixas de tamanhos diferentes que, após agrupadas, passaram a formar um único objeto (por isso a cor ficou uniforme, embora seja possível alterar essa configuração). Usei um cilindro para fazer um furo horizontal que não atravessasse a estrutura. Em seguida, usei outro cilindro para fazer um furo vertical, também sem atravessar a peça. Essas etapas estão representadas na figura a seguir, da esquerda para a direita.

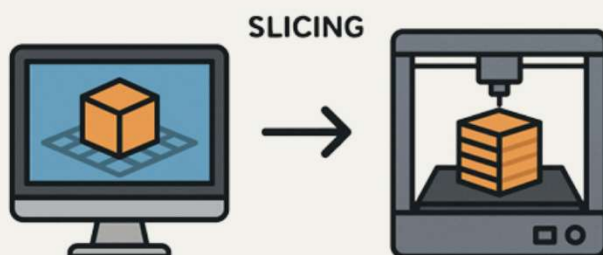


Quando o projeto estiver concluído, deverá ser exportado para passar pela próxima etapa: o fatiamento. Para isso, basta selecionar o objeto que pretende imprimir (sugiro que faça um objeto por vez) e clicar na opção exportar no canto superior direito da tela. Na janela que se abrirá, escolha a opção .STL. O arquivo será baixado na pasta padrão para downloads.



## III – Softwares para Fatiar

Com a modelagem concluída e o objeto exportado, chegou a vez do fatiamento (slicing). O software de fatiamento dividirá o modelo em camadas horizontais e criará um código (G-code) que será lido pela impressora. Basicamente, esse código é composto por comandos que especificam a temperatura, as coordenadas, a velocidade de tração do filamento e demais parâmetros técnicos. Ou seja, o fatiador (slicer) transforma a peça projetada em um conjunto de dados numéricos que vão orientar a deposição do filamento sobre a superfície de impressão. Felizmente essa codificação é feita com uma interferência mínima do usuário. Mesmo assim, alguns parâmetros serão configurados.



Alguns softwares disponíveis para esse processo são:

**UltiMaker Cura:** Um slicer gratuito e muito popular, com uma interface amigável e diversas opções de configuração. Compatível com a maioria das impressoras FDM.

**PrusaSlicer:** Desenvolvido pela Prusa Research, este slicer é robusto, oferece muitos recursos avançados e é compatível com diversas impressoras.

**Creativity Slicer:** Um slicer baseado no Cura, otimizado para as impressoras Creativity e com uma interface simplificada.

Embora não sejam as únicas, todas essas opções são gratuitas e robustas o suficiente para a maioria das aplicações. Um detalhe importante é que os três foram desenvolvidos por fábricas de impressoras. No próximo tópico, os nomes UltiMaker, Prusa e Creality aparecerão novamente quando formos falar sobre as impressoras. Porém, todos eles apresentam uma opção de configuração que permite incluir a maioria das impressoras disponíveis no mercado. Mesmo usando o slicer Cura (da UltiMaker), você poderá incluir impressoras de outras marcas. Como é esse que tenho usado, com impressoras de diferentes marcas (nenhuma delas fabricada pela UltiMaker) e nunca tive problemas, é o que recomendo e irei apresentar.

Será necessário fazer o download do programa no seu PC. Para isso, use a página oficial do produto, no site da UltiMaker:



<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>

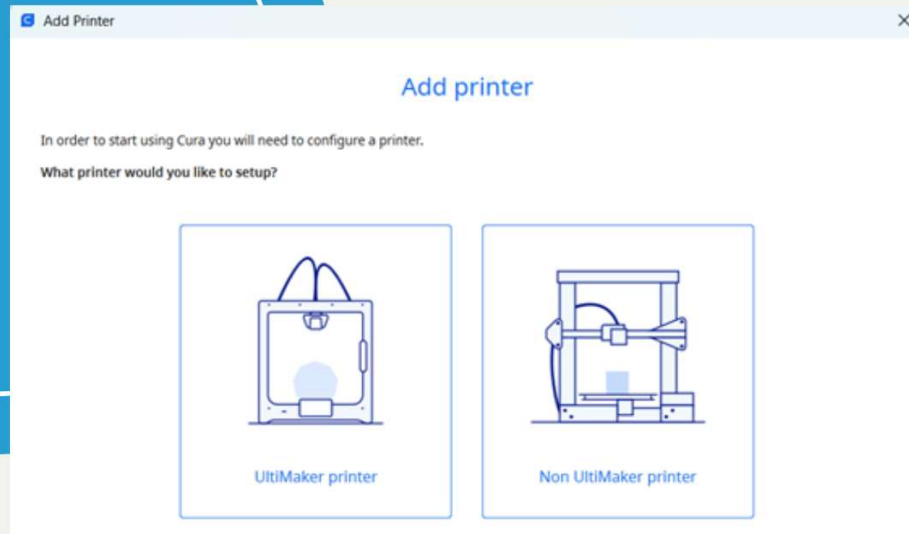


Clique no botão azul e, na tela a seguir, escolha o seu sistema operacional. Se não estiver seguro, busque a ajuda de alguém que entenda um pouco sobre computadores.

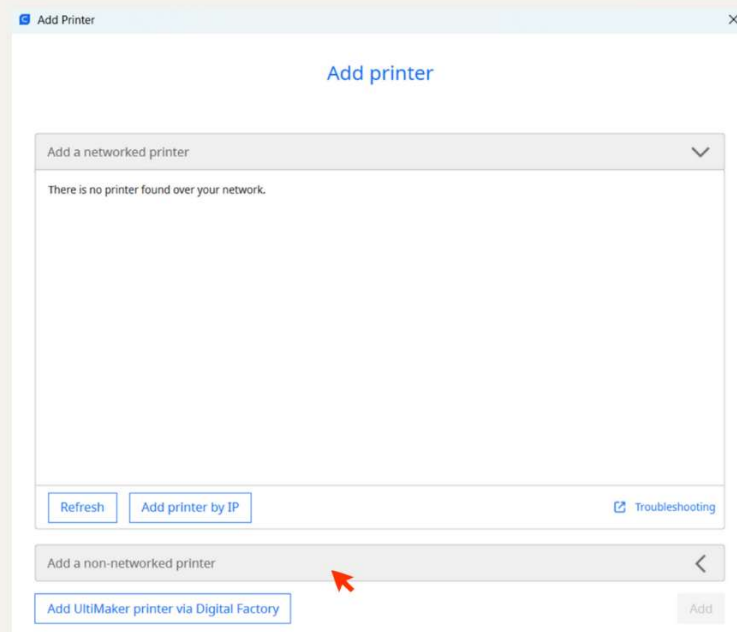
Após concluído o download, clique sobre o arquivo para iniciar a instalação. Há diversos vídeos na internet sobre instalação e configuração desse programa.

Quando a janela de instalação se abrir, aceite a licença de utilização e, a seguir, escolha a opção típica (Typical). Se tudo correu bem, dentro de alguns minutos o programa estará instalado e poderá ser executado.

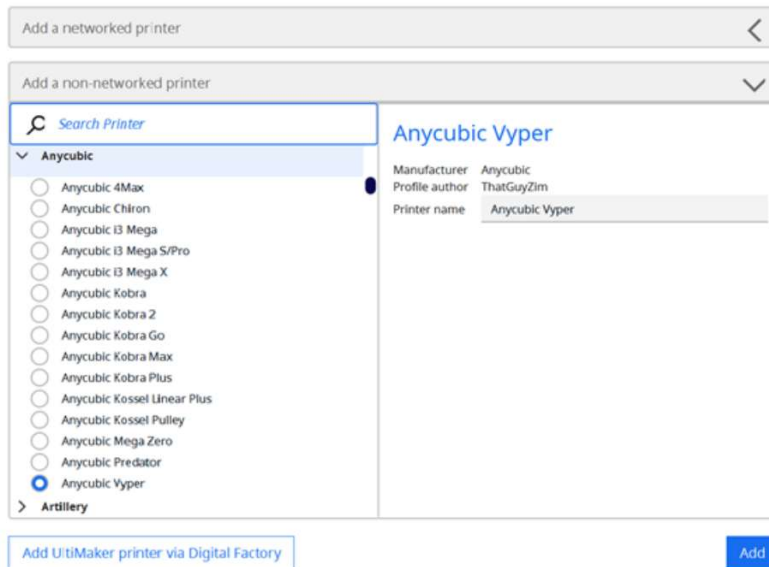
Ao executar pela primeira vez, você será convidado a se inscrever no programa de usuários da Ultimaker. É possível recusar e continuar para a próxima tela. Será necessário escolher a marca e o modelo da sua impressora, assunto do próximo tópico. Imaginando que você já saiba qual é a sua impressora escolha entre as duas opções apresentadas: UltiMaker printer ou Non UltiMaker printer.



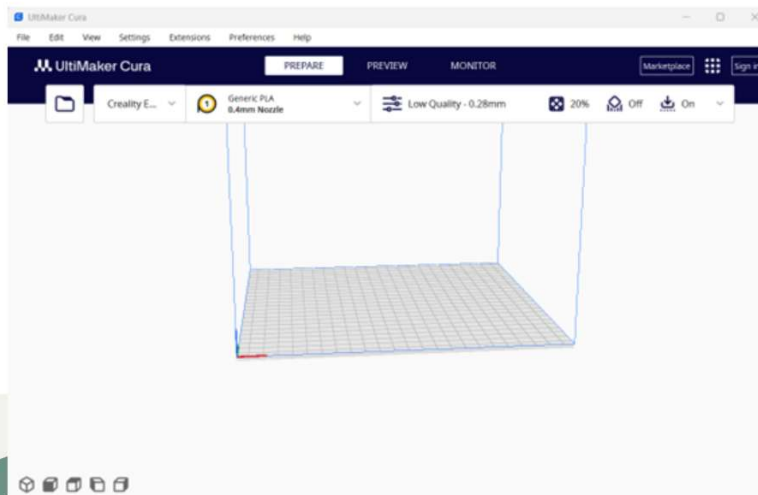
Imaginando que a sua impressora é uma Anycubic Vyper, por exemplo, escolheremos a opção Non UltiMaker printer e, na próxima tela, vamos clicar na opção Add non-networked printer, para adicionar uma impressora que não esteja ligada em rede. (Estou imaginando que a sua impressora será usada apenas pelo seu computador. Caso queira compartilhar sua impressora numa rede local, sugiro que procure tutoriais ou ajuda especializada para isso.)



Selecionamos a marca e o modelo da impressora e clicamos no botão azul (Add).



Se tudo correu bem, a janela do programa deve ser parecer com a seguinte:

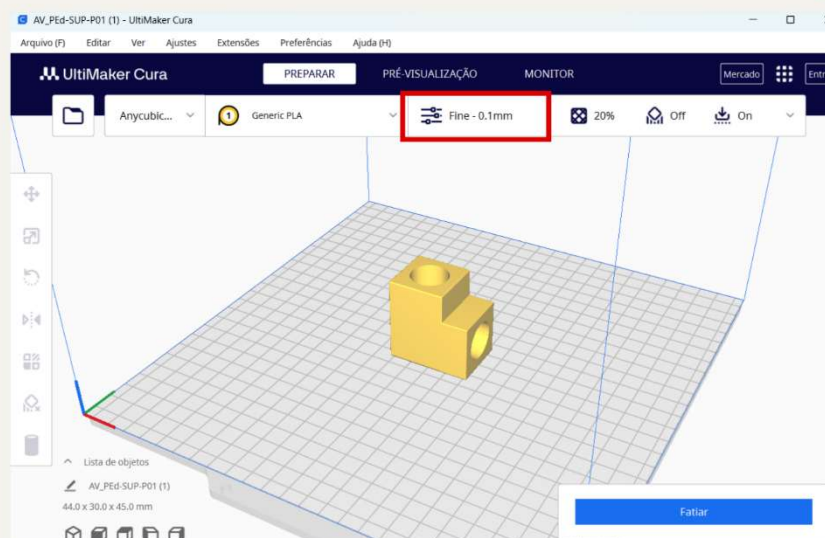


O espaço mostrado corresponde ao volume de impressão que pode ser usado. Sempre que um objeto exceder o tamanho da impressora, o CURA irá avisar. Imaginando que você só tem uma impressora instalada, poderá preparar um arquivo para a impressão com apenas alguns cliques.

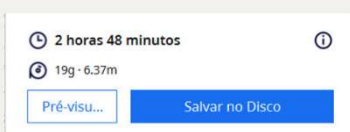
(Se a sua interface estiver em inglês, é possível alterar para português. No menu superior, vá em *Preferences* => *Configure Cura* => *General* => **Interface Language** e escolha português do Brasil. (Será necessário encerrar o Cura e executar novamente para que as alterações sejam efetivadas.)

Feito isso, novamente no menu superior, clique em Arquivo e escolha Abrir Arquivo. Quando a janela do explorador abrir, procure a pasta onde o arquivo STL foi exportado, na etapa anterior. Outra opção é arrastar o arquivo STL para a área de trabalho do Cura!

O resultado deve ser o seguinte:



Nesse momento, você deve estar motivado a clicar no botão azul (Fatiar), correto? Afinal, é isso que um fatiador faz, não é mesmo!? Se você for em frente e executar o fatiamento, o botão azul irá mudar e, dependendo de qual impressora você configurou, irá exibir algo assim:

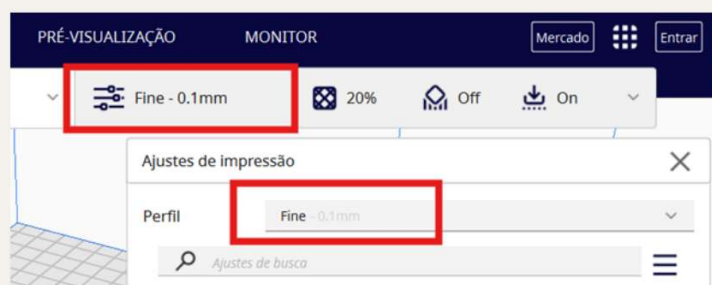


**Traduzindo:** quase 3 horas para imprimir uma peça de apenas 4,4 x 3 x 4,5 cm !!!!!

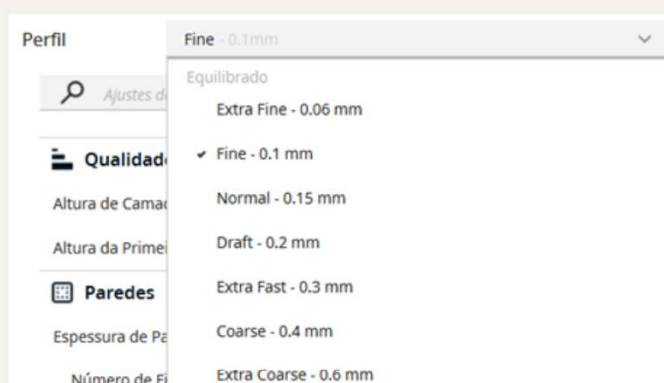
Como eu sei essas medidas? Olhei no canto inferior esquerdo da imagem anterior!

Note que, naquela imagem, eu também destaquei em vermelho um parâmetro de impressão: Fine – 0,1 mm. Isso significa que cada camada de impressão terá 0,1 mm de altura, ou seja, um décimo de milímetro! Não é à toa que esse “perfil” de impressão é chamado de “Fine”. Para a maioria das impressões que faremos, isso é um exagero.

Se você clicar naquele local (Fine), uma nova janela se abrirá, mostrando alguns parâmetros de impressão, inclusive o Perfil que está sendo usado (Fine).

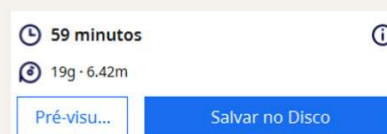


Clicando na seta para baixo, que estão ao lado desse perfil, outras opções serão mostradas.

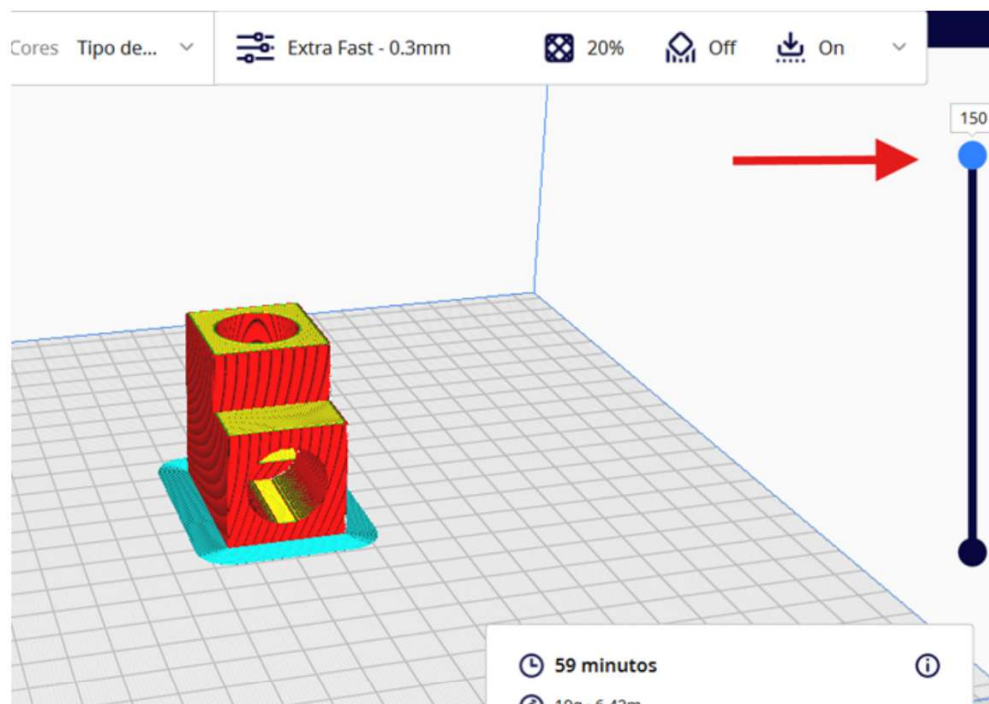


Escolha algum outro, como Draft ou Extra Fast. Aqui, há a dor de escolher entre a qualidade da impressão e o tempo necessário. Menores espessuras de camada produzem impressões mais precisas e regulares, mas levam mais tempo. Praticando e cometendo alguns equívocos você irá encontrar o seu próprio padrão de qualidade x tempo.

Após mudar o perfil de impressão, o que irá afetar várias características do processo, é necessário fatiar novamente. Se você escolheu o perfil Extra Fast, irá notar que o tempo de impressão ficou muito menor. O texto do botão Fatiar muda para Salvar no disco (se houvesse uma impressora conectada através de um cabo USB haveria também a opção imprimir via USB.)

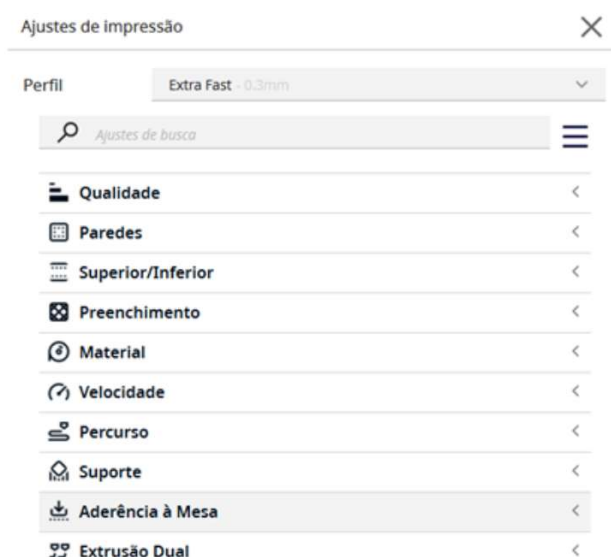


Algo que você pode gostar de ver é como as camadas serão desenhadas, umas sobre as outras. Para isso, clique na opção Pré-visualizar, que está ao lado do botão Salvar no disco. A opção Pré-visualizar Também está disponível no alto da tela.



Na imagem acima é possível verificar que o processo de impressão será dividido em 150 camadas. Arrastando a bolinha azul, indicada pela seta vermelha, para cima e para baixo, você observará cada uma das camadas sobre a peça.

Se tudo correu bem, você pode gravar o seu arquivo no PC, ou num cartão de memória compatível com a impressora, e seguir para a impressão.



Note que, na mesma janela em que alteramos o padrão de impressão para Extra Fast, há muitos outros parâmetros que podem ser configurados.

Atente para os seguintes:

- **Qualidade:** Para uma impressão mais rápida e menos detalhada, use 0,2 mm. Para mais detalhes, use 0,1 mm. (Lembre-se do impacto no tempo de impressão)
- **Paredes:** Uma espessura de parede de 1,2 mm (ou 3 linhas com uma espessura de 0,4 mm) é suficiente para dar resistência à peça.
- **Densidade de Preenchimento (Infill):** O preenchimento define a proporção do objeto que será preenchida internamente. Para impressões simples, uma densidade de **20%** é adequada. Além de afetar o tempo de impressão, o preenchimento impacta na quantidade de material necessária para a impressão. Preenchimentos maiores produzem peças mais resistentes, mas demoram mais e consomem mais material
- **Tipo de Preenchimento:** O padrão geralmente é "Grid", mas você pode escolher outros tipos dependendo da necessidade (como "Triangular" para resistência adicional).
- **Material:** Depende do tipo de material, sobre o que falaremos no próximo tópico. Normalmente, usaremos o PLA.
  - **Temperatura de Impressão:** Para PLA, o recomendado é entre 190°C e 210°C.
  - **Temperatura da Mesa:** Para PLA, ajuste entre 50°C e 60°C.
- **Velocidade:** Para impressão doméstica, uma velocidade de 50 mm/s é geralmente suficiente. Para impressões mais detalhadas, você pode reduzir para 30 mm/s.

Explicações sobre todas essas características, e outras que não foram citadas, podem ser encontradas facilmente na internet, em sites de fabricantes de impressoras e em tutoriais no YouTube.



## IV – Impressoras e Filamentos

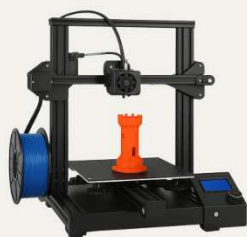
Se você já andava interessado pelo assunto, provavelmente já pesquisou sobre as impressoras 3D. Deve saber que já imprimem de peças para foguetes a casas, de próteses dentárias a alimentos. Sim, você leu direito: alimentos! Se duvidar, pesquise!

No entanto, conforme o subtítulo deste guia antecipa, nosso objetivo é projetar e construir materiais para atividades experimentais, na área de Física. Claro que as estratégias e procedimentos aqui apresentados podem ser estendidos a outras áreas, mas nosso objetivo é bem específico.

Dito isso, necessitamos de uma impressora que atenda à essa especificidade. O problema é que há inúmeras tecnologias disponíveis! Obviamente, uma impressora para alimentos não será o mais indicado para nosso propósito.

A primeira decisão a tomar será entre impressoras de resina e impressoras de Filamento. Embora a modelagem possa ser aplicada a qualquer tipo de impressora, com particularidades quanto ao fatiamento, a impressão propriamente dita é bastante diferente.

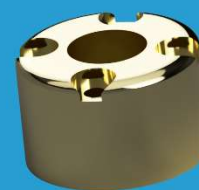
**Filamento  
(FDM)**



**Resina**



Na impressão por filamento ou FDM (Fused Deposition Modeling), a impressora possui um bico metálico (hot end) que é aquecido até a temperatura necessária para fundir o filamento (PLA, ABS, PETG etc.) que vai sendo desenrolado de um carretel.

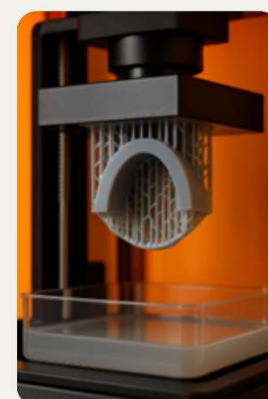


Simultaneamente, o bico de impressão se move deixando um rastro de filamento sobre a mesa de impressão (bed).

Em cada camada, a impressora faz movimentos em dois eixos, até que, ao finalizar uma camada, o bico sobe (terceiro eixo) uma distância igual àquela que foi definida no fatiador (em nossa primeira tentativa de fatiamento, esse valor era de 0,1 mm – perfil Fine). Como seria muito demorado, mudamos a configuração para o perfil Extra Fast (0,3 mm). Com isso, as camadas ficaram mais espessas e o tempo de impressão diminuiu.

Ao final do processo, basta desprender a peça da mesa de impressão e a impressora está pronta para a próxima tarefa.

A impressão 3D de resina ou impressão SLA (Stereo Lithography Apparatus) é diferente quanto ao princípio de funcionamento e à matéria prima. Nesse tipo de impressão, um feixe de luz incide de forma controlada sobre um líquido fotossensível (resina) que reage se solidificando. Após a finalização da camada a plataforma de impressão se move verticalmente, materializando a próxima camada, até que o objeto esteja totalmente impresso. Ao final, a peça deve ser lavada com álcool isopropílico, para remover a resina excedente, e passar por um processo de cura (nada a ver com o software de fatiamento!) até atingir sua rigidez total.



Como já tenho a minha preferida entre essas duas técnicas, achei melhor pedir a opinião de “alguém” isento: fiz a seguinte solicitação a uma IA Generativa:

>> “Apresente as diferenças entre a impressão com filamento e a impressão com resina, levando em conta um contexto educacional.”

Eis a resposta:

#### Resumo Comparativo

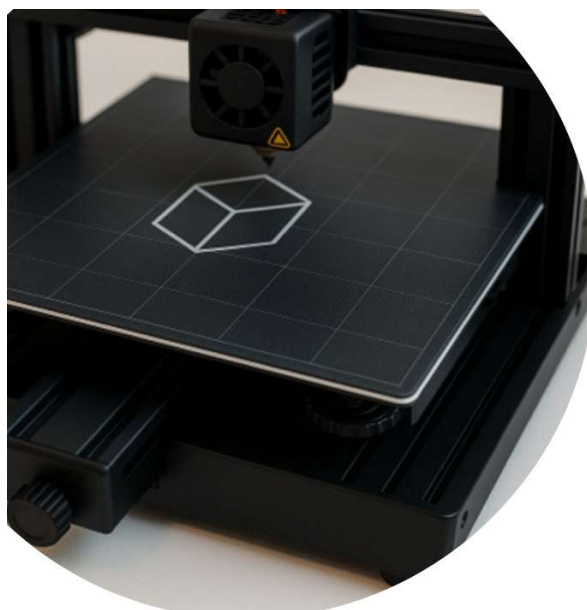
Característica	Filamento (FDM)	Resina (SLA/DLP)
Custo inicial	Baixo	Médio a alto
Custo de manutenção	Baixo	Médio
Segurança para escolas	Alta	Baixa (exige EPIs)
Precisão e detalhes	Média	Alta
Facilidade de uso	Alta	Média

A impressão FDM é a mais adequada para o ambiente escolar por ser:

- **Mais segura:** não utiliza produtos químicos tóxicos.
- **Mais barata:** tanto na compra da impressora quanto nos insumos.
- **Mais fácil de operar:** ideal para atividades com crianças e adolescentes.
- **Didaticamente eficaz:** permite a visualização de conceitos de volume, temperatura, energia, velocidade, entre outros.

Bem, com quem entende, não se discute! Vamos focar na impressão FDM! O primeiro passo é encontrar uma impressora que caiba no seu orçamento e que atenda às suas necessidades. Os principais pontos a verificar são:

- **Volume destinado à impressão:** (no mínimo 22 cm x 22 cm x 20 cm). Considero mais importante a área da mesa do que a altura. O motivo é simples: peças altas têm maior probabilidade de soltar da mesa durante a impressão. Por isso, prefira fazer impressões com as maiores medidas do objeto posicionadas no plano da mesa.



- **Mesa aquecida:** As peças devem aderir à mesa desde a primeira camada e assim permanecer até o final da impressão. Mesas aquecidas facilitam esse processo. (Você notará que, para impressoras abertas (que não ficam dentro de um gabinete fechado), a convivência com Condicionadores de Ar não é boa. O motivo é simples: correntes de ar frio resfriam a base das peças que estão sendo impressas fazendo com que soltem da mesa.

- **Nivelamento automático:** Imprescindível, a menos que você goste de sofrer! Como já discutimos, a distância entre o bico de impressão e a mesa varia de 0,1 mm a 0,3 mm. É uma tarefa difícil fazer com que essa distância esteja perfeitamente calibrada em todos os pontos da mesa de impressão. Em impressoras mais antigas, era necessário ajustar manualmente essa distância através de parafusos que ficavam sob a mesa, usando a espessura de uma folha de papel como referência.
- **Tensão de operação (voltagem):** Compatível com a sua instalação elétrica.

É possível encontrar impressoras abertas, como aquela mostrada no início deste Tópico, e que atendam aos requisitos anteriores por cerca de US\$250 dólares. (Como a maioria delas ainda é importada, é melhor avaliar na moeda americana.)

Se puder investir um pouco mais, é possível comprar uma máquina fechada (lembra da corrente de ar frio?) por cerca de US\$ 600. O valor é significativamente maior, devido a outros acessórios que são incorporados (câmera; assistência por IA, redução de ruído etc.).

As marcas que têm se mostrado mais confiáveis, e que já têm certa reputação, são: **Creality**, **Anycubic** e **Bambu Lab**. Como essas marcas são bastante conhecidas, será fácil encontrar ajuda na internet, quando algum problema surgir.

Agora que você comprou a sua impressora, provavelmente em algum e-commerce, é hora de escolher o material que irá usar, que é chamado de filamento.

Há filamentos constituídos por diferentes materiais, mas como você está iniciando, vamos falar de apenas dois: PLA

A escolha entre eles dependerá das características do projeto como necessidade de maior uniformidade na impressão, resistência mecânica, resistência à umidade e custo.

### **PLA (Ácido Polilático)**

*Vantagens:*

- Biodegradável e derivado de fontes renováveis (como milho ou cana-de-açúcar).
- Baixa temperatura de extrusão (180–220 °C), o que reduz riscos e facilita a impressão.
- Emite pouco odor durante a impressão.
- Excelente para peças visuais, protótipos e aplicações didáticas.

*Desvantagens:*

- Menor resistência mecânica e térmica (deforma a cerca de 60 °C).
- Pode ser frágil para aplicações que envolvam impacto ou calor.

### **ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno)**

*Vantagens:*

- Alta resistência mecânica e térmica (suporta até 100 °C).
- Indicado para peças funcionais, duráveis e sujeitas a desgaste.

*Desvantagens:*

- Exige temperatura de extrusão mais alta (220–250 °C).
- Emite gases e odores fortes (recomenda-se uso em ambiente ventilado ou com exaustão).
- Maior tendência à deformação (warping), exigindo mesa aquecida e controle ambiental.

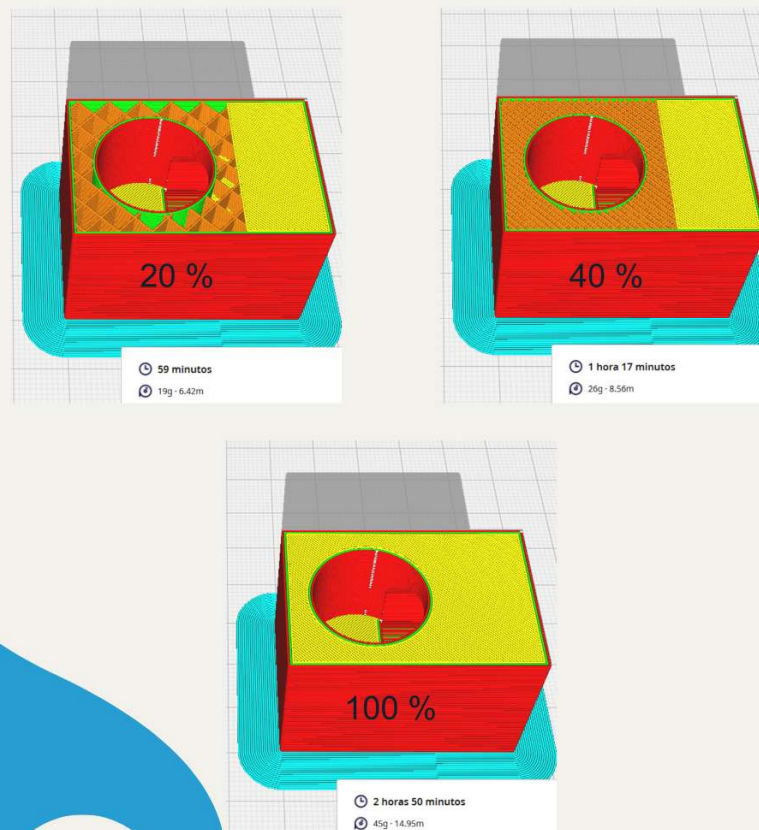


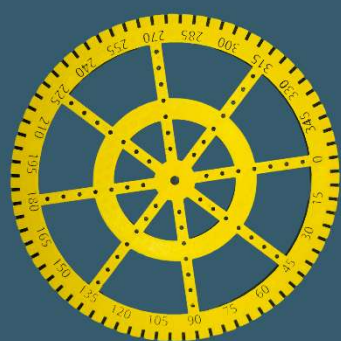
Para projetos escolares, recomendo o PLA. É seguro, fácil de usar e suficientemente resistente para a maioria das aplicações. Sem falar no apelo ambiental, quando se usa um material de fontes renováveis, o que é mais compatível com o contexto escolar.

Qualquer que seja o material, será vendido em carretéis de 1kg. É possível encontrar com 0,5kg, mas nem sempre compensa financeiramente. Agora, o melhor: quando comecei a trabalhar com impressão 3D, há cerca de 10 anos, um carretel custava por volta de R\$130. **Atualmente, é possível comprar 1kg de PLA (ou ABS) por R\$ 70.**

Uma pergunta natural é: o que consigo fazer com 1kg de PLA?

A resposta é simples: Depende do tamanho e do preenchimento (Infill) da peça – essa característica, discutida no Tópico III, determina qual o percentual da peça que será preenchido. A título de comparação, veja a mesma peça (usada anteriormente) fatiada com preenchimentos de 20%, 40% e 100%:





Externamente, essas três peças serão idênticas. Porém, o preenchimento de 100 % torna a impressão muito mais resistente à compressão, ou seja, se você está projetando algo que será apoio para um peso grade, aumente o Infill!

Na tabela abaixo é possível observar o impacto desse parâmetro sobre o tempo de impressão e sobre o consumo de filamento.

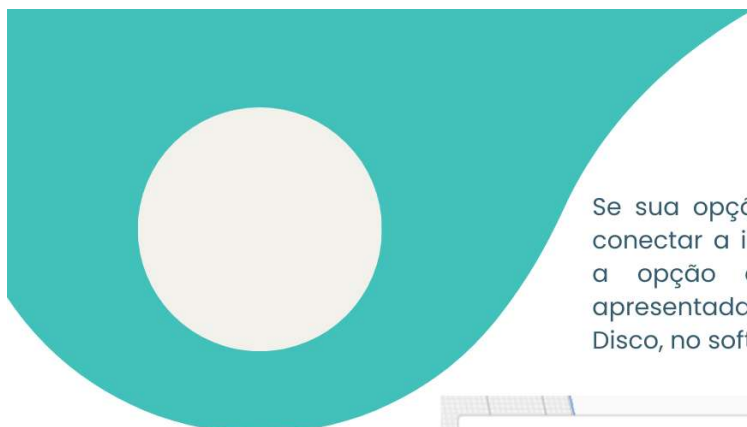
Infill	Tempo de impressão	Filamento
20 %	59 min	19 g
40 %	1h 17 min	26 g
100 %	2h 50 min	45 g

Agora que a impressora chegou e você já comprou alguns carretéis de PLA coloridos, é hora de imprimir a sua primeira peça. Há alguns anos as impressoras vinham muito desmontadas. Mesmo com o auxílio do manual, era um verdadeiro quebra-cabeças. A indústria se modernizou e, a maioria delas, é entregue em 3 ou 4 partes apenas. Isso significa que apertando uma dúzia de parafusos ou menos, a impressora já está pronta para o uso. Os manuais de instrução trazem todas as informações necessárias para a montagem e ajustes iniciais, quando for o caso.

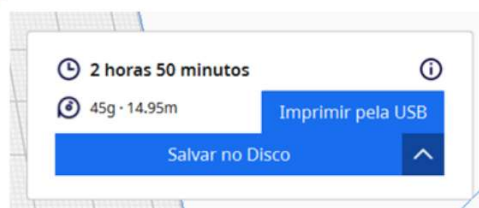


### Perigo:

- A impressora deve ser instalada numa superfície plana e firme. Se for uma impressora aberta é melhor que o ambiente fique fechado durante a impressão, para evitar que as peças descolem da mesa durante o processo. Além disso, quanto mais frio estiver o ambiente mais energia será consumida para manter os níveis de temperatura exigidos para a impressão.



Se sua opção for usar um cabo USB para conectar a impressora ao seu computador, a opção de Imprimir pela USB será apresentada ao lado do botão de Salvar no Disco, no software UltiMaker Cura.



Se preferir usar uma memória flash (pendrive ou cartão SD), use a opção Salvar no Disco e, em seguida, coloque o cartão na impressora.

Após ligar a impressora, será necessário inserir o filamento pela primeira vez. Para isso, a impressora deve ser aquecida até a temperatura de fusão do filamento (cerca de 200 °C para PLA ou 220 °C para ABS). Cada impressora tem uma forma própria para inserir o filamento. Mesmo entre impressoras do mesmo fabricante, diferentes modelos terão diferentes processos.

É muito comum encontrar no painel digital das impressoras os seguintes grupos de funções:

**Imprimir (print):** é provável que você só consiga acessar esta função se a impressora já estiver aquecida e o filamento carregado. Se for o caso, será apresentada uma lista com todos os arquivos (G-code) que estão no cartão de memória inserido. (Quando o controle é feito pelo cabo USB, diretamente do software fatiador, praticamente não é necessário ajustar a impressora.

**Preparar (Prepare):** neste grupo estão as funções de auto nivelamento, carregar filamento, remover filamento entre outras. O processo de auto nivelamento deve ser executado de tempos em tempos ou que a impressora for movida.

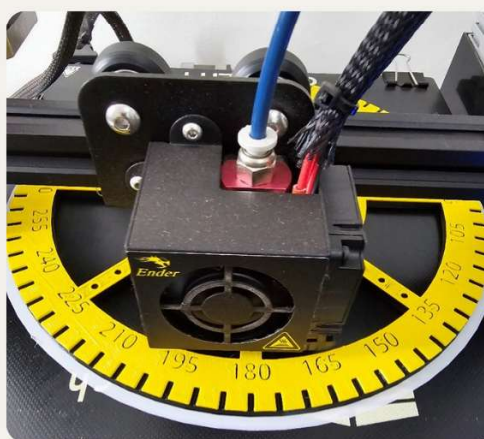
**Ferramentas (Tools):** Aqui estão ferramentas de ajuste características de cada impressora. A leitura do manual é indispensável!



Algumas sugestões:

- É tentador projetar uma peça gigante e deixar a impressora trabalhando durante a noite ou o final de semana, enquanto você vai ao cinema. Vai dar errado! Embora a tecnologia esteja melhorando a cada dia, ainda acontecem muitos imprevistos que as impressoras não conseguem contornar. Isso pode prejudicar a peça que está sendo impressa ou até danificar a impressora. Não é uma boa ideia deixar a impressora trabalhando sem supervisão por muito tempo.
- Entre ligar a impressora ao PC via cabo USB ou salvar o seu arquivo num cartão de memória e colocar diretamente na impressora, prefira a segunda opção. Sim, é mais trabalhosa: retira o cartão da impressora, coloca o cartão no PC, salva o arquivo, retira o cartão do PC, coloca o cartão na impressora... Porém, se o seu PC travar durante a impressão, ou se você fechar a janela do Cura acidentalmente, perderá todo o trabalho. Aprendi da pior (e mais óbvia) maneira. Durante a impressão de uma peça, o computador hibernou por falta de atividade. Resultado: a impressora parou de receber os dados e abortou a impressão.
- Ao finalizar a impressão, é natural que você queira retirar a peça o mais rápido possível para ver como ficou. Em muitos casos, enquanto a mesa estiver aquecida a peça não desgruda. Tentar retirá-la de maneira forçada pode danificar a impressora ou, no mínimo, prejudicar o nivelamento. Aguarde alguns minutos até que a temperatura baixe e então peça se soltará com facilidade.
- Há impressoras equipadas com uma mesa magnética. Nesse caso, haverá uma lâmina metálica flexível colocada sobre a mesa. Quando a impressão terminar é possível retirar a lâmina e com cuidado soltar a peça.

Tudo pronto. Escolha o arquivo que pretende imprimir e boas impressões!



## V – Amostras

Como expliquei na página de abertura, este material foi desenvolvido como parte de um projeto de pesquisa que consistiu em verificar a viabilidade da impressão 3D na fabricação de materiais para atividades experimentais em Física.

Durante a pesquisa, projetei e imprimi alguns equipamentos que foram usados em atividades experimentais com estudantes do ensino médio. São 2 kits:

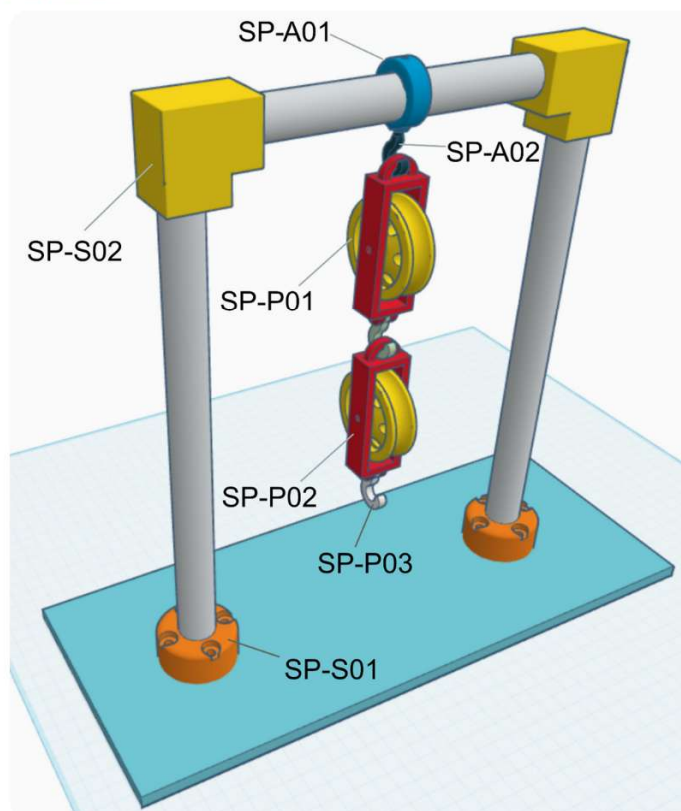
### 1) Sistema de polias com dispositivo de fixação

Neste conjunto há 7 partes:

- SP-A01 – Anel de fixação para tubo cilíndrico (diâmetro de 2cm);
- SP-A02 – Gancho móvel para anexar ao anel;
- SP-P01 – Polia circular com furo central;
- SP-P02 – Suporte da polia;
- SP-P03 – Gancho para o suporte da polia;
- SP-S01 – Encaixe da base para tubo cilíndrico (diâmetro de 2cm);
- SP-S02 – Conectores L para tubos cilíndricos (diâmetro de 2cm);



Arquivos STL



## Objetos impressos



**SP-A01** – Anel de fixação para tubo cilíndrico (diâmetro de 2cm)



**SP-A02** – Gancho móvel para anexar ao anel



**SP-P01** – Polia circular com furo central



**SP-P02** – Suporte da polia



**SP-P03** – Gancho para o suporte da polia



**SP-S01** – Encaixe da base para tubo cilíndrico (diâmetro de 2cm)

**SP-S02** – Conectores L para tubos cilíndricos (diâmetro de 2cm)



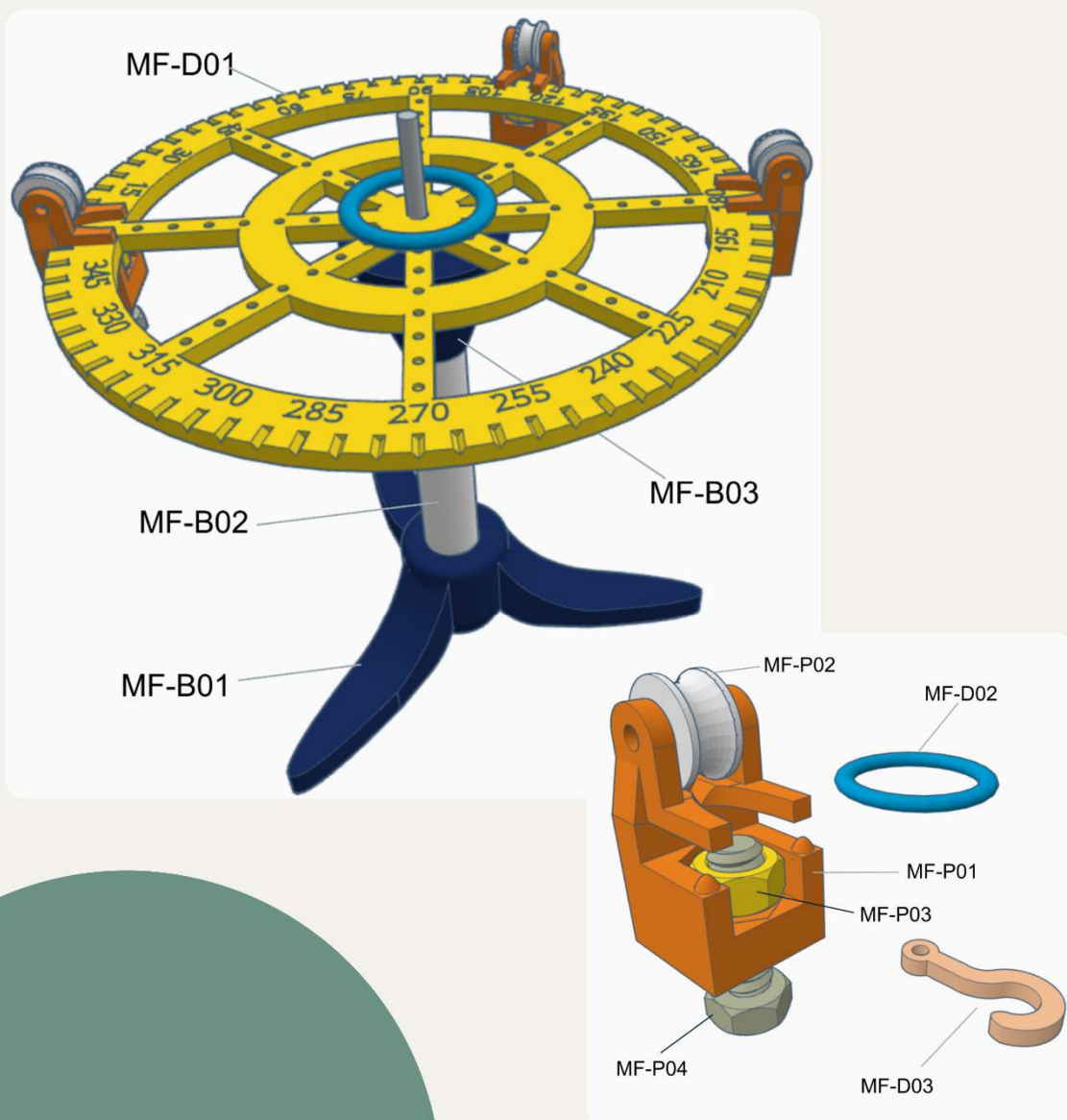
## 2) Mesa de Forças

Neste conjunto há 10 partes:

- MF-B01 – Base do suporte;
- MF-B02 – Haste do suporte;
- MF-B03 – Apoio do disco;
- MF-D01 – Disco principal;
- MF-D02 – Anel central;
- MF-D03 – Gancho do anel central;
- MF-P01 – Corpo da polia deslizante;
- MF-P02 – Polia deslizante;
- MF-P03 – Porca de parada;
- MF-P04 – Parafuso de parada.



Arquivos STL



## Objetos impressos



**MF-B02** – Haste do suporte

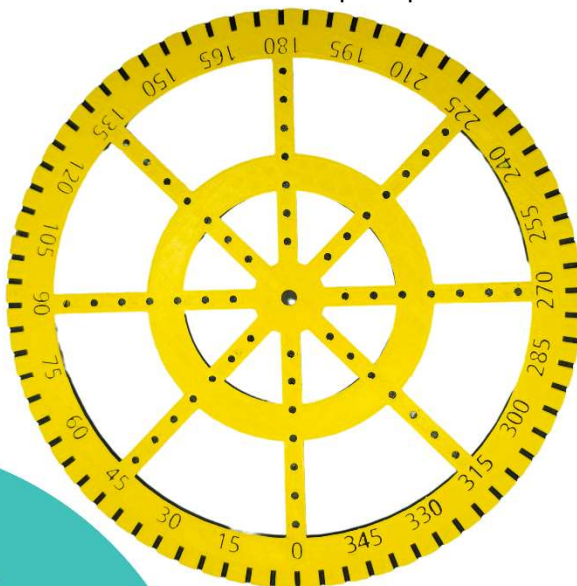


**MF-B01** – Base do suporte



**MF-B03** – Apoio do disco

**MF-D01** – Disco principal



**MF-D02** – Anel central



**MF-D03** – Gancho do anel central

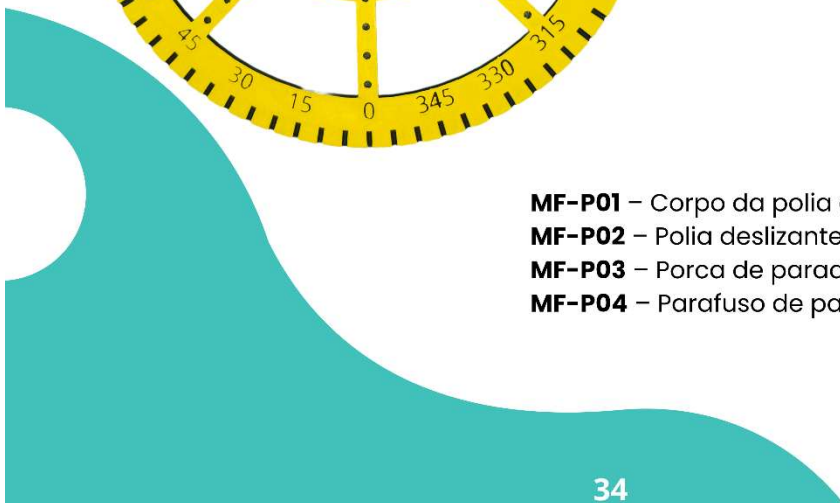


**MF-P01** – Corpo da polia deslizante

**MF-P02** – Polia deslizante

**MF-P03** – Porca de parada

**MF-P04** – Parafuso de parada



## Material impresso relativo à primeira aula

### FÍSICA EXPERIMENTAL

#### AULA 1

- Conhecer instrumentos de medida (trena, régua, paquímetro, micrômetro e balança digital).
- Realizar medidas e conversões de unidades

#### NA PRÁTICA

Na “calçada da fama” da Ciência, certamente há lugar para Galileu Galilei. Nasceu em Pisa, na Itália, numa época em que novas concepções sobre a natureza não eram bem aceitas. Inclusive, quem ousasse propô-las, corria o risco de acabar na fogueira. Mesmo assim, Galileu conseguiu, com a ajuda de outros, revolucionar o entendimento que se tinha sobre a natureza, colocando em xeque as crenças vigentes. Sua grande obra, *Diálogos sobre os dois máximos sistemas do mundo*, é escrita, como sugere o título, na forma de um diálogo entre três personagens. Nessa obra, Galileu propõe um princípio que mais tarde viria a ser tornar a Primeira Lei de Newton, ou Lei da Inércia. Mas isso é assunto para outra aula...

O que nos importa agora é que um dia Galileu teve uma sacada: um pêndulo sempre gasta o mesmo tempo para executar uma oscilação, independentemente da amplitude do movimento. Mais tarde, verificou-se que isso é verdade apenas para oscilações com pequenos ângulos de abertura.

Atualmente, sabemos calcular o tempo (T) que dura uma oscilação, levando em conta o comprimento do pêndulo (L) e a aceleração gravitacional (g) do local em que a medida é realizada:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$



Galileu Galilei (1564 - 1642)

Fonte: Reginaldo de Abreu – Acervo pessoal

Com essas informações, vamos tentar descobrir, experimentalmente, o valor da aceleração gravitacional em nossa cidade. Claro que teremos que realizar algumas medidas!

Medida	10 T (s)	T(s)	L (m)	g (m/s <sup>2</sup> )
1				
2				
3				
4				
5				
Média				

# ANEXO B

## Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM  
ENSINO DE FÍSICA (PROFIS-So) (MNPEF)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

IMPRESSÃO 3D NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS PARA O LABORATÓRIO DE  
FÍSICA: UMA POSSIBILIDADE

Eu, Reginaldo de Abreu, estudante do Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) – UFSCar, convido seu filho(a) a participar da pesquisa “Impressão 3D na Produção de Materiais para o Laboratório de Física: uma Possibilidade”, sob orientação do Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi.

Há uma preocupação de que as novas gerações estão cada vez menos propensas às carreiras científicas e mais apáticas nas atividades escolares. Impulsionado por esse contexto, o presente trabalho busca lançar luz sobre a possibilidade de resgatar o interesse dos jovens pela Física através de atividades experimentais. Partindo do pressuposto de que há uma carência de equipamentos nos laboratórios didáticos das escolas de ensino médio e que os estudantes são ávidos consumidores de tecnologia, propõe-se usar a impressão 3D para produzir materiais instrucionais para o laboratório de Física e, ao mesmo tempo, seduzir os estudantes a partir de uma tecnologia de manufatura da qual muito se fala, mas pouco se compreende.

Seu filho(a) foi selecionado (a) por ter escolhido a Unidade Curricular **Física Experimental**, para o Itinerário Formativo do 3º Bimestre, que será ministrado durante os meses de agosto e setembro, compondo a carga horária curricular prevista em Lei. A pesquisa visa a verificar a possibilidade de usar equipamentos impressos em 3D para o melhor entendimento de leis e fenômenos físicos, a partir de atividades experimentais. Ao final do curso, seu filho (a) será convidado a participar de uma pequena entrevista em que responderá a algumas questões sobre o desenvolvimento das atividades.

A participação de seu filho (a) nesta pesquisa contribuirá com a produção de dados que poderão ser utilizados para fins científicos e educacionais, buscando inovações nas áreas de Educação e Ensino de Física. O pesquisador realizará o acompanhamento de todos os procedimentos e atividades desenvolvidas durante o trabalho.

A participação do estudante é voluntária e não haverá compensação financeira. A qualquer momento o (a) senhor (a) pode desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa ou desistência não trará nenhum prejuízo educacional a seu filho(a), seja na relação com o pesquisador, à Instituição em que estuda ou à Universidade Federal de São Carlos. Todas as informações obtidas através da pesquisa serão confidenciais, sendo assegurado o sigilo sobre a participação do estudante em todas as etapas do estudo. Não haverá menção a nomes, garantindo o anonimato nos resultados e publicações.

O (a) senhor (a) receberá uma via deste termo, rubricada em todas as páginas por você e pelo pesquisador, onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal. Você poderá tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação agora ou a qualquer momento. É importante que o participante guarde, em seus arquivos, uma cópia deste documento.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios da participação de meu filho (a) na pesquisa e concordo em participar.

Pesquisador Responsável:

Endereço:

Contato telefônico:

e-mail:

Ribeirão Preto, \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de 2024

\_\_\_\_\_  
Reginaldo de Abreu (Pesquisador)

\_\_\_\_\_  
Nome do Responsável

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Responsável

\_\_\_\_\_  
Nome do Participante