

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
CURSO DE DESIGN DE PRODUTO

MICHELLE IASHMINE MAUHS

**KIT EXPERIMENTAL PARA AUXÍLIO NO APRENDIZADO E FIXAÇÃO DE
CONTEÚDOS DE FÍSICA**

PORTO ALEGRE

2024

MICHELLE IASHMINE MAUHS

Kit Experimental Para Auxílio no Aprendizado e Fixação de Conteúdos de Física

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Design de Produto, da Faculdade de Arquitetura, como quesito para obtenção do título de Designer de Produto.

Orientador: Prof. Everton Sidnei Amaral da Silva

Coorientadora: Prof. Dra. Daniela Borges Pavani

PORTO ALEGRE

2024

MICHELLE IASHMINE MAUHS

**KIT EXPERIMENTAL PARA AUXÍLIO NO APRENDIZADO E FIXAÇÃO DE
CONTEÚDOS DE FÍSICA**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Everton S. Amaral da Silva – Orientador

Prof. Dra. Daniela Borges Pavani – Coorientadora

Prof. Dr. Luís Henrique Alves Cândido

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Barros

PORTO ALEGRE

2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grata a meus pais Neiva e Roberto por todo o suporte que me deram nesse período tão importante para minha conclusão de curso. Por toda a compreensão que se tornou crescente ao longo dos anos e por toda a força que me deram nos momentos mais felizes e nos mais críticos da minha jornada até aqui. Vocês me encorajaram a arriscar mesmo em meio a incertezas, me ajudaram a prosseguir quando minhas forças falharam e compreenderam minha sobrecarga a cada trabalho realizado e a cada semestre vencido. Sem vocês esse caminho seria muito difícil e doloroso. Amo muito vocês!

Agradeço à minha irmã Stephanie por estar na minha vida e se tornar cada dia mais próxima de mim, pois além de irmã ela é minha melhor amiga e cúmplice. Pela graça e sabedoria dos anos, amadurecemos e compartilhamos cada vez mais o que a vida tem a oferecer, aproveitando a companhia uma da outra. Espero ser na tua vida o suporte que tu és para a minha. Comigo você sempre terá um porto seguro!

Agradeço à minha tia Renate pelo suporte em cada momento desde o início do curso. Por todas as correrias e por me socorrer ao menor sinal de problema. Por me proporcionar apoio e conforto ininterrupto e por ser uma presença sólida e constante na minha vida. Te amo demais, dinda!

Gostaria de agradecer a meus amigos, mas em especial à Mariele, que tive a graça de receber na minha vida. Apesar da diferença de gostos (de rolês e músicas), é uma das pessoas mais confiáveis que conheço. Infalível seja nos bons ou maus momentos, mas principalmente quando precisei de uma revisora confiável e crítica para me ajudar nesses momentos finais. Tu és minha irmã de vida, Mari!

Agradeço ao meu orientador, professor Everton, que me guiou sabiamente nesse trabalho, confiando na minha capacidade e me encorajando a sempre melhorar. Admiro tua orientação desde a primeira disciplina de projeto, a qual abriu as portas desse mundo criativo para mim. Tu és meu modelo de profissional e graças a isso eu vejo um caminho pelo qual desejo seguir, sempre crescendo e me aprimorando. Quero inspirar as futuras gerações como você inspirou a minha!

Agradeço à minha coorientadora, professora Daniela, que me ajudou a imergir e reconquistar minha afinidade com o mundo da Física. Graças à tua orientação

pude explorar possibilidades que não cogitava inicialmente, mas que se mostraram inspiradoras e empolgantes. Obrigada por me reconectar com essas raízes!

Sou grata aos meus professores por me apresentarem tantas faces que permeiam a profissão de designer de produto. A cada novo semestre pude me encantar e descobrir novos interesses, vencer novos desafios e evoluir como estudante e como profissional. Obrigada pelas oportunidades!

Agradeço aos colegas e veteranos que me receberam bem quando cheguei da Física e que tornaram os anos de curso tão divertidos e memoráveis. Aprendi muito com vocês!

Por fim, um agradecimento especial aos participantes da minha pesquisa, que dispuseram de tempo para me receber e contribuíram para tornar esse trabalho possível. Espero poder retribuir seu trabalho e dedicação!

RESUMO

Os métodos tradicionais de ensino remontam um modelo do período das primeiras revoluções industriais e o sistema tradicional de ensino brasileiro ainda não aderiu amplamente aos benefícios da tecnologia da informação. Somam-se ainda as dificuldades de aprendizado em disciplinas de cunho exploratório, como a Física, e a vinculação da teoria com o cotidiano; para agravar o cenário, a pandemia Covid-19 deixou sequelas nas relações sociais e nas estruturas do ambiente escolar em atividades básicas. Buscando contribuir na busca por soluções, a proposta deste trabalho é desenvolver um conjunto de equipamentos experimentais com custo viável para fixação de conceitos no ensino de Física em escolas públicas de Ensino Médio. Para isso, a pesquisa considerou normas e leis sobre o Novo Ensino Médio, estudos sobre a relação cognitiva de memória e afetividade, habilidades cognitivas dos estudantes e o papel da experimentação na disciplina de Física. A metodologia foi baseada em Löbach e Munari, sobre a qual se seguiu em uma primeira etapa de trabalho: a pesquisa de fundamentação teórica, a coleta e análise de dados com alunos e profissionais do ensino de Física por meio de questionários e entrevistas (obtidos em três escolas públicas), e uma análise de similares. Os resultados obtidos na pesquisa trouxeram aspectos tanto concordantes quanto conflitantes para o seguimento do projeto, porém foi possível delimitar os requisitos de projeto que nortearam a segunda etapa. Definiu-se o conceito do projeto e foram elaboradas as ferramentas de apoio criativo: *moodboards* e *personas*. A geração de alternativas se guiou através de uma estratégia para gerar engajamento em experimentos. As ideias foram baseadas na prática popular de lançamento de foguetes, dentre as quais a alternativa selecionada foi refinada antes de passar para a fase de testes e verificações. Simultaneamente aos testes e análises, foi realizada a modelagem 3D da estrutura final, sendo esses submetidos por fim a uma verificação quanto a seu atendimento dos requisitos de projeto. Os resultados obtidos satisfizeram a maior parte das expectativas sobre o produto final, dando conclusão ao projeto.

Palavras-chave: Design de produto; Ensino de Física; Ensino médio; Física experimental; Lançamento de foguete.

ABSTRACT

Traditional teaching methods are rooted in models from the early industrial revolutions, and the traditional Brazilian educational system has yet to fully embrace the benefits of information technology. Additionally, there are challenges in learning exploratory subjects like Physics and in linking theory with everyday life. The COVID-19 pandemic has further exacerbated these issues, leaving lasting effects on social interactions and the basic structures of the school environment. In an effort to contribute to potential solutions, this study aims to develop a set of affordable experimental equipment to reinforce Physics concepts in public high schools. The research considered regulations and laws related to the New High School system, studies on the cognitive relationship between memory and affectivity, students' cognitive abilities, and the role of experimentation in Physics education. The methodology was based on Löbach and Munari, beginning with theoretical foundation research, data collection and analysis through questionnaires and interviews with students and Physics teachers (conducted in three public schools), and an analysis of similar projects. The research findings highlighted both agreements and conflicts that informed the project's direction, allowing for the definition of design requirements that guided the second phase. The project concept was defined, and creative support tools such as mood boards and personas were developed. The generation of alternatives was driven by a strategy to foster engagement in experiments. The ideas were inspired by the popular practice of rocket launching, with the selected alternative refined before moving on to testing and verification phases. Alongside testing and analysis, a 3D model of the final structure was created and subjected to a final verification to ensure compliance with the design requirements. The results largely met expectations for the final product, successfully concluding the project.

Keywords: Product design; Physics education; High school; Experimental physics; Rocket launch.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamento experimental utilizado para verificar a lei Snell-Descartes.....	33
Figura 2 – Gráfico de idade dos participantes.....	42
Figura 3 – Gráfico do nível de dificuldade em Cinemática.	45
Figura 4 – Gráfico do nível de dificuldade em Leis de Newton.....	45
Figura 5 – Gráfico do nível de dificuldade em Termologia.....	45
Figura 6 – Gráfico do nível de dificuldade em Óptica Geométrica.....	46
Figura 7 – Gráfico do nível de dificuldade em Trabalho, Energia e Potência.....	46
Figura 8 – Gráfico do nível de dificuldade em Gravitação.....	46
Figura 9 – Gráfico do nível de dificuldade em Termodinâmica.....	47
Figura 10 – Gráfico do nível de dificuldade em Óptica Física.....	47
Figura 11 – Gráfico do nível de dificuldade em Estática.....	47
Figura 12 – Gráfico do nível de dificuldade em Eletrodinâmica.....	48
Figura 13 – Gráfico do nível de dificuldade em Campos Magnéticos.....	48
Figura 14 – Gráfico do nível de dificuldade em Indução Eletromagnética.....	48
Figura 15 – Gráfico do nível de dificuldade em Ondulatória.....	49
Figura 16 – Gráfico sobre o conteúdo preferido dos alunos.....	49
Figuras 17, 18 e 19 - Entrada e visão geral do laboratório (Escola A - POA).....	51
Figuras 20, 21, e 22 - Equipamentos parciais disponíveis (Escola A - POA).....	52
Figura 23 - Depósito de suprimentos químicos (Escola A - POA).....	52
Figuras 24, 25 e 26 - Entrada e visão geral do laboratório (Escola B - NH).....	53
Figuras 27, 28 e 29 - Bancadas, armários e equipamentos (Escola B - NH).....	54
Figura 30 – Nuvem de palavras do conceito	67
Figura 31 – Painel Expressão do Produto	68
Figura 32 – Painel Estilo de Vida	69
Figura 33 – Painel Tema Visual	70
Figura 34 – Diagrama para estratégia de engajamento experimental	74
Figuras 35, 36 e 37 – Sketches iniciais	75
Figura 38 – Alternativa 1	79
Figura 39 – Alternativa 2	80
Figura 40 – Alternativa 3	81
Figura 41 – Alternativa 4	82

Figura 42 – Matriz Morfológica.....	85
Figura 43 – Variação 1.....	86
Figura 44 – Variação 2.....	87
Figura 45 – Variação 3.....	88
Figura 46 – Projétil A (garrafa de 1,5L).....	91
Figura 47 – Projétil B (garrafa de 2L com menos ranhuras e curvas).....	91
Figura 48 – Projétil C (garrafa de 2L com mais ranhuras e curvas).....	92
Figura 49 – Projétil A com aletas	93
Figura 50 – Projétil B com aletas.....	94
Figura 51 – Projétil C com aletas.....	94
Figura 52 – Projétil A com aletas e ponteira cônica.....	95
Figura 53 – Modelo final em perspectiva.....	97
Figura 54 – Detalhe da base trapezoidal sobre base fixa.....	98
Figura 55 – Detalhe da base em vista lateral.....	99
Figura 56 – Detalhe de encaixe da cortina, rede de proteção e do cabo de aço.....	100
Figura 57 – Vista Superior.....	100
Figura 58 – Montagem da base.....	102
Figura 59 – Montagem dos módulos e empilhamento.....	103
Figura 60 – Fixação do cabo e do suporte da cortina.....	104
Figura 61 – Posicionamento do foguete e regulagem do ângulo de lançamento.....	105
Figura 62 – Aplicação de pressão para lançamento.....	106
Figura 63 – Lançamento: preparação.....	106
Figura 64 – Lançamento: ejeção (vertical e inclinada).....	107
Figura 65 – Simulação de ambiente escolar externo.....	108
Figura 66 – Simulação de ambiente escolar interno.....	108
Figura 67 – Modelo em escala 1:10.....	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Níveis de habilidades cognitivas por categoria LOCS	31
Quadro 2 - Níveis de habilidades cognitivas por categoria HOCS.....	31
Quadro 3 – Categorias de interesse dos alunos na disciplina de Física.....	43
Quadro 4 – Divisão de conteúdos por ano letivo.....	44
Quadro 5 – Similar A	55
Quadro 6 – Similar B.....	56
Quadro 7 – Similar C.....	57
Quadro 8 – Similar D.....	58
Quadro 9 – Similar E.....	59
Quadro 10 – Similar F.....	60
Quadro 11 – Necessidades e Requisitos de Usuário.....	62
Quadro 12 – Requisitos de Projeto	64
Quadro 13 – Persona 1	71
Quadro 14 – Persona 2	72
Quadro 15 – Persona 3	73
Quadro 16 – Verificação do atendimento de requisitos de projeto.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média de acertos na prova de Ciências da Natureza entre os anos 2012 e 2022	17
Tabela 2 – Cronograma de atividades para desenvolvimento do projeto de TCC....	25
Tabela 3 – Avaliação de similares por critérios	61
Tabela 4 – Pontuação por ordem de relevância dos Requisitos de Usuário	64
Tabela 5 – Pontuação dos Requisitos de Projeto	66
Tabela 6 – Matriz parcial de seleção	83
Tabela 7 – Lista de componentes.....	101

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

- PNE** – Plano Nacional de Educação
- LDB** – Lei de Diretrizes e Bases
- BNCC** – Base Nacional Comum Curricular
- ENEM** – Exame Nacional do Ensino Médio
- PIBID** – Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência
- MEC** – Ministério da Educação
- LOCS** – *Lower Order Cognitive Skills* (Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem)
- HOCS** – *Higher Order Cognitive Skills* (Habilidades Cognitivas de Alta Ordem)
- PDDE** - Programa Dinheiro Direto na Escola
- PcD** – Pessoa com Deficiência
- QFD** - *Quality Function Deployment*
- UBES** - União Brasileira de Estudantes Secundaristas
- MQL** – Movimento de queda livre
- MRU** – Movimento retilíneo uniforme
- MRUV** – Movimento retilíneo uniformemente variado
- MUV** – Movimento uniformemente variado
- LDSM** – Laboratório de Design e Seleção de Materiais
- UFRGS** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Justificativa	20
1.2. Problema de Projeto	20
1.3. Objetivos	21
1.4. Delimitações de Projeto	22
2. METODOLOGIA.....	23
2.1. Macro e micro etapas	23
2.2. Público-Alvo	24
2.3. Proposta para coleta de dados	25
2.4. Cronograma	25
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
3.1. Novo Ensino Médio.....	26
3.2. Memória, afetividade e cognição	28
3.3. Habilidades cognitivas	30
3.4. Experimentação no ensino de Física	32
4. PESQUISA EXPLORATÓRIA.....	35
4.1. Entrevistas.....	35
4.1.1. Docente de Física - Escola A.....	35
4.1.2. Docentes de Física - Escola B.....	37
4.1.3. Docentes de Física - Escola C.....	38
4.1.4. Vice-diretora - Escola A	39
4.1.5. Vice-diretora - Escola B.....	39
4.1.6. Supervisor de Física - Escola C.....	40
4.1.1. Docente de Física do colégio particular	41
4.2. Questionários	42
4.2.1. Considerações sobre o questionário.....	50
4.3. Laboratórios	51
4.3.1. Laboratório - Escola A	51
4.3.2. Laboratório - Escola B	53

5. ANÁLISE SINCRÔNICA DE SIMILARES	54
5.1. Similar A	54
5.2. Similar B	56
5.3. Similar C	57
5.4. Similar D	58
5.5. Similar E	59
5.6. Similar F	60
5.7. Avaliação de similares	61
6. ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	62
6.1. Definição do público-alvo	62
6.2. Necessidades e requisitos dos usuários	62
6.3. Requisitos de projeto	64
7. conceito do projeto	66
7.1. Painéis Semânticos	67
7.2. Personas	71
8. Geração de alternativas	74
8.1. Alternativa 1	78
8.2. Alternativa 2	79
8.3. Alternativa 3	80
8.4. Alternativa 4	81
9. Seleção de Alternativa	82
9.1. Matriz morfológica	84
10. DETALHAMENTO TÉCNICO	89
10.1. Teste volumétrico	89
10.2. Teste aerodinâmico	90
10.3. Manômetro	96
10.4. Modelagem digital	97
10.5. Montagem e uso	102
10.6. Modelo volumétrico	109
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	110

Referências	113
Apêndice A	117
Apêndice B	119
Apêndice C	121
Apêndice D	123
Apêndice E	124
Apêndice F	126
Apêndice G	129
Apêndice H	130
Apêndice I	131
Apêndice J	132
Apêndice K	134
Apêndice L	135
Apêndice M	136
Apêndice N	138
Apêndice O	139
Apêndice P	140
Apêndice Q	141

1. INTRODUÇÃO

A configuração da sala de aula tal como é conhecida e a maneira de ensinar não tiveram grandes modificações desde a inspiração no modelo das fábricas do período das primeiras Revoluções Industriais: um quadro à frente da sala, mesas e cadeiras enfileiradas, o professor falando diante de uma turma de alunos ouvintes. Segundo Naveen Jain, fundador da Bluecora e filantropo em educação, em entrevista ao jornal Gazeta do Povo (2017), o meio escolar e a forma como os conteúdos são transmitidos às novas gerações estão obsoletos, desconsiderando novos métodos e tecnologias, além de deixar de explorar o potencial produtivo dos alunos de forma ativa.

É a mesma percepção que a autora teve a partir de experiências vividas em meio escolar tanto como estudante quanto como bolsista de Pibid (Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência). Foi possível observar que nem todos os ambientes escolares dispõem das mesmas condições estruturais para proporcionar um nível padronizado e adequado de recursos que permitam a expansão e o envolvimento dos alunos, mas isso não restringe as possibilidades que podem ser trabalhadas. Também é considerável que a própria formação dos professores – figuras centrais da sala de aula – muita vezes se restringe a padrões engessados, sem muito incentivo à mudança de práticas sobre a verificação de conhecimentos dos alunos e sem contextualização apropriada das teorias ensinadas. Conforme apontamentos já descritos por Trindade (1998), do nível fundamental ao nível superior, os métodos ainda se limitam, na maioria das vezes, à transmissão de conteúdos, embora haja mais oferta de informações atualmente do que já houve em qualquer outra geração. Se o modelo funcionava para atender às expectativas da sociedade dos séculos XVIII e XIX, isso já não satisfaz as necessidades atuais, levando os discentes para ambientes profissionais nos quais não estão preparados para assumir as atividades exigidas e oferecer as capacitações demandadas.

Sob tal contexto educacional, é compreensível que haja disciplinas escolares consideradas mais complicadas que outras, principalmente em áreas científicas, onde a aquisição dos conteúdos pelos alunos pode demandar exemplos práticos, isto é, sua aplicabilidade na vida cotidiana. Sendo complexa a assimilação

homogênea de conhecimento em um modelo de sala de aula padronizado, essa dificuldade se agrava para tais disciplinas. Um exemplo significativo de ciência da natureza que apresenta diversos conteúdos que demandam um olhar mais exploratório é a Física, por isso optou-se por investigar essa área do conhecimento. A opção por pesquisar Física se deu a partir das experiências prévias da autora em sala de aula, anteriormente citadas, e após percepção de baixos resultados em avaliações padronizadas de cunho Nacional.

Evidências sobre dificuldades na aprendizagem de Física podem ser extraídas dos resultados obtidos pelo desempenho dos estudantes que prestam o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). De acordo com Barroso *et al.* (2018), o ENEM pode ser utilizado como ferramenta essencial para diagnosticar a qualidade e as deficiências no ensino, já que permite uma análise comparativa da prescrição curricular com o que é lecionado dentro das salas de aula e o que é efetivamente aprendido. Os resultados dos últimos dez anos das provas de Ciências da Natureza podem ser conferidos na tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Média de acertos na prova de Ciências da Natureza entre os anos 2012 e 2022.

Ano	Média	% Acertos
2012	472,07	47,2%
2013	469,01	46,9%
2014	482,08	48,2%
2015	478,92	47,9%
2016	478	47,8%
2017	511	51,1%
2018	493,68	49,4%
2019	477,82	47,8%
2020	490,39	49,0%
2021	491,05	49,1%
2022	494,65	49,5%

Fonte: adaptado pela autora a partir de Inep (2023)

Os resultados demonstram um número de acertos abaixo de 50% na maioria dos anos (salvo o ano de 2017). É importante lembrar que nesses valores estão

consideradas as ciências de Química, Física e Biologia, o que restringe a visualização dos resultados isolados de Física.

Conforme aponta o estudo anteriormente citado (BARROSO *et al.*, 2018), foi feito um detalhamento de questões específicas das provas de Ciências da Natureza do ENEM de 2009 a 2014, com foco nas questões classificadas como questões de Física. Uma das conclusões obtidas através dessa análise mostra que conceitos básicos de mecânica, fenômenos térmicos e ótica geométrica não são aprendidos pela maioria dos estudantes que estão egressando do Ensino Médio. Outra consideração feita é a retomada da preocupação sobre os estudos para melhoria no ensino de Física que são realizados desde a década de 80; tais estudos não apresentaram resultados satisfatórios sobre a reestruturação da concepção cognitiva dos alunos.

Nessa direção, entende-se como fundamental compreender a origem de tais dificuldades. Uma premissa equivocada sobre a dificuldade dos alunos em compreender os conteúdos de Física é dissociar as experiências prévias de vida do indivíduo e considerar que o estudante tem uma lacuna a ser preenchida pelo professor da forma como esse bem entender. Tanto um estudante com nenhum conhecimento formal sobre Física quanto um que tenha mais noção científica pode apresentar problemas semelhantes se não forem identificados os erros conceituais de senso comum e verificadas a frequência e a persistência de tais equívocos (TRINDADE, 1998).

Segundo Hestenes (1987, p. 440), “[...] há razões para acreditar que os métodos tradicionais de ensinar Física são inadequados [...]” e devem ser substituídos por meios de instrução inovadores que sejam mais atraentes aos alunos. Tal preocupação se estende pelas últimas décadas, mas não há evidências de melhorias significativas nas técnicas de ensino até o presente momento. Experiências táteis são uma excelente fonte de exploração, embora sejam amplamente negligenciadas. Jogos e experimentos, físicos ou digitais, despertam mais a curiosidade e o interesse nos estudantes já que permitem exploração e comparativos entre realidade e teoria, viabilizando a correção de conhecimentos equivocados dentro do cotidiano (TRINDADE, 1998).

Uma situação que tornou mais visíveis as circunstâncias de formação dos professores foi o cenário pandêmico da Covid-19, onde ficou decretado isolamento

social e as instituições de ensino foram amplamente afetadas, o que acabou sendo transmitido para a formação dos estudantes. Para lidar com as mudanças e novas necessidades desse panorama, os docentes tiveram que trabalhar dobrado para se adaptar, considerando a carência de formação tecnológica em seus currículos (ALMEIDA *et al.*, 2020). Consequentemente, a maioria dos docentes teve contato com sistemas digitais, como celulares e computadores, mas dificilmente os adaptaram para uso pedagógico. Apesar da urgência demandada pelas circunstâncias, aderir a recursos digitais e tecnológicos não se tornou apenas uma alternativa para inovar o sistema de ensino brasileiro, mas também se mostrou uma obrigatoriedade para possibilitar a retomada das atividades escolares.

Em uma análise geral, os cursos de licenciatura pecam na oferta curricular quando se trata da imersão dos graduandos em recursos tecnológicos de informação e comunicação para desenvolvimento de metodologias de ensino. Certamente a tecnologia não deve assumir o lugar do professor, mas tem o papel de agregar recursos valiosos a suas aulas (ALMEIDA *et al.*, 2020). Se, de forma geral, ministrar conteúdos nesse cenário já se mostrou um desafio, em disciplinas que demandem de caráter experimental, como a Física (que exige também revisão constante de dúvidas e acompanhamento), a compreensão por meio digital se torna uma incógnita, isto é, tem o benefício do recurso audiovisual, mas se torna prejudicial pelos fatores teóricos e matemáticos à distância.

No atual período pós-pandemia, com a retomada do sistema tradicional de ensino, a sociedade lentamente retoma padrões, contando com o auxílio de algumas melhorias pelos recursos audiovisuais adquiridos nas escolas. Contudo, apresenta desafios que ainda precisam ser enfrentados, como a retomada da relação social entre estudantes e professores, além da reestruturação do ambiente escolar e a volta de alguns hábitos clássicos de ensino em sala de aula, como a realização de atividades escritas (tais como produção textual sem corretores automáticos e raciocínio matemático sem auxílio de instrumentos periféricos) e o desenvolvimento de trabalhos em grupo.

1.1. Justificativa

Segundo Seré *et al.* (2003), o recurso experimental pode ser explorado de diversas formas, inclusive digitalmente, como foi necessário no período da pandemia. Contudo, um conteúdo não está fundamentalmente limitado a um único modelo experimental para ser representado, já que físicos trabalham não se restringindo a princípios elaborados, isto é, o trabalho pode ser desenvolvido a partir de lógicas e rotinas adquiridas durante o dia a dia, em pleno exercício cotidiano. “Concebe-se a experimentação como uma forma de favorecer o estabelecimento de um elo entre o mundo dos objetos, o mundo dos conceitos, leis e teorias e o das linguagens.” (Seré *et al.*, 2003, p.30).

Considerando as limitações de materiais apropriados e tempo para conquistar a atenção dos estudantes, principalmente em um mundo amplamente digitalizado e no cenário das instituições públicas de ensino – onde os recursos financeiros são direcionados para demandas maiores e mais urgentes do que aquelas que atendam uma única disciplina –, os professores acabam se restringindo a seguir opções experimentais, quando possível, que tomem menos tempo de preparo e execução. Nesses casos, os alunos seguem um roteiro proposto a fim de criar um vínculo cognitivo entre os conhecimentos teóricos previamente adquiridos com situações mais próximas do cotidiano onde estão inseridos.

Diante dessa problemática persistente, o presente trabalho se propõe ao desenvolvimento de um produto que possa ser adquirido por instituições de ensino, ou mesmo por docentes, e permita um manuseio facilitado que não interfira negativamente no período letivo. Uma alternativa já explorada são os laboratórios virtuais e as demonstrações gráficas, mas a proposta do presente projeto é a criação de um produto físico que seja manuseável por professores e alunos, a fim de agregar também o caráter exploratório e a socialização.

1.2. Problema de Projeto

Considerado o panorama de ensino e aprendizagem de Física no cenário nacional referido até o momento, delinea-se o seguinte problema de pesquisa:

Como desenvolver um conjunto de equipamentos para demonstrações e práticas experimentais que favoreça a aprendizagem de física no Ensino Médio, vinculando conteúdos teóricos com o cotidiano e despertando o interesse dos alunos?

1.3. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um conjunto de equipamentos para experimentação didática, de cunho prático e demonstrativo, com custo viável de confecção e aquisição para aplicação em salas de aula e laboratórios de ciências para o ensino de Física em escolas públicas de Ensino Médio.

A fim de alcançar a solução para o objetivo geral, o projeto estará sob a diretriz de objetivos específicos inerentes à proposta:

- a. Investigar metodologias e didáticas de ensino de Física usuais na realidade dos professores de Ensino Médio de rede pública, além da disponibilidade de tempo para aplicação experimental.
- b. Identificar os conteúdos de Física estudados em cada ano do Ensino Médio que desencadeiam maiores dificuldades entre os estudantes e quais despertam mais interesse.
- c. Verificar quais conteúdos identificados no objetivo anterior, principalmente os que geram mais dificuldades entre os estudantes, são viáveis para experimentação em sala de aula e/ou em laboratórios de ciências (caso a escola disponha de um espaço específico designado para isso).
- d. Verificar quais recursos são direcionados às escolas e pelas escolas para utilização e investimento no ensino de Física.
- e. Identificar as dificuldades e restrições enfrentadas pelos docentes em suas respectivas rotinas para abranger os conteúdos básicos determinados pelo MEC e suas necessidades em sala de aula.
- f. Identificar quais produtos e equipamentos de cunho experimental para ensino de Física estão disponíveis no mercado para aquisição facilitada por escolas e/ou docentes.
- g. Prospectar a possibilidade de um conjunto de experimentos de Física que englobe a exploração de conteúdos dos três anos do Ensino Médio.

- h. Identificar a compatibilidade de materiais com as ações experimentais que demandem maior resistência, durabilidade, fácil manuseio, baixo custo e pouca manutenção para a construção do conjunto.
- i. Buscar a prototipação e testes em salas de aula para verificação da eficiência prática/demonstrativa do kit.

1.4. Delimitações de Projeto

Dentro da proposta de desenvolvimento do kit com equipamentos práticos e/ou demonstrativos, abrangendo conteúdos, no âmbito dos três anos de Ensino Médio, se faz necessária a delimitação do número de experimentos abordados pelo kit. A partir da proposta de um produto economicamente acessível para docentes e escolas públicas de Ensino Médio, não é viável o desenvolvimento de muitos equipamentos experimentais, isto é, considerando a gama de conteúdos abordados ao longo dos três anos, a adesão de uma prática para cada conteúdo geraria conflito com a proposta econômica do produto, além de promover enorme complexidade e demanda de tempo para o seu desenvolvimento, cuja disponibilidade se restringe ao período do calendário acadêmico ofertado para a realização do TCC. Portanto a criação do conjunto será balizada em um experimento por ano letivo, sendo esses identificados e determinados a partir da pesquisa com os usuários.

Intenta-se que o produto seja testado dentro de salas de aula e sua versão final seja adaptada conforme as correções necessárias, a depender da flexibilização colaborativa das escolas, nas interações que se propuserem ao longo do TCC2. Observa-se dentro dessas considerações que o kit não pretende restringir o uso de suas partes, ou seja, propõe-se que seja viável o uso de algumas peças em outras demonstrações, conforme a necessidade do docente responsável.

2. METODOLOGIA

De acordo com Munari (1981), o método de projeto não é absoluto nem definitivo, podendo passar por mudanças conforme o designer encontre outros valores objetivos que melhorem o processo de criação. As regras dentro do método não devem engessar o projetista, mas sim estimular alternativas que se somem à personalidade dele.

2.1. Macro e micro etapas

Para arquitetar e orientar o desenvolvimento deste projeto optou-se por uma conjuntura de processos das metodologias propostas por Bruno Munari (1981) e Bernd Löbach (1976). A metodologia seguirá a seguinte sequência de macro e micro etapas:

a. Análise do problema: compreensão teórica e investigação do público-alvo

- Conhecimento do problema e coleta de informações: além da pesquisa de base teórica, a coleta de informações será feita por meio de questionário quali-quantitativo e entrevistas direcionadas com o público-alvo (estudantes, docentes e direção escolar de Ensino Médio) e com especialistas em ensino de Física;
- Análise das informações: a análise dos dados coletados conduzirá para as necessidades e requisitos de usuário e de projeto;
- Compreensão do problema e definição dos objetivos.

b. Coleta de dados: similares e tecnologias

- Pesquisa de similares: investigação de similares de mercado e análise de estrutura, funcionalidade, morfologia e usabilidade desses para verificar o que fazer ou não no projeto;
- Materiais e Tecnologias: coleta de dados sobre materiais e tecnologias disponíveis para o projeto em questão;
- Conceituação.

c. Geração e seleção de alternativas: criação e exploração de ideias

- Escolha de métodos para solucionar o problema em questão e produção de ideias: *personas*, *moodboards* (painéis visuais) e *sketching*;
- Exame das alternativas, processo de seleção e avaliação das alternativas: confecção de matriz de avaliação, testes volumétricos e ergonômicos.

d. Realização da solução do problema: modelagem, testes e refinamento

- Refinamento da alternativa final: ajustes morfológicos, funcionais, tecnológicos e determinação de materiais;
- Modelagem: confecção de modelos 3D e volumétricos (em escala adequada), testes ergonômicos e prototipagem, podendo incluir testes com grupos focais do público-alvo para verificar solução;
- Detalhamento técnico: avaliação final, ajustes baseados nos grupos focais, detalhamento técnico e documentação.

2.2. Público-Alvo

O público-alvo selecionado para a pesquisa será dividido em três níveis: estudantes, docentes e direção escolar. Essa divisão se dá por conta a aplicabilidade e finalidade do produto dentro de cada esfera:

- Estudantes: sendo o público final a entrar em contato com o produto, objetiva-se que compreendam seu funcionamento e tenham seus conhecimentos agregados e fixados com a devida aplicação do mesmo, de forma a expandir sua curiosidade sobre a disciplina e melhorar os resultados obtidos ao final de cada ano letivo dentro da área de conhecimento proposta pela BNCC;
- Docentes: são responsáveis por preparar os conteúdos da disciplina e por sua aplicabilidade em sala de aula, bem como a contextualização dos conteúdos que podem ser explorados através de demonstrações práticas, de modo a melhorar os resultados obtidos dentro do período letivo. Os mesmos precisam compreender como lidar com o conjunto experimental, além de adaptar a utilidade dos mesmos dentro das aulas teóricas;
- Direção escolar: dentro desse nível serão consultados coordenadores, supervisores, diretores ou vice-diretores, de acordo com a disponibilidade

de horário e permissão para conceder as informações necessárias à pesquisa. Por meio desses se objetiva coletar informações sobre a disponibilidade e a real aplicação dos investimentos de recursos públicos designados pela União, bem como pela disposição de melhorias internas por esses e outros recursos.

2.3. Proposta para coleta de dados

A coleta de dados e a investigação junto ao público-alvo terão abordagem tanto qualitativa quanto quantitativa (sendo majoritariamente do primeiro tipo), de modo a conduzir o desenvolvimento de um produto de manuseio facilitado e que permita o real incremento de faculdades cognitivas do público final envolvido. O modelo de questionário que será aplicado pode ser encontrado no apêndice A, bem como as entrevistas com professores e direção escolar nos apêndices B e C, respectivamente.

Para agregar a coleta de dados, será feita uma investigação sobre a infraestrutura de algumas instituições de ensino públicas e particulares, com a devida permissão, de modo a verificar diferenças existentes na oferta de ambientes e equipamentos disponíveis para a fixação do ensino de Física.

2.4. Cronograma

Para organizar o andamento e a realização das macro e micro etapas do projeto, foi desenvolvida a seguinte proposta de cronograma:

Tabela 2 – Cronograma de atividades para desenvolvimento do projeto de TCC.

Atividades	set/23	out/23	nov/23	dez/23	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24	mai/24	jun/24	jul/24	ago/24
Coleta de informações e pesquisa teórica	X	X	X	X	X							
Coleta de dados (entrevistas e questionários)			X	X								
Análise de dados			X	X	X							

Atividades	set/23	out/23	nov/23	dez/23	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24	mai/24	jun/24	jul/24	ago/24
Necessidades e Requisitos de usuário e projeto				X	X							
Pesquisa de similares				X	X							
Revisão e conceituação					X	X						
Personas e Moodboards							X					
Sketching e seleção de alternativas								X	X			
Testes volumétricos e ergonômicos									X	X	X	
Ajustes morfológicos, funcionais, tecnológicos										X	X	X
Seleção de materiais												X
Modelagem 3D e volumétrica												X
Detalhamento técnico e documentação												X

Fonte: produzido pela autora.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para aprofundar a compreensão acerca do problema e explorar a melhor linha de raciocínio para gerar o produto final, a pesquisa vai ser direcionada em normas e leis que determinam o novo sistema de ensino brasileiro de nível médio, em estudos que examinem a relação cognitiva de memória e afetividade, em habilidades cognitivas relacionadas à capacidade investigativa dos estudantes e em como funciona o papel da experimentação na disciplina de Física.

3.1. Novo Ensino Médio

O Novo Ensino Médio passou por uma reforma que trouxe mudanças estruturais significativas no último ano. Desde a sua sugestão pela Medida Provisória 746 em 2016, propondo a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral, a proposta foi massivamente recusada

em consulta pública (94,17% de votos contra). Contudo, entrou em vigor em 2017 como a Lei nº 13.415/2017, alterando a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) estipulada em 2014, que teria vigência de 10 anos. Vale ressaltar que em 2023 a BNCC entrou em votação no Congresso para revisão (SANTOS; TENENTE; CALGARO, 2023).

Segundo o Art.º 2 do Plano Nacional de Educação (2014-2024), entre as diretrizes do PNE estão determinadas: a superação das desigualdades educacionais; a melhoria da qualidade da educação; e o estabelecimento de meta de aplicação de recursos públicos em educação como proporção do PIB, que assegure atendimento às necessidades de expansão, com padrão de qualidade e equidade. Dessa forma, fica justificada a designação de recursos pela União que garantam a qualidade de ensino e suas melhorias, de forma a não excluir nenhum segmento da sociedade.

De acordo com o MEC (2023), os ajustes do Novo Ensino Médio apontam uma nova organização curricular, ainda focando na BNCC, mas tornando-a mais flexível e possibilitando aos estudantes a escolha de compor uma grade curricular que inclua alguma formação técnica/profissional. Contudo, as disciplinas passam a não ser mais abordadas separadamente, sendo aglutinadas agora em áreas de conhecimento semelhantes às avaliadas pelo ENEM: Ciências da Natureza e suas Tecnologias; Ciências Humanas e Sociais Aplicadas; Linguagens e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias. A disciplina de Física (bem como Biologia e Química) está enquadrada dentro da área Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

A possibilidade de escolha para montar uma grade curricular é o que identifica os itinerários formativos, que são declarados como conjuntos de disciplinas, projetos, oficinas, núcleos de estudo, entre outros, que permitem adaptações às demandas de trabalho e sociais pelas quais os discentes estarão sujeitos após a conclusão do Ensino Médio. A reforma não exclui disciplinas, mas mantém obrigatória apenas Matemática e Português durante os três anos letivos, trazendo uma redução na carga horária das outras matérias em função da grade montada pelos alunos de acordo com seus interesses. O MEC deixa a cargo de cada instituição de ensino a quantidade ofertada de itinerários formativos. Este é um dos pontos em votação no Congresso, já que a União Brasileira de Estudantes

Secundaristas (UBES), em associação com entidades da sociedade civil, gerou uma pressão para ampliação da carga horária das áreas de conteúdo; o impasse sobre essa questão ficou prorrogado para 2024 (SANTOS; TENENTE; CALGARO, 2023).

3.2. Memória, afetividade e cognição

O quanto já foi estudado acerca dos processos de ensino e aprendizagem sobre conhecimentos científicos, incluindo Física, onde os meios de retenção das informações se dão pelas mais diversas formas, foi abordado por Pereira e Abib (2016). Contudo, fica ressaltado que não há muita pesquisa em cima do quanto as informações ficam retidas na memória considerando a passagem de certo tempo após o período de escolarização, sem poder comprovar se o conteúdo ficou armazenado ou sequer foi aprendido (PEREIRA; ABIB, 2016).

Para compreender mais sobre a memória como função psicológica humana, deve haver a compreensão de que existe uma classificação da mesma quando se avalia a forma como ela é formada: *memória natural* é aquela que ocorre geralmente em povos iletrados e se forma como consequência de estímulos externos e por experiências reais do ser humano; *memória lógica* ocorre geralmente em culturas letradas que apresentam funções psicológicas mais desenvolvidas, onde há níveis de escolarização a partir da infância e a retenção de informação se dá com auxílio de signos linguísticos (PEREIRA; ABIB, 2016).

Considerando o cenário do Ensino Médio, Pereira e Abib (2016) apontam que os estudantes estão em uma faixa etária cuja cognição está carregada de lógica, as informações são armazenadas por conta de associações do que é aprendido em sala de aula com o que se vive no cotidiano. A formação da memória, portanto, se dá por meio das experiências com o mundo exterior e relações sociais dentro das quais o indivíduo está inserido; através dessa percepção também é possível compreender que a memória não é uma cópia exata do que foi aprendido, já que passa por esses processos cognitivos e pela afetividade de cada estudante antes de ser propriamente formada (PEREIRA; ABIB, 2016).

As referidas pesquisadoras, a fim de compreender melhor sobre a formação de aprendizagem efetiva em estudantes de Ensino Médio, conduziram um estudo para verificar como a memória é desenvolvida a partir de cognição e afetividade,

sendo que a afetividade aqui não deve ser compreendida com uma forma de emoção ou sentimentos, mas como capacidade e disposição humana para se deixar afetar pelo mundo externo e por experiências de forma positiva ou negativa, em maior ou menor intensidade. A pesquisa foi feita por abordagem qualitativa, com o acompanhamento de uma turma de 22 alunos de Ensino Médio da rede pública, pela observação e interação direta de uma das pesquisadoras (sem que essa ministrasse as aulas de Física) por um período de seis meses em 2012 e duas semanas em 2013, no intuito de verificar ao final o que esse grupo de alunos recordava do conteúdo ensinado no ano letivo anterior (2012). As retomadas foram classificadas em duas categorias, denominadas pelas autoras como *memória científico-afetiva* e *memória afetivo-vivencial*. Fica incluído na primeira categoria “[...] aquilo que o sujeito retoma dos momentos do ensino de Física e que guarda estreita relação com o conhecimento científico escolar e/ou é influenciado por ele.” (PEREIRA; ABIB, 2016, p. 862). Na segunda categoria fica incluso o seguinte: “Tudo aquilo que o sujeito retoma dos momentos do ensino de Física e que não tem relação explícita com o conhecimento científico escolar [...]” (PEREIRA; ABIB, 2016, p. 867). Essa última categoria não retoma conteúdos científicos, mas sentimentos e sensações (tanto positivos quanto negativos) formados através de um conhecimento, situação de aprendizagem ou interação social com os colegas e o professor. Durante o estudo, foi observada a importância da interação grupal dos estudantes entre si e com o professor, de modo a gerar debates que trazem à tona os conhecimentos científicos adquiridos no ano anterior na disciplina (PEREIRA; ABIB, 2016).

Ainda na pesquisa de Pereira e Abib (2016), percebeu-se que se os alunos são afetados positivamente, principalmente pelas relações sociais com o professor e demais estudantes, o processo de aprendizagem se torna mais efetivo, enquanto a afetividade negativa não contribui para a retenção de conhecimento. Um aspecto que colaborou para o processo de aprendizagem apontado pelos estudantes como sendo grande influenciador foi a atuação do professor e sua metodologia e didática em sala de aula.

Conclui-se que, apesar da separação em categorias realizada pelas autoras entre os tipos de memória, tal divisão se dá apenas para auxiliar na análise do estudo, já que a memória lógica humana não é categorizada e dividida em blocos. Contudo, deseja-se destacar (principalmente para compreensão de professores)

que, apesar de a *memória afetivo-vivencial* não trazer indícios de aprendizagem efetiva, ela serve para lançar uma luz sobre as estratégias didáticas que podem exploradas para intervenções apropriadas junto aos alunos (PEREIRA; ABIB, 2016).

O docente, como agente direto sobre as atividades pedagógicas, deve ter abordagens que tragam sentimentos de acolhimento, ressignificação, respeito e empatia para envolver seus alunos, considerando que cada indivíduo tem distintas experiências de vida que demandam aceitação, valorização e compreensão (LEITE; TASSONI, 2002).

3.3. Habilidades cognitivas

Um exemplo de estudo que demonstrou o desenvolvimento cognitivo de alunos perante uma atividade experimental de Física foi o realizado por Galvão e Assis (2019), onde é defendida a aplicação de práticas de cunho investigativo, já que estas geram maior envolvimento por parte dos alunos e não ficam restritas a decoração de conteúdo e a roteiros prontos meramente fornecidos e limitados. O estudo foi aplicado em duas turmas de primeiro ano Ensino Médio focando no conteúdo de cinemática, onde os resultados almejados tinham cunho qualitativo. O progresso e a avaliação dos resultados foram realizados com base na categorização de habilidades entre *Lower Order Cognitive Skills* (LOCS, “Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem”) e *Higher Order Cognitive Skills* (HOCS, “Habilidades Cognitivas de Alta Ordem”), definidas por Suart e Marcones (2009). De acordo com esses estudiosos, o professor serve de mediador da atividade, conduzindo no processo de construção de conhecimento, mas os estudantes têm participação efetiva já que são instigados a refletir, debater, trocar ideias, teorias e explicações entre si. Para hierarquizar esta classificação, os níveis de habilidade foram distribuídos em 5 subdivisões, como mostram os quadros 1 e 2 (sendo 1 o nível mais baixo e 5 o nível mais alto). No Quadro 1, a seguir, é possível verificar as Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem.

Quadro 1 - Níveis de habilidades cognitivas por categoria LOCS

Categoria LOCS		
Nível 1	Nível 2	Nível 3
<ul style="list-style-type: none">• Não reconhece a situação problema.	<ul style="list-style-type: none">• Reconhece a situação problema e identifica o que deve ser buscado.• Não identifica variáveis.	<ul style="list-style-type: none">• Explica a resolução do problema usando conceitos já conhecidos e representa o problema com fórmulas ou equações.
<ul style="list-style-type: none">• Limita-se a expor um dado lembrado.	<ul style="list-style-type: none">• Não estabelece processo de controle para a seleção de informações.	<ul style="list-style-type: none">• Identifica e estabelece processo de controle para a seleção de informações.
<ul style="list-style-type: none">• Retêm-se à aplicação de fórmulas e conceitos.	<ul style="list-style-type: none">• Não justifica a resposta de acordo com conceitos exigidos.	<ul style="list-style-type: none">• Identifica as variáveis, podendo não compreender seus significados conceituais.

Fonte: Suart e Marcondes (2009).

No Quadro 2, é possível verificar as Habilidades Cognitivas de Alta Ordem.

Quadro 2 - Níveis de habilidades cognitivas por categoria HOCS

Categorias HOCS	
Nível 4	Nível 5
<ul style="list-style-type: none">• Seleciona as informações relevantes.	<ul style="list-style-type: none">• Aborda ou generaliza o problema em outros contextos.
<ul style="list-style-type: none">• Analisa ou avalia as variáveis.	
<ul style="list-style-type: none">• Sugere as possíveis soluções do problema.	
<ul style="list-style-type: none">• Exibe capacidade de elaboração de hipóteses.	

Fonte: Suart e Marcondes (2009).

Os grupos de alunos do estudo realizado por Galvão e Assis (2019) tiveram alguns encontros com os pesquisadores, sendo avaliados previamente, e todos se enquadraram nas categorias de nível LOCS. Após o período de aplicação das atividades e com o avanço das etapas, verificou-se que, de sete grupos entre as duas turmas, apenas um grupo não alcançou os níveis de categoria de HOCS. A conclusão

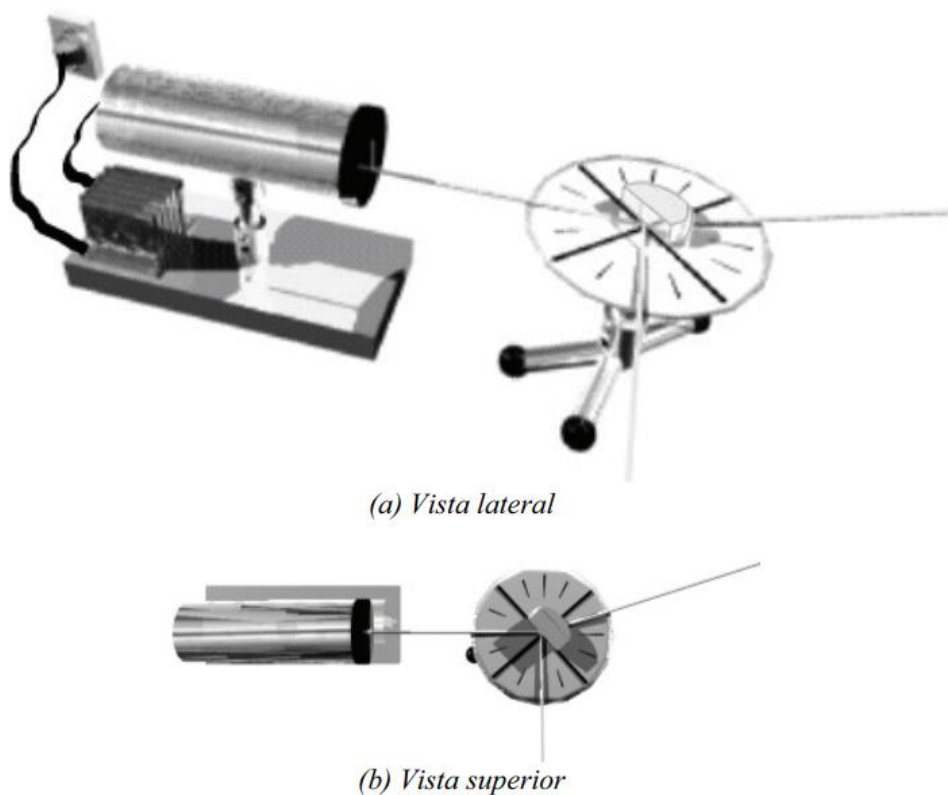
aponta que os grupos apresentavam inicialmente conceitos espontâneos sobre o conteúdo abordado, mas com o decorrer da atividade investigativa conseguiram aprimorar as habilidades cognitivas e expressar entendimento do conceito científico. O estudo mostra que o processo experimental – especialmente aquele de cunho investigativo, conduzido pelo professor por meio de desafio e orientação –, gera envolvimento ativo no processo de elaboração, desenvolvimento e finalização que aproxima os estudantes da real verificação científica. Assim, constatou-se que, sendo bem elaboradas e abordando da maneira correta, tais propostas podem também agregar melhor correlação entre modelos matemáticos, teorias e aplicações práticas por meio de testes observacionais (GALVÃO; ASSIS, 2019).

3.4. Experimentação no ensino de Física

Um meio tradicional de fazer experimentação, de acordo com Séré *et al.* (2003), é aquele onde o estudante não tem papel como agente ativo de interferência e não há muita abertura para debater, sendo que ele é servido de um equipamento, segue um método e precisa executar uma sequência de passos para observar um fenômeno – no máximo variando parâmetros para fins comparativos. Contudo, um experimento pode ter muitas abordagens que não o modo tradicional. Alguns métodos experimentais demandam a capacidade de avaliar e julgar resultados, isto é, atuar como agente crítico durante procedimentos, coleta e análise de dados (SÉRÉ *et al.*, 2003).

A fim de demonstrar como diferentes abordagens podem ser utilizadas por professores, de modo a aplicar distintas experiências e atividade com os alunos, Séré *et al.* (2003) trouxeram uma análise dessas abordagens para um experimento óptico envolvendo a lei de Snell-Descartes ou lei da refração, a qual determina a direção dos raios de luz através de meios refrativos com índices de refração distintos. O experimento consistia em um equipamento composto por uma fonte de luz com fenda vertical, um disco graduado que pode girar em torno de um eixo central e um dióptro de formato semicilíndrico. Este é demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Equipamento experimental utilizado para verificar a lei Snell-Descartes



Fonte: Séré *et al.* (2003)

Em primeira análise, é proposta para os alunos uma prática experimental com um roteiro pronto, onde os mesmos são orientados passo a passo. Através desse método e com um equipamento que tem ajuste relativamente rápido, não é exigida do aluno uma reflexão profunda do problema, ou seja, o experimento acaba aderindo à função de aprendizado da lei, onde o aluno não tem decisão sobre ajustes e escolha dos dados observados. Em uma segunda abordagem, seguindo com a utilização do mesmo equipamento, os alunos recebem um roteiro mais flexível, sem um objetivo muito delimitado. A intenção deste é realizar uma comparação de modelos, não teóricos, mas comportamentais. Nesse caso, o professor intenta fazer com que os alunos percebam e verifiquem que há a possibilidade de uma modelagem diferenciada para obter os resultados desejados, o que envolve a uma demanda de escolha e tomada de decisão por parte do aluno como agente ativo. Um terceiro procedimento é comparar métodos experimentais, onde o aluno recebe um roteiro com dois procedimentos diferentes, mas similares e

que serão comparados entre si; nesse caso a teoria já se torna apenas um ponto de apoio para a execução do experimento, de modo a auxiliar na verificação da precisão dos dados coletados. Nessa abordagem o objetivo do professor é deixar o aluno familiarizado com o processo de medição e incentivá-lo a determinar qual o melhor método para adquirir os dados desejados (SÉRÉ *et al.*, 2003).

A última abordagem analisada é a concepção de um experimento por parte dos alunos, onde os mesmos recebem uma proposta geral e devem selecionar por conta própria os equipamentos adequados para atingir tal proposta. O equipamento é disposto pelo professor, mas não montado por ele. Essa abordagem gera uma observação de maior dificuldade por parte dos estudantes, já que a forma como os equipamentos devem ser montados e dispostos entre si para atingir o objetivo é uma operação com execução não muito clara. O que se conclui dessa abordagem é que ela toma muito mais tempo para ser realizada, embora o nível de aprofundamento sobre o conhecimento científico seja maior por parte dos alunos quando os mesmos conseguem executar e ajustar o equipamento para obter os resultados intencionados (SÉRÉ *et al.*, 2003).

Através da comparação dessas distintas abordagens, Séré *et al.* (2003) apontaram que, graças às atividades experimentais, os conceitos, leis e teorias são transformados em referencial empírico, isto é, o mundo real e as vivências do cotidiano recebem um real sentido e podem ser compreendidos pelos procedimentos e técnicas observados experimentalmente, sem a necessidade explícita de memorizar superficialmente conteúdos.

De acordo com Laború (2005), é da natureza da profissão docente que haja um empenho para que os alunos aprendam, buscando meios de despertar a motivação desses ou por articular a essência do conhecimento como manifestação da intenção de ensinar e aprender. Por essa ótica, “provar”, “verificar”, “demonstrar” ou “mostrar” um fenômeno são palavras (ou ações) que podem transcender a conotação epistemológica e apelar para o âmbito motivacional, principalmente considerando um cenário de disciplinas investigativas, como as científicas.

Concluiu-se, então, que a prática contribui para a fixação de conhecimentos conceituais durante a verificação de uma teoria e a teoria embasa a prática quando é possibilitado ao aluno comparar modelos e experimentos.

4. PESQUISA EXPLORATÓRIA

Conforme apresentado na proposta para coleta de dados, foram aplicados questionários e entrevistas dentro de três distintos colégios de Ensino Médio, sendo esses os que deram retorno e concordaram em participar da pesquisa dentre todos os consultados. Foi uma instituição pública de Porto Alegre (que será identificada, a partir daqui, como Escola A) e duas de Novo Hamburgo (Escolas B e C, respectivamente), entre as quais uma agrega Ensino Técnico.

Nenhuma instituição particular aquiesceu em participar da pesquisa por conta do período letivo de final de ano e pelas complicações para o contato com os estudantes, sendo que implicaria em lidar com autorizações individuais de pais e responsáveis, o que tornaria o processo de participação inviável.

4.1. Entrevistas

As entrevistas foram realizadas com um total de nove profissionais (entre professores e servidores) – dentre estes está a participação especial de uma professora de Física de um colégio particular de Gravataí. As entrevistas na íntegra estão registradas nos apêndices ao final do documento.

4.1.1. Docente de Física - Escola A

O primeiro docente entrevistado foi um professor de 45 anos graduado em Licenciatura Física que atua há 25 anos no mesmo colégio, sendo o único responsável na disciplina de Física por todas as turmas de 1º a 3º anos. Como metodologia de aula, o docente faz uso do quadro, de explanação e, como resultado pós-pandemia, passou a utilizar mais simulações em vídeo na sala de projeções do colégio, já que experimentos seriam mais demorados para montar e executar.

Quando abordado sobre as principais dificuldades dos alunos, apontou que o que mais pôde observar ao longo dos anos, e que piorou com a pandemia, foi a defasagem de conhecimento e capacidade de raciocínio que os alunos trazem do Ensino Fundamental. O professor explica que os estudantes compreendem a teoria, mas não conseguem aplicar equações simples e operações básicas de Matemática,

além da dificuldade de interpretação de texto. Para agravar o problema, há a questão do uso de celulares em sala de aula que, por lei estadual, é proibido, mas não é possível confiscar (o professor pode pedir para guardar, mas os alunos logo buscam o aparelho novamente). Por conta disso o docente disputa a atenção do aluno com o aparelho, já que o mesmo fornece “recompensas instantâneas”.

Quanto às atividades experimentais, confirmou que julga serem de grande importância. Para exemplificar a importância da atividade, narrou um episódio único experimental que ocorreu no ano letivo de 2023, onde aplicou em turmas de 1º ano um experimento de pêndulo simples para determinar o valor da gravidade da Terra. Como a atividade foi um sucesso, levou-a para turmas de 2º e 3º anos, mesmo não sendo conteúdo corrente, e os alunos gostaram. “O experimento foi feito em grupos e os alunos ficaram felizes de encontrar valores próximos do que constava nos livros didáticos e entenderam que não era um número aleatório”, explicou. “Eles entendem melhor o conteúdo após o experimento e veem que funciona, então deixa de ser apenas uma fórmula, uma ‘decoreba’, e conseguem entender melhor na hora da prova”.

Uma problemática apontada pelo professor durante a entrevista quanto à aplicação de mais experimentos foi a inibição por conta da carga horária, que antes abarcava três períodos semanais e atualmente conta com apenas um. Sua intenção era fazer um experimento por mês com as turmas, mas explicou que é difícil até mesmo dar conta de passar o conteúdo mínimo exigido. Em aspectos de investimento por parte da instituição, explica:

“A escola investe na infraestrutura geral para atender os professores, mas para experimentos não. Já foi feita pesquisa de preço de equipamentos básicos, mas a verba que a escola dispunha não contemplava o valor. Com a verba que a escola dispõe seria inviável. Outro fator que dificulta é que não teria alguém disponível para trabalhar em laboratório, um técnico ou monitor, então teria que ser dentro da carga horária do professor (que já é bem restrita). No estado, a carga horária do professor é para sala de aula, então precisaria de alguém para laboratório para preparar os experimentos dentro de um tempo hábil” (Docente de Física - Escola A, 2023).

Há uma grande valorização sobre o *feedback* dos alunos, já que aulas que eram dadas dez anos atrás não vão funcionar bem no cenário atual se não houver melhorias. Uma percepção sobre isso é que os alunos preferem objetividade, que os conteúdos, curiosidades e atividades sejam tratados de forma direta. O interesse é maior quando os alunos conseguem vincular certo conteúdo com coisas do seu dia a dia, como o consumo de energia elétrica para compreender as contas de casa.

4.1.2. Docentes de Física - Escola B

A entrevistada responsável por ensinar Física em turmas de 1º e 2º anos foi uma professora de 54 anos, graduada em Licenciatura Matemática. Embora atue há 35 anos na profissão, apenas em 2023 ficou encarregada da disciplina de Física, tendo dado aulas, até então, de Matemática e Projeto de Vida. Por conta da inexperiência com a nova disciplina, não conseguiu abordar os conteúdos da melhor forma e teve receio de aplicar experimentos ou passar vídeos referentes aos mesmos (embora saiba que seus colegas fazem uso de alguns desses recursos). Mesmo assim considera as práticas experimentais importantes, reconhecendo que ajudam a compreender a teoria e criam uma ponte entre ela e a vida dos estudantes.

Assim como apontado na entrevista anterior, um problema sério é a falta de tempo, já que os alunos sentem dificuldade com o conteúdo, mas também não exercitam em casa e em sala ficam utilizando muito seus *smartphones*. A docente considera que há falta de comprometimento por parte dos estudantes, além do fato de que a pandemia prejudicou o processo de estudo. Novamente aqui aparecem as dificuldades em matemática básica e interpretação de texto, agregadas ao problema quanto à identificação e ao uso de unidades de medida.

O professor seguinte, responsável pelas turmas de 3º ano, tem 29 anos e tem formação em Física. Atuando desde 2017, busca em sua metodologia sempre abordar vínculo entre teoria e prática, incentivando os alunos a explorarem atividades e fazerem o vínculo entre coisas de suas rotinas e o que foi aprendido em sala de aula. “O importante é trazer as vivências e experiências deles para a sala de aula, porque, por mais simples que seja, os alunos prestam atenção [...] Eles ficam admirados com uma caneta que fica colada na parede depois de friccionada contra ela, mesmo a maioria tendo entre 15 e 17 anos”, explica. Considera experimentos

como o “carro chefe” da disciplina de Física e costuma fazer práticas com as turmas, utilizando experimentos confeccionados a partir de materiais baratos e de fácil acessibilidade, já que muitas vezes os alunos constroem em casa e a prática ocorre na escola. Contudo, observa que a falta de apoio e verba afeta o progresso do trabalho e que seria ideal ter equipamentos, mesmo que fosse necessário adaptar a aula para conseguir utilizar os produtos disponíveis.

Assim como já relatado por sua colega, observa que seus alunos têm dificuldades em matemática básica, mesmo estando no último ano do Ensino Médio. Aponta também problemas sérios de interação, concentração e desinteresse para raciocinar. “Há exceções, mas em geral, pelas avaliações que eu vejo, é uma questão bem difícil”, explica.

4.1.3. Docentes de Física - Escola C

O professor de Física responsável pelos 1º e 2º anos tem 66 anos e atua há 35 como docente na escola. Sua metodologia se baseia em aulas expositivas em sala de aula e práticas experimentais em laboratório. Sua colega de 33 anos, que exerce atividades na escola desde 2020 e é responsável pelos 3º anos, tem uma exploração mais variada: aulas expositivas, aulas de laboratório com experimentos demonstrativos ou de trabalho em grupo, exercícios, mapas mentais e apresentações pequenas em grupo sobre tópicos específicos.

Em aspectos de dificuldade, ambos docentes apontam que os alunos apresentam deficiência em conteúdos fundamentais de Matemática básica e interpretação textual, já que não compreendem o que é solicitado no enunciado dos exercícios e têm problemas como, por exemplo, isolar variáveis em cálculos e entender relações de proporcionalidade (isso mesmo no 3º ano). Mesmo com três períodos por semana, os estudantes têm dificuldades em nos conteúdos da disciplina de forma geral.

Quanto à questão experimental, ambos julgam ser importante. O professor atém-se ao equipamento disponível no laboratório e realiza experimentos ocasionalmente, enquanto a professora busca fazer uma prática por conteúdo sempre que possível e traz muitos materiais e experimentos de casa, argumentando que vários dos materiais dos laboratórios já estão se deteriorando por serem muito

antigos e não haver dinheiro para fazer manutenção. Ela acredita que os experimentos ajudam a entender como as coisas do dia a dia funcionam e porque funcionam de determinado jeito.

4.1.4. Vice-diretora - Escola A

A primeira entrevistada dentro da direção escolar foi a vice-diretora da tarde do colégio de Porto Alegre. Sobre a estratégia pedagógica para o ensino de Física, ela informou que não apenas o professor de Física, mas todos os docentes devem seguir as orientações curriculares que estão na BNCC, sendo que no estado do RS também há uma referência de currículo gaúcho. Deve ser elaborado o plano de estudos e de aulas, para então selecionar os conteúdos que pretende trabalhar. Se estiver dentro do currículo, a escola aprova. Dentro da instituição o maior mecanismo de acompanhamento são os conselhos de classe, para verificar o que foi cumprido ou não, já que se observa que muitas vezes não é possível concluir todo o planejamento. Segundo ela, o raciocínio dos alunos está cada vez mais lento, então os professores demoram muito mais tempo dentro de um conteúdo para conseguir aplicá-lo ou precisam reduzi-lo a uma forma mais simples para os alunos entenderem, o que se mostra um problema muito grave.

Quanto aos recursos financeiros e materiais direcionados para o ensino de Física, ela explica que há um laboratório de ciências na escola, mas dificilmente é usado para Física já que não tem demanda específica. Para a disciplina de Química sempre tem solicitação de material, então o laboratório se tornou quase exclusivamente de Química. Isso é um reflexo da reforma do ensino médio, explica a vice-diretora, que reduziu a carga horária de Ciências da Natureza, resultando em dois períodos para as turmas de 1º ano e um período para as de 2º e 3º ano. A escola ainda dispõe de salas de projeção e informática, mas se fosse necessário abrir mais um laboratório para Física, sob demanda, se providenciaria.

4.1.5. Vice-diretora - Escola B

A entrevista consecutiva foi com a vice-diretora do turno da noite da Escola B de Novo Hamburgo. Quanto à estratégia pedagógica, a vice-diretora informou não

estar inteirada sobre a questão, mas comentou que percebia funcionar muito bem quando os professores fazem experimentos, tanto com aulas práticas em laboratório ou quanto no pátio. “Os alunos amam”, afirmou, dando ênfase na crença de que essas práticas pedagógicas envolvendo experiências, com o conteúdo intercalado, são melhores.

Sobre os recursos financeiros e materiais direcionados para o ensino de Física, a vice-diretora alegou não ter as informações necessárias. Quanto ao espaço na escola para aplicação de práticas experimentais, afirmou que há um laboratório de ciências e é muito usado pelos professores de Química e Biologia, mas é menos procurado pelos docentes de Física.

4.1.6. Supervisor de Física - Escola C

Neste caso em particular, após entrar em contato com a escola e passar por determinados departamentos com a solicitação formal necessária, o atendimento foi designado para o responsável sobre o setor de Física da instituição.

Tratando-se de uma estratégia pedagógica fundamental, explicou que para a escola é essencial vincular os conteúdos estudados com o cotidiano dos alunos e suas respectivas áreas de formação. Para isso a matéria deve ser abordada de várias formas, através da disponibilização de referências para pesquisa, aulas experimentais, uso de computador para fins específicos e metodologias dinâmicas de ensino.

Na instituição há dois laboratórios de Física que ficam à disposição para organizar as atividades experimentais. Há auxiliares disponíveis que atuam ativamente mesmo em atividades como olimpíadas de Física e de Astronomia. O supervisor explica que os materiais dos laboratórios são antigos, sendo muitos deles reconicionados e adaptados com recursos de baixo custo. Quando é necessário, é feita uma solicitação à direção para compra de algum material mais caro. “Recentemente precisamos de fontes de tensão novas, que foram adquiridas com recursos do PDDE (Programa Dinheiro Direto na Escola) [...] Estamos aguardando a compra de um novo batedor de ondas com recursos do governo do RS”, comenta. Os laboratórios também contam com bancadas para execução de experimentos diversos, além de cortinas pretas tipo *blackout* para experimentos de Óptica e piso emborrachado para isolamento.

4.1.1. Docente de Física do colégio particular

Com formação em Licenciatura Plena em Ciências com Habilitação em Matemática e especialização em Física, a professora de 42 anos do colégio particular de Gravataí atuou inicialmente na rede estadual lecionando Matemática, mas faz 15 anos que trabalha com Física na escola atual.

Como foi relatado na entrevista, o colégio possui um Laboratório próprio para Física, reformado há três anos. No novo projeto foi previsto o uso de vários dispositivos, então as bancadas foram planejadas contando com a presença de régua elétrica (extensões) para ligar todos os eletrônicos necessários, tornando o espaço mais favorável.

A presença e o acesso ao laboratório permite à professora uma boa exploração de atividades práticas, já que ela é responsável por turmas dos três anos de Ensino Médio e tenta aplicar pelo menos um experimento por conteúdo. A base principal da sua metodologia são as práticas e demonstrações, já que acredita que essas atividades dão sentido ao que foi estudado. Apesar da disponibilidade de infraestrutura adequada para executar seu planejamento, mesmo dentro de uma instituição particular a docente diz que tempo é um problema, já que Física tem uma vasta linha de conhecimentos.

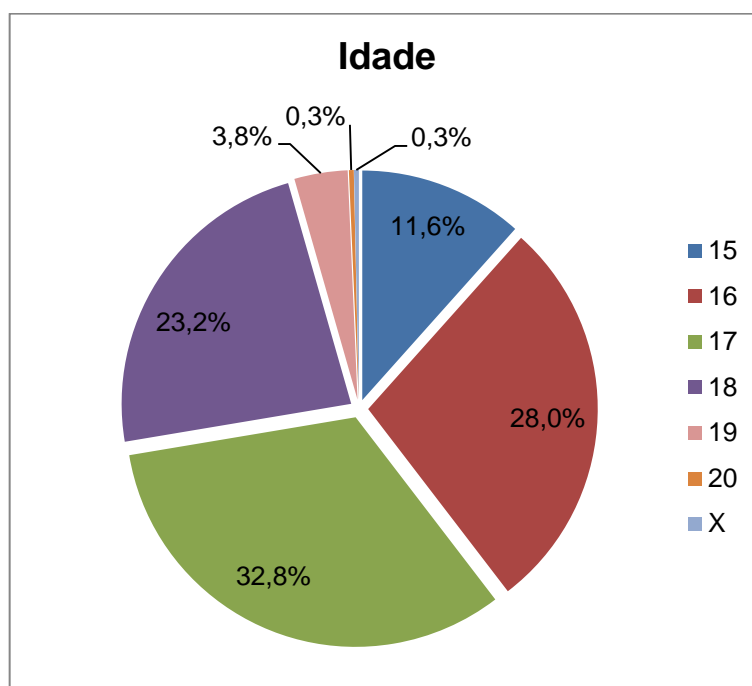
“A maior dificuldade é fazer mais aulas práticas, porque eu gostaria de fazer mais. Infelizmente há o problema do tempo. Em uma aula prática bem feita, os alunos recebem um roteiro onde constam os materiais que vão ser utilizados, o objetivo da aula, os procedimentos que vão ser feitos e as conclusões. Uma aula assim demanda, no mínimo, dois períodos, quando não mais pela necessidade de feedback. A prática dá sentido para o conceito, mas depois é preciso fazer exercícios sobre aquilo que eles entenderam”
(Docente de Física – Escola Particular, 2023).

Uma informação interessante relatada pela professora foi o fato de utilizar kits de equipamentos fabricados artesanalmente por alunos, os quais ela costuma utilizar em suas aulas, além de conjuntos que montou por conta utilizando peças compradas (por exemplo, dinamômetros) e algumas que coletou, como molas e blocos, entre outras.

4.2. Questionários

Englobando seis turmas de 1º ano, quatro de 2º e sete de 3º anos (conforme a disponibilidade de horários em cada instituição), foi possível coletar um total de 293 questionários, todos aplicados presencialmente sob a supervisão de um professor.

Figura 2 – Gráfico de idade dos participantes*.



Fonte: autora.

* A fração "X" significa que o aluno não quis informar sua idade.

Dentro do total de 293 participantes, 40% são estudantes de 1º ano, 18% de 2º e 42% de 3º e quando perguntados se gostavam da disciplina de Física, 77% assinalou que "sim" e 23% que "não". Acerca da justificativa sobre gostar ou não, sendo uma pergunta dissertativa, as respostas foram as mais variadas, mas foi possível organizá-las em categorias, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Categorias de interesse dos alunos na disciplina de Física.

<p>Facilidade e Gosto por Cálculos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tem facilidade com números e fórmulas ▪ Gosta de cálculos ▪ Tem facilidade em decorar fórmulas ▪ Gosta de raciocínio lógico ▪ Gosta de fórmulas, teorias e práticas
<p>Interesse nas Aplicações Práticas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matéria é importante para o futuro ▪ Muita dificuldade, alguns conteúdos fáceis ▪ Muito útil na vida cotidiana ▪ Importante para o curso técnico ▪ Importante para saber propagação de ondas e calor
<p>Interesse em Teorias e Explicações do Mundo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matéria faz pensar e raciocinar para entender cada vez mais ▪ Matéria interessante ▪ Gosta de entender como as coisas funcionam ▪ Gosta de astronomia, então gosta da matéria
<p>Apreciação do Professor</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Professor explica bem ▪ Professor é legal ▪ Professor torna a aula leve e interativa ▪ Professor excelente ▪ Professor interage com a turma, torna as aulas fáceis
<p>Desafios, Desinteresse e Dificuldades Gerais</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matéria exige bastante ▪ Matéria é chata ▪ Matéria é complicada ▪ Matéria não agrada e professor não ajuda a ter interesse ▪ Não gosta de cálculos ▪ Difícil de entender quando não é bem explicada ▪ Matéria é difícil ▪ Não é muito útil

Fonte: autora.

Por conta das mudanças trazidas com a efetivação do Novo Ensino Médio, os conteúdos abordados em cada ano foram estimados e separados da seguinte forma:

Quadro 4 – Divisão de conteúdos por ano letivo.

1º ANO	<ul style="list-style-type: none">▪ Cinemática e Movimento Uniformemente Variado (MUV)▪ Estática e Leis de Newton▪ Termologia (temperatura, calor, propagação do calor)▪ Óptica (óptica geométrica)
2º ANO	<ul style="list-style-type: none">▪ Trabalho, Energia e Potência▪ Gravitação▪ Termodinâmica▪ Óptica (óptica física)
3º ANO	<ul style="list-style-type: none">▪ Eletrostática▪ Eletrodinâmica (corrente elétrica, resistores, circuitos elétricos)▪ Campos Magnéticos▪ Indução eletromagnética▪ Ondulatória

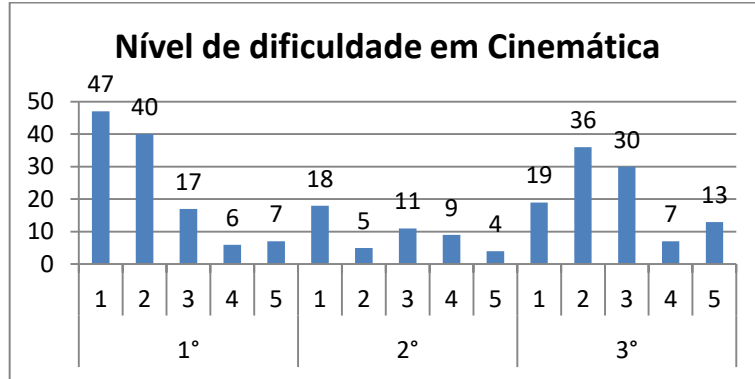
Fonte: autora.

Sob essa divisão, foi solicitado aos alunos que estimassem o nível de dificuldade que sentiram em relação a cada conteúdo. Para 2º e 3º anos pediu-se que também avaliassem conteúdos dos anos anteriores. Em vários casos foi observado que os alunos não lembravam ou não tiveram determinado conteúdo e em alguns casos tiveram o conteúdo em um ano diferente do que consta na divisão.

Avaliando as informações obtidas nas três escolas e agrupando os conteúdos na divisão indicada acima, foram gerados os gráficos de dificuldade por ano letivo (com a gradação entre 1 e 5, representando fácil e difícil respectivamente), sendo o eixo Y o número de estudantes e o eixo X dividido entre a dificuldade e o ano respectivo do aluno respondente.

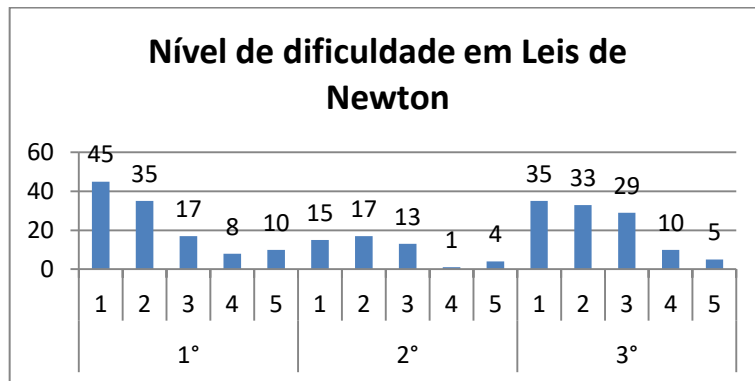
▪ **Conteúdos de 1º ANO:**

Figura 3 – Gráfico do nível de dificuldade em Cinemática.



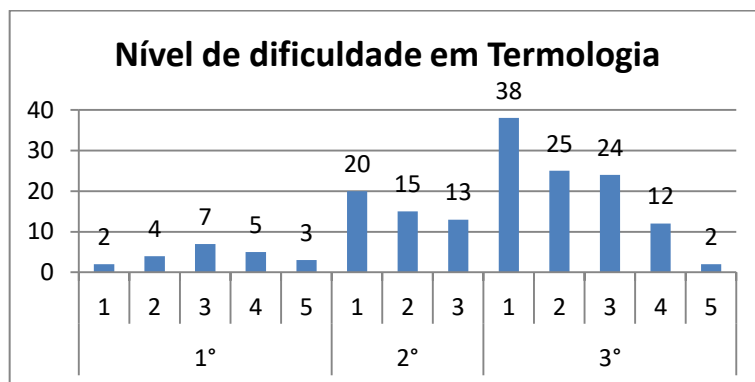
Fonte: autora.

Figura 4 – Gráfico do nível de dificuldade em Leis de Newton.



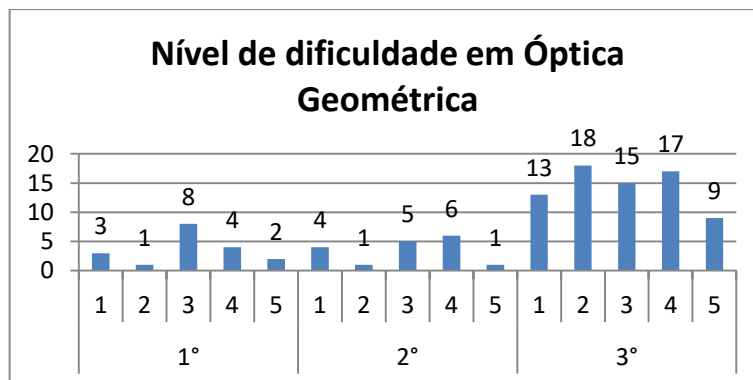
Fonte: autora.

Figura 5 – Gráfico do nível de dificuldade em Termologia.



Fonte: autora.

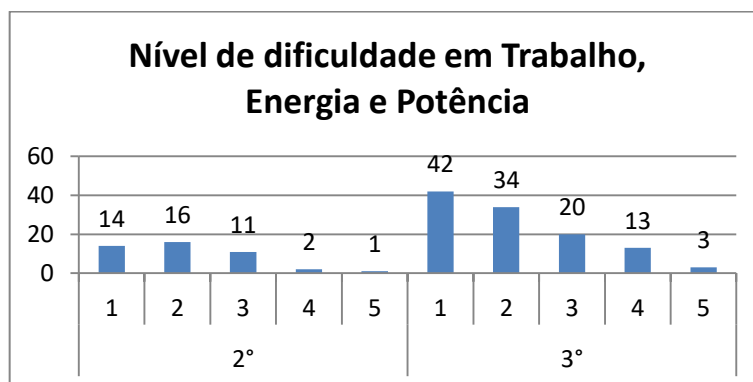
Figura 6 – Gráfico do nível de dificuldade em Óptica Geométrica.



Fonte: autora.

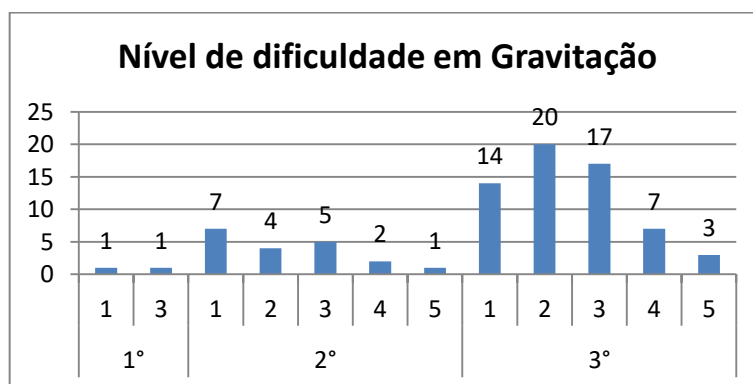
▪ **Conteúdos de 2º ANO:**

Figura 7 – Gráfico do nível de dificuldade em Trabalho, Energia e Potência.



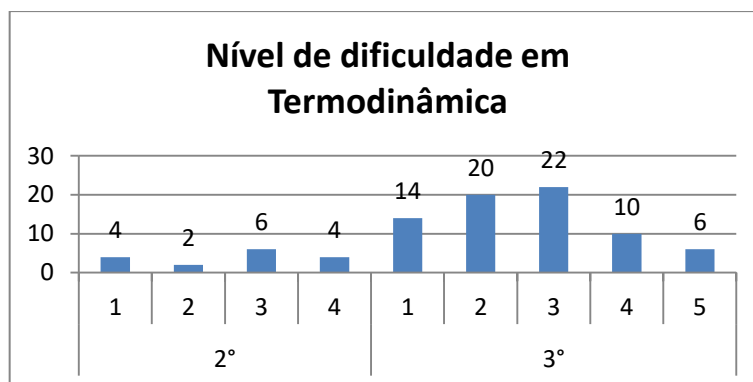
Fonte: autora.

Figura 8 – Gráfico do nível de dificuldade em Gravitação.



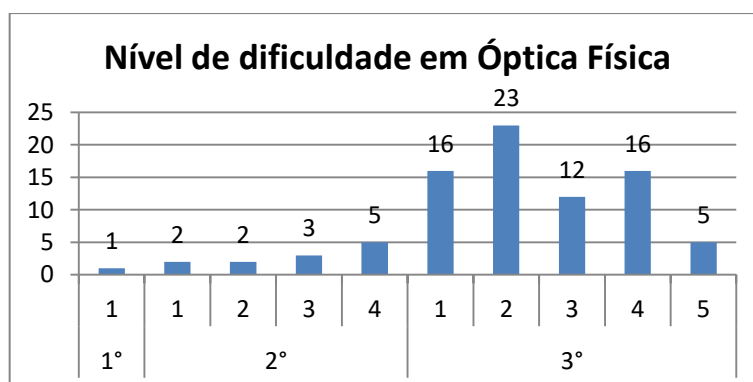
Fonte: autora.

Figura 9 – Gráfico do nível de dificuldade em Termodinâmica.



Fonte: autora.

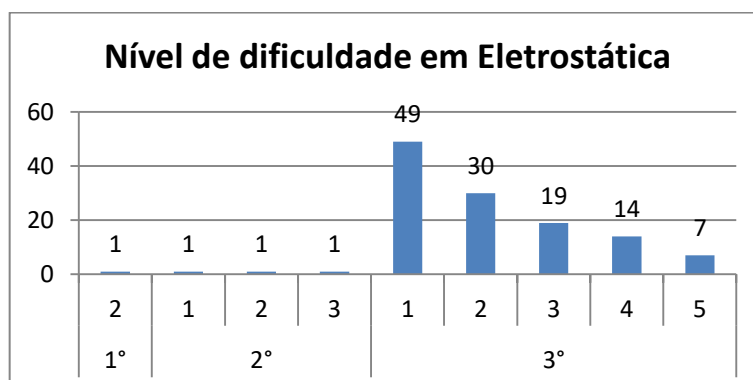
Figura 10 – Gráfico do nível de dificuldade em Óptica Física.



Fonte: autora.

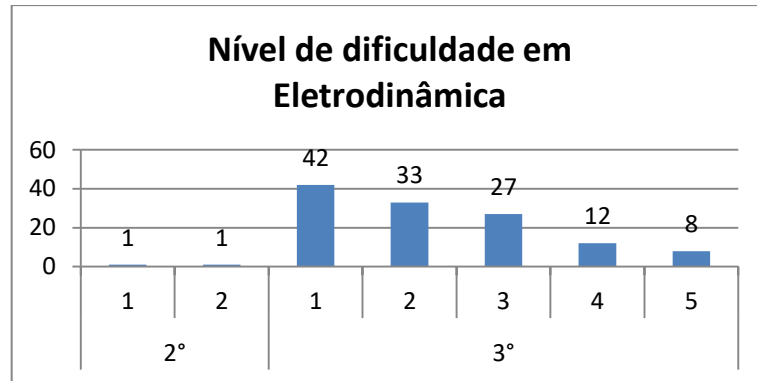
▪ **Conteúdos de 3º ANO:**

Figura 11 – Gráfico do nível de dificuldade em Estática.



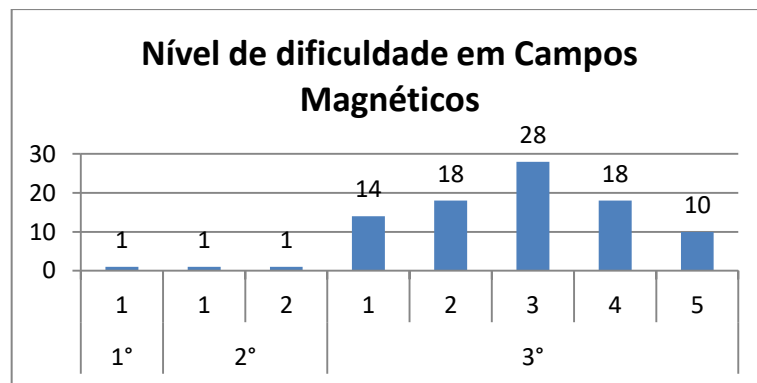
Fonte: autora.

Figura 12 – Gráfico do nível de dificuldade em Eletrodinâmica.



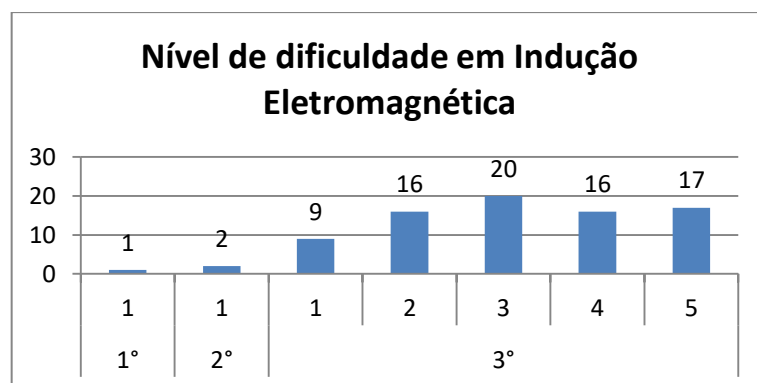
Fonte: autora.

Figura 13 – Gráfico do nível de dificuldade em Campos Magnéticos.



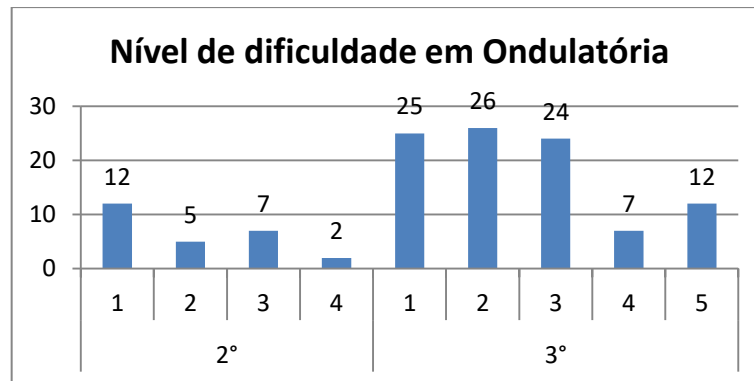
Fonte: autora.

Figura 14 – Gráfico do nível de dificuldade em Indução Eletromagnética.



Fonte: autora.

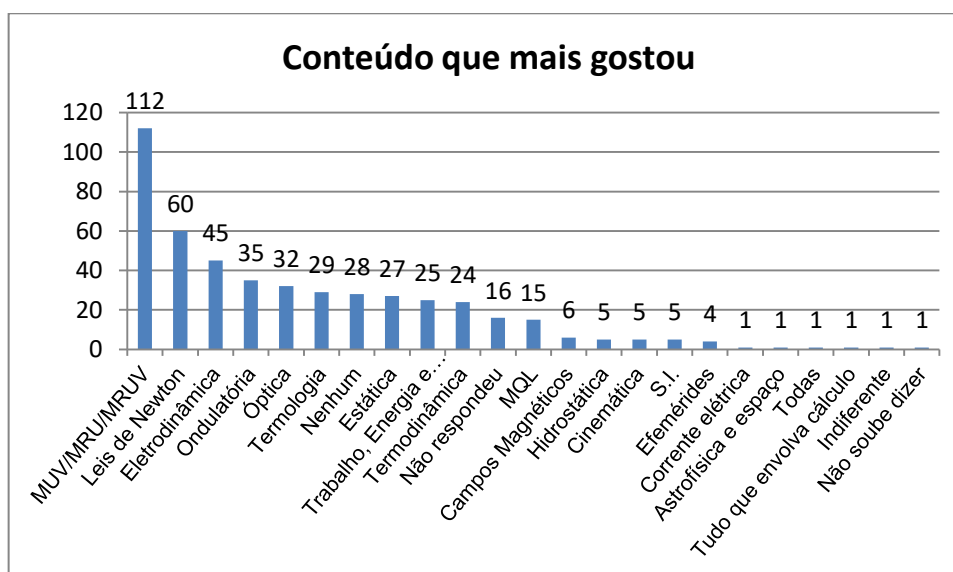
Figura 15 – Gráfico do nível de dificuldade em Ondulatória.



Fonte: autora.

Depois da avaliação dos conteúdos por nível de dificuldade, os estudantes foram indagados sobre qual conteúdo lhe tinha agradado mais e por qual motivo. A maioria dos alunos indicou apenas um conteúdo, mas alguns se sentiram inclinados a indicarem mais. Em contrapartida, houve alunos que não apontaram nenhum ou apresentaram respostas alternativas não esperadas inicialmente, como: Sistema Internacional de Unidades e Efemérides; no segundo caso, o professor responsável pelas turmas explicou que, ao iniciar um novo conteúdo, trazia para os alunos informações sobre acontecimentos interessantes relacionados ao dia a dia e que tivessem alguma ligação com a matéria.

Figura 16 – Gráfico sobre o conteúdo preferido dos alunos.



Fonte: autora.

Por fim os alunos foram questionados sobre o que gostariam que fosse mudado para gerar melhorias nas aulas. Sendo também esta uma abordagem dissertativa, as respostas novamente foram agrupadas e categorizadas:

- Aumento de práticas e demonstrações;
- Melhorias nas explicações;
- Melhorias na metodologia de ensino;
- Aumento de interatividade entre colegas e com professor;
- Aumento do número de aulas de Física;
- Vínculo com Cotidiano.

4.2.1. Considerações sobre o questionário

Acerca dos conteúdos e da divisão por ano pré-estabelecida pela autora, verificou-se que houve algumas discrepâncias. Na categoria de 1º ano, os conteúdos de Termologia e Óptica Geométrica tiveram pouca avaliação por parte dos alunos desse respectivo ano, concluindo-se que a massiva maioria não recebeu esses conteúdos em sala de aula. O mesmo ocorre na seleção prospectada para 2º ano, dificultando a identificação do conteúdo de maior complexidade para os alunos. Sobre os conteúdos de Cinemática e Leis de Newton os alunos apontaram uma notável facilidade, considerando as indicações de nível 1 e 2.

É possível observar que a maioria das respostas nos gráficos foi dada pelos estudantes de 3º ano, considerando que estes ainda podiam avaliar as dificuldades que sentiram em conteúdos dos anos anteriores.

Quanto ao conteúdo mais aprovado (Figura 16), houve um claro destaque em citações sobre o Movimento Uniformemente Variado (MUV) e suas variações (MRU e MRUV) com 112 apontamentos, seguido por Leis de Newton (60), Eletrodinâmica (45), Ondulatória (35) e Óptica (32). Dentro desses mencionados, é possível considerar que possam ser geradas alternativas experimentais para os conteúdos de maior apreciação, em vez de maior dificuldade.

Sobre a maior demanda dentro das sugestões de melhoria, contabilizou-se um total de 151 alunos solicitando mais práticas e demonstrações. Sobre isso, pondera-se que há tanto um vínculo direto quanto indireto entre esses dois termos, já que atividades práticas podem representar tanto demonstrações (ou simulações

digitais) ministradas pelo professor, sem a participação ativa dos alunos, quanto podem significar a execução de um experimento com o envolvimento da turma.

4.3. Laboratórios

Tratando-se da infraestrutura, não foi possível investigar diretamente as diferenças entre instituições públicas e particulares por conta da não-liberação dos colégios privados quanto ao acesso a suas instalações e pela negativa quanto à participação na pesquisa, como relatado previamente.

Em todas as instituições observou-se a presença de um laboratório de ciências e a visitação se deu com o acompanhamento de um profissional da escola e, mas o uso de cada laboratório varia, como pode-se ver na análise a seguir por sequência de escola.

4.3.1. Laboratório - Escola A

Imediatamente à porta percebe-se a identificação do laboratório como sendo de Química. Em uma verificação geral, a disposição de classes segue uma organização semelhante a usada em salas de aula tradicionais, salvo a presença de algumas bancadas laterais para apoio de equipamentos (Figuras 17, 18 e 19).

Figuras 17, 18 e 19 - Entrada e visão geral do laboratório (Escola A - POA).



Fonte: autora.

Na sequência seguinte de imagens (Figuras 20, 21 e 22) é possível constatar a presença de equipamentos únicos ao uso da disciplina de Química. Os mesmos estão dispostos sobre as bancadas e em alguns nichos, dividindo espaço com algum trabalho ocasional realizado por alunos.

Figuras 20, 21, e 22 - Equipamentos parciais disponíveis (Escola A - POA).



Fonte: autora.

Por fim, foi verificada a presença de uma saleta secundária (Figura 23) que serve de depósito para inúmeros produtos e substâncias que podem vir a ser usados em experimentos e demonstrações de Química.

Figura 23 - Depósito de suprimentos químicos (Escola A - POA).



Fonte: autora.

Como já havia sido informado pela vice-diretora da Escola A, o espaço não conta com nenhum equipamento para a disciplina de Física por conta da falta de uso e demanda.

4.3.2. Laboratório - Escola B

Na visita acompanhada ao laboratório da Escola B, observou-se que a porta do laboratório identifica-o como sendo geral de ciências. Internamente a composição do espaço conta com a presença de três longas bancadas ladeadas por bancos altos, acomodando nichos inferiores com alguns equipamentos e trabalhos antigos produzidos por alunos (Figuras 24, 25 e 26).

Figuras 24, 25 e 26 - Entrada e visão geral do laboratório (Escola B - NH).



Fonte: autora.

Na sequência abaixo se observam (da esquerda para a direita nas Figuras 27, 28 e 29) armários para armazenamento de equipamentos de Química e estandes com aparelhos e amostras de Biologia. Sobre algumas bancadas periféricas estão dispostos alguns trabalhos de Química e Biologia confeccionados pelos estudantes. Novamente não se observou a presença de nenhum equipamento próprio para práticas da disciplina de Física.

Figuras 27, 28 e 29 - Bancadas, armários e equipamentos (Escola B - NH).



Fonte: autora.

5. ANÁLISE SINCRÔNICA DE SIMILARES

A análise sincrônica consiste em uma verificação de produtos disponíveis no mercado que realizam a atividade da maneira mais próxima possível daquela almejada em funcionalidade para o presente projeto. Levando em consideração a análise dos dados coletados durante a pesquisa exploratória, foram investigados e selecionados similares de diferentes níveis de complexidade, composição, confecção, acessibilidade, interatividade, exploração e atratividade. Os similares estão representados e analisados nos quadros a seguir (Quadros 5 a 10).

5.1. Similar A

O kit foi projetado dentro da linha educacional da LEGO Education BricQ Motion para engajar alunos do Ensino Fundamental na experimentação de forças, movimentos e interação no contexto de esportes; sua proposta é promover a compreensão de conceitos da Física, proporcionando experiências fáceis, de aprendizagem prática e sem a necessidade de tecnologia. Propõe a investigação de forças e o uso de evidências para resolver problemas. Seu preço médio é de R\$3.100,00.

Quadro 5 – Similar A.

Nome: Lego Education - Conjunto BricQ Motion Essential - Fundamental I



Análise Estrutural	Caixa para armazenamento e 523 peças poliméricas coloridas de encaixe modular, incluindo engrenagens, pesos, minifiguras, molas, etc. Apresenta bandejas de classificação, codificadas por cores e inclui peças de reposição.
Análise Funcional	Segue a funcionalidade de um lego tradicional e permite a montagem de estruturas diferenciadas que são sugeridas pelo manual de instruções que acompanha o kit. Permite montagens que exploram movimento, causa e efeito, equilíbrio, entre outros. Rápida interação, montagem e arrumação pós-experimento. Permite interação em grupo.
Análise Morfológica	Peças pequenas de formatos variados (quadradas, redondas, retangulares, trapezoidais, dentadas, etc) com sulcos e protuberâncias de encaixe modular. Bonecos articulados para interação com cenários montados. Cabos finos para conexão.

Fonte: autora.

5.2. Similar B

Conjunto básico para física experimental nas áreas de mecânica, eletricidade e magnetismo, ondulatória, ótica e termodinâmica. Atende de maneira abrangente aos ensinos fundamental e médio. Acompanha manuais de montagens e experimentos que auxiliam os professores e alunos a interagirem com os equipamentos de forma segura e eficaz. Seu preço médio é de R\$6.800,00.

Quadro 6 – Similar B.

Nome: Kit de Física - Conjunto Básico para Física Experimental	
Análise Estrutural	Kit acompanha hastes e corpos metálicos, dinamômetros, densímetro, molas, lentes, roldanas, paquímetro, termômetro, trena, cronometro, espelhos, cartilhas, componentes elétricos e eletrônicos, entre outros.
Análise Funcional	Permite exploração de atividades com pesos, medidas, lei de Hooke, cinemática, óptica, termodinâmica, empuxo, indução, campos magnéticos, eletrodinâmica, entre outros. Contém um número exato de peças para cada experimento, podendo ser usado em demonstrações por um professor ou em práticas de grupo (um kit por grupo).
Análise Morfológica	Muita variedade de formas por conta da quantidade de componentes. As peças variam entre discos, hastes, blocos, cabos, cilindros, lâminas, etc.

Fonte: autora.

5.3. Similar C

Desenvolvido pela empresa Carolina, o kit propõe aos alunos que investiguem como os motores usam interações elétricas e magnéticas para converter energia elétrica em energia cinética e aborda como mudanças podem ser feitas para fazer um motor simples girar mais rápido. Incentiva exploração e debate em sala de aula, oferecendo material suficiente para dez grupos trabalharem simultaneamente. Seu preço médio é de US\$120,00.

Quadro 7 – Similar C.

Nome: Kit de Motores - Carolina STEM Challenge	
 The image shows the 'Carolina STEM Challenge Motors' kit. On the left, there is a collection of components including several blue plastic motor housings, colorful spools of wire, and various electronic parts. In the center is the kit's packaging, a white box with a colorful design and the text 'Carolina STEM Challenge Motors'. To the right, a completed simple motor is shown, consisting of a blue plastic housing with a central coil of wire and a red wire loop attached to it.	
Análise Estrutural	O kit é composto por baterias de célula D, fios de cobre e esmaltados, ímãs e nichos poliméricos com peças metálicas. Inclui recursos digitais além de um manual para professores e estudantes.
Análise Funcional	Propõe-se com o kit construir e testar um protótipo simples de motor eletromagnético usando as peças disponíveis. Explora princípios do eletromagnetismo para projetar, construir e avaliar um motor elétrico simples utilizando conhecimentos de campos magnéticos, eletroímãs e transformações de energia.
Análise Morfológica	Baterias cilíndricas, carretéis de fio fino de cobre e esmaltado, ímãs coloridos em forma de disco, nichos azuis retangulares com lâminas metálicas nas extremidades e com recorte em meia lua na lateral para abrigar as baterias e facilitar a montagem e desmontagem.

Fonte: autora.

5.4. Similar D

Oferecido pela empresa LumiLabor, o minilaboratório busca incluir uma vasta gama de equipamentos para diversas práticas experimentais, possibilitando a reposição de qualquer material que compõe o conjunto (principalmente consumíveis) e permitindo o trabalho em grupo sobre mesas ou bancadas. Seu preço médio é de R\$9.100,00.

Quadro 8 – Similar D.

Nome: Laboratório Portátil De Física	
Análise Estrutural	Armário de madeira tratada e envernizada com rodízios, alça para transporte, dobradiças e fechadura com chaves; contém manual e materiais diversos de medida, consumíveis e estruturais.
Análise Funcional	Pode ser utilizado em qualquer sala de aula e permite a realização de inúmeros experimentos, adapta-se a qualquer livro-texto, pode ser usado por grande número de alunos.
Análise Morfológica	Armário em forma de caixa retangular (dimensões 80 X 65 x 32 cm) com fendas para circulação de ar na parte traseira. Aberto o armário deixa todos os produtos com fácil acesso, organizados em seis gavetas removíveis podendo retirá-las do armário. A morfologia das peças internas é muito variada por serem produtos de diversificada aplicação.

Fonte: autora.

5.5. Similar E

Com uma manufatura simplificada e criativa produzida pela YinHu Toys, o produto pode ser confundido com um brinquedo pela sua simplicidade. Desenvolvido com um layout simplificado, é enviado para o usuário desmontado em chapas pré-cortadas a laser acompanhadas de periféricos eletrônicos. Seu preço médio é de R\$45,95.

Quadro 9 – Similar E.

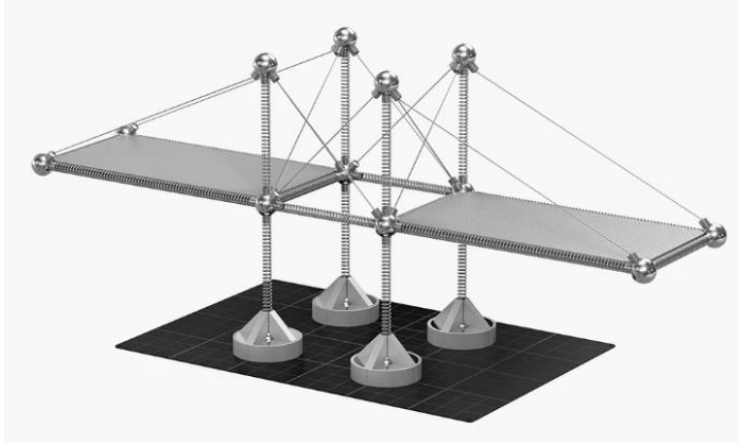

Nome: Gerador de energia artesanal	
	
Análise Estrutural	Peças pré-cortadas a laser em lâminas de madeira, lâmpada polimérica de LED com conexão USB, componentes eletrônicos e correia pequena.
Análise Funcional	Aborda de uma forma simples e facilitada a transformação de energia cinética em energia elétrica. Acompanha manual de montagem e manuseio para o usuário. O acionamento da lâmpada, após montagem, ocorre com a movimentação da polia maior através de uma pequena manivela operada pelo usuário.
Análise Morfológica	Peças de madeira com formas básicas (círculo, retângulo, triângulos de quina superior arredondada, etc) com pré-furos para colocação de parafusos e encaixes dentados; base com recortes para encaixe; lâmpada com bulbo misto de polímero fosco e vermelho, sem contato com rosca metálica. Montado tem as dimensões 12x15x8,5 cm.

Fonte: autora.

5.6. Similar F

Como o nome sugere, Mola Education oferece algumas alternativas de kit de molas e ímãs que, através de diferentes combinações entre seus componentes, explora um modelo físico interativo que simula o comportamento de estruturas arquitetônicas. Pode ser manuseado em grupo e utiliza bem a modularidade. Seu preço médio é de R\$800,00.

Quadro 10 – Similar F.





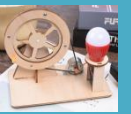

Nome: Kit Estrutural Mola 1	
	
Análise Estrutural	É composto por 122 peças majoritariamente metálicas imantadas e acompanha manual que explica sobre as peças e as possíveis montagens, além de incluir explicações didáticas sobre sistemas estruturais.
Análise Funcional	Permite montar diferentes sistemas estruturais, visualizar os movimentos e deformações de seus elementos. Não requer conhecimento técnico prévio por ser de uso simples e instintivo. Permite a verificação do comportamento de estruturas quando sofrem deformações após serem submetidas a forças externas.
Análise Morfológica	Esferas de metal pequenas imantadas e polidas, molas pequenas e grandes de diâmetro reduzido, cabos finos com pontas imantadas, conectores trapezoidais pequenos, bases discais e placas retangulares.

Fonte: autora.

5.7. Avaliação de similares

Com o propósito de comparar os similares listados anteriormente, foram julgados alguns aspectos relevantes ao projeto de modo que os mesmos se tornem importantes para a geração de alternativas. Foram dadas notas de 1 a 5 para cada aspecto avaliado.

Tabela 3 – Avaliação de similares por critérios.

	 Similar A	 Similar B	 Similar C	 Similar D	 Similar E	 Similar F
Estrutura	4	5	2	5	2	5
Funcionalidade	3	5	3	4	2	5
Morfologia	3	4	2	3	2	4
Usabilidade	4	5	3	5	2	4
Atratividade	4	5	2	2	1	4
Custo	1	1	2	1	5	2
Resistência	5	3	2	3	2	5
Durabilidade	4	4	3	3	3	5
MÉDIA	3,5	4	2,25	3,25	2,375	4,125

Fonte: autora.

É possível observar que os similares mais destacados por suas médias (Similares B e F) exploram uma combinação de fatores favoráveis, principalmente quanto a aspectos estruturais, já que permitem aos usuários uma maior gama de exploração de possibilidades dentro de suas respectivas propostas funcionais, além da atratividade estética e montagem relativamente intuitiva.

6. ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

6.1. Definição do público-alvo

A proposta original de público-alvo envolvia três esferas: estudantes, docentes e direção escolar. Contudo, observando os dados coletados nos questionários e entrevistas, o público-alvo será redefinido em docentes e estudantes, sendo primário e secundário, respectivamente. Essa escolha se dá por conta da probabilidade de presença de PcD (pessoa com deficiência) entre os alunos, o que torna a experimentação algo muito complexo pela dificuldade de prever o tipo de deficiência presente (física/motora, intelectual/mental, visual, auditiva ou múltipla). Sendo assim, o professor fica responsável por conduzir o experimento, auxiliando no manuseio do equipamento durante a montagem e a execução do mesmo.

A direção escolar abordada deixou esclarecido que as instituições dependem majoritariamente de verba disponibilizada pelo governo do estado e a mesma é designada em grande parte para investimento e manutenção de infraestrutura, não priorizando equipamento para disciplinas individualmente.

6.2. Necessidades e requisitos dos usuários

Partindo dos dados analisados sobre as dificuldades e anseios do público-alvo, obtidos através das entrevistas e questionários, foram determinadas as necessidades e os requisitos dos usuários.

Quadro 11 – Necessidades e Requisitos de Usuário.

Necessidades de usuário	Requisitos de usuário
Gerenciar atividades em pouco tempo	<ul style="list-style-type: none">▪ Facilitar a montagem e execução
Instigar exploração e descoberta	<ul style="list-style-type: none">▪ Permitir a permuta de peças▪ Utilizar diferentes materiais▪ Ser resistente
Melhorar a explicação dos conteúdos	<ul style="list-style-type: none">▪ Ser fácil de manusear e compreender▪ Ser simples e prático

Necessidades de usuário	Requisitos de usuário
Atrair a atenção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Explorar interatividade ▪ Utilizar atrativos visuais de cores e formas ▪ Instigar a experiência tátil
Vincular teoria com situações do cotidiano	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar objetos do cotidiano ▪ Utilizar peças de fácil reposição ▪ Utilizar formas de fácil reconhecimento
Gerar maior interatividade com colegas e professor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar recursos agregáveis e subtrativos ▪ Permitir exploração em diferentes cenários
Relacionar teoria e prática	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar formas de fácil reconhecimento ▪ Facilitar gatilhos cognitivos e físicos
Ter acesso a recursos e equipamentos acessíveis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar materiais acessíveis ▪ Utilizar peças de fácil reposição
Adaptar a aula ao equipamento e espaço disponível	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilitar o transporte ▪ Otimizar o tamanho e peso ▪ Permitir a permuta de peças ▪ Ser resistente

Fonte: autora.

Para determinar uma hierarquia de importância entre os requisitos, será aplicada uma variação do Diagrama de Mudge: uma matriz onde as colunas e as linhas são compostas pelos requisitos de usuário, formando uma matriz quadrada, onde se compara cada um dos requisitos das linhas com todos os requisitos das colunas, um a um, exceto os iguais (que formam a diagonal da matriz). Os graus de comparação foram 5 (“Mais importante que”), 3 (“Tanto importante quanto”) e 1 (“Menos importante que”).

Tendo sido aplicado o Diagrama de Mudge (Apêndice K), os requisitos ficaram organizados na hierarquia apresentada pela Tabela 4.

Tabela 4 – Pontuação por ordem de relevância dos Requisitos de Usuário.

Pontuação (%)	Requisito de Usuário
7,73	Ser simples e prático
7,52	Facilitar o transporte
7,30	Ser fácil de manusear e compreender
7,08	Facilitar a montagem e execução
7,08	Otimizar o tamanho e peso
6,43	Facilitar gatilhos cognitivos e físicos
6,43	Utilizar peças de fácil reposição
6,21	Utilizar formas de fácil reconhecimento
5,99	Permitir a permuta de peças
5,99	Utilizar objetos do cotidiano
5,77	Utilizar materiais acessíveis
4,90	Permitir exploração em diferentes cenários
4,47	Utilizar atrativos visuais de cores e formas
4,47	Ser resistente
3,81	Explorar interatividade
3,16	Utilizar diferentes materiais
3,16	Utilizar recursos agregáveis e subtrativos
2,51	Instigar a experiência tátil

Fonte: autora.

6.3. Requisitos de projeto

Tendo sido definidos os requisitos dos usuários, é necessário gerar os requisitos de projeto.

Quadro 12 – Requisitos de Projeto.

Requisitos de usuário	Requisitos de projeto
Facilitar a montagem e execução	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possuir poucas peças ▪ Incluir instruções claras de uso
Permitir a permuta de peças	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ser modular ▪ Possuir encaixes
Utilizar diferentes materiais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possuir peças de madeira ▪ Possuir peças metálicas ▪ Possuir peças acrílicas/poliméricas

Requisitos de usuário	Requisitos de projeto
Ser resistente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar materiais de baixa deformidade ▪ Utilizar materiais com boa resistência à fadiga ▪ Ser resistente a impactos
Explorar interatividade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar botões, alavancas ou gatilhos
Utilizar atrativos visuais de cores e formas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Explorar formas orgânicas e divertidas ▪ Utilizar cores vibrantes
Instigar a experiência tátil	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apresentar diferentes níveis de rugosidade ▪ Utilizar materiais com diferentes percepções térmicas
Ser fácil de manusear e compreender	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilitar a pega ▪ Facilitar o acionamento ▪ Manter partes perigosas isoladas
Ser simples e prático	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sinalizar encaixes ▪ Apresentar poucas etapas
Utilizar objetos do cotidiano	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permitir adição de peças externas ▪ Prever encaixes alternativos
Utilizar recursos agregáveis e subtrativos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permitir encaixes consecutivos ▪ Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade
Utilizar formas de fácil reconhecimento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fazer uso de morfologia análoga ao cotidiano
Utilizar materiais acessíveis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar consumíveis de custo acessível
Utilizar peças de fácil reposição	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propor materiais de aquisição facilitada ▪ Facilitar manutenção
Permitir exploração em diferentes cenários	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contar com armazenamento que possa transportar o conjunto de peças ▪ Permitir o uso em diferentes superfícies
Facilitar gatilhos cognitivos e físicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fazer uso de composições análogas ao cotidiano
Facilitar o transporte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ser armazenável ▪ Possuir alça
Otimizar o tamanho e peso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gerar peças de diferentes tamanhos ▪ Utilizar materiais leves ▪ Delimitar número máximo de peças

Fonte: autora.

Com o propósito de hierarquizar também os requisitos de projeto, foi aplicada a Matriz da Casa da Qualidade - QFD (*Quality Function Deployment*) utilizando a pontuação dos requisitos dos usuários presente no Quadro 12, determinada por meio do Diagrama de Mudge. Os graus de comparação utilizados foram 9 (“Alta relação”), 3 (“Relação mediana”), 1 (“Baixa relação”) e 0 (“Sem relação”). A matriz completa está disponível no Apêndice L.

Os requisitos mais pontuados, que auxiliarão no direcionamento das futuras etapas de desenvolvimento do projeto, seguem conforme a ordem apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Pontuação dos Requisitos de Projeto.

Pontuação (%)	Requisito de Projeto
5,63	Facilitar a pega
4,41	Sinalizar encaixes
4,14	Facilitar o acionamento
4,02	Fazer uso de composições análogas ao cotidiano
3,98	Fazer uso de morfologia análoga ao cotidiano
3,96	Delimitar número máximo de peças
3,94	Incluir instruções claras de uso
3,73	Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade
3,66	Utilizar materiais leves
3,59	Possuir encaixes

Fonte: autora.

7. CONCEITO DO PROJETO

Determinados os requisitos de usuário e de projeto, considerando o contexto das escolas e dos usuários, foi possível elaborar uma nuvem de palavras com os termos mais relevantes verificados ao longo da pesquisa.

Figura 30 – Nuvem de palavras do conceito.



Fonte: autora.

A grandeza das palavras presentes na nuvem foi ponderada de acordo com a frequência de menções e pela relevância ao projeto. Sendo assim, as palavras de maior destaque foram **Tempo**, **Compreensão**, **Cotidiano** e **Interatividade**.

Essas palavras foram selecionadas para fundamentar o conceito do projeto porque tornam a enfatizar que Física não é algo distante ou separado do mundo **cotidiano**, mas sim algo que permeia todas as nossas experiências, e que pode ser explorado e **compreendido** através de uma abordagem educacional mais integrada e **interativa**, observando-se a otimização do **tempo** disponível.

Após a definição do conceito, seguiu-se para a elaboração das ferramentas de apoio para a geração de alternativas: painéis semânticos e personas.

7.1. Painéis Semânticos

Para conduzir o processo criativo da presente etapa, foram elaborados três painéis semânticos, ou *moodboards*, tendo como finalidade servir de referência estético-funcional-simbólica para a elaboração de alternativas.

O primeiro painel tem como função a Expressão do Produto, buscando indicar as sensações e emoções que o produto intenciona despertar nos usuários. A intenção do produto final é despertar nos alunos a **curiosidade** por algo que seja

divertido, de modo se sejam instigados a **explorar** e **interagir** espontaneamente por fugir dos padrões de estudo da sala de aula. Também é preciso que transmita **clareza** de execução e manuseio, sendo **prático** e **versátil** para não ficar engessado a uma única configuração que perca a atratividade em pouco tempo. A fim de trazer uma sensação de **deslumbre**, o kit precisa funcionar como um pequeno **espetáculo**, de modo a cativar e ampliar o interesse do público ao trazer uma nova configuração de um experimento que pareça comum aos olhos.

Figura 31 – Painel Expressão do Produto.



Fonte: autora.

O segundo painel, Estilo de Vida, como o próprio nome indica, propõe-se a apresentar o estilo de vida dos usuários, incluindo momentos de rotina que englobem a possibilidade de uso do produto.

Conforme foi verificado ao longo da pesquisa, os **professores** costumam enfrentar uma rotina **sobrecarregada** para executar tudo que se propõe a fazer. Seja em uma **sala de aula** ou **laboratório**, eles se dedicam para conseguir vencer a **falta de tempo** e a **distração** presente no **cotidiano** dos alunos. Esses, por sua vez, tendem a enfrentar a carga de **materiais escolares** e conteúdos em grupos, **turmas**, seja por necessidade ou por afinidade.

Figura 32 – Painel Estilo de Vida.

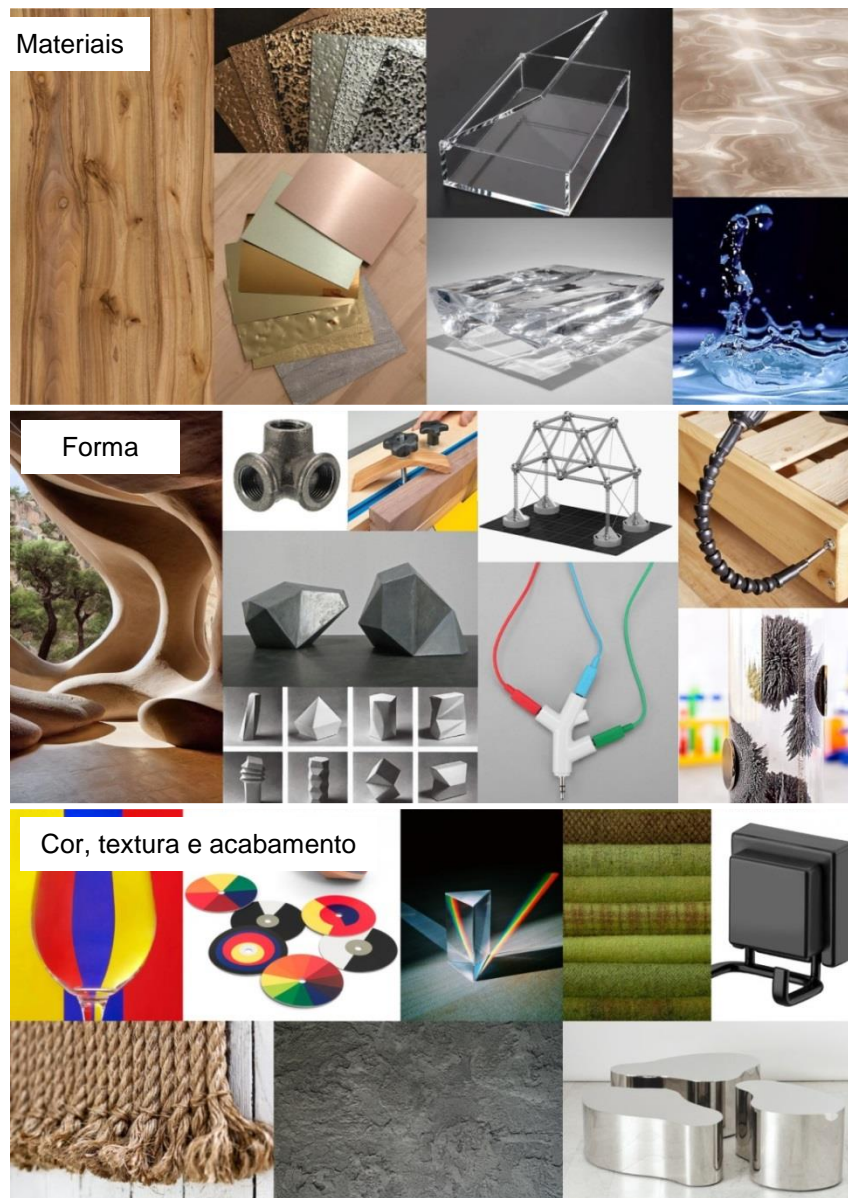


Fonte: autora.

Por fim o painel Tema Visual indica como será orientada a estética desejada para o produto. Este painel será dividido em três pares: 1) Materiais; 2) Forma e 3) Cor, textura e acabamento.

Em Materiais, a intenção é explorar opções versáteis, mas que sejam estáveis e duráveis, como madeira, metais ou polímeros resistentes. A Forma é mais ampla, já que o experimento não foi previamente definido, mas pretende-se trazer facilidade na montagem, com encaixes claros e seguros. Por fim, o acabamento de cores e texturas vai depender em parte dos materiais utilizados, mas investindo em atratividade estética para fugir do padrão de experimentos tradicionais.

Figura 33 – Painel Tema Visual.


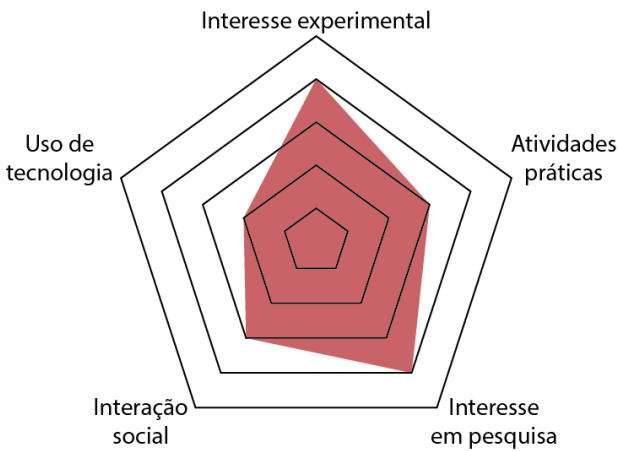


Fonte: autora.

7.2. Personas

Segundo Alan Cooper (1999), personas são descrições detalhadas do imaginário construído a partir de pessoas bem definidas, que são o resultado de dados de pesquisas com pessoas reais. Para contribuir com o direcionamento da geração de alternativas, optou-se por gerar três personas que pudessem representar o público-alvo do projeto, sendo essas uma professora e dois estudantes, conforme mostram os quadros 13, 14 e 15.

Quadro 13 – Persona 1.

Rosângela (58 anos)	
<p>Moradora do bairro Operário em Novo Hamburgo, Rosângela atua como professora de Física do Ensino Médio há mais de 30 anos, trabalhando a maior parte da sua carreira em escolas públicas.</p> <p>Seu foco disciplinar é teórico. Ela acredita firmemente na importância dos fundamentos tradicionais de ensino, como aulas expositivas e exercícios escritos, preferindo métodos de ensino mais familiares, os quais contrastam com a realidade mais avançada e tecnológica de seus alunos. Acha equipamentos experimentais interessantes, mas tem dificuldade para lidar com eles e preparar aulas práticas. Apesar de suas dificuldades com as tecnologias atuais, ela percebe a importância de inovar e já pensou em agregar recursos mais atrativos em suas aulas, mas por conta da falta de tempo útil e de recursos, não consegue realizar um planejamento mais dinâmico e trazer novidades para as aulas.</p>	
Objetivos	<ul style="list-style-type: none">• Deseja expandir seu repertório didático experimental para não ficar obsoleta no meio escolar;• Entender melhor a tecnologia e seus recursos;• Ser valorizada e reconhecida por seus alunos e colegas mais jovens.
 <p>The radar chart displays five dimensions: Interesse experimental, Atividades práticas, Interesse em pesquisa, Interação social, and Uso de tecnologia. The chart shows varying levels of interest across these dimensions, with 'Interesse experimental' and 'Interesse em pesquisa' showing the highest levels, and 'Uso de tecnologia' showing the lowest.</p>	

Fonte: autora.

Quadro 14 – Persona 2.

Augusto (16 anos)

Mora no bairro Partenon em Porto Alegre com os pais e um irmão caçula. Atualmente está no 2º ano do Ensino Médio em um colégio estadual do bairro.

É hiperativo, sociável e prefere estar com seus amigos e colegas. Tem bastante curiosidade em descobrir coisas novas. Gosta de praticar atividades ao ar livre, como skate, futebol e parkour, mas ama jogos digitais.

Gosta muito dos seus momentos no colégio, mas tem a tendência de ficar entediado durante as aulas tradicionais e se distrai com facilidade.

Sempre teve dificuldade em disciplinas com muita teoria científica e acha tedioso ficar repetindo cálculos e fórmulas no caderno, mas tem curiosidade em saber como as coisas do dia a dia funcionam de forma prática e objetiva, então assiste muitos vídeos na internet sobre experimentos explicativos e tutoriais.

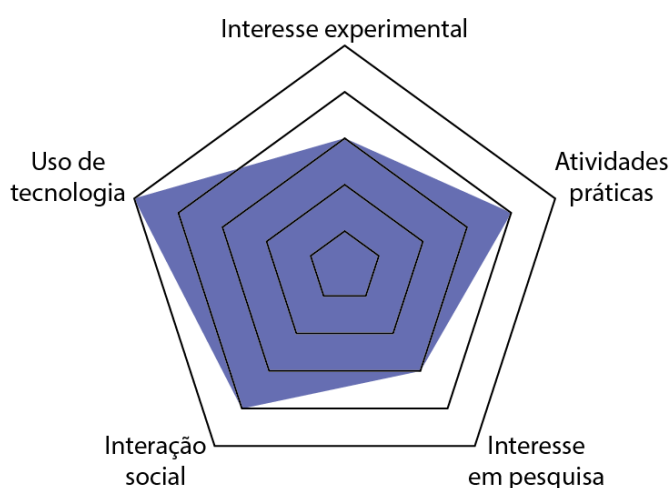
Acha interessante e útil quando consegue vincular alguma coisa que aprendeu nas suas atividades diárias.

Diferencia-se dos amigos na curiosidade em programação, já que gosta de funções algorítmicas e lidar com componentes eletrônicos.



Objetivos

- Trabalhar com desenvolvimento de jogos realistas;
- Explorar possibilidades fora da sala de aula;
- Aproveitar ao máximo suas experiências colegiais e sociais.



Fonte: autora.

Quadro 15 – Persona 3.

Tatiana (19 anos)

Mora no bairro São Geraldo com a mãe, a avó e três irmãos menores. Aluna do 3º ano noturno do Ensino Médio de escola pública.

Durante o dia trabalha meio período como aprendiz em uma empresa de testes e controle de qualidade e no restante do tempo ajuda a cuidar da casa e dos irmãos, não tendo muito tempo livre.

Graças ao trabalho, tem contato com equipamentos eletrônicos de medição e análise de dados.

Gosta dos conteúdos e da teoria de Física, além de Química e Matemática, mas não se sente confortável com trabalhos em grupo. Não tem muitos amigos no colégio porque seus interesses não fecham com os de seus colegas.

Sendo introvertida, não conversa muito, mas está sempre disposta a aprender tudo que pode em sala de aula, já que o tempo disponível é precioso na sua semana.

Adora estudar, ler livros e andar de bicicleta nos fins de semana.

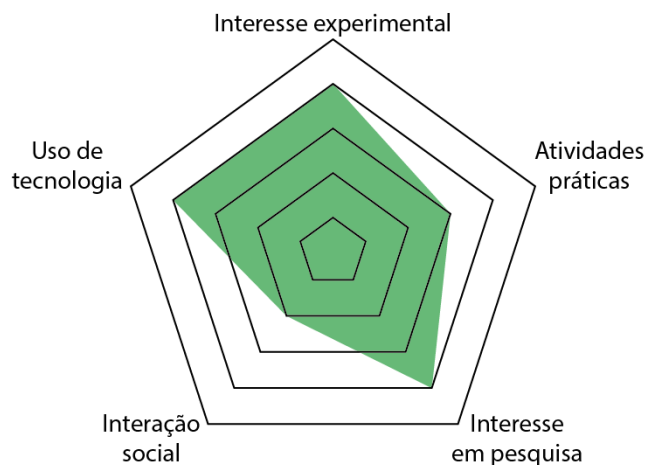
Prefere ambiente com pouca gente e silencioso; apesar do caos diário, adora estar com a família.

Gostaria de cursar alguma graduação com ampla oferta de emprego, mas dentro da área de exatas. Tem curiosidade nas possibilidades de aplicação prática para seus conhecimentos teóricos.



Objetivos

- Deseja melhorar suas habilidades sociais e trabalho em grupo;
- Continuar estudando e seguir carreira acadêmica;
- Investir seu conhecimento em testes e aplicações laboratoriais.

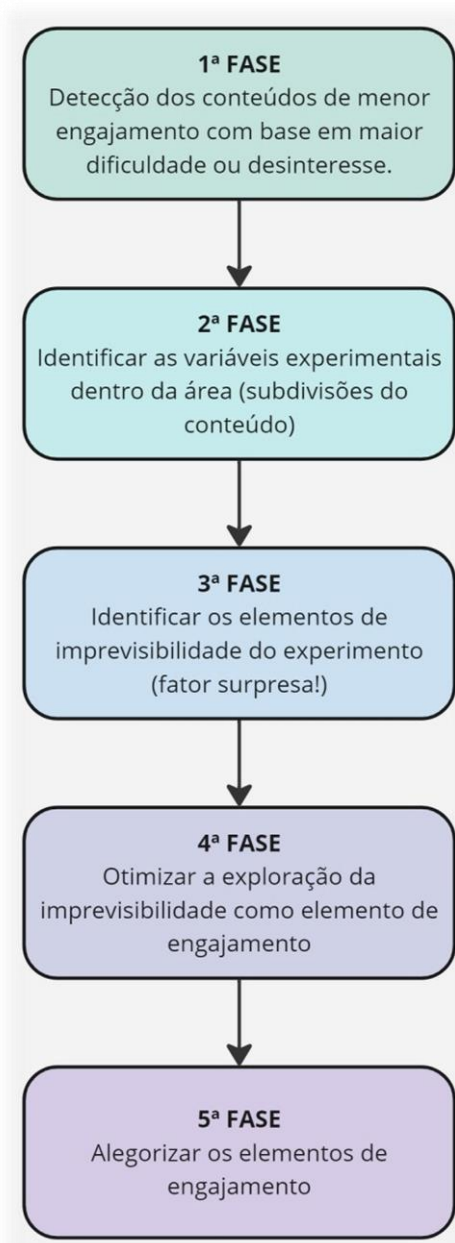


Fonte: autora.

8. GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

Para iniciar a geração de alternativas, optou-se pela orientação por meio de uma estratégia didática para gerar engajamento em experimentos de Física. Através dessa estratégia, seria possível explorar quais equipamentos seriam viáveis para compor o kit. Para isso, foram pensadas as seguintes etapas:

Figura 34 – Diagrama para estratégia de engajamento experimental.

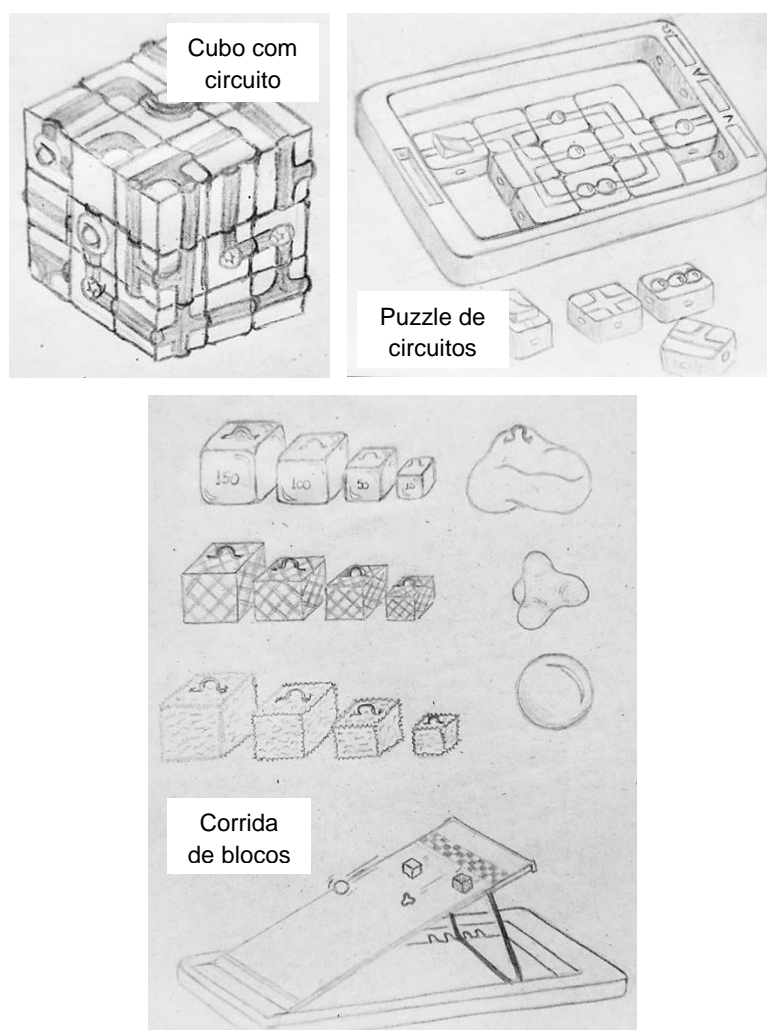


Fonte: autora.

Partindo da 1ª Fase, conforme foi observado através da coleta e análise de dados, não foi possível determinar um conteúdo específico de maior desinteresse ou dificuldade para cada ano letivo, já que há muita discrepância entre quais conteúdos são vistos em cada série. Entre os conteúdos menos votados como favoritos no gráfico da Figura 16 estão: Hidrostática, Campos Magnéticos, MQL (Movimento de Queda Livre), Termodinâmica e Trabalho, Energia e Potência. Considerando as possibilidades experimentais desses conteúdos, há certa complexidade para englobar práticas que usem partes similares, já que um dos requisitos de projeto é delimitar o número de peças.

Inicialmente foram elaboradas *sketches* prévias por meio de *braintorm*, sem pretensões quanto ao conteúdo, forma ou complexidade. As mesmas podem ser observadas nas figuras a seguir.

Figuras 35, 36 e 37 – Sketches iniciais.



Fonte: autora.

Considerando que as alternativas prévias apresentaram caráter mais direcionado para uma única área (Eletrodinâmica, Cinemática e Leis de Newton), com pouca exploração, baixa atratividade, mínima interação em grupo e se assemelhavam a brinquedos educativos, as mesmas foram desconsideradas. Por conta disso foi pensado em outra forma de abordagem para gerar um experimento que possa despertar interesse nos alunos. Buscou-se, então, explorar uma prática que é popular quando abordada nas escolas, por sua relativa simplicidade em ser preparada e executada, além dos baixos custos envolvidos: lançamento de foguete.

Essa prática experimental gera um bom engajamento entre os alunos e pode ser considerada de fácil e rápida execução, pois tem a vantagem de poder ser preparado previamente na residência dos estudantes, sendo depois executada em ambiente escolar com o acompanhamento de um professor.

Seguindo para a 2ª Fase, observa-se que, dependendo do arranjo de equipamentos, é possível imergir na abordagem de vários assuntos, como trajetória, aerodinâmica, queda livre, forças, pressão, temperatura, entre outros. Essa prática permite explorar a criação e teste de projéteis de diferentes tamanhos e níveis de detalhamento, de maior ou menor complexidade.

Seguindo para a 2ª Fase, observa-se que, dependendo do arranjo de equipamentos, é possível imergir na abordagem de vários assuntos. A construção e lançamento de foguetes de garrafa PET utilizando bombas de ar e água não só despertam o interesse dos alunos, mas também permitem a discussão de diferentes conceitos físicos, que podem ser aprofundados ou não, a depender da etapa (1º, 2º ou 3º ano) do Ensino Médio que os estudantes estejam. A partir de uma atividade prática como esta podemos apresentar e discutir conceitos tais como a Terceira Lei de Newton, por exemplo. No lançamento de foguetes demonstramos uma aplicação do princípio de ação e reação no impulso do foguete. Ao associarmos o lançamento a bombas de ar, estamos lançando mão do conceito de pressão, força, e conservação da quantidade de movimento – quando ar e água são misturados dentro da garrafa. Também estamos demonstrando e podemos explorar a transformação de energia potencial em cinética. O lançamento de foguetes permite a discussão do Princípio de Bernoulli. Além disso, podem-se apresentar conceitos que nem sempre são abordados nesta etapa, como arrasto aerodinâmica, e as leis dos gases, como a Lei de Boyle, são analisadas no contexto da eficiência e estabilidade

do foguete. Em geral, no Ensino Médio uma das áreas mais trabalhadas é a cinemática. Na atividade de lançamento de foguetes tais conceitos podem ser trabalhados de forma prática e interativa, uma vez que se pode explorar aspectos como velocidade, aceleração, cálculo de trajetória, alcance máximo. Por fim, ao discutir-se e testar-se, com segurança, os limites de pressão impostos ao utilizar-se garrafas PET, podemos incorporar elementos novos, como princípios de segurança e engenharia. Essa prática permite explorar a criação e teste de projéteis de diferentes tamanhos e níveis de detalhamento, de maior ou menor complexidade.

Tendo essas considerações em mente, parte-se para a análise dos elementos do experimento que são capazes de causar imprevisibilidade dentro da sua execução, chegando-se à 3ª Fase.

É importante se pensar no que desperta curiosidade nos estudantes. Quando se deparam com experimentos, mesmo que por demonstrações em meios digitais, o que captura a atenção do público é o fator surpresa, ou seja, o resultado inesperado.

Segundo um estudo de Larán (2003), surpresa pode ser considerado um sentimento decorrente de quando certos fatos são inesperados ou contrários às expectativas e crenças de um indivíduo, principalmente quando essas expectativas não estão claramente definidas. Isso ocorre por conta de um aumento de estimulação neural, especialmente alta no estado de surpresa, podendo funcionar como um amplificador de reações afetivas. Por meio dessas considerações, é interessante que o experimento se torne um evento especial para os usuários.

Em uma entrevista informal com Leônidas Garcia Soares (2024), doutor em Design Cenográfico, o mesmo informou que há três eixos na arquitetura cênica para se obter um espetáculo: caracterização do intérprete, luz e cenário físico. Os dois primeiros eixos não são potencialmente utilizáveis no presente projeto, já que não se pode prever a luminosidade do ambiente e os usuários não terão caracterização por meio de vestimentas alegóricas. Contudo, é possível fazer uso do terceiro eixo, isto é, utilizar objetos cênicos portáteis para gerar a ambientação e buscar o efeito desejado.

Com base nas análises realizadas e com o auxílio das personas, percebeu-se que o público em questão, de adolescentes e adultos, demanda mais complexidade nas estratégias para causar surpresa e conquistar a atenção. O deslumbre trazido por um espetáculo envolve certa “magia”, uma fuga da realidade, e para conquistar

um público jovem-adulto é necessário o uso de diferentes artifícios se comparados a um público infantil. Além da atenção, deseja-se conquistar o engajamento dos estudantes nas atividades.

Finalmente na 4ª Fase, os elementos experimentais que podem ser explorados por alegoria e variabilidade estão justamente no corpo do foguete e na sua forma de lançamento, ambas sendo responsáveis por resultados diferenciados. Detalhes como a geometria do nariz e das aletas do foguete, além dos materiais, formato e dimensões do corpo, bem como a base de apoio para lançamento e a fonte de propulsão, são meios para que o cenário final da execução seja meramente esperado, não exato.

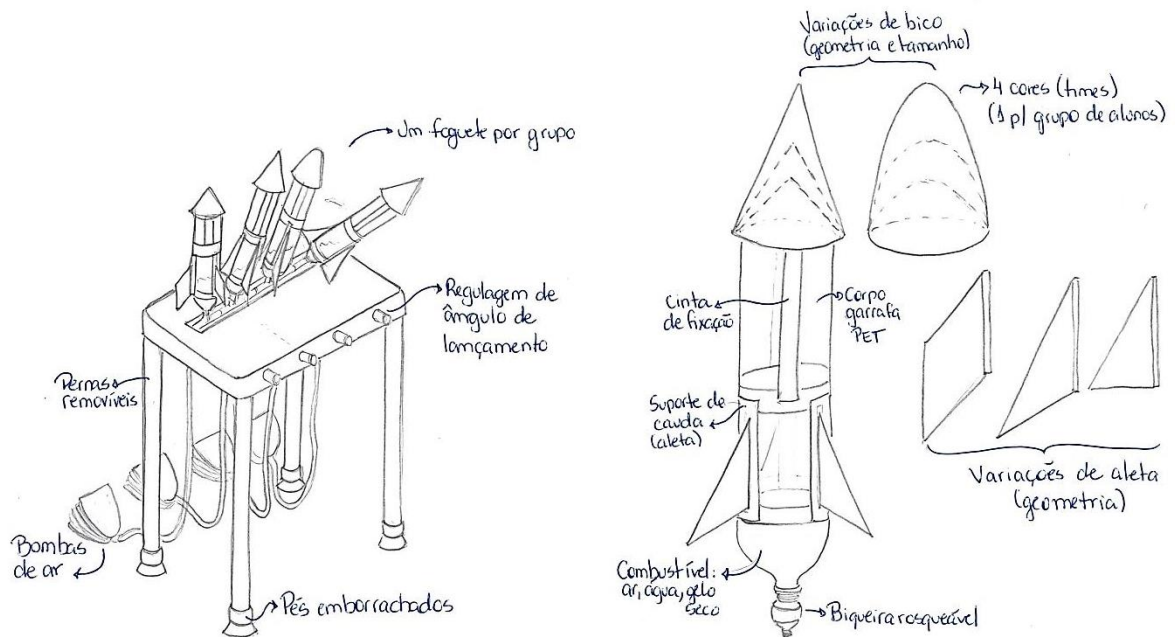
Ainda dentro da variabilidade de elementos, a 5ª Fase traz a proposta de uma alegorização dos mesmos. Um exemplo para isso poderia ser uma plataforma de lançamento que se ajusta conforme as configurações desejadas pelo usuário, ou mesmo a mudança do “fluído” para o projétil, como trocar ar ou água por alguma fonte segura de vapor ou espuma. Também podem ser considerados incrementos luminosos ou sonoros.

Partindo dessa estratégia e considerando as necessidades e objetivos dos usuários (representados aqui pelas personas), serão desenvolvidas novas alternativas projetuais.

8.1. Alternativa 1

A proposta dessa alternativa é utilizar uma mesa montável (que permita transporte facilitado) com ajuste de ângulo de lançamento separado para cada projétil. A propulsão seria feita através de bombas de ar tipo sanfona, operadas pelos alunos. Nessa ideia, a proposta é utilizar garrafa PET como corpo base e fornecer acessórios complementares prontos para que cada grupo de alunos monte seu projétil como achar ideal (Figura 38). As variações permitem diferentes desempenhos na hora do lançamento, além de oferecer variações para o “combustível” de propulsão, como água ou gelo seco (a vazão do mesmo seria aprimorada conforme a necessidade). Para projéteis menores, pode ser utilizado *indoor*.

Figura 38 – Alternativa 1.

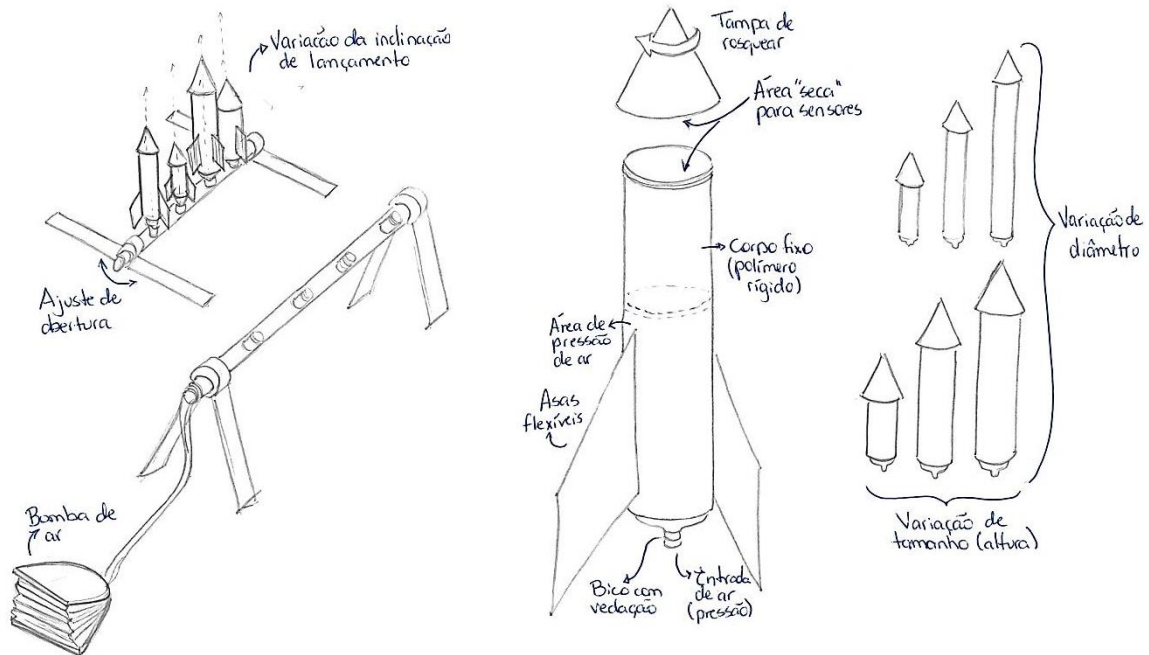


Fonte: autora.

8.2. Alternativa 2

Esta proposta também oferece variações dimensionais para os projéteis, porém o corpo de base é parte do kit e precisa ser selecionado pelos grupos de alunos, pois as opções variam em comprimento e diâmetro do cilindro. O tubo principal permite a inserção de sensores em uma área “seca” para realizar medições, enquanto outro setor do tubo serve para armazenamento e liberação de combustível. A base de lançamento é mais baixa e há uma regulagem de ângulo única para todos os grupos de alunos. O lançamento será coletivo, isto é, tendo sido preparados os projéteis e conectados à base, o professor opera a fonte de pressão (bomba de ar) para liberar os projéteis ao mesmo tempo, onde é observado qual deles desempenha a melhor trajetória de acordo com suas geometrias. As peças para composição dos corpos são propostas em material resistente a impactos.

Figura 39 – Alternativa 2.

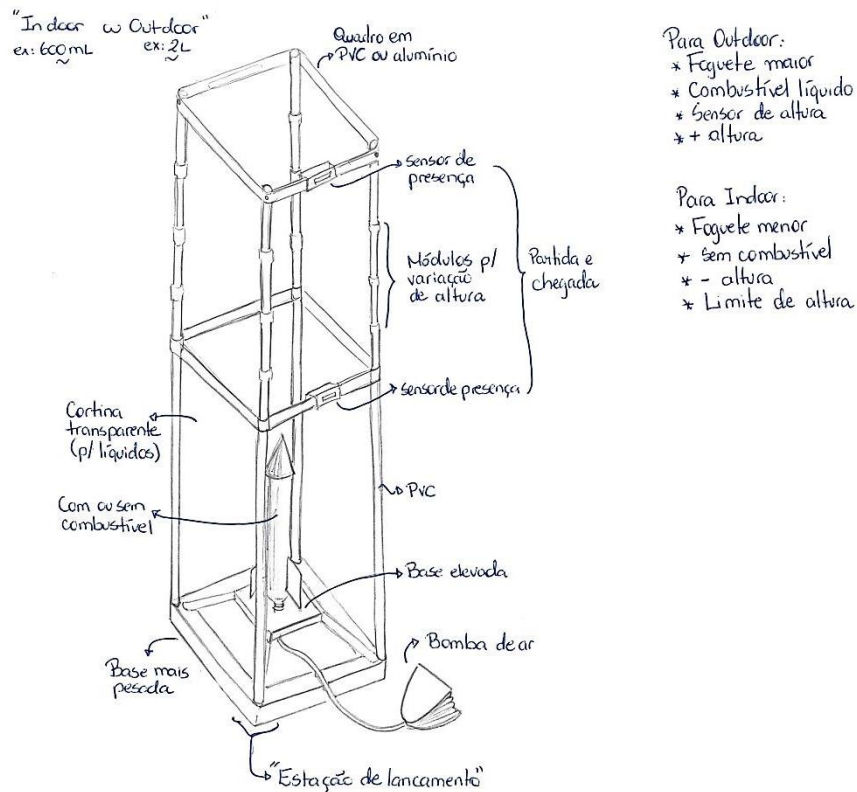


Fonte: autora.

8.3. Alternativa 3

A terceira alternativa permite opções *in* e *outdoor*, já que conta com uma base de lançamento de altura ajustável por módulos e com sensores. O foco desta ideia é a estrutura principal de lançamento, similar a uma plataforma mais realista, sendo que o projétil pode ser fabricado de forma mais livre. São consideradas variações para experimentação dentro ou fora de sala de aula, já que há variações de altura. Por exemplo: em área externa pode haver variações de combustíveis e acessórios extras como acoplamento de paraquedas por conta de alturas elevadas, enquanto em área interna é necessário repensar o uso de combustíveis e as dimensões dos projéteis (corpos menores). Para situações envolvendo dispersão de líquido com o lançamento, a estrutura conta com uma cortina transparente para proteger os usuários e demais equipamentos. O acionamento também se dá por meio de uma bomba de ar. A alternativa permite o lançamento individual de projéteis.

Figura 40 – Alternativa 3.

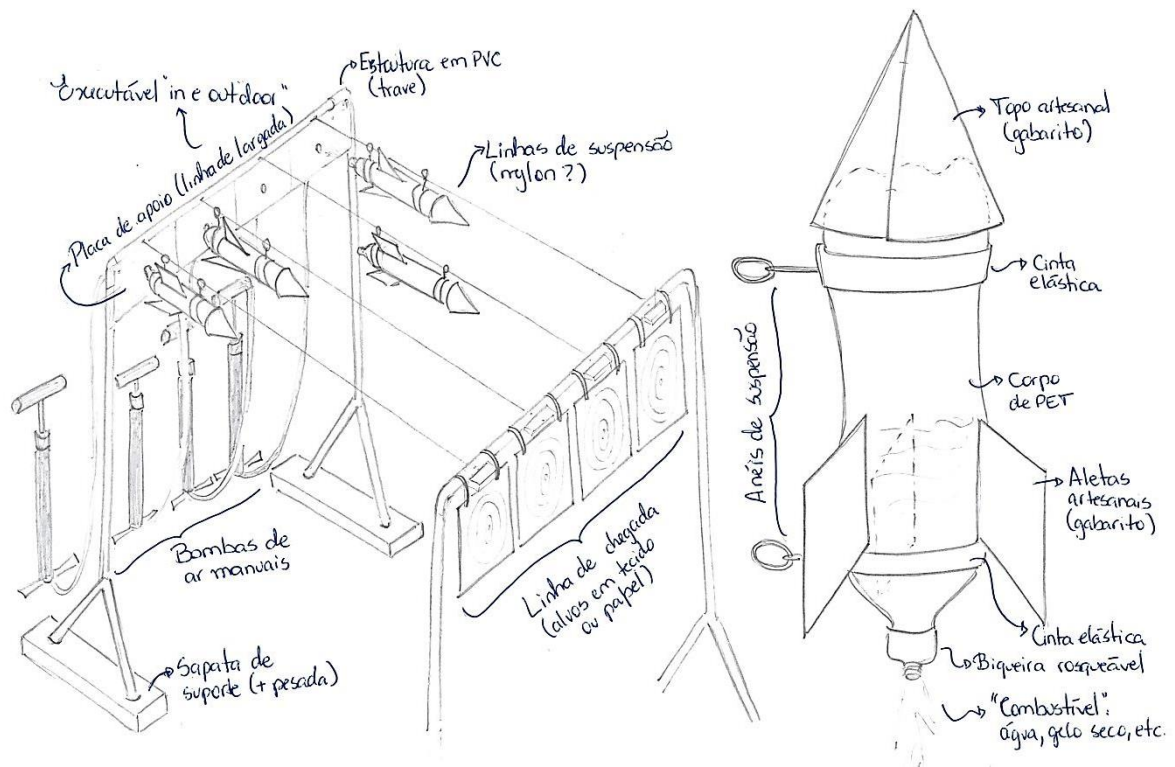


Fonte: autora.

8.4. Alternativa 4

Esta alternativa conta com opção de estrutura montável *in* e *outdoor* também, fornecendo novamente variações para montagem diferenciada do corpo de cada projétil. Nesse caso, em vez de fornecer peças, o kit fornece gabaritos de montagem para cada opção desejada pelos alunos. Enquanto o corpo principal dos projéteis é composto por garrafas PET, as peças “acopláveis” são facilmente confeccionadas e podem ser descartadas sem custos elevados (por exemplo, papel de maior gramatura ou papelão). Essa opção de estrutura funciona como uma “corrida” horizontal onde os projéteis são sustentados por cintas elásticas ligadas a linhas suspensas, estendidas entre um porto de partida e uma linha de chegada (como “alvos”, cada um contando com um sensor de presença). A estrutura principal é composta por duas “traves” e a pressão de lançamento é fornecida por bombas de ar manuais. Essa proposta, bem como as alternativas 1 e 2, serve para lançamento coletivo de foguetes.

Figura 41 – Alternativa 4.



Fonte: autora.

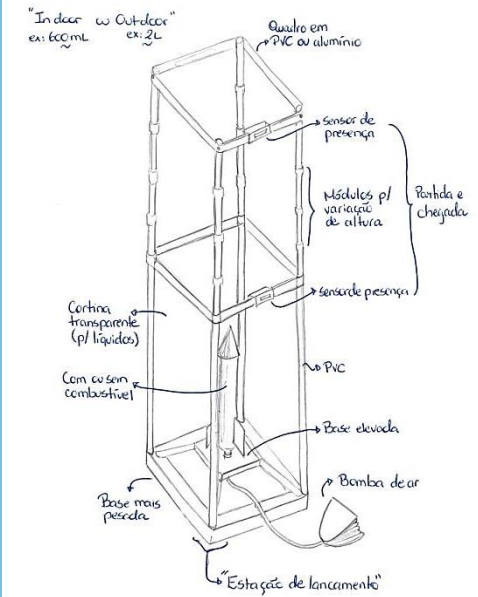
Após a geração de alternativas, as mesmas serão avaliadas para que se identifique qual delas atenderá aos requisitos do presente projeto.

9. SELEÇÃO DE ALTERNATIVA

O processo de seleção de alternativas vai ser realizado levando em consideração os principais requisitos de projeto e julgando o quanto cada alternativa atende a esses requisitos por meio de uma matriz avaliativa (Apêndice M).

A alternativa mais pontuada na matriz de seleção foi a 3, somando um total de **129,16** pontos. Em segundo lugar ficou a alternativa 1 (118,95 pontos). As duas alternativas menos pontuadas foram 2 (112,69 pontos) e 4 (89,65 pontos).

Tabela 6 – Matriz parcial de seleção.

	Alternativa 3		
	Requisito	Peso	Nota
Facilitar a pega	5,63	4	22,52
Sinalizar encaixes	4,41	4	17,64
Facilitar o acionamento	4,14	4	16,56
Fazer uso de composições análogas ao cotidiano	4,02	4	16,08
Delimitar número máximo de peças	3,96	3	11,88
Incluir instruções claras de uso	3,94	3	11,82
Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade	3,73	1	3,73
Utilizar materiais leves	3,66	3	10,98
Possuir encaixes	3,59	5	17,95
Pontuação da alternativa			129,16

Fonte: autora.

Além da pontuação gerada através da matriz, foi feita uma análise crítica sobre alguns aspectos estruturais de cada alternativa.

A alternativa 1 conta com a variação de ângulo e o posicionamento de vários projéteis simultaneamente, permitindo que o acionamento dos mesmos funcione como uma espécie de competição entre grupos. O espaço de encaixe e angulação dos foguetes pode se tornar um problema se acumular sujeira e líquidos, além de uma limpeza dificultada pela complexidade do mecanismo de regulação.

As alternativas 1 e 2 oferecem peças e acessórios (provavelmente poliméricos) que fazem parte do kit, contudo a durabilidade das mesmas pode ser comprometida por conta das repetidas execuções do experimento, podendo haver danos permanentes com a queda ao final de cada lançamento. Materiais mais resistentes (como madeira ou metal) também acumulariam danos com o avanço das execuções. A alternativa 2 também não tem muito apelo estético e não permite o acionamento separado dos projéteis, além da complexidade de posicionar sensores internos de modo que esses não sejam danificados com a queda dos corpos.

A alternativa 3, apesar de ser focada na estrutura de lançamento e deixar os projéteis para livre criação dos usuários, permite a detecção por sensores de movimento de forma segura, sem danificar os componentes. Embora não tenha regulação de inclinação, essa possibilidade pode ser incrementada através de um

refino da alternativa, além da adesão dos gabaritos da alternativa 4 para confecção dos componentes estruturais do foguete. Mesmo que o lançamento dos projéteis seja individual, ainda permite uma coleta de dados diferenciada já que conta com distintos níveis de regulação de altura (e, possivelmente, de ângulo).

A alternativa 4 não propõe diretamente um experimento de lançamento de projéteis, já que oferece uma trajetória horizontal restrita ao espaço entre as “traves” e restringe a movimentação dos corpos, limitando também a abordagem de distintos assuntos para debate em sala de aula. Uma boa característica dessa proposta é a presença de gabaritos para a confecção de peças (como pontas e aletas). Se fosse utilizada água nos foguetes, o movimento poderia molhar os usuários.

Com base na pontuação e na análise individual das alternativas, ficou decidido que a mais adequada para ser desenvolvida é a alternativa 3, considerando os ajustes ponderados na análise.







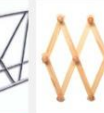
















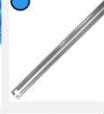




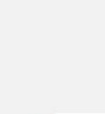
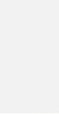






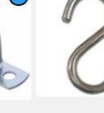
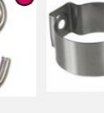








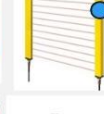




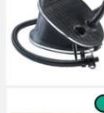


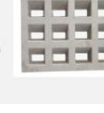

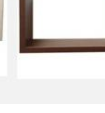
9.1. Matriz morfológica

O método morfológico foi proposto pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky (1957) como uma pesquisa sobre as soluções possíveis para um determinado problema e o conhecimento das características essenciais para essas soluções encontradas.

Posterior ao método foi proposta uma matriz que contém todas as soluções possíveis para parâmetros importantes ao problema, organizadas da seguinte forma: na primeira coluna são listadas as características do problema, enquanto as linhas horizontais são preenchidas com as possibilidades para esses parâmetros.

Para fazer os ajustes e gerar as variações da alternativa 3, foi elaborada uma matriz morfológica considerando as necessidades da estrutura.

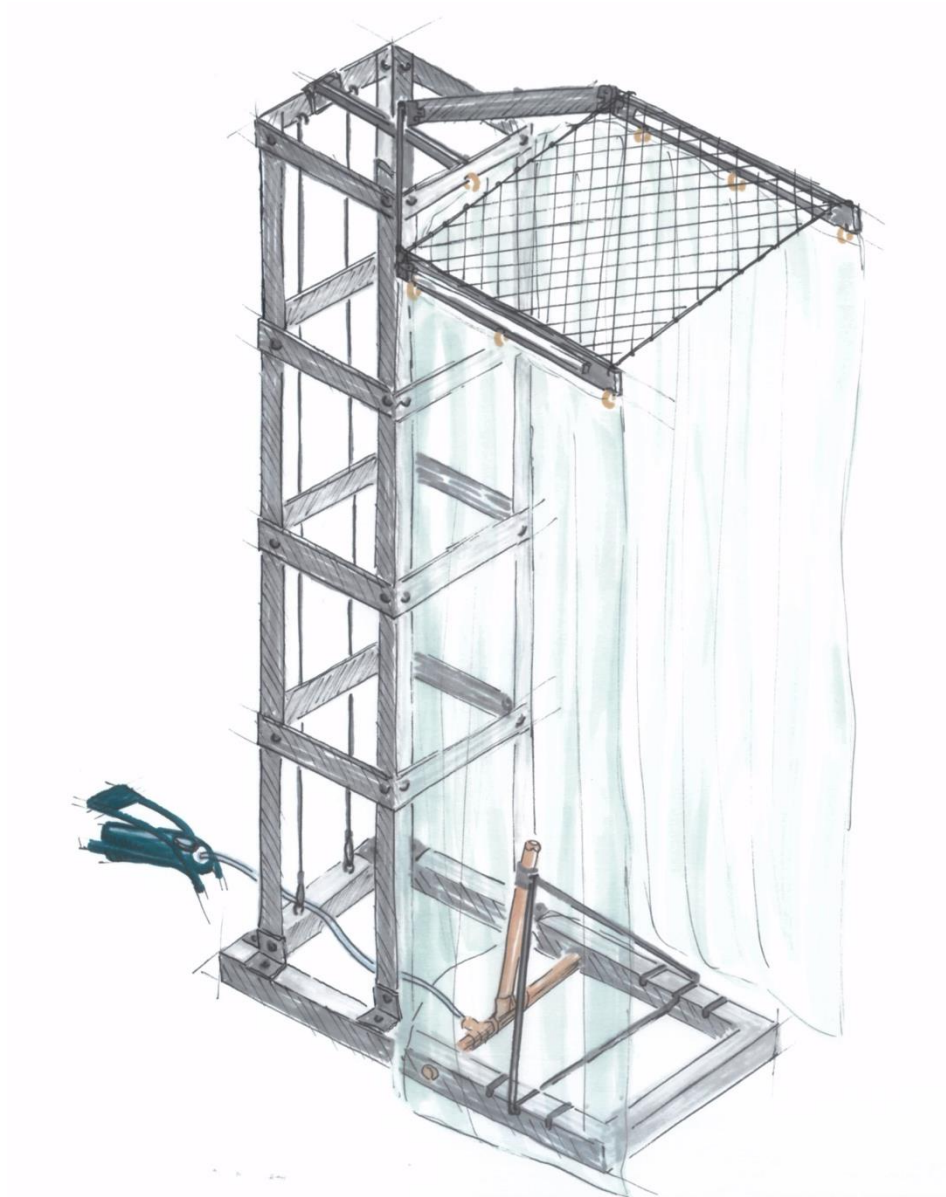
Figura 42 – Matriz morfológica

Função	Opções									
Estrutura										
Fixação										
Estabilização										
Junções										
Aclonamento										
Segurança										
Pressão de ar										
Base										

Fonte: autora.

Por meio da matriz morfológica foram trabalhadas três variações da alternativa 3, utilizando variações materiais e estruturais. As composições estão sinalizadas na matriz com círculos de cor verde, azul e vermelho, representando as variações 1, 2 e 3 respectivamente.

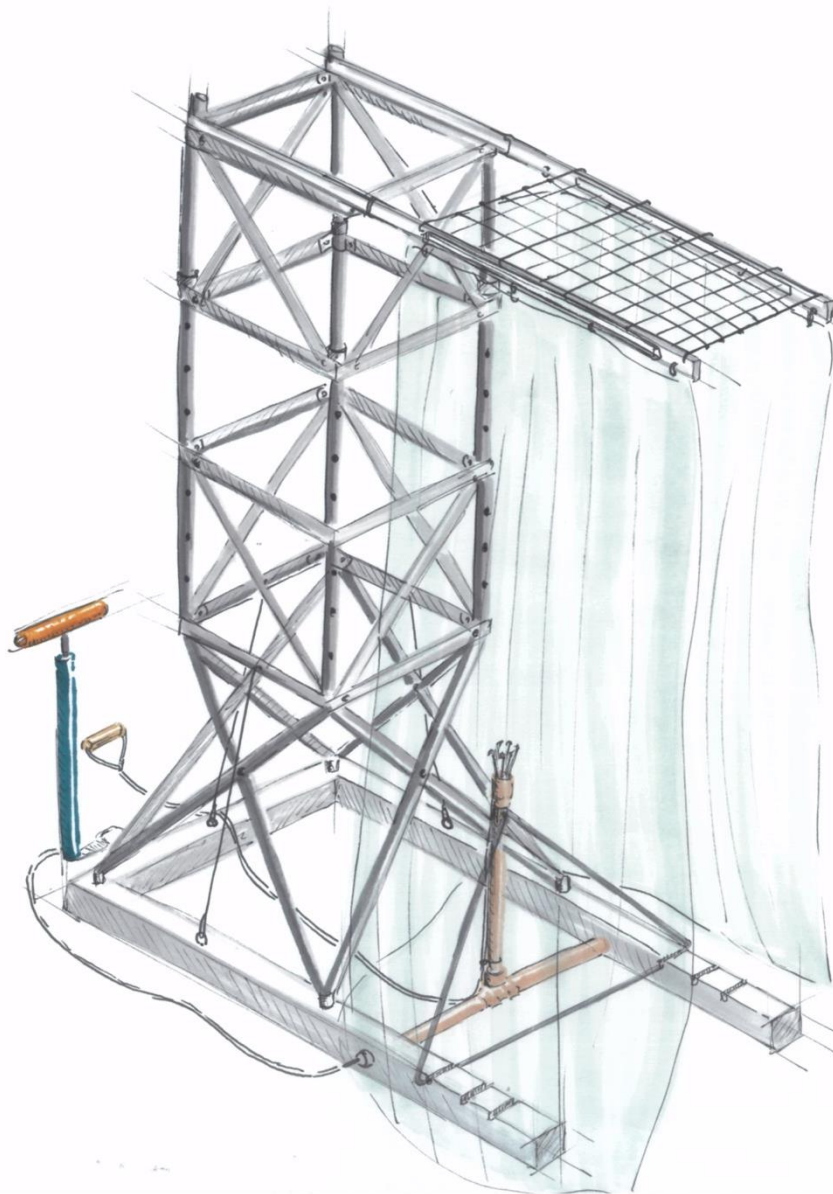
Figura 43 - Variação 1



Fonte: autora.

A estrutura principal dessa variação conta com perfil de alumínio em “L” e cano PVC. A fixação se dá através de rebites, parafusos, cola PVC e parafuso olhal aberto. A estabilização é por meio de cabo de aço de bitola baixa e barras de alumínio. Conta com junções de cantoneira, dobradiça e biqueira de metal para entrada de ar. A segurança é pelo uso de cortina de vinil transparente e rede de proteção. A bomba de ar é do tipo pedal com manômetro, o sensor é do tipo cortina de luz e a base é retangular de metalon de alumínio.

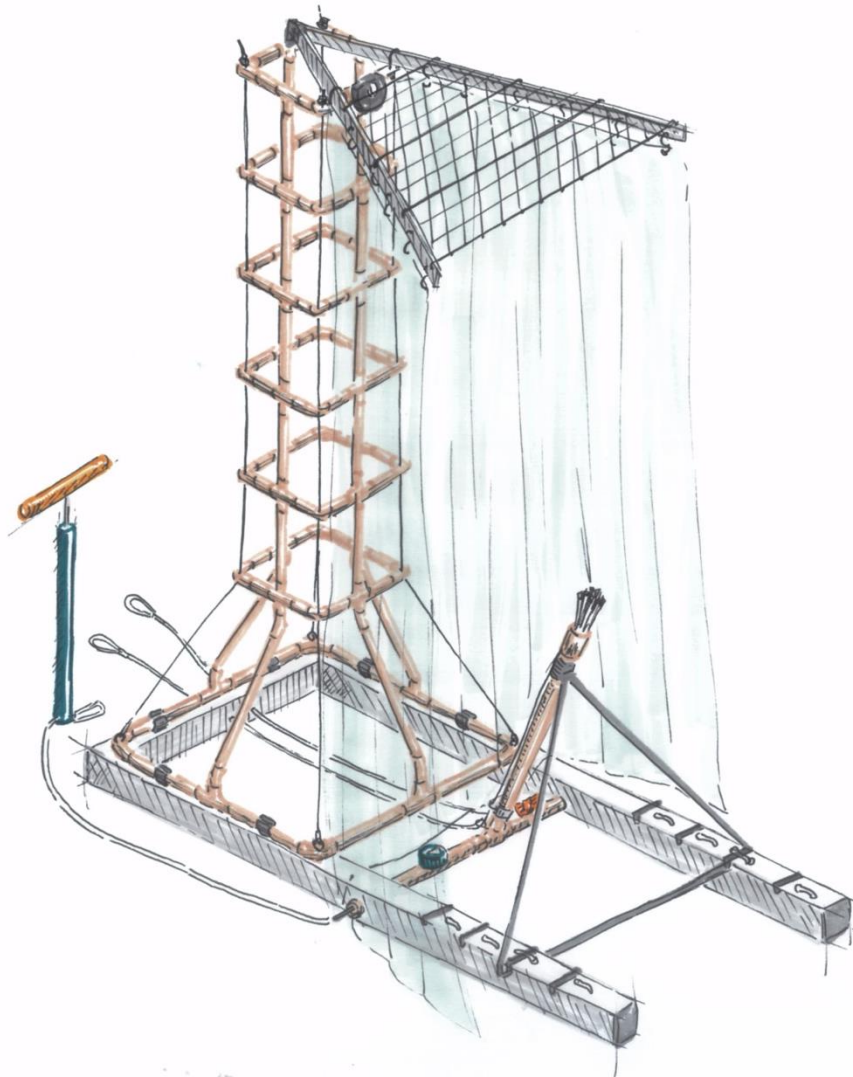
Figura 44 - Variação 2



Fonte: autora.

A estrutura da variação 2 é composta por tubo de aço extensor com travas de pino mola, treliça articulada dobrável e cano PVC. A fixação é por rebites, parafusos, cola PVC e parafuso olhal aberto. A estabilização é por meio de cabo de aço de bitola baixa e barras de alumínio (transversais e horizontais). As junções são feitas por abraçadeiras tipo U e o acionamento é por uma corda com puxador. A segurança é pelo uso de cortina de vinil transparente e rede de proteção. A bomba de ar é do tipo manual com alavanca vertical, o sensor é do tipo cortina de luz e a base é de metalon de alumínio formando um U.

Figura 45 - Variação 3



Fonte: autora.

A terceira variação é composta majoritariamente por canos PVC. A fixação é por rebites, cola PVC, parafuso U e parafuso olhal fechado. A estabilização é por meio de cordame, ajustado por ponteiras reguladoras com mola. As junções são feitas por conexões de PVC tipo cruzeta e T, além de dobradiça, ganchos em S e abraçadeira tipo D. Tanto o acionamento quanto o cancelamento são por meio de cordas com puxador (a corda do cancelamento é presa a uma válvula esfera de PVC). A segurança conta com cortina de vinil transparente e rede de proteção. A bomba de ar é do tipo manual com alavanca vertical, o sensor é do tipo direcional para uso em áreas externas e a base é de metalon de alumínio formando um U.

Analisando as variações, considerou-se que a mais leve e simples de ser montada é a terceira, já que a estabilidade entre elas é semelhante. A base de metalon com a estrutura de lançamento e ajuste de ângulos é quase idêntica os três casos. Uma solução que encareceria o projeto seria o uso da cortina de luz, presente nas primeiras variações. A terceira variação também permite uma reposição de peças facilitada. Considerando a estética, mesmo que canos PVC não sejam tão atraentes quando alumínio ou aço, ainda podem ser pintados facilmente.

Tendo sido definida a variação estrutural 3 como a mais adequada aos requisitos do projeto, serão iniciados os testes necessários para o refinamento final.

10. DETALHAMENTO TÉCNICO

Para seguir com o processo final de criação, é preciso compreender como ocorrerá o funcionamento do produto. Originalmente torre da alternativa 3 propunha uma base de lançamento com variação de altura por meio de módulos, o que serve de ponto de partida para algumas considerações, como a altura máxima e montagem, principalmente considerando a proposta de utilizar o produto em ambientes fechados. Por conta disso, com a utilização de módulos, a estrutura vai demandar ajustes de estabilidade, além das restrições trazidas pelos materiais propostos, como ângulos e encaixes. Outra consideração que precisa ser feita é sobre a confecção das peças do conjunto, já que os materiais são relativamente acessíveis.

O funcionamento do produto também está relacionado a parâmetros não precisos, como a geometria dos foguetes que serão confeccionados por alunos para lançamento na base. Para tanto, são necessários testes que contribuam para a definição da estrutura final e seu funcionamento.

10.1. Teste volumétrico

Para facilitar a determinação e a visualização do tamanho do produto final, foram realizados testes em um modelo rústico com as dimensões desejadas. Esse modelo foi elaborado utilizando papelão reciclado e poliestireno expandido.

A ideia original sobre as dimensões da estrutura era contar com um a base de um metro de altura e cinco módulos adicionais que agregassem 30 centímetros cada, totalizando uma estrutura de 2,5 metros (considerando o uso em ambientes como laboratórios e salas de aula).

Inicialmente foram feitos os módulos de 30 centímetros, os quais foram empilhados e fixados para a simulação. Contudo, no momento de elaborar a base, foi percebido que a altura do modelo volumétrico não poderia agregar a altura desejada para a geometria proposta pela variação 3. O ângulo de inclinação dos canos PVC que ligam os módulos adicionais com a base é determinado por 45° , já que as junções utilizadas apresentam essa angulação. Através de alguns cálculos e testes digitais rápidos em software CAD, verificou-se que a base teria que receber a adição de extensões entre as junções de 45° , o que traria maior instabilidade à estrutura. Por conta desse fato, optou-se por reduzir a altura original para 1,90m (40 centímetros de base e 150 centímetros com a adição total dos módulos).

Mesmo sendo uma estrutura alta, os módulos podem ser primeiramente encaixados entre si e depois sobrepostos à base, sem impedimentos na montagem.

10.2. Teste aerodinâmico

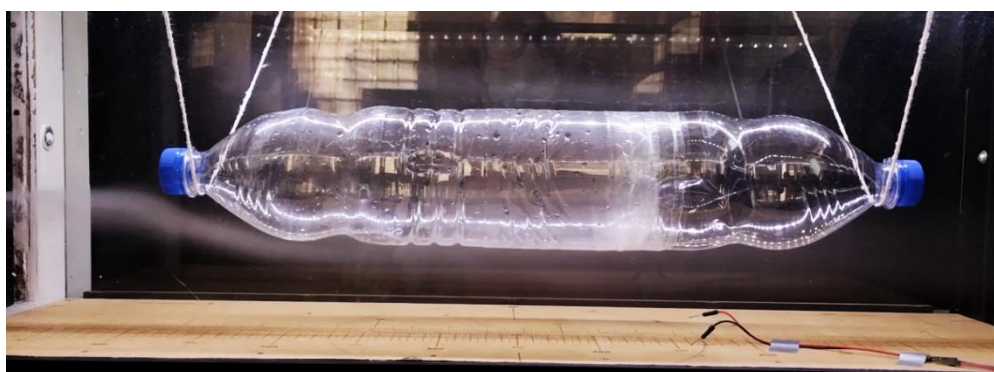
A fim de propor um melhor aproveitamento dos projéteis que serão lançados da estrutura principal, foram realizados alguns testes aerodinâmicos para verificar como a geometria e a construção dos foguetes de garrafa PET podem influenciar no resultado do lançamento.

Os testes foram realizados no túnel de vento do LDSM (Laboratório de Design e Seleção de Materiais) da UFRGS, com assessoramento de um doutorando. Os projéteis testados foram três: uma garrafa de 1,5L (Projétil A) e duas garrafas de 2L, com diferentes níveis de ranhuras e curvas (Projéteis B e C). A velocidade do vento aplicado nos testes foi de 4 m/s (ou 14,4 km/h).

Todos os projéteis foram suspensos dentro do túnel de vento para verificar a trajetória da fumaça ao percorrer cada um. Os testes foram iniciados sem o uso de aletas para que o foco inicial fosse sobre o comportamento do vento sobre a geometria das garrafas.

Nas análises a seguir consideramos três aspectos da aerodinâmica de foguetes: arrasto, vórtice e turbulência. Segundo Munson *et al.* (2013), o arrasto é a força que o fluido (neste caso, o ar) exerce sobre um objeto em movimento, sempre na direção oposta ao movimento. Para os foguetes de garrafa PET, o arrasto é como um freio invisível que tenta impedir seu avanço pelo céu. De acordo com Kundu *et al.* (2016), os vórtices se formam devido à diferença de pressão e velocidade do ar em diferentes pontos ao redor do foguete. Eles podem afetar significativamente a estabilidade e a trajetória do foguete. Segundo Pope (2000), turbulência é um estado de movimento fluido caracterizado por mudanças caóticas na pressão e velocidade do fluxo. Ao aplicar essa definição ao contexto de foguetes de garrafa PET, podemos entender que a turbulência pode ocorrer em diferentes partes do fluxo de ar ao redor do foguete, especialmente em áreas onde há mudanças abruptas na forma ou na velocidade do fluxo, como na parte traseira (ou no escape) do foguete, nas aletas ou ao redor de qualquer protuberância.

Figura 46 – Projétil A (garrafa de 1,5L)



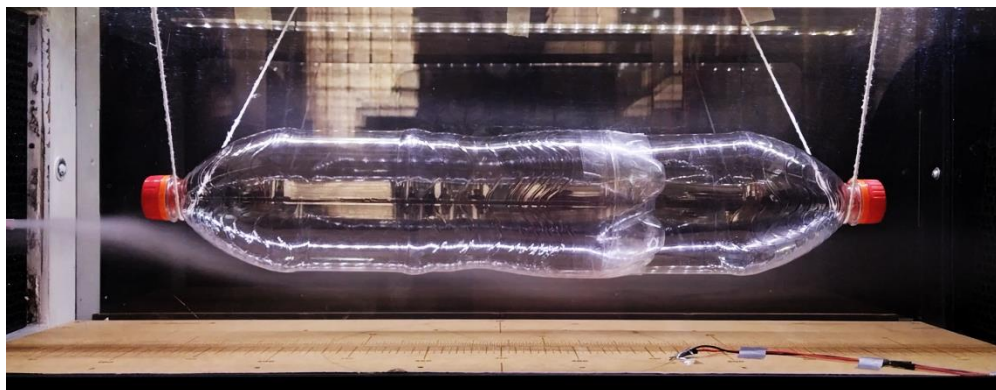
Fonte: autora.

Figura 47 – Projétil B (garrafa de 2L com menos ranhuras e curvas)



Fonte: autora.

Figura 48 – Projétil C (garrafa de 2L com mais ranhuras e curvas)



Fonte: autora.

Cada experimentação realizada foi filmada e percebeu-se que a fumaça produzida pelo túnel de vento, ao percorrer a extensão dos corpos de teste, acompanhou as irregularidades presentes em cada projétil, desde curvas grandes até as ranhuras menores.

No Projétil B, as regiões com ranhuras, a interface entre as duas garrafas utilizadas, assim como a transição entre a superfície cilíndrica e as extremidades de menor diâmetro contendo as tampinhas revelam locais onde o fluxo de ar se torna instável, indicando a presença de turbulência. Isso pode ocorrer principalmente nas regiões onde o formato da garrafa causa uma separação abrupta do fluxo de ar, como na transição entre o corpo e o topo ou base da garrafa. Ou seja, é possível perceber que em certas áreas o fluxo de ar permanece relativamente estável, enquanto em outras ele se desorganiza, o que é típico em áreas de transição ou de forma não aerodinâmica. O Projétil A, no túnel de vento, permitiu ver regiões onde o fluxo de ar é perturbado, sugerindo a presença de turbulência ou separação de fluxo. No vídeo registrado é possível identificar onde o fluxo de ar se desorganiza, devido a mudanças no formato da garrafa PET. Isso ocorre com mais frequência nas áreas onde há transições bruscas no formato, como no pescoço ou na base da garrafa. Formatos mais irregulares ou com grandes variações de diâmetro tendem a causar uma separação do fluxo de ar, levando à formação de vórtices e aumentando o arrasto aerodinâmico. No caso do projétil C a forma cilíndrica da garrafa PET, com suas superfícies curvas, provoca uma separação do fluxo de ar, gerando vórtices atrás dela. Isso é indicativo de um alto coeficiente de arrasto, uma vez que a garrafa

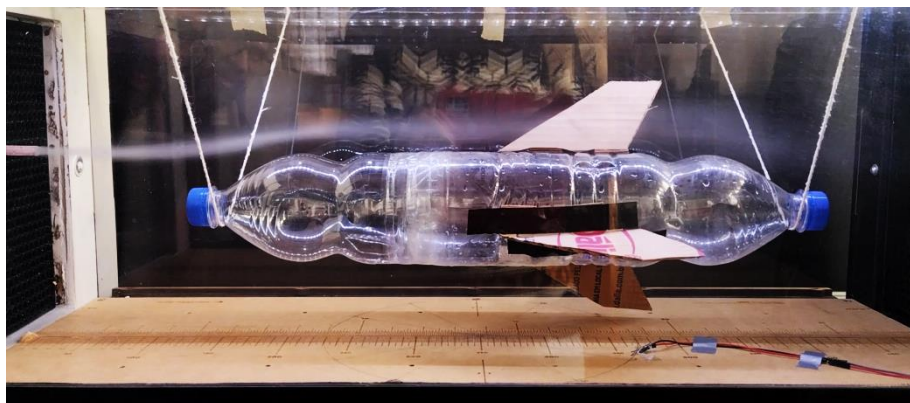
não tem características aerodinâmicas sofisticadas, como curvas suaves ou pontas para reduzir a resistência ao avanço.

Tendo em conta o descrito acima, podemos sintetizar o que segue. Onde havia mais curvas, o deslocamento de ar foi perceptivelmente mais afetado (Projétil C). Em pontos com pequenas ranhuras, o ar era perturbado em oscilações menores e a fumaça apresentou trepidações pequenas, mas não perdia muito da linearidade (Projétil A). No corpo de teste com menos variações geométricas (Projétil B), a fumaça apresentou pouca oscilação, causando menos trepidação ao percorrer o corpo.

Foram agregados pedaços de barbante ao longo dos corpos de teste para auxiliar na visualização do comportamento do vento, mas os barbantes se portaram de forma semelhante e não facilitaram a observação. O que se percebeu foi que o próprio peso dos barbantes interferia na oscilação dos mesmos. Em uma análise geral, os barbantes trouxeram a mesma constatação sobre a trajetória observada pela fumaça, tentando acompanhar a curvatura dos corpos de teste, trepidando mais ou menos de acordo com cada um.

A seguir foram feitos testes com a adição de três aletas de papelão aos corpos de teste. Já que a adição das aletas causou um deslocamento de massa para baixo, a fumaça passaria entre duas delas, não apresentando um comportamento com variação observável. Para isso, a saída de fumaça foi deslocada um pouco para cima a fim de permear a aleta solitária sobre o topo dos projéteis.

Figura 49 – Projétil A com aletas



Fonte: autora.

Figura 50 – Projétil B com aletas



Fonte: autora.

Figura 51 – Projétil C com aletas



Fonte: autora.

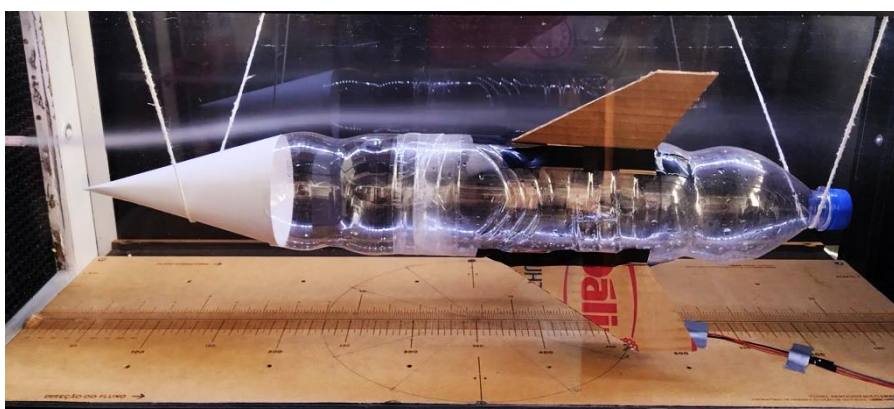
No Projétil A, agora com aletas, no vídeo a fumaça parece se dividir ao encontrar as aletas. Isso indica que as aletas estão desviando o fluxo de ar, criando vórtices ou redirecionando o fluxo ao longo de suas superfícies. A fumaça que passa pelas aletas tende a seguir as linhas da borda das mesmas, indicando que as aletas estão ajudando a estabilizar o fluxo de ar ao redor da garrafa, reduzindo a formação de grandes regiões de turbulência logo atrás dela. Da mesma forma, vemos no vídeo do Projétil B o impacto da presença das aletas. A fumaça, ao passar por elas, se desvia criando padrões de fluxo que indicam a presença de vórtices ao longo das bordas das mesmas. Isso sugere que as aletas estão influenciando significativamente o fluxo de ar, redirecionando-o de forma controlada ao longo da superfície da garrafa. A formação de vórtices menores indica que as aletas estão contribuindo para um fluxo de ar mais organizado, possivelmente reduzindo a

separação do fluxo e minimizando a turbulência diretamente atrás da garrafa. No caso do Projétil C, a fumaça que passa pelas aletas tende a se dispersar de forma mais organizada, sugerindo que as aletas ajudam a manter o fluxo de ar controlado e a minimizar a turbulência desordenada. Sem a presença das aletas o Projétil C apresentou o pior desempenho entre as três montagens. Essas observações reforçam a ideia de que as aletas desempenham um papel crucial na modificação do comportamento aerodinâmico da garrafa PET, contribuindo tanto para a redução do arrasto quanto para a melhoria da estabilidade em condições de fluxo de ar controlado. As aletas otimizam a interação da garrafa com o fluxo de ar, tornando-a mais eficiente e previsível no túnel de vento.

Nesses testes finais foi possível observar que a presença das mesmas influenciou na rotação dos corpos, isto é, se as aletas estão encurvadas ou foram coladas em alguma angulação que não esteja alinhada ao eixo principal do corpo, pode ocorrer uma torção no movimento dos projéteis quando os mesmos forem lançados.

Por fim foi feito um último teste, no qual foi adicionada uma ponteira cônica à um dos corpos de prova. O intuito era verificar se esse acréscimo traz alguma melhoria na trajetória da fumaça.

Figura 52 – Projétil A com aletas e ponteira cônica.



Fonte: autora.

Com a adição da ponteira a fumaça flui de maneira mais suave ao redor da ponteira. Diferente de uma extremidade plana ou abrupta, a ponteira permite que o fluxo de ar siga de maneira mais natural, diminuindo a probabilidade de separação do fluxo e a formação de grandes vórtices atrás da garrafa. A fumaça que passa

pela ponta da garrafa se mantém mais aderida à superfície, indicando um fluxo mais laminar e menos turbulento. Isto é, a fumaça segue uma trajetória ordenada e regular, resultando em um movimento estável e previsível. A ponteira ajuda a diminuir o arrasto ao suavizar o perfil frontal da garrafa. Ao reduzir a resistência ao avanço, a garrafa com a ponteira se move de forma mais eficiente através do ar, exigindo menos energia para superar a resistência aerodinâmica. A presença da ponteira também parece contribuir para uma maior estabilidade direcional, uma vez que minimiza as forças desequilibradas que poderiam ser causadas por uma extremidade frontal abrupta. Isso ajuda a manter a garrafa alinhada com o fluxo de ar.

Esses testes permitiram uma conclusão sobre a interferência da geometria estrutural dos foguetes na trajetória e no desempenho dos mesmos. Essas análises vão permitir orientações sobre a confecção dos projéteis pelos estudantes de Ensino Médio, bem como facilitar a explicação dos professores sobre os efeitos verificados.

10.3. Manômetro

Estudos tem investigado a pressão máxima suportada por garrafas PET em atividades de lançamento de foguetes, tanto usando somente água como propelente ou outras misturas, vinagre associado a bicarbonato de sódio (Lapoli & Coelho, 2020). Neste último caso, os autores concluem que a pressão máxima suportada por uma garrafa PET seria de 160 PSI, porém para utilização prática, deveria se usar uma margem de segurança de 30% menor que este valor. Neste sentido, a utilização de manômetros seria crucial tanto para a segurança quanto para a precisão dos experimentos. Com este equipamento pode-se controlar a pressão interna e prevenir acidentes, ao se evitar que o limite de pressão seja alcançado (Leong e Ng 2012). Para uma atividade experimental que se queira lançar mão de coleta de dados, para uma análise matemática e física dos fenômenos, o manômetro pode fornecer melhor compreensão dos conceitos de pressão e volume, como demonstrado por Lim *et al.* (2015). Tendo isto em conta, mas também o propósito de apresentação de uma atividade experimental com custos acessíveis a escolas da rede pública, sugere-se que sejam utilizadas no experimento bombas de ar com manômetros acoplados. Mesmo os modelos mais simples para pneu de bicicletas possuem manômetros acoplados. Estes podem ser usadas para a garantia da

segurança do experimento. Lembrando que o limite de pressão suportado apresentado na literatura está associado à utilização de propelentes outros que não somente água. Sendo assim, a proposta aqui discutida já traz em si uma segurança maior associada. Caso seja de interesse uma coleta de dados com precisão, se sugere a troca do manômetro, optando por um modelo de até 300 psi (ou menor) cuja escala permita um controle detalhado da pressão alcançada no lançamento.

10.4. Modelagem digital

Dando sequência aos testes realizados, foi possível partir para a criação do modelo 3D no software Autodesk Inventor. A figura 54 mostra em perspectiva o equipamento totalmente montado, incluindo cortina e rede de proteção.

Figura 53 – Modelo final em perspectiva

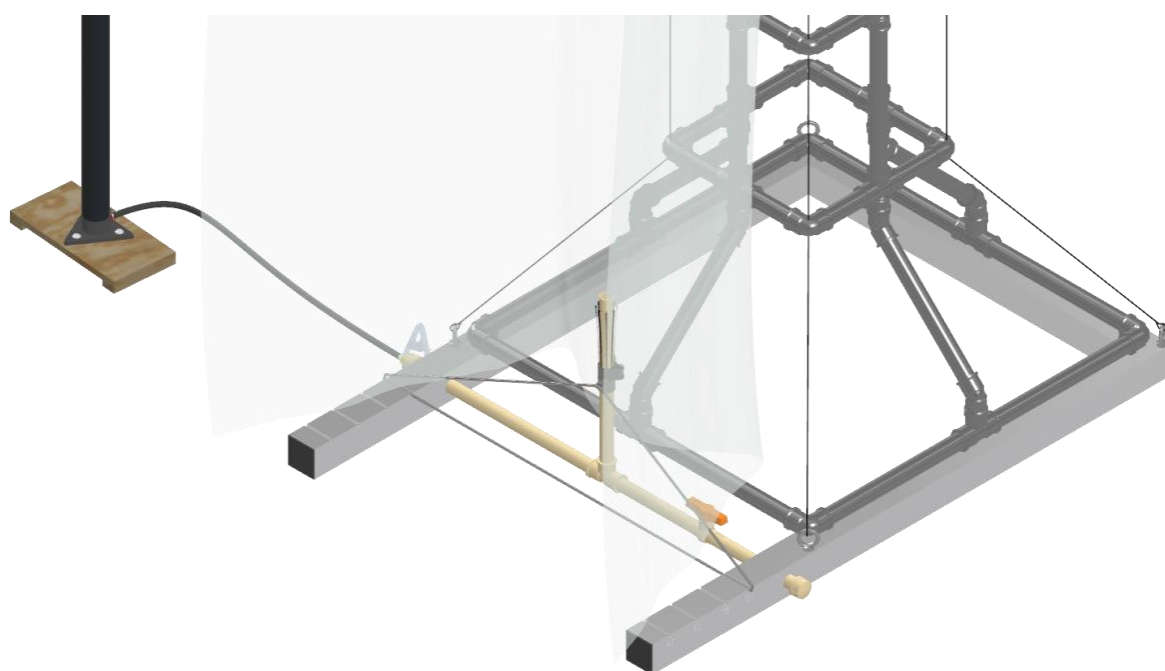


Fonte: autora.

Os primeiros componentes a serem preparados foram os módulos de altura, onde foram utilizados pedaços de cano de PVC de 25 mm intercalados com conexões de cruzeta e joelho, totalizando quatro módulos. O quinto módulo, de topo, teve as cruzetas substituídas por conexões tipo T. As peças que formam os quadrados dos módulos são coladas entre si, enquanto a adição de altura propriamente dita é por meio de quatro pedaços de cano que são apenas conectados entre si, ligando um quadrado ao outro. Os módulos não foram feitos de forma inteiriça levando em consideração o transporte e armazenamento do conjunto.

Seguindo para a base trapezoidal, mais um quadrado com cruzetas compõe o topo, enquanto a extremidade inferior volta a ser composta por conexões T. Os dois quadros são ligados por canos com extremidades finalizadas em joelhos de 45°. Essa composição posteriormente é colocada sobre uma base fixa de alumínio em formato U, onde é prendida com o auxílio de abraçadeiras tipo D. Para agregar estabilidade aos módulos, esses são furados no meio dos vértices (joelhos) e transpassados por um cabo de aço de 2mm, o qual é fixado na extremidade inferior por parafusos tipo olhal e na superior por ponteiras reguladoras com mola.

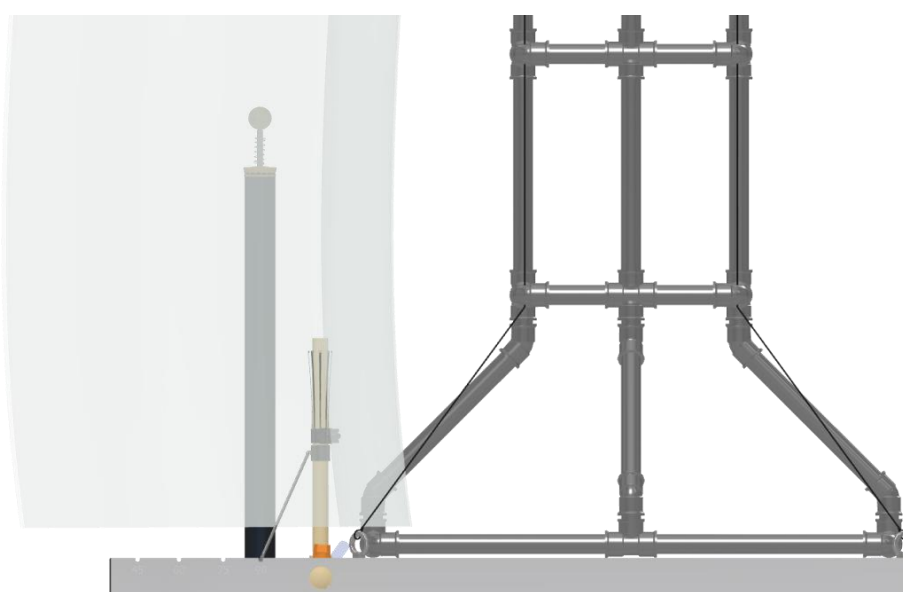
Figura 54 – Detalhe da base trapezoidal sobre base fixa



Fonte: autora.

Partindo da extremidade aberta da base fixa de alumínio, é feita uma furação para agregar a estrutura de lançamento dos foguetes. Essa é preparada com canos de PVC de 20mm, colados por uma conexão tipo T. Uma das aberturas recebe uma ponteira com ventil de bicicleta, enquanto a outra é vedada por um registro tipo esfera, para liberar a saída de ar em caso de uma emergência onde o lançamento precise ser cancelado. A bomba de ar será acoplada na extremidade com ventil para criar a pressão necessária para o lançamento.

Figura 55 – Detalhe da base em vista lateral

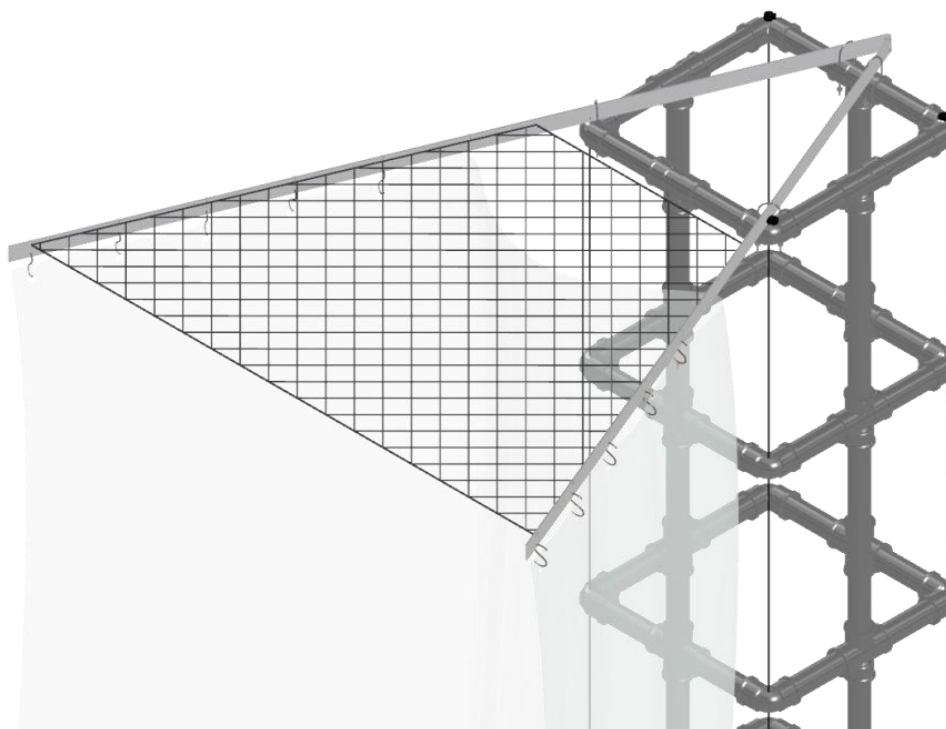


Fonte: autora.

Conforme mostra a figura 56, logo à frente da estrutura de lançamento há quatro cortes na base fixa, cada qual para ajuste de um ângulo de lançamento (90°, 75°, 60° e 45°). O encaixe para ajuste do ângulo é por meio de uma armação de aço semi-triangular, presa ao tudo de lançamento com uma articulação. Acima da articulação fica o gatilho da estrutura, composto por abraçadeiras plásticas unidas ao cano por uma abraçadeira de rosca sem fim pela extremidade lisa. Sobre as abraçadeiras fica uma luva de esgoto de PVC de 40mm, a qual será transpassada por uma corda azul para realizar os lançamentos.

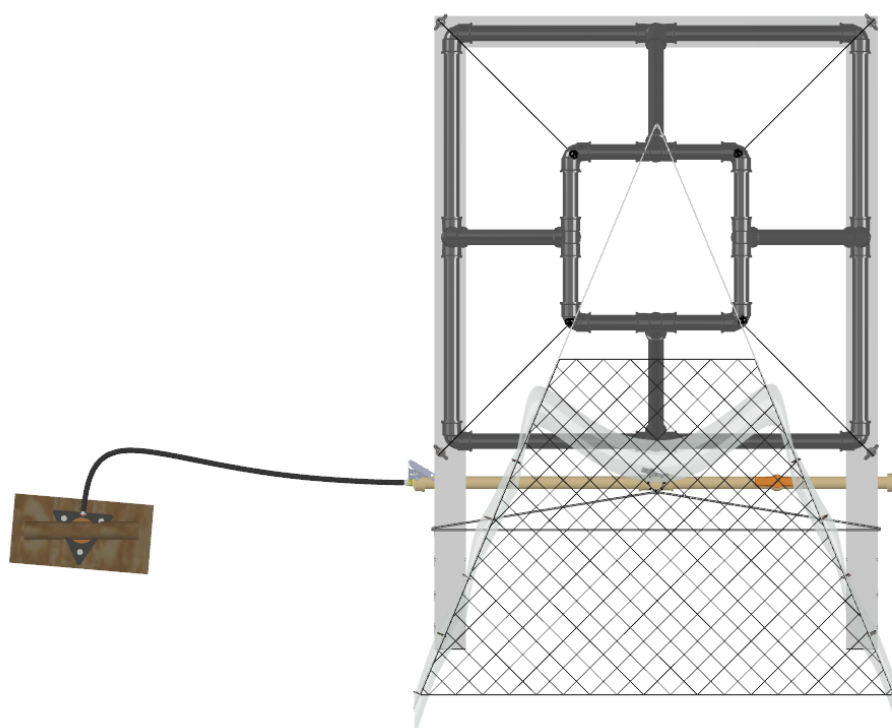
A rede de proteção é fixada por argolas na parte superior de duas barras de alumínio longas articuladas e parafusadas na torre principal. Na parte inferior das barras é suspensa a cortina de vinil por ganchos tipo S.

Figura 56 – Detalhe de encaixe da cortina, rede de proteção e do cabo de aço.



Fonte: autora.

Figura 57 – Vista superior



Fonte: autora.

Para fins de detalhamento dos materiais necessários para a estrutura, foi elaborada uma relação dos mesmos e dispostas suas respectivas quantidades na tabela 7.

Tabela 7 - Lista de componentes

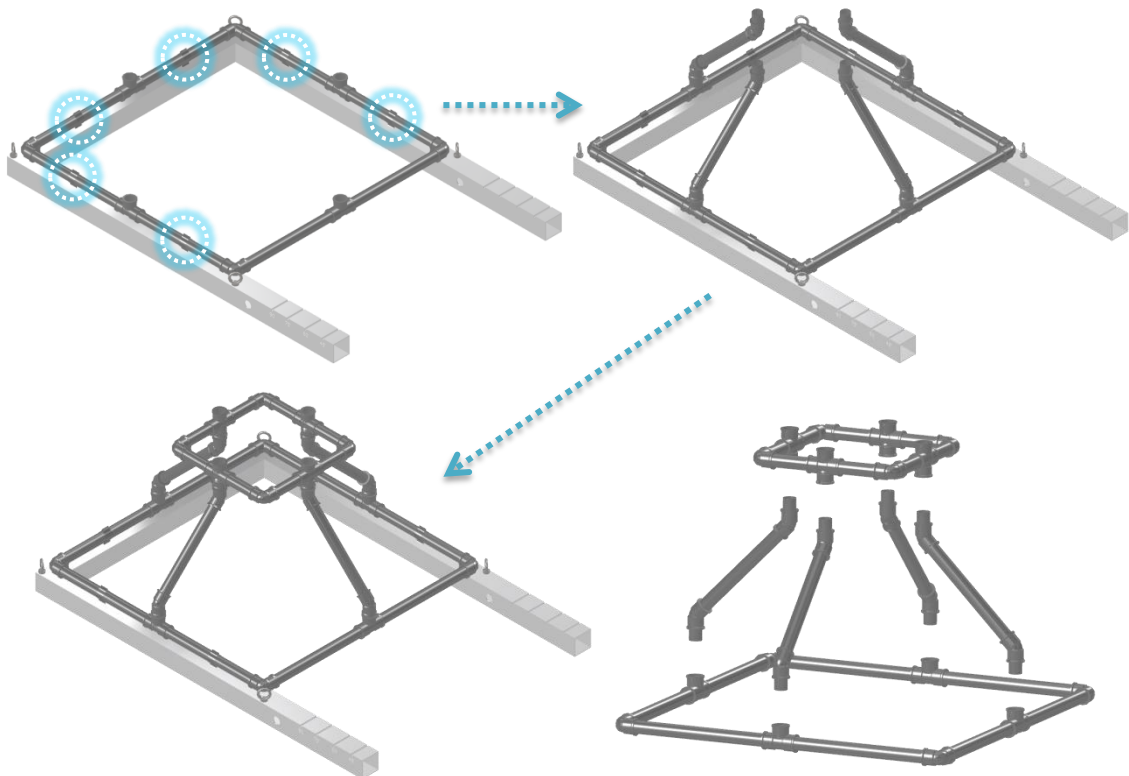
Item	Ref	Componente	Qtd	Material/Especificação
01	J9025	Joelho PVC soldável 25mm	28 un	Policloreto de vinila
02	J4525	Joelho PVC 45° soldável 25mm	8 un	Policloreto de vinila
03	CR25	Cruzeta PVC soldável 25mm	20 un	Policloreto de vinila
04	T25	T PVC soldável 25mm	8 un	Policloreto de vinila
05	T20	T PVC soldável 20mm	1 un	Policloreto de vinila
06	CP20	Cap PVC soldável 20mm	2 un	Policloreto de vinila
07	RES20	Registro esfera PVC soldável 20mm	1 un	Policloreto de vinila
08	LUV40	Luva de esgoto 40mm	1 un	Policloreto de vinila
09	TUB25	Cano PVC soldável 25mm	14,3 m	Policloreto de vinila
10	TUB20	Cano PVC soldável 20mm	1,15 m	Policloreto de vinila
11	MET50	Metalon 50x50mm	2,40 m	Alumínio 1mm espessura
12	ABNY	Abraçadeira plástica 100mm	8 un	Nylon 100x3,6 mm
13	ABD25	Abraçadeira tipo D 25mm	8 un	Aço, com parafuso
14	ABRSF	Abraçadeira rosca sem fim 19-27mm	1 un	Aço
15	ANGAJ	Arame 4mm	1,5 m	Aço (alta rigidez)
16	BOMB	Bomba de ar de bicicleta	1 un	Manômetro incluso (300 PSI ou menor)
17	CORT	Cortina incolor com anéis 1,80m	1 un	Vinil transparente
18	GANCS	Gancho S 30mm	12 un	Aço
19	ARG	Argola 4mm	12 un	Ferro níquel
20	REDPR	Rede de proteção 1x1m	1 un	Poliéster, fio 2mm
21	PRFOLH	Parafuso olhal fechado	4 un	Aço
22	PRFU	Parafuso U 60mm	4 un	Aço
23	PNTREG	Ponteira reguladora com mola	4 un	Polipropileno
24	CRDAZ	Corda azul trançada 3mm	2 m	Polipropileno
25	CRDVM	Corda vermelha trançada 3mm	2 m	Polipropileno
26	REBT	Rebite 4x10mm	24 un	Alumínio
27	BRAL	Barra 2x20x1000mm	2 un	Alumínio
28	DOBR	Dobradiça 20mm	1 un	Alumínio
	CBSEG	Cabo revestido de 2mm	8,5 m	Aço

Fonte: autora.

10.5. Montagem e uso

Para iniciar a prática experimental, o usuário responsável pela execução do experimento deve posicionar a base de alumínio em uma superfície plana regular, isto é, evitar buracos, lombadas ou qualquer superfície que interfira na estabilidade da estrutura. Estando posicionada a base, inicia-se a montagem da base trapezoidal, fixando o maior quadrado com conjunto nas abraçadeiras tipo D, seguindo com os tubos correspondentes às arestas e o quadrado de topo.

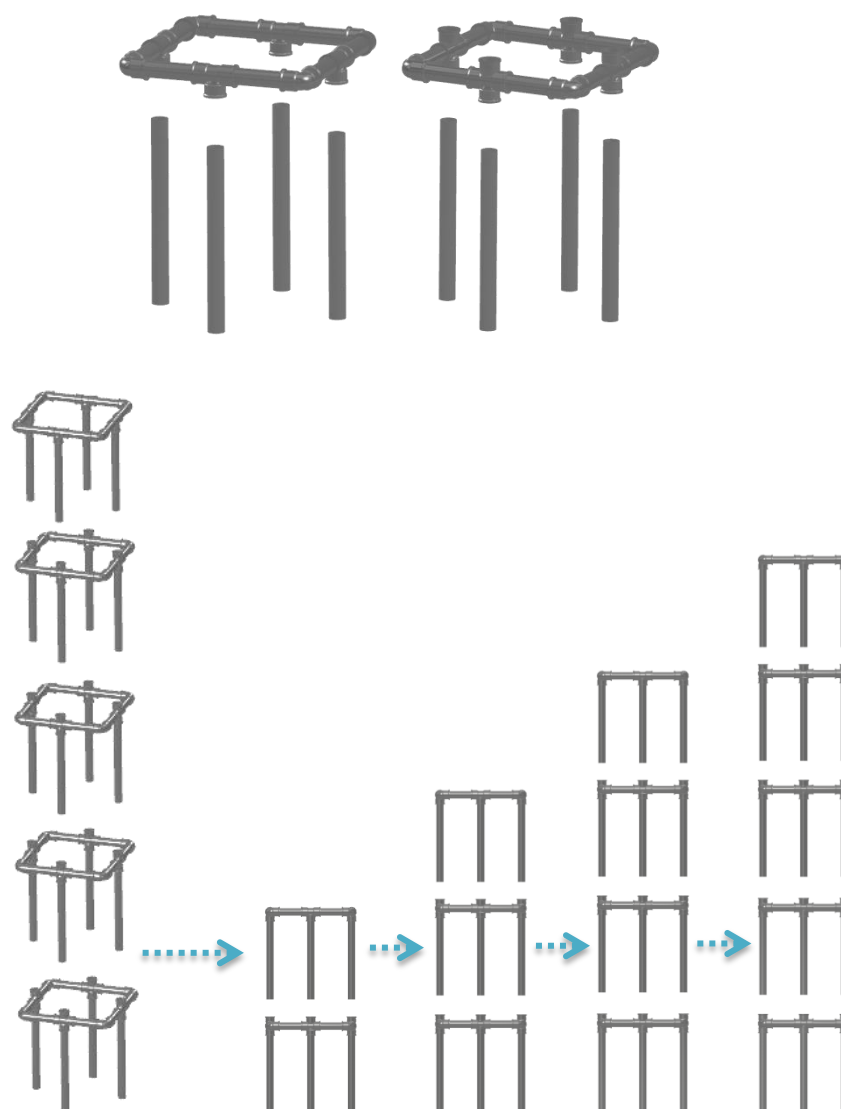
Figura 58 – Montagem da base



Fonte: autora.

Na sequência são adicionados os módulos com os respectivos canos verticais ligados aos quadrados intermediários.

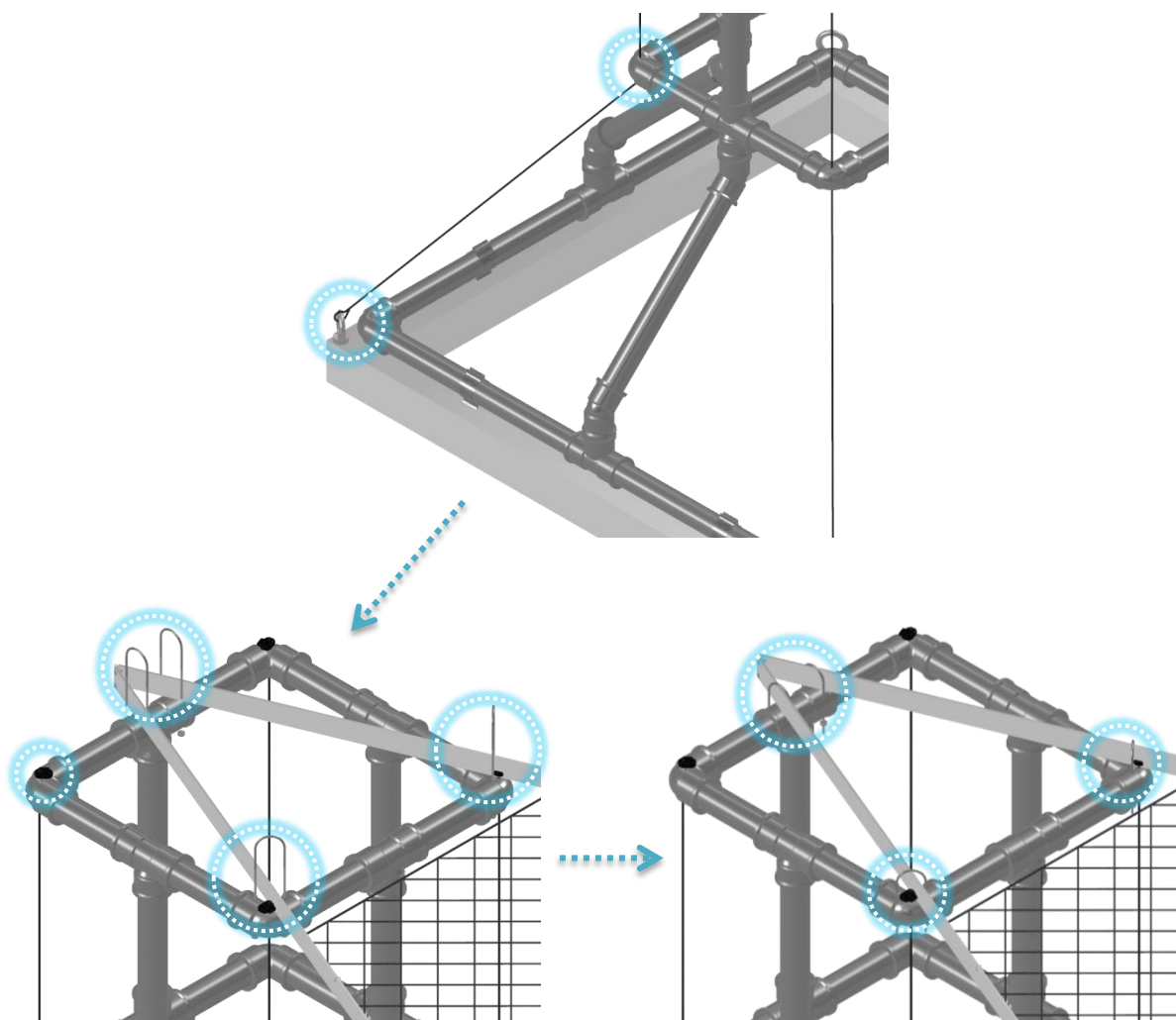
Figura 59 – Montagem dos módulos e empilhamento



Fonte: autora.

Para facilitar a montagem, os módulos de altura podem ser montados no nível do solo e posteriormente adicionados à base trapezoidal, já que a estrutura que suporta a cortina de vinil e a rede de proteção é fixada por parafusos no módulo de topo. Naturalmente, em situações em que não houver uso de combustível líquido ou o experimento ocorrer em área aberta, o uso desses acessórios de proteção é opcional. Por fim, o cabo de aço deve ser transpassado pelo furo nos vértices de cada módulo, sendo preso na base pelo parafuso olhal e no módulo de topo pela ponteiras reguladoras com mola.

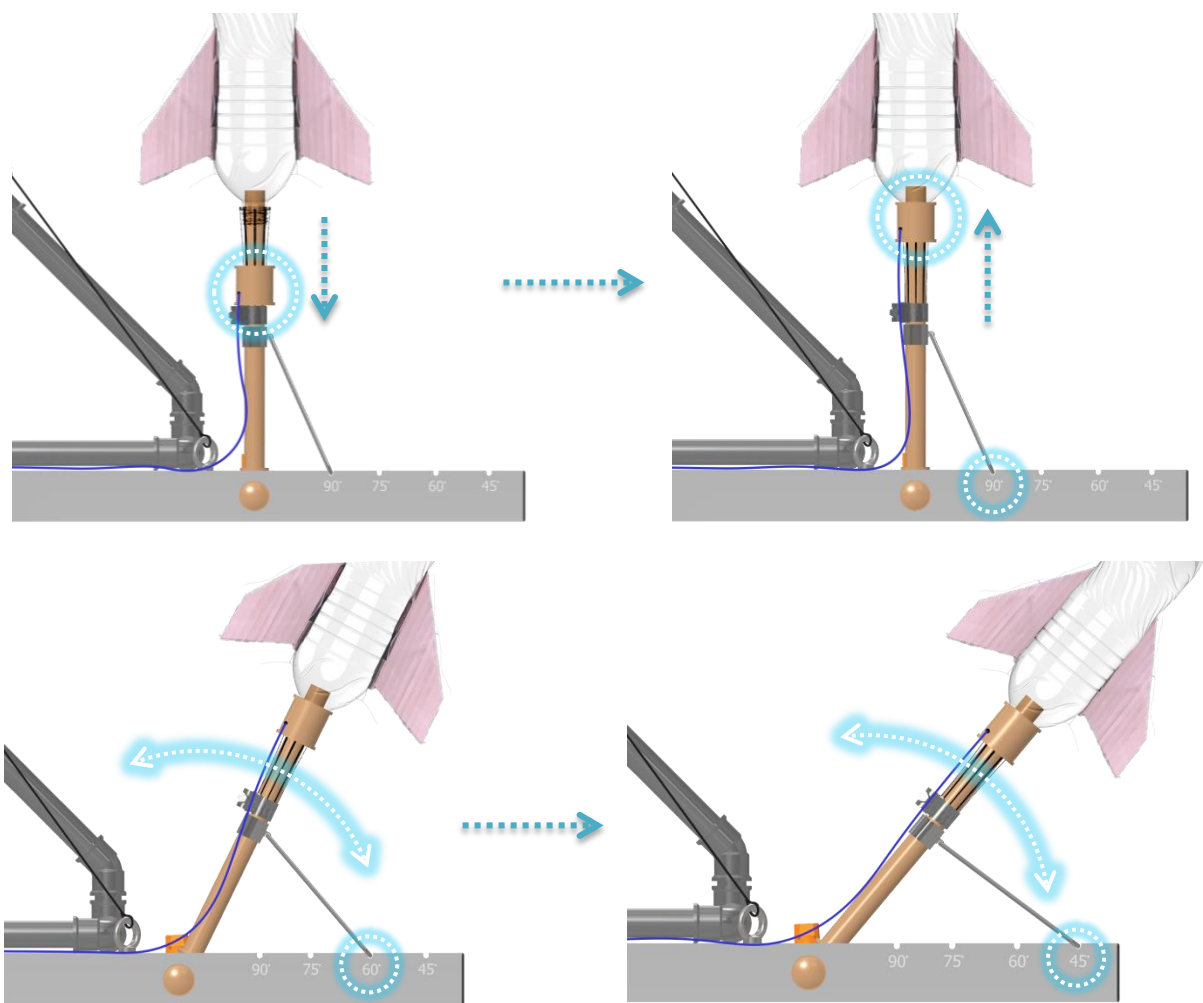
Figura 60 – Fixação do cabo e do suporte da cortina



Fonte: autora.

Estando toda a estrutura instalada conforme as necessidades da prática, os estudantes podem posicionar seus projéteis no cano de lançamento na estrutura de PVC entre as barras da base de alumínio – cada lançamento é realizado individualmente. O projétil deve ser posicionado até atingir o ponto de vedação, onde as abraçadeiras plásticas irão restringir o bocal da garrafa PET após serem sobrepostas pela luva de esgoto. Preparado o projétil, o usuário seleciona o ângulo de inclinação desejado para o lançamento nas ranhuras respectivamente identificadas e verifica se o registro esfera está fechado para evitar o escape de ar (o volante laranja do topo deve estar perpendicular ao tubo principal).

Figura 61 – Posicionamento do foguete e regulagem do ângulo de lançamento



Fonte: autora.

Com a corda dos gatilhos vermelho e azul (cancelamento e lançamento respectivamente) posicionados atrás da torre, isto é, na extremidade oposta à do projétil, os estudantes podem iniciar a aplicação de pressão na bomba de ar.

Figura 62 – Aplicação de pressão para lançamento



Fonte: autora.

Aplicada a pressão desejada (observar o manômetro da bomba de ar, caso essa tenha um acoplado), o usuário se posiciona atrás da torre e puxa o a corda azul do gatilho de lançamento, liberando assim o foguete.

Figura 63 – Lançamento: preparação



Fonte: autora.

Figura 64 – Lançamento: ejeção (vertical e inclinada)



Fonte: autora.

Recomendações importantes para o uso da estrutura de lançamento:

- Em ambientes fechados, sempre utilizar a rede de proteção no topo da torre para evitar danos ao local da prática;
- Ainda em ambientes fechados, evitar o uso de líquidos a menos que o ambiente seja apropriado para isso (como laboratórios e salas com piso cerâmico ou emborrachado);
- Sempre que for utilizado combustível líquido de qualquer tipo, utilizar a cortina de vinil para maior conforto e proteção dos usuários envolvidos;
- Nunca aplicar pressão na bomba de ar antes de realizar todos os procedimentos necessários, isto é, aplicar a pressão deve ser o último passo antes de puxar o gatilho de lançamento;
- Se houver quaisquer dúvidas sobre a integridade do lançamento, o mesmo pode ser cancelado com o gatilho vermelho ao abrir o registro de escape;
- Antes que o gatilho de lançamento seja acionado, todos os usuários (professor e estudantes) devem estar atrás da torre, já que o projétil pode apresentar comportamento instável e causar acidentes, seja seguindo uma trajetória imprevisível, atingindo altas velocidades ou explodindo;

Sempre que a prática for encerrada, os usuários devem desmontar a estrutura e armazená-la em local apropriado de forma a preservar as peças e garantir a durabilidade do material.

Para fins demonstrativos, as figuras 65 e 66 exemplificam como o produto seria ambientado em espaço escolar externo e interno.

Figura 65 – Simulação de ambiente escolar externo



Fonte: autora.

Figura 66 – Simulação de ambiente escolar interno



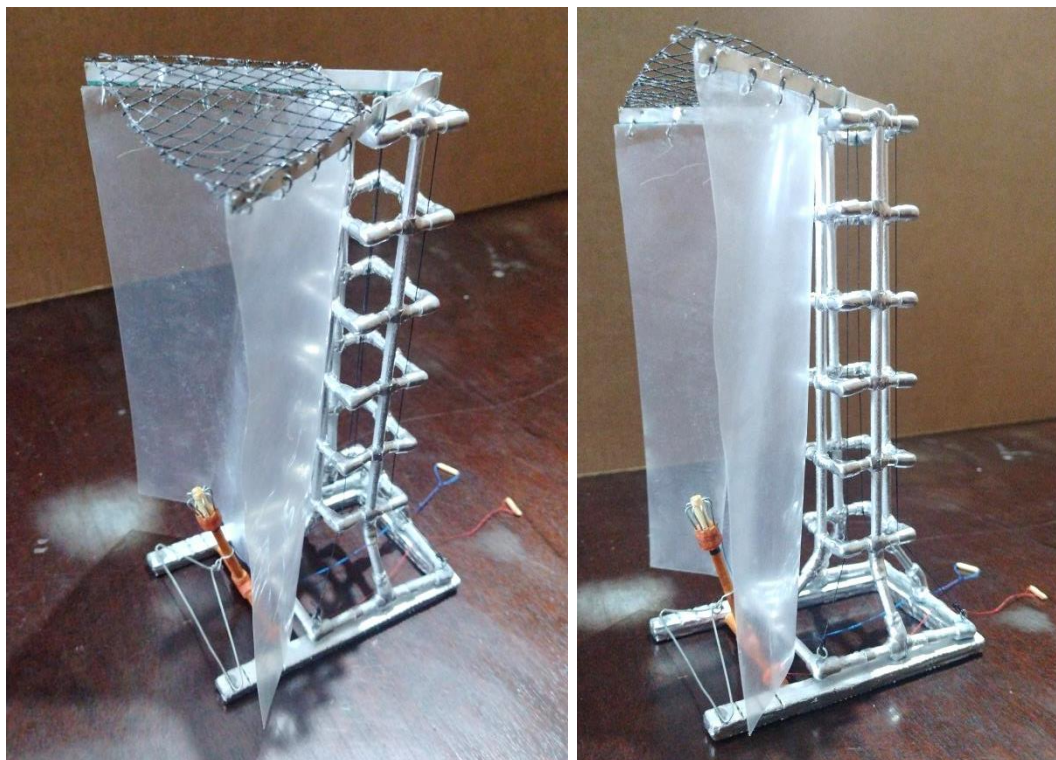
Fonte: autora.

10.6. Modelo volumétrico

O modelo volumétrico tem o objetivo de permitir a visualização tridimensional e física do produto final para fins de protótipo, de maior ou menor nível de fidelidade, estimulando uma análise da estrutura e seu refinamento. O protótipo caracteriza um modelo com funcionalidades similares ao produto final, porém o modelo volumétrico desenvolvido para o presente projeto não acompanha funcionalidades operacionais e foi construído em escala reduzida considerando as dimensões totais da estrutura. Imagens do processo de construção do modelo estão no Apêndice P.

A miniatura é composta de madeira, arame, biscuit, barbante, alumínio e cola instantânea, sendo finalizada com tinta spray metalizada para artesanato.

Figura 67 – Modelo em escala 1:10



Fonte: autora.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das pesquisas teórica e exploratória – realizadas a fim de embasar e conduzir o desenvolvimento do presente projeto – foi possível descobrir problemáticas mais profundas do que aquelas inicialmente esperadas. Alguns aspectos educacionais verificados acabaram ultrapassando o alcance da proposta de solução aqui apresentada, como as lacunas na educação básica em anos iniciais, as quais influenciam sequencialmente os conhecimentos necessários ao Ensino Médio (tais como matemática e interpretação de texto).

O cenário de um mundo amplamente digitalizado – onde as instituições públicas de ensino têm seus recursos financeiros limitados e direcionados para demandas urgentes – torna a prática pedagógica sobre o ensino de Física um desafio. A disputa é difícil quando os lados opositores são um quadro branco com canetas e um smartphone com respostas instantâneas a demandas rápidas. Nesse caso, as práticas experimentais se tornam uma solução eficiente frente à falta de interesse e dificuldade de compreensão dos alunos sobre os conteúdos teóricos; entretanto, mesmo essa solução acaba sofrendo com a falta de tempo para preparo e execução dentro da limitada carga horária dos professores.

Ponderando esses importantes fatores, relembra-se que os alunos são parte ativa do processo de aprendizagem. Sua compreensão e memória se formam mais facilmente quando conseguem correlacionar a teoria de sala de aula com suas experiências do dia a dia. Esse processo cognitivo se fortalece se aprofundado em relações sociais com colegas e professores.

Como foi possível concluir através das investigações realizadas, não se trata apenas da disponibilidade de tempo quando falamos sobre experimentação de Física. Pressupôs-se, através dos requisitos de usuário, que o produto deveria ser majoritariamente fácil e rápido para montar, ou seja, simples de forma geral. Contudo, como foi possível verificar pela hierarquia de requisitos de projeto e se confirmou através da opinião massiva dos estudantes, o que mais precisa ser considerado é que o equipamento explore práticas que tenham relativo vínculo com o cotidiano. Esse e outros aspectos projetuais de similar importância (citados na seção 6) serviram como condutores para a elaboração das alternativas do projeto conceitual.

Após a definição do conceito e da elaboração das ferramentas auxiliares, foi possível desenvolver alternativas que investigassem uma prática familiar ao ambiente escolar: o lançamento de foguetes. Essa ideia foi adotada especialmente pela gama de conteúdos que podem ser abordados em torno dela, como visto nas sessões anteriores.

Dentre as ideias geradas, a estrutura final desenvolvida atende a maior parte dos requisitos de projeto, como aponta o quadro 16. Apesar de não apresentar um manual próprio de montagem até a entrega final do presente projeto, a execução das etapas e a operação de lançamento dos foguetes são relativamente intuitivas.

Quadro 16 – Verificação do atendimento de requisitos de projeto

Requisito de Projeto	Verificação
Facilitar a pega	Atendido
Sinalizar encaixes	Atendido
Facilitar o acionamento	Atendido
Fazer uso de composições análogas ao cotidiano	Atendido
Fazer uso de morfologia análoga ao cotidiano	Atendido
Delimitar número máximo de peças	Parcialmente atendido
Incluir instruções claras de uso	Parcialmente atendido
Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade	Não atendido
Utilizar materiais leves	Atendido
Possuir encaixes	Atendido

Fonte: autora.

Os testes também favoreceram uma maior compreensão sobre as variáveis dessa atividade experimental tão atraente dentro do meio escolar. Por conta dos resultados obtidos, o intuito da autora é disponibilizar o projeto para escolas e docentes que tiverem interesse em confeccionar a estrutura para utilizar em suas próprias práticas.

A estrutura oferece o diferencial de não exigir uma peça especial ou um novo processo de fabricação para ser confeccionada. Todos os materiais envolvidos em sua composição podem ser adquiridos comercialmente em diversos lugares,

cabendo apenas à busca de melhores valores para redução de custo. Além da confecção facilitada, ao término da vida útil do produto, o mesmo pode ser descartado com facilidade e com impactos ecológicos reduzidos, já que as peças são facilmente separadas e podem ser encaminhadas para os pontos de descarte adequados a cada material (PVC, alumínio, polipropileno, nylon, aço, etc).

Sendo possível o aprimoramento do produto em oportunidade futuras, seriam inclusos um manual de montagem e operação, bem como o acréscimo das informações obtidas nos testes para facilitar o debate e a compreensão entre professores e alunos quanto aos resultados obtidos – principalmente para casos onde o professor responsável não tem formação da área de Física, ocorrência que foi possível observar pela coleta de dados.

Apesar de não atender plenamente a todos os principais requisitos de projeto, a autora considera que o resultado final foi satisfatório e atendeu a proposta à qual foi submetido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. G. *et al.* Ensino remoto e tecnologia: Uma nova postura docente na educação pós-pandemia. In: Congresso Nacional de Educação. 7., 2020, Maceió.

Anais [...] Maceió: Conedu, 2020. Disponível em:

<https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2020/TRABALHO_EV140_MD1_SA19_ID4391_02092020001229.pdf>

BARROSO, M. F. RUBINI, G. SILVA, T. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2018.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0059>>.

BASSO, M. Como no século 19: nossas salas de aula pararam no tempo. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 25 de setembro de 2017. Ensino. Disponível em:

<<https://www.gazetadopovo.com.br/educacao/como-no-seculo-19-nossas-salas-de-aula-pararam-no-tempo-arjn56m7xzsmddid2inpnhu8cv/>>.

CAROLINA. **Carolina STEM Challenge**: Motors Kit. Disponível em:

<<https://www.carolina.com/motors-and-generators/carolina-stem-challenge-physical-science-motors-kit/750034.pr>>.

GALVÃO, I. C. M.; ASSIS, A. Atividade experimental investigativa no ensino de Física e o desenvolvimento de habilidades cognitivas. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 14–26, 2019. DOI:

10.26843/rencima.v10i1.1570. Disponível em:

<<https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1570>>.

HESTENES, D. Toward a Modeling Theory of Physics Instruction. **American Journal of Physics**. 55, 1987, p. 440-454. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/216743200_Toward_a_modeling_theory_of_physics_instruction>.

INEP. Sinopses Estatísticas do Exame Nacional do Ensino Médio. **Ministério da Educação**, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/enem>>.

Kit de Física - Conjunto Básico para Física Experimental. **KITSLAB - Materiais para laboratórios didáticos**. Disponível em: <<https://www.kitslab.com.br/kit-de-fisica-conjunto-basico-para-fisica-experimental>>.

Kit Estrutural Mola 1. Mola Education LTDA. Disponível em: <<https://br.molamodel.com/collections/products/products/mola-structural-kit-1>>.

KUNDU, Pijush K.; COHEN, Ira M.; DOWLING, David R. Fluid mechanics. 6th ed. Waltham: **Academic Press**, 2016.

LABURÚ, C. E. Seleção de experimentos de física no ensino médio: uma investigação a partir da fala de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10. Paraná, 2005. Disponível em: <<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/515/312%20-%2002/10/2023>>.

Lapolli, E. L., & Coelho, S. E. (2020). Análise da pressão em recipientes de plástico devido à reação do ácido acético com bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 42, e20190352.

LARÁN, J. A. A Influência da Surpresa no Processo Emocional de Formação da Satisfação do Consumidor. **Repositório Digital Lume**, 2003. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/2250>>.

Lego Education - Conjunto BricQ Motion Essential com 523 peças - Fundamental I. **KITSLAB – Materiais para laboratórios didáticos**. Disponível em: <<https://www.kitslab.com.br/lego-education-conjunto-bricq-motion-essencial-com-523-pecas-fundamental-i>>.

LEITE, S. A. S.; TASSONI, E. C. M. A afetividade em sala de aula: as condições de ensino e a mediação do professor. In: AZZI, R. G.; SADALLA, A. M. F. A. (Org.). **Psicologia e formação docente: desafios e conversas**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2002. p. 113-141.

LÖBACH, Bernd; **Design Industrial – Bases para a configuração de produtos industriais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.

Laboratório Portátil de Física (Ensino Médio). **LUMILABOR – Produtos para laboratório**. Disponível em: <<https://www.lumilabor.com.br/meios-e-reagentes-para-laboratorio/kit-diversos/kit-para-laboratorio-escola/laboratorio-portatil-de-fisica-ensino-medio>>.

Medida Provisória 746/2016 – Reformulação do Ensino Médio. **Congresso Nacional**. Disponível em: <<https://www.congressonacional.leg.br/materias/medidas-provisorias/-/mpv/126992>>.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

MUNSON, Bruce R.; OKIISHI, Theodore H.; HUEBSCH, Wade W.; ROTHMAYER, Alric P. *Fundamentals of fluid mechanics*. 7th ed. Hoboken: **John Wiley & Sons**, 2013.

NARDI, R.; CASTIBLANCO, O. **Didática da Física**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014.

Novo Ensino Médio – Perguntas e Respostas. **MEC**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=40361#barra-brasil>>.

PEREIRA, M. M.; ABIB, M. L. V. dos S. Memória, cognição e afetividade: um estudo acerca de processos de retomada em aulas de Física do Ensino Médio. **Ciência & Educação (bauru)**, v. 22, n.4, p. 855–873, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1516-731320160040003>>.

POPE, Stephen B. *Turbulent flows*. Cambridge: **Cambridge University Press**, 2000.

Redação Lyceum. Novo Ensino Médio 2023: confira as principais mudanças. **Lyceum**. Disponível em: <<https://blog.lyceum.com.br/novo-ensino-medio-2022/>> .

SANTOS, E.; TENENTE, L.; CALGARO, F. Novo Ensino Médio: ajustar ou revogar? Entenda em 7 pontos o debate que envolve alunos e MEC. **G1 - Educação**. São Paulo, 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/educacao/noticia/2023/02/16/novo-ensino-medio-ajustar-ou-revogar-entenda-em-7-pontos-o-debate-que-envolve-alunos-e-mec.ghtml>>.

SÉRÉ, M.-G.; COELHO, M.; NUNES, D. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 21, p. 31–43, 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9897>>.

Conjunto de brinquedos de construção de madeira com gerador de energia manual - kit científico para experiências com lâmpadas e educação em ciências em casa para estudantes. **SHEIN**. Disponível em: <<https://shre.ink/r7oe>>.

SUART, R.; MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. **Ciências & Cognição**, v. 14, n.1, 2009. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/38/30>>.

TRINDADE, J. A. Dificuldades na Aprendizagem de Física - Algumas Notas. **Research Gate**, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/234026609_Dificuldades_na_Aprendizagem_de_Fisica_-_Alguma_notas>.

ZWICKY, Fritz. Morphological Astronomy. Berlin: **Springer** – Verlag, 1957.

APÊNDICE A – Entrevista com professor de Física da Escola A (1º a 3º anos)

1. **Idade:** 45 anos
2. **Qual sua formação?** Licenciatura em Física
3. **Há quanto tempo atua como profissional em sala de aula?** 25 anos
4. **Quais metodologias você usa em sala de aula?** Ainda sou muito analógico, não abro mão do quadro e da explanação, e um recurso que passei a usar muito pós-pandemia é a sala de projeção, então experimentos que demorariam mais para fazer (não há laboratório de Física) eu mostro em vídeos de simulações (principalmente no Youtube). Também usamos livros de ensino médio.
5. **Há alguma metodologia que você gostaria de implementar, mas ainda não usa? Por quê?** Sim, temos salas de informática com *chromebooks*, computadores com Windows, mas ainda não tive tempo para me preparar para ir com os alunos para esses ambientes. Falta planejamento dentro do tempo hábil.
6. **Quais as principais dificuldades observadas nos alunos?** Os alunos vêm com uma defasagem muito grande do ensino fundamental, sempre vieram. Depois da pandemia piorou. Eles compreendem a teoria, mas não conseguem aplicar equações simples, de primeiro grau (operações básicas), então isso sempre atrapalhou. O que também atrapalha muito atualmente é o uso do celular em sala de aula (mesmo com lei estadual proibindo); como não pode confiscar, o professor pode pedir para o aluno guardar, mas em seguida está usando de novo. O professor disputa a atenção do aluno com o celular, já que o aparelho fornece “recompensas” instantâneas. Interpretação de texto também é um problema.
7. **Julga importante o uso de experimentos do ensino de Física? Por quê?** Julgo, sim. Este ano fizemos um experimento de pêndulo simples para determinar o valor da gravidade da Terra. Funcionou tão bem no 1º ano que levei para o 2º e o 3º, mesmo que não fosse conteúdo deles. Todos gostaram. O experimento foi feito em grupos e os alunos ficaram felizes de encontrar valores próximos do que constava nos livros didáticos e entenderam que não era um número aleatório. Gostaria de fazer pelo menos um experimento por mês com as turmas, mas outra coisa que inibe isso é a carga horária disponível para isso (antes eram três aulas por semana, agora é uma) e já é difícil dar o mínimo exigido.

8. **Faz uso de recursos experimentais? Se sim, para ensino de qual conteúdo de Física?** De prática foi feito apenas o experimento do pêndulo. Em outros casos é feito uso de vídeos, principalmente sobre eletricidade, já que não tem um laboratório próprio para isso. Os alunos se surpreendem com o resultado em ambos os casos, mas gostam mais de colocar a mão. Eles entendem melhor o conteúdo após o experimento e vêem que funciona, deixa de ser apenas uma fórmula, uma “decoreba”, e conseguem entender melhor na prova.
9. **Na sua percepção, a escola em que você trabalha lecionando Física investe suficientemente em material/equipamento para viabilizar o necessário para a realização de atividades experimentais?** A escola investe na infraestrutura geral para atender os professores, mas para experimentos não. Já foi feita pesquisa de preço de equipamentos básicos, mas a verba que a escola dispunha não contemplava o valor. Com a verba que a escola dispõe seria inviável. Outro fator que dificulta é que não teria alguém disponível para trabalhar em laboratório, um técnico ou monitor, então teria que ser dentro da carga horária do professor (que já é bem restrita). No estado, a carga horária do professor é para sala de aula, então precisaria de alguém para laboratório para preparar os experimentos dentro de um tempo hábil.
10. **Algum relato especial para compartilhar?** Eu sou um dos professores mais antigos da escola e o que eu percebo é que eles preferem que você conte as coisas da forma mais objetiva, mais direta, independente do assunto. Se não der muita volta e mostrar algo do dia a dia, eles gostam mais. No 1o ano eles gostam mais de Leis de Newton, no 2o ano gostam de ondulatória, no 3o eles têm mais curiosidade com eletrização (eles adoram aprender sobre cálculo de energia elétrica e consumo porque conseguem aplicar nas contas de suas casas). Já recebi feedback de alunos que disseram “Obrigado, professor. Agora eu sei que eu existo” ou “Com essa atividade eu sei que eu existo”, entre frases semelhantes. Eu me questiono se a aula que dei dez anos atrás ainda funciona hoje, então sempre tento melhorar. A presença do PIBID na escola está sendo muito proveitosa e participar dessa entrevista também é ótimo.

APÊNDICE B – Entrevista com professora de Física da Escola B (1º e 2º anos)

1. **Idade:** 54 anos
2. **Qual sua formação?** Licenciatura em Matemática
3. **Há quanto tempo atua como profissional em sala de aula?** 35 anos de carreira, mas apenas um ano em Física .
4. **Quais metodologias você usa em sala de aula?** Aplico a teoria e depois sigo com os cálculos.
5. **Há alguma metodologia que você gostaria de implementar, mas ainda não usa? Por quê?** Sendo o primeiro ano em Física, não foi falta de oportunidade, foi falta de coragem de fazer as experiências. Vejo colegas que fazem coisas simples, mas fazem. Mesmo passar algum vídeo ou filme, como ainda não tenho muito conhecimento sobre a matéria, me sinto acuada.
6. **Quais as principais dificuldades observadas nos alunos?** Eles têm muita dificuldade em prestar atenção. Como o tempo é curto, não basta e precisaria exercitar em casa, mas é difícil eles fazerem. Em sala acontece a chamada e é como se a aula já tivesse terminado. Em casa, se não for feito nada, o que sobra? Daí precisa prova de recuperação atrás de prova de recuperação. Falta comprometimento dos alunos. A pandemia deixou muitas sequelas, eles não sabem muito bem estudar, não sabem direito o básico da matemática, tem muita deficiência em interpretação de texto. Dá para ver no olhar deles que o conteúdo não faz sentido. É uma questão muito séria, porque mesmo os alunos alegam que não viram alguns conteúdos ou não lembram, principalmente se tiveram eles durante a pandemia. Outro problema é que os alunos não conseguem identificar unidades de medida, não sabem usar em cada grandeza (como medir distância em m/s ou segundos), não há raciocínio. O problema é pior nas turmas da noite.
7. **Julga importante o uso de experimentos do ensino de Física? Por quê?** Sim, porque ajuda a entender, só teoria não faz sentido. Quando se relaciona com a vida, eles compreendem melhor as coisas que acontecem no dia a dia.
8. **Faz uso de recursos experimentais? Se sim, para ensino de qual conteúdo de Física?** Não faz uso de experimentos, mas se fosse começar, iniciaria pelas Leis de Newton.

9. **Na sua percepção, a escola em que você trabalha lecionando Física investe suficientemente em material/equipamento para viabilizar o necessário para a realização de atividades experimentais?** Nunca entrei no laboratório, mas sei que outros professores, como o de química, usam bastante. O colega de Física faz até em sala de aula ou no pátio. Se fosse para investir, a escola tentaria, mas sendo estadual, depende da verba que tiver.
10. **Algum relato especial para compartilhar?** Tive uma turma da tarde, de primeiro ano, que eu dava Projeto de Vida (matéria) e, em uma lista de exercícios que passei, eles conseguiram relacionar com Física.

APÊNDICE C – Entrevista com professor de Física da Escola B (3º ano)

1. **Idade:** 29 anos
2. **Qual sua formação?** Licenciatura em Física
3. **Há quanto tempo atua como profissional em sala de aula?** Desde 2017
4. **Quais metodologias você usa em sala de aula?** Trabalho geralmente os conceitos práticos, os conceitos teóricos, e procuro sempre fazer ligações com as práticas. Foca bastante com o desenvolvimento dos próprios alunos, fazendo eles explorarem as atividades, procurarem e fazerem as ligações com o que é passado em sala de aula. Os experimentos são feitos com materiais baratos e que os alunos possam acessar, considerando suas realidades, já que alguns experimentos são construídos em casa e executados em sala de aula. Quando se utiliza software é mais para simulações digitais, não é prática experimental em si.
5. **Há alguma metodologia que você gostaria de implementar, mas ainda não usa? Por quê?** Eu acho que falta estrutura. A gente consegue a parte teórica tranquilamente no quadro, não precisa de muita coisa, só que quando vai para a prática, esbarrando nessa falta de apoio, na falta de produtos que se tem para poder trabalhar. Tenta-se tornar a didática acessível, então eu gostaria de ter mais produtos em sala de aula para poder trabalhar. Seria bom ter equipamento mais apropriado para conseguir trabalhar com mais facilidade, porque então se consegue direcionar a aula para poder utilizar o produto.
6. **Quais as principais dificuldades observadas nos alunos?** Hoje em dia há alunos que não conseguem realizar equações de 1º grau, o nível matemático é bem precário, então quanto mais preso a contas e cálculos, mais propenso a perder os alunos. Antes da pandemia era falta de concentração e dificuldade em matemática básica. No pós pandemia isso agravou. Eu tenho alunos que têm, principalmente no primeiro ano, dificuldade de interação, muitas dúvidas, eles vêm com lacuna gigantesca em matemática, então muita coisa precisa ser modificada, tem que elaborar uma maneira diferente pela variedade de alunos. Há um desinteresse da parte deles de pensar, raciocinar. Não se trata de generalizar porque há exceções, mas a grosso modo, pelas avaliações que eu vejo, é uma questão bem difícil.

7. **Julga importante o uso de experimentos do ensino de Física? Por quê?** Com certeza, os experimentos são o carro chefe da Física. São importantes para fazer o vínculo entre o dia a dia e a matéria. Hoje tem muito canal de divulgação científica, então, ao meu ver, muitos deles gostam de física, eles adoram física. Só que eles veem em canais de divulgação, então quando chega na sala de aula parece algo massivo, massante. O importante é trazer as vivências e experiências deles para a sala de aula, porque, por mais simples que seja, os alunos prestam atenção. Eles ficam admirados com uma caneta que fica colada na parede depois de friccionada contra ela, mesmo a maioria tendo entre 15 e 17 anos.
8. **Faz uso de recursos experimentais? Se sim, para ensino de qual conteúdo de Física?** Todos conteúdos que trabalho direcionam para alguma prática e geralmente são os alunos que fazem o experimento. Experimentos relativos a eletricidade para terceiros anos (eletrostática, força elétrica, campo elétrico, corrente e circuito). Para circuito elétrico utilizou-se software para simular.
9. **Na sua percepção, a escola em que você trabalha lecionando Física investe suficientemente em material/equipamento para viabilizar o necessário para a realização de atividades experimentais?** A escola tem verbas e é possível comprar equipamentos. Elabora-se primeiro o projeto e depois é solicitado verba para a direção. Às vezes não é esse o problema, porque tem casos que são caros e tem que importar, então precisaria de uma linha mais acessível.
10. **Algum relato especial para compartilhar?** Olha, sempre tem alguma coisa legal nos experimentos. Eu gosto que, com os primeiros anos, eu tenho uma aula legal em que os alunos fazem um foguete. Era muito lindo. Eles estavam muito curiosos, já que iam elaborar, estavam curiosos para fazer, para funcionar, para sair direitinho. Então eu percebo que quando tem uma prática em que eles possam pensar juntos, trabalhar o coletivo, eles gostam muito, vejo que estão mais felizes. Uma dinâmica mais em grupo, onde eles possam botar a mão na massa, percebo que eles gostam bastante, vejo que brilha o olhar do aluno.

APÊNDICE D – Entrevista com professor de Física da Escola C (1º e 2º anos)

1. **Idade:** 66 anos
2. **Qual sua formação?** Superior em Física
3. **Há quanto tempo atua como profissional em sala de aula?** 35 anos
4. **Quais metodologias você usa em sala de aula?** Utiliza métodos expositivos em sala e experimental em laboratório.
5. **Há alguma metodologia que você gostaria de implementar, mas ainda não usa? Por quê?** A metodologia é suficiente, mas se surgir a vontade ou necessidade consegue ampliar.
6. **Quais as principais dificuldades observadas nos alunos?** Falta de base em conteúdos fundamentais, matemática e interpretação de texto, não entendem as perguntas.
7. **Julga importante o uso de experimentos do ensino de Física? Por quê?** Sim, é importante.
8. **Faz uso de recursos experimentais? Se sim, para ensino de qual conteúdo de Física?** Mecânica e alguma coisa de eletrostática.
9. **Na sua percepção, a escola em que você trabalha lecionando Física investe suficientemente em material/equipamento para viabilizar o necessário para a realização de atividades experimentais?** Sim, a Fundação está carente, mas investe. Não preciso investir do próprio bolso. Se fizer requisição, geralmente consegue o que solicita.
10. **Algum relato especial para compartilhar?** Não.

APÊNDICE E – Entrevista com professora de Física da Escola C (3º ano)

1. **Idade:** 33 anos
2. **Qual sua formação?** Licenciatura em Física
3. **Há quanto tempo atua como profissional em sala de aula?** Há três anos.
4. **Quais metodologias você usa em sala de aula?** É bastante variado. São aulas expositivas, aulas de laboratório com experimentos demonstrativos ou de trabalho em grupo, exercícios, mapas mentais, apresentações pequenas em grupo sobre tópicos específicos.
5. **Há alguma metodologia que você gostaria de implementar, mas ainda não usa? Por quê?** Gostaria de intensificar a parte de laboratório, porque é eficiente. Ainda não aplica por questão de organização, tempo e hábito.
6. **Quais as principais dificuldades observadas nos alunos?** Dificuldade em matemática de base, como isolar variáveis (por exemplo), o que atrapalha na hora de fazer as contas (isso no terceiro ano, o que pode ser um reflexo da pandemia), além de dificuldades com relações de proporcionalidade. Eles têm dificuldades em todos os conteúdos (mesmo tendo três períodos por semana).
7. **Julga importante o uso de experimentos do ensino de Física? Por quê?** Demais. Ajuda a entender como funcionam as coisas e porque funciona daquele jeito, coisas do dia a dia.
8. **Faz uso de recursos experimentais? Se sim, para ensino de qual conteúdo de Física?** Faço uma prática por conteúdo sempre que possível (eletrostática, óptica, movimento harmônico simples, ondulatória, termodinâmica, hidrostática e física moderna).
9. **Na sua percepção, a escola em que você trabalha lecionando Física investe suficientemente em material/equipamento para viabilizar o necessário para a realização de atividades experimentais?** Não. Trago muitos materiais e experimentos de casa, mas tem alguma coisa no laboratório. Tem muito material que escolas da rede pública em geral, mas tem muito material que já está se deteriorando (muito antigo) e não tem dinheiro para fazer manutenção.
10. **Algum relato especial para compartilhar?** Durante um momento de laboratório com experimento de pêndulo, a turma foi dividida em grupos e eles tinham que responder perguntas. Quando foram comparados os resultados, alguns grupos

acharam coisas diferentes e começaram a debater. Um aluno, especificamente, ficou muito engajado e quis convencer os colegas de outro grupo do seu argumento. Ao fim da aula, ele disse para a professora que achou o experimento “maneiro”.

APÊNDICE F – Entrevista com docente de Física da escola particular (1º a 3º anos)

1. **Idade:** 42 anos
2. **Qual sua formação?** Licenciatura Plena em Ciências com Habilitação em Matemática e especialização em Física
3. **Há quanto tempo atua como profissional em sala de aula?** Foi professora do estado em Matemática, depois acabou indo para a vice direção, mas está há 15 anos no colégio.
4. **Quais metodologias você usa em sala de aula?** Trabalho com aulas práticas, mas há dificuldade de tempo. O currículo de Física tem uma vasta linha de conhecimentos. Sempre que possível tento fazer uso de práticas e há alguns conhecimentos que não consigo apresentar aos alunos sem a prática. Também trabalho muito com exercícios, porque acredito que Física só se aprende exercitando. Obviamente a aula expositiva dialogada precisa de algum mecanismo de rotação de atividades, como os alunos trazerem questionamentos para trabalhar em sala de aula. Há ainda o livro, que é muito trabalhado, por ser adotado pela escola.
5. **Há alguma metodologia que você gostaria de implementar, mas ainda não usa? Por quê?** A maior dificuldade é fazer mais aulas práticas, porque eu gostaria de fazer mais. Infelizmente há o problema do tempo. Em uma aula prática bem feita, os alunos recebem um roteiro onde consta os materiais que vão ser utilizados, o objetivo da aula, os procedimentos que vão ser feitos e as conclusões. Uma aula assim demanda, no mínimo, dois períodos, quando não mais pela necessidade de feedback. A prática dá sentido para o conceito, mas depois é preciso fazer exercícios sobre aquilo que eles entenderam.
6. **Quais as principais dificuldades observadas nos alunos?** Eles sentem mais dificuldade em eletrostática.
7. **Julga importante o uso de experimentos do ensino de Física? Por quê?** Sim, julgo muito importante, já que a prática dá sentido ao que foi estudado.
8. **Faz uso de recursos experimentais? Se sim, para ensino de qual conteúdo de Física?** Temos um Laboratório de Física, que é um espaço que foi reformado há três anos. Tem bancada e alguns equipamentos, e o que me ajuda bastante são esses kits. Então, por exemplo, tem o kit de eletromagnetismo, que é um

suporte de madeira, em uma das extremidades tem um eletroímã e tem um espaço para os alunos colocarem malhas de ferro; também tenho um conector que pode ser ligado a uma fonte ou a uma pilha. No meio há uma bobina onde são largadas as limalhas de ferro para ver as linhas de campo se alinhando, enquanto na outra ponta tem um solenoide onde coloca uma bússola para ver a questão da influência do campo magnético da Terra. Foram adquiridos quatro kits desses, onde dá pra explorar eletromagnetismo, campos magnéticos, sentido das linhas de campo. Então sua ideia é bem favorável para as aulas práticas. Na bancada do laboratório já tem régua para ligar todos eletrônicos necessários porque foi projetada para isso, então o espaço favorece. Em escolas públicas é outra realidade, a maioria não tem.

Relatando como professora, um kit que seria muito bem-vindo é um de eletricidade. Eu montei alguns quando trabalhei com Física experimental e havia um grupo de alunos que montava esses equipamentos. Alguns desses que foram montados por volta de 2017 eu utilizo em sala de aula. Algo com resistores em série ou paralelo talvez, porque o concreto facilita muito nessa parte de eletrodinâmica; pode ser com lâmpada ou resistor mesmo, mas que consiga remover e adicionar partes para entender o que acontece. Pequenos kits assim que permitam associações que lidem com questões de potência, resistência, tensão, etc. Apesar de não ser possível escapar do abstrato, porque vai ser necessário saber calcular, os kits favorecem a prática.

Outras boas práticas são de movimentos e lançamentos... Tudo que facilite o entendimento. Contudo, uma coisa que eu não vejo são kits de força. Uso para minhas práticas alguns dinamômetros, blocos e molas, mas não tem nenhum kit pronto com os pesinhos certos e tal.

9. **Na sua percepção, a escola em que você trabalha lecionando Física investe suficientemente em material/equipamento para viabilizar o necessário para a realização de atividades experimentais?** Sim, a escola disponibiliza recursos e materiais.
10. **Algum relato especial para compartilhar?** Eles (os alunos) aprendem quando têm significado para eles. Às vezes um exemplo feito em sala de aula fica eternizado para o aluno. Por exemplo, se vou falar de energias cinética, potencial e elástica, então entro na sala pulando, brincando que estou naquelas botinhas de

academia e começo a instigar a turma, perguntando qual energia estou tendo. Daí vem o aluno e diz que nunca mais vai esquecer aquilo na vida. Várias vezes eles dizem que algo lembrou eles de algum exemplo ou experimento.

APÊNDICE G – Entrevista com vice-diretora da Escola A

11. **Qual estratégia pedagógica é considerada fundamental para o ensino de Física?** Devem seguir as orientações curriculares que estão na BNCC. No RS também tem uma referência de currículo gaúcho, então o professor segue isso, faz o plano de estudos, de aulas, e daí seleciona os conteúdos que pretende trabalhar. Se está dentro do currículo, a escola aprova. O maior mecanismo de acompanhamento são os conselhos de classe, para ver o que foi cumprido ou não. Muitas vezes não é possível concluir todo o planejamento, como vem se observando. O raciocínio do aluno está cada vez mais lento, então os professores demoram muito tempo dentro de um conteúdo para conseguir aplicar ou precisam reduzir ele a uma forma mais simples para os alunos entenderem. Um problema muito grave.
12. **Quais recursos financeiros e materiais são direcionados para o ensino de Física?** Tem um laboratório de ciências, Física e Química, mas dificilmente Física usa. Não tem demanda específica. Para química sempre tem solicitação de material, então o laboratório é quase só de Química. Ainda teve a reforma do ensino médio, que reduziu a carga horária de Ciências da Natureza: dois períodos no 1o ano, um no segundo e um no terceiro.
13. **Existe um espaço na escola para aplicação de práticas experimentais de Física ou Ciências em geral? Ele é utilizado para essa finalidade?** O espaço é usado praticamente para Química, mas espaço na escola não falta. Também tem salas de projeções, laboratório de informática, etc.
 - 13.1. **Se não, qual o interesse da escola em investir recursos materiais para experimentos na disciplina de Física?** Se fosse necessário abrir mais um laboratório para Física, sob demanda, se providenciaria.

APÊNDICE H – Entrevista com vice-diretora da Escola B

1. **Qual estratégia pedagógica é considerada fundamental para o ensino de Física?** Não estou muito inteirada dessa questão, então é difícil dizer, mas o que eu vejo que funciona muito é quando os professores fazem experimentos, aulas práticas em laboratório ou no pátio. Os alunos amam. Então acredito que essas práticas pedagógicas envolvendo as experiências, com o conteúdo intercalando, são melhores.
2. **Quais recursos financeiros e materiais são direcionados para o ensino de Física?** Aqui na nossa escola não sei. Não tenho essas informações.
3. **Existe um espaço na escola para aplicação de práticas experimentais de Física ou Ciências em geral? Ele é utilizado para essa finalidade?** Tem um laboratório de ciências e é muito usado pelos professores de química e biologia. Até é usado para física, mas é menos.
 - 3.1. **Se não, qual o interesse da escola em investir recursos materiais para experimentos na disciplina de Física? ---**

APÊNDICE I – Entrevista com vice-diretora da Escola B

1. **Qual estratégia pedagógica é considerada fundamental para o ensino de Física?** Dentro dos objetivos que temos (formação técnica e também humana), é fundamental relacionar o conteúdo de Física com o cotidiano e com a sua área técnica de formação. Utilizar mais de uma forma de abordar o conteúdo, disponibilizar referências para pesquisa, aulas experimentais, uso do computador (planilha eletrônica e também simuladores), metodologias ativas de ensino.
2. **Quais recursos financeiros e materiais são direcionados para o ensino de Física?** Existem 2 laboratórios de física, dois auxiliares de ensino que ficam à disposição para organizar as atividades experimentais e também eventualmente substituir professores em momentos de ausência (para aplicação de provas, etc.). Os auxiliares também trabalham ativamente durante a condução das atividades de olimpíadas de física e de astronomia. Os materiais dos laboratórios são antigos, muitos deles foram recondicionados, e além disso, muito material é adaptado com recursos de baixo custo. Quando é necessário, se solicita à direção a compra de material mais caro. Recentemente precisamos de fontes de tensão novas, que foram adquiridas com recursos do PDDE. Estamos aguardando a compra de um novo batedor de ondas com recursos do governo do RS.
3. **Existe um espaço na escola para aplicação de práticas experimentais de Física ou Ciências em geral? Ele é utilizado para essa finalidade?** Sim, temos 2 laboratórios com bancadas para experimentos diversos. Um dos laboratórios tem cortinas pretas tipo blecaute, para experimentos de Óptica. O mesmo laboratório tem piso de borracha para fins de isolamento.
 - 3.1. **Se não, qual o interesse da escola em investir recursos materiais para experimentos na disciplina de Física? --**

APÊNDICE J – Questionário para aplicação presencial em turmas de 1º a 3º anos de Ensino Médio

1. Idade: _____
2. Ano/Série: () 1º Ano () 2º Ano () 3º Ano
3. Você gosta da disciplina de Física? () SIM () NÃO
Por quê? _____

4. Enumere de 1 (mais fácil) a 5 (mais difícil) os conteúdos de Física que você já teve no Ensino Médio. Se você estiver no 2º ou 3º ano, preencha também os conteúdos que teve no(s) ano(s) anterior(es), sempre de 1 a 5. Se algum conteúdo foi passado em um ano diferente, pode sinalizar com um número ao lado da alternativa (ex: “1”, “2” ou “3”) e dar uma nota para ele. Se você ainda não estudou determinado conteúdo, apenas assinale com um “X”.

1º ANO

- () Cinemática e Movimento Uniformemente Variado (MUV)
- () Estática e Leis de Newton
- () Termologia (temperatura, calor, propagação do calor)
- () Óptica (óptica geométrica)

2º ANO

- () Trabalho, Energia e Potência
- () Gravitação
- () Termodinâmica
- () Óptica (óptica física)

3º ANO

- () Eletrostática
- () Eletrodinâmica (corrente elétrica, resistores, circuitos elétricos)
- () Campos Magnéticos
- () Indução eletromagnética
- () Ondulatória

5. Qual o conteúdo você gostou mais e por quê? _____

6. Durante as aulas de Física, quantas delas tiveram alguma prática com experimento ou demonstração?

() Quase todas as aulas

() A maioria das aulas

() Metade das aulas

() A minoria das aulas

() Nenhuma ou quase nenhuma aula

7. O que você gostaria de sugerir para melhorar as aulas de Física, para torná-las mais fáceis e interessantes? _____

APÊNDICE K – Diagrama de Mudge

5: Mais importante que; 3: Tão importante quanto; 1: Menos importante que.	Facilitar a montagem e execução	Permitir a permuta de peças	Utilizar diferentes materiais	Explorar interatividade	Utilizar atrativos visuais de cores e formas	Instigar a experiência tátil	Ser fácil de manusear e compreender	Ser simples e prático	Utilizar objetos do cotidiano	Utilizar formas de fácil reconhecimento	Utilizar recursos agregáveis e subtrativos	Permitir exploração em diferentes cenários	Facilitar gatilhos cognitivos e físicos	Utilizar materiais acessíveis	Utilizar peças de fácil reposição	Facilitar o transporte	Otimizar o tamanho e peso	Ser resistente	Total	(%)	
	Facilitar a montagem e execução		3	5	5	3	5	3	3	3	3	5	3	5	3	3	3	5	5	65	7,08%
Permitir a permuta de peças	3		5	5	3	5	1	1	3	3	5	3	1	3	3	3	3	5	55	5,99%	
Utilizar diferentes materiais	1	1		1	3	3	1	1	1	1	3	1	1	3	3	1	1	3	29	3,16%	
Explorar interatividade	1	1	5		3	3	1	1	1	1	3	3	3	1	3	1	3	1	35	3,81%	
Utilizar atrativos visuais de cores e formas	3	3	3	3		5	1	1	1	3	5	3	3	1	1	1	1	3	41	4,47%	
Instigar a experiência tátil	1	1	3	3	1		1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	23	2,51%	
Ser fácil de manusear e compreender	3	5	5	5	5	5		3	3	3	5	5	3	3	3	3	3	5	67	7,30%	
Ser simples e prático	3	5	5	5	5	5	3		5	3	5	5	3	5	3	3	3	5	71	7,73%	
Utilizar objetos do cotidiano	3	3	5	5	5	5	3	1		3	3	5	3	3	3	1	1	3	55	5,99%	
Utilizar formas de fácil reconhecimento	3	3	5	5	3	5	3	3	3		5	3	3	5	3	1	1	3	57	6,21%	
Utilizar recursos agregáveis e subtrativos	1	1	3	3	1	3	1	1	3	1		3	1	1	1	1	1	3	29	3,16%	
Permitir exploração em diferentes cenários	3	3	5	3	3	5	1	1	1	3	3		3	1	1	3	3	3	45	4,90%	
Facilitar gatilhos cognitivos e físicos	1	5	5	3	3	5	3	3	3	3	5	3		3	3	3	3	5	59	6,43%	
Utilizar materiais acessíveis	3	3	3	5	5	5	3	1	3	1	5	5	3		3	1	1	3	53	5,77%	
Utilizar peças de fácil reposição	3	3	3	3	5	5	3	3	3	3	5	5	3	3		3	3	3	59	6,43%	
Facilitar o transporte	3	3	5	5	5	5	3	3	5	5	5	3	3	5	3		3	5	69	7,52%	
Otimizar o tamanho e peso	1	3	5	3	5	5	3	3	5	5	5	3	3	5	3	3		5	65	7,08%	
Ser resistente	1	1	3	5	3	5	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1	1		41	4,47%	
																			Total	918	100,00%

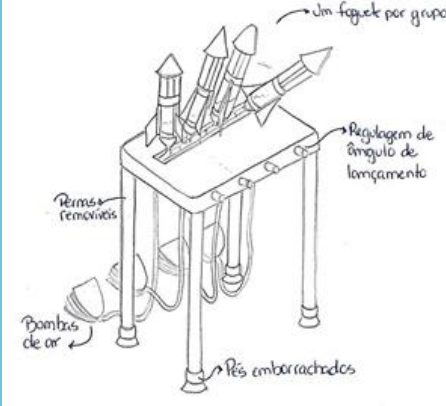
Fonte: autora.

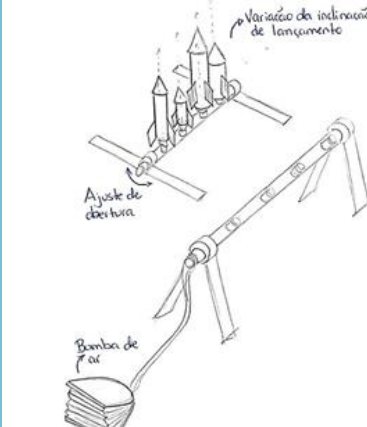
APÊNDICE L – Matriz QFD (Quality Function Deployment)

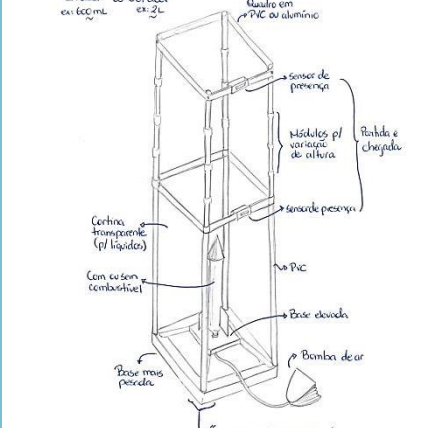
<p style="text-align: center;">9. Alta relação; 3. Relação mediana; 1. Baixa relação; 0. Sem relação.</p>		Peso	
			(%)
Facilitar a montagem e execução	7/08	9	409,0
Permitir a permuta de peças	5/99	3	456,8
Utilizar diferentes materiais	3/16	1	3,9%
Exibir interatividade	3/81	3	396,4
Utilizar atributos visuais de cores e forma	4/47	3	416,3
Instigar a experiência tátil	2/31	3	168,5
Ser fácil de manusear e compreender	7/3	3	231,3
Ser simples e prático	7/23	3	307,3
Utilizar objetos do cotidiano	5/99	1	136,0
Utilizar formas de fácil reconhecimento	6/21	1	183,3
Utilizar recursos agregáveis e substituíveis	3/16	3	134,5
Permitir exploração em diferentes cenários	4/9	3	116%
Facilitar gatilhos cognitivos e físicos	6/43	3	351,0
Utilizar materiais acessíveis	5/77	3	380,5
Facilitar peças de fácil reposição	6/43	1	121,5
Facilitar o transporte	7/52	9	611,2
Otimizar o tamanho e peso	7/08	0	0,0%
Ser resistente	4/47	0	0,0%
Total			6536,6
			480,5
			121,5
			611,2
			354,3
			291,9
			362,1
			266,8
			433,0
			462,0
			278,1
			306,3
			414,0
			251,9
			363,1
			465,8
			178,8
			166,9
			258,9
			424,0
			459,6
			395,6

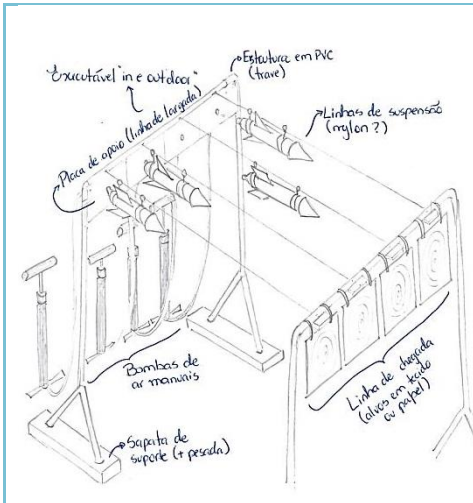
Fonte: autora

APÊNDICE M – Matriz avaliativa para seleção das alternativas.

	Alternativa 1		
	Requisito	Peso	Nota
Facilitar a pega	5,63	3	16,89
Sinalizar encaixes	4,41	4	17,64
Facilitar o acionamento	4,14	3	12,42
Fazer uso de composições análogas ao cotidiano	4,02	2	8,04
Delimitar número máximo de peças	3,96	3	11,88
Incluir instruções claras de uso	3,94	3	11,82
Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade	3,73	4	14,92
Utilizar materiais leves	3,66	3	10,98
Possuir encaixes	3,59	4	14,36
Pontuação da alternativa			118,95

	Alternativa 2		
	Requisito	Peso	Nota
Facilitar a pega	5,63	4	22,52
Sinalizar encaixes	4,41	3	13,23
Facilitar o acionamento	4,14	4	16,56
Fazer uso de composições análogas ao cotidiano	4,02	1	4,02
Delimitar número máximo de peças	3,96	3	11,88
Incluir instruções claras de uso	3,94	2	7,88
Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade	3,73	4	14,92
Utilizar materiais leves	3,66	2	7,32
Possuir encaixes	3,59	4	14,36
Pontuação da alternativa			112,69

	Alternativa 3		
	Requisito	Peso	Nota
Facilitar a pega	5,63	4	22,52
Sinalizar encaixes	4,41	4	17,64
Facilitar o acionamento	4,14	4	16,56
Fazer uso de composições análogas ao cotidiano	4,02	4	16,08
Delimitar número máximo de peças	3,96	3	11,88
Incluir instruções claras de uso	3,94	3	11,82
Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade	3,73	1	3,73
Utilizar materiais leves	3,66	3	10,98
Possuir encaixes	3,59	5	17,95
Pontuação da alternativa			129,16



Alternativa 4

Requisito	Peso	Nota	Total
Facilitar a pega	5,63	2	11,26
Sinalizar encaixes	4,41	2	8,82
Facilitar o acionamento	4,14	3	12,42
Fazer uso de composições análogas ao cotidiano	4,02	2	8,04
Delimitar número máximo de peças	3,96	3	11,88
Incluir instruções claras de uso	3,94	2	7,88
Apresentar peças com diferentes morfologias para a mesma finalidade	3,73	3	11,19
Utilizar materiais leves	3,66	3	10,98
Possuir encaixes	3,59	2	7,18
Pontuação da alternativa			89,65

APÊNDICE N – Imagens adicionais dos testes aerodinâmicos.

Projétil A com barbantes



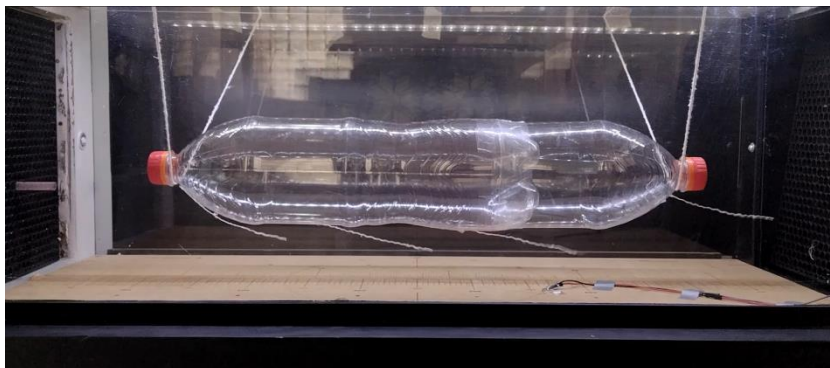
Fonte: autora.

Projétil B com barbantes



Fonte: autora.

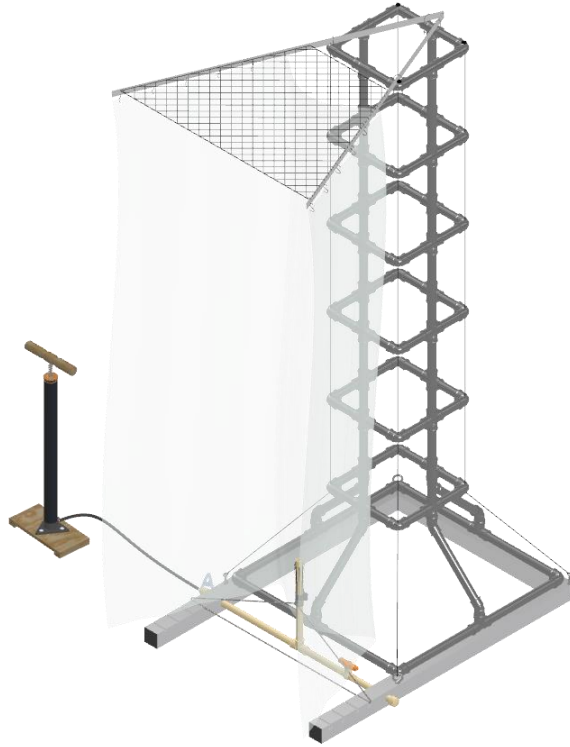
Projétil C com barbantes



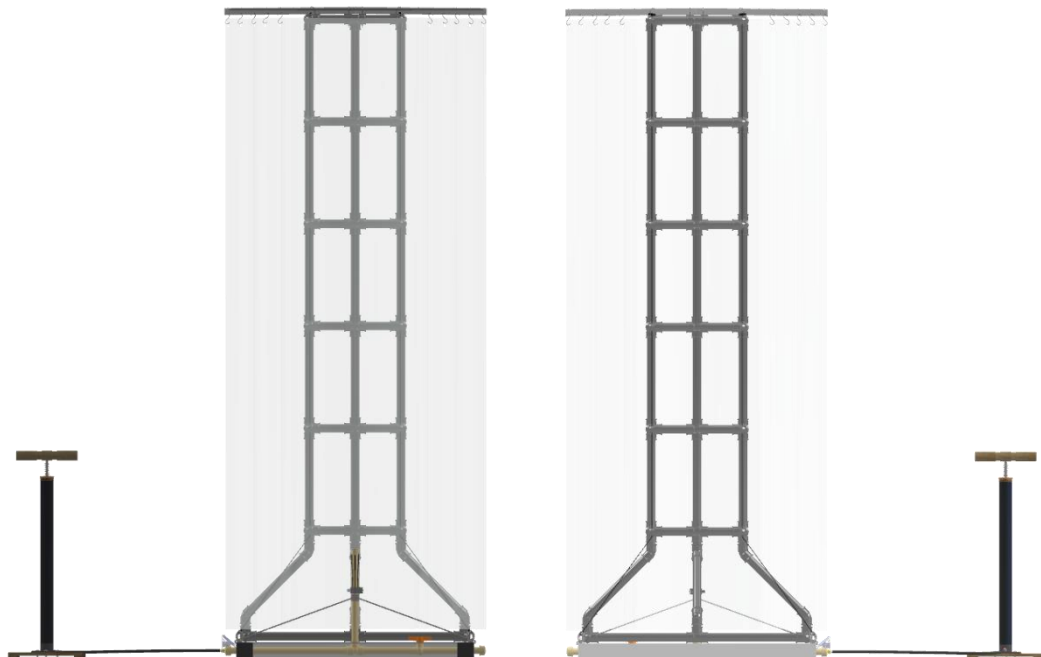
Fonte: autora.

APÊNDICE O – Modelo digital – imagens adicionais.

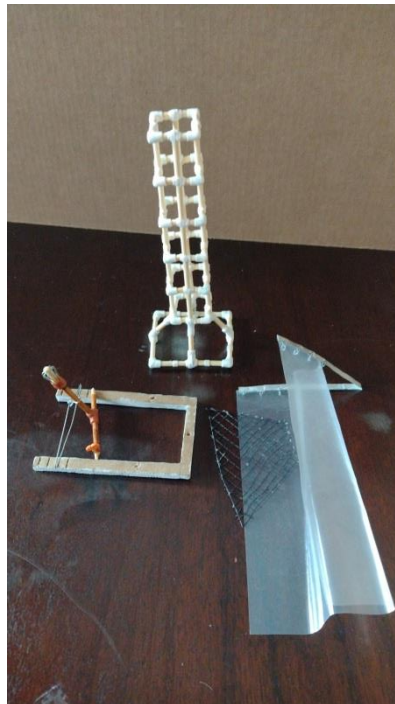
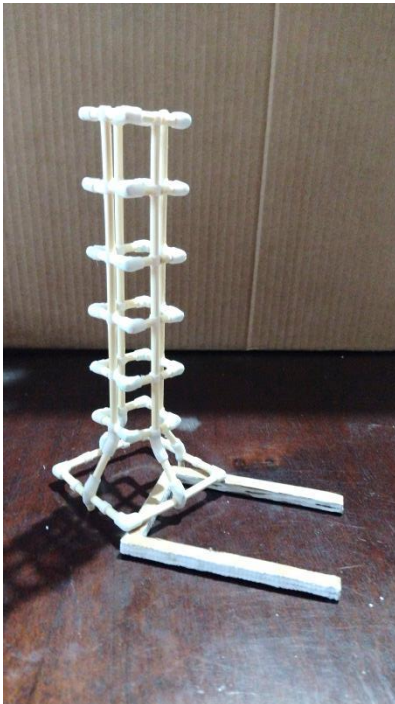
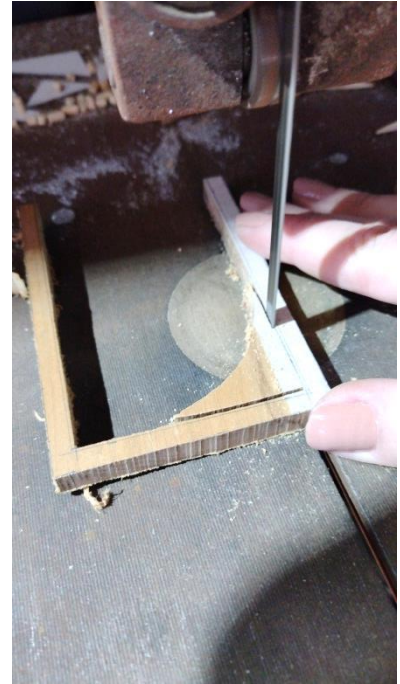
Vista em perspectiva



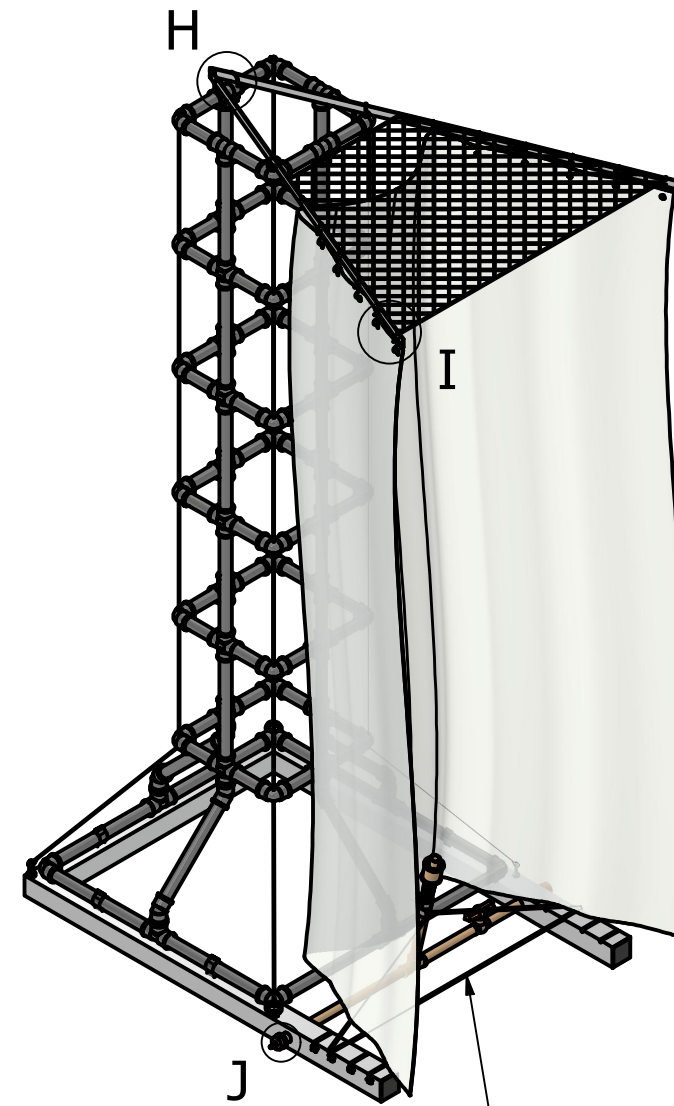
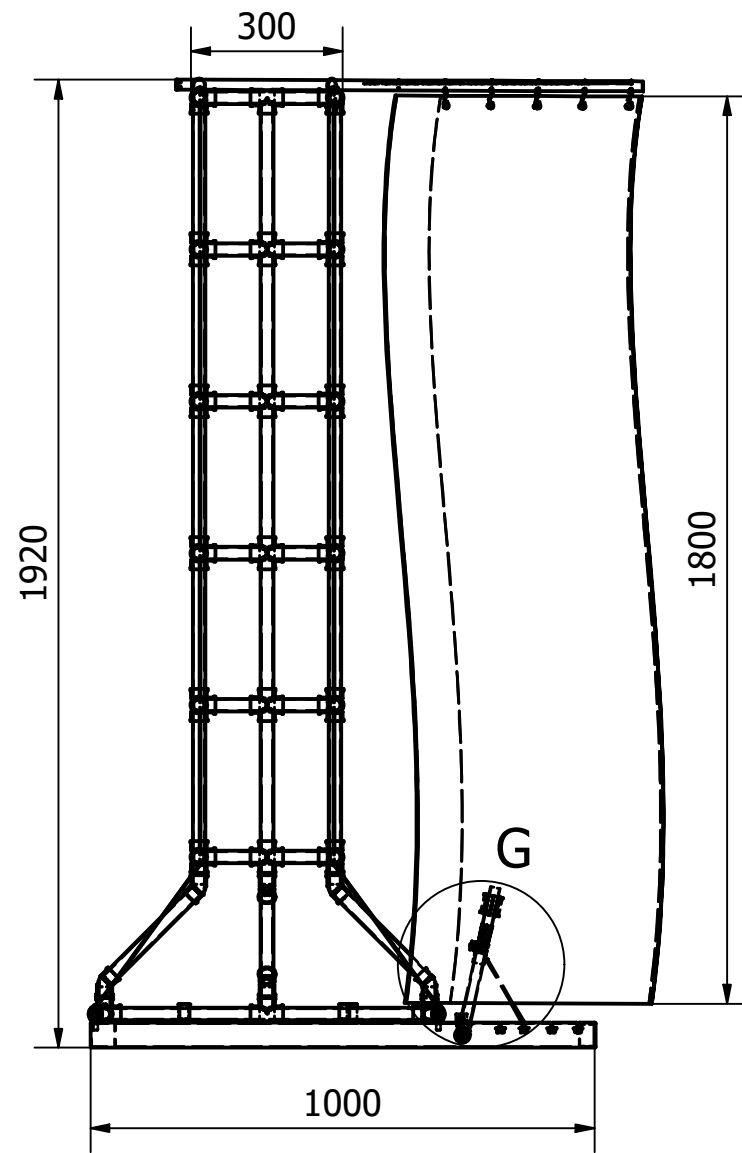
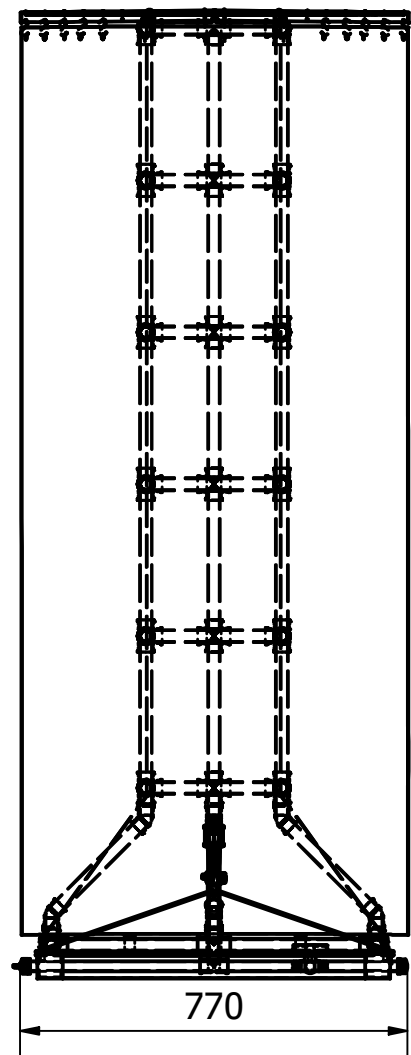
Vista frontal (esq.) e vista posterior (dir.)



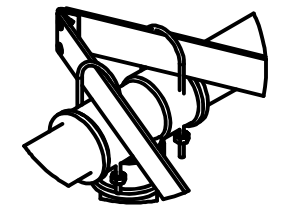
APÊNDICE P – Modelo em escala – imagens adicionais.



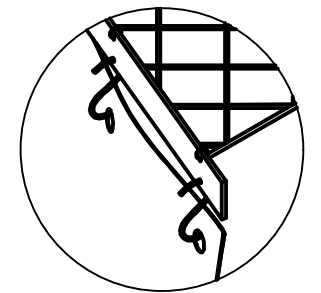
APÊNDICE Q – Desenhos técnicos.



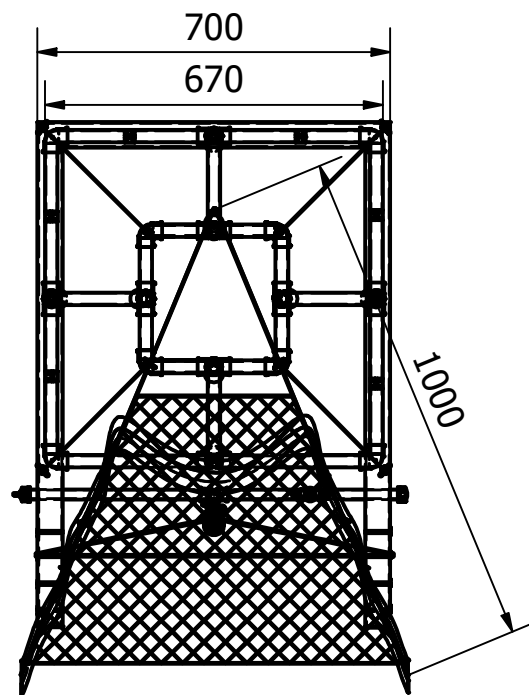
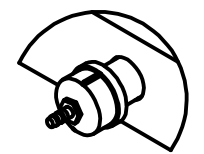
H (0,3 : 1)



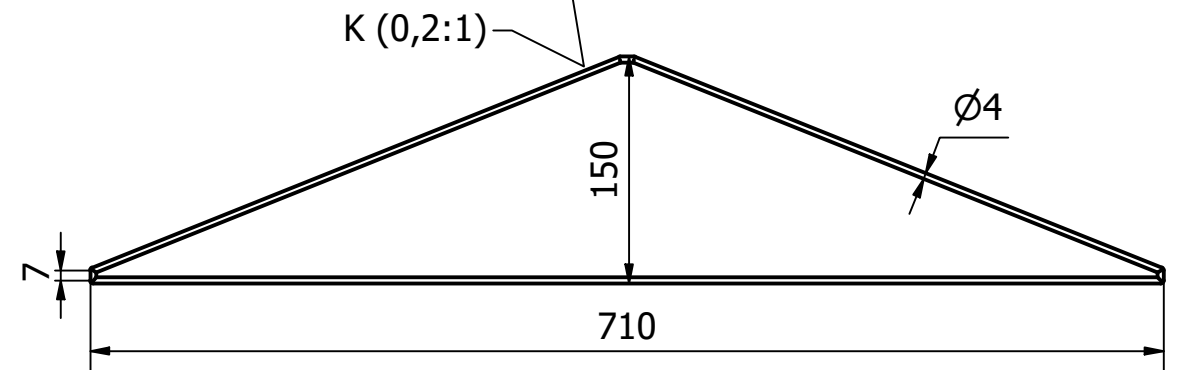
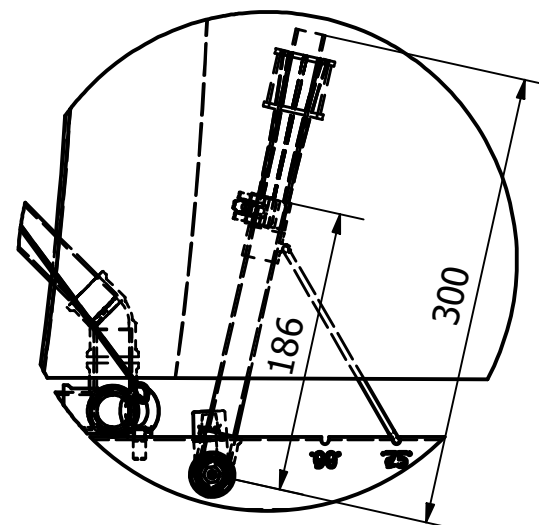
I (0,3 : 1)



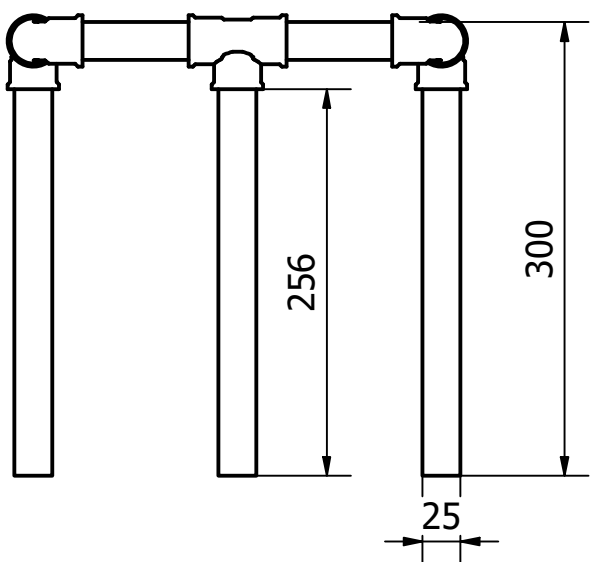
J (0,3 : 1)



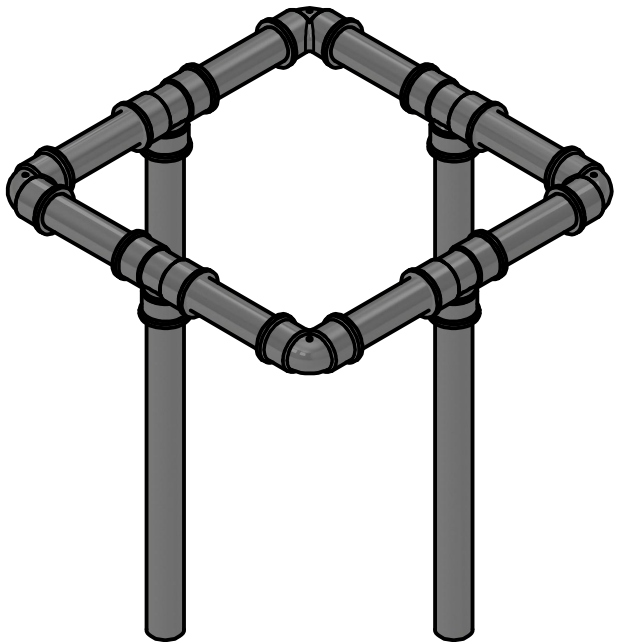
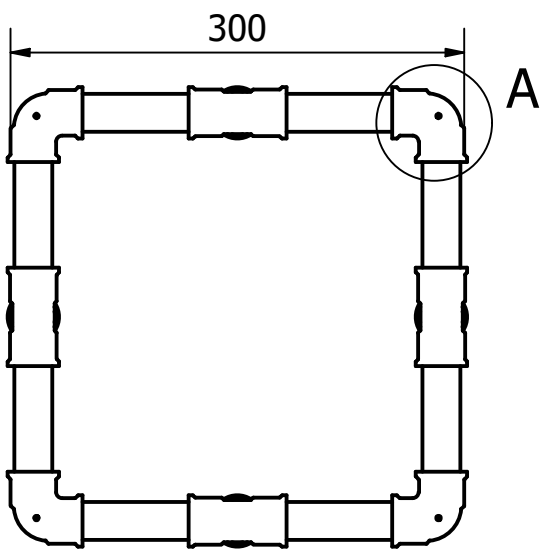
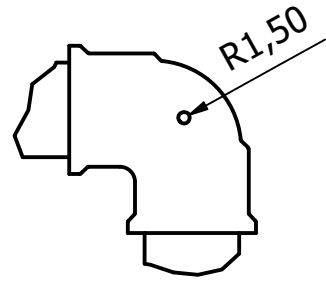
G (0,2 : 1)



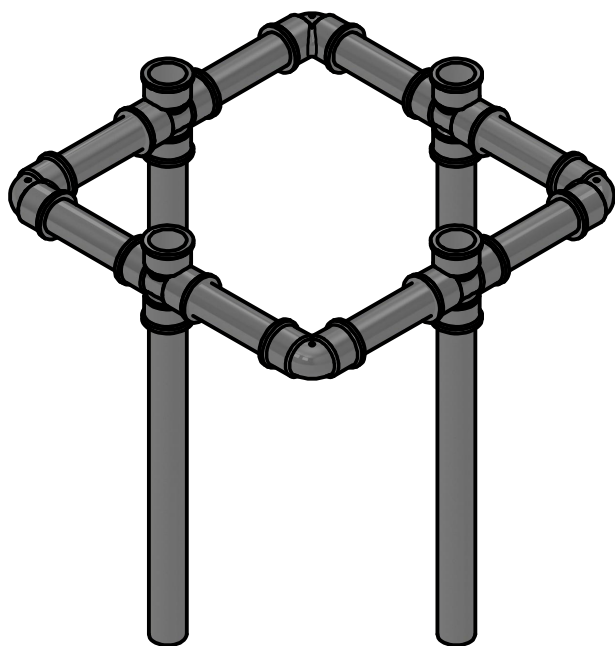
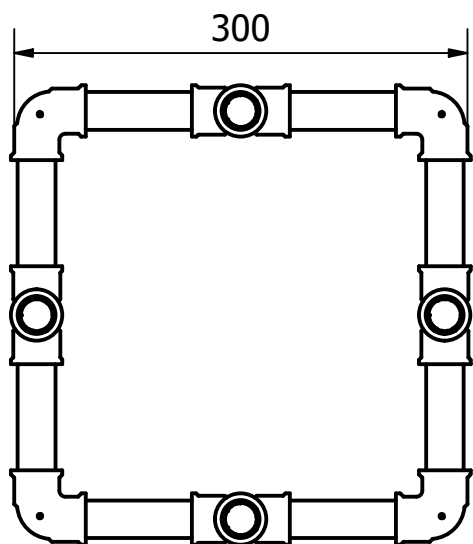
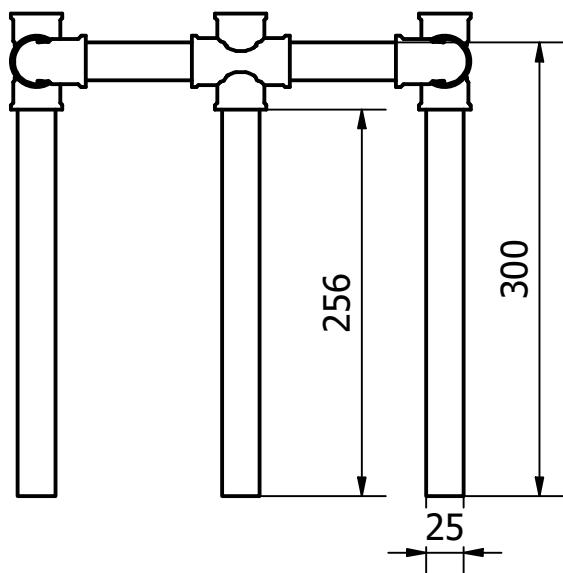
KIT EXPERIMENTAL PARA AUXÍLIO NO APRENDIZADO E FIXAÇÃO DE CONTEÚDOS DE FÍSICA	
CONJUNTO COMPLETO	
ESCALA - 1:15	TCC - DESIGN DE PRODUTO
UNIDADE - MM	2024



A (0,5 : 1)



KIT EXPERIMENTAL PARA AUXÍLIO NO APRENDIZADO E FIXAÇÃO DE CONTEÚDOS DE FÍSICA	
MÓDULO DE TOPO	
ESCALA - 1:5	TCC - DESIGN DE PRODUTO
UNIDADE - MM	2024



KIT EXPERIMENTAL PARA AUXÍLIO NO APRENDIZADO
E FIXAÇÃO DE CONTEÚDOS DE FÍSICA

MÓDULO INTERMEDIÁRIO

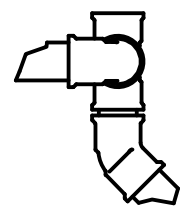
ESCALA - 1:5

TCC - DESIGN DE PRODUTO

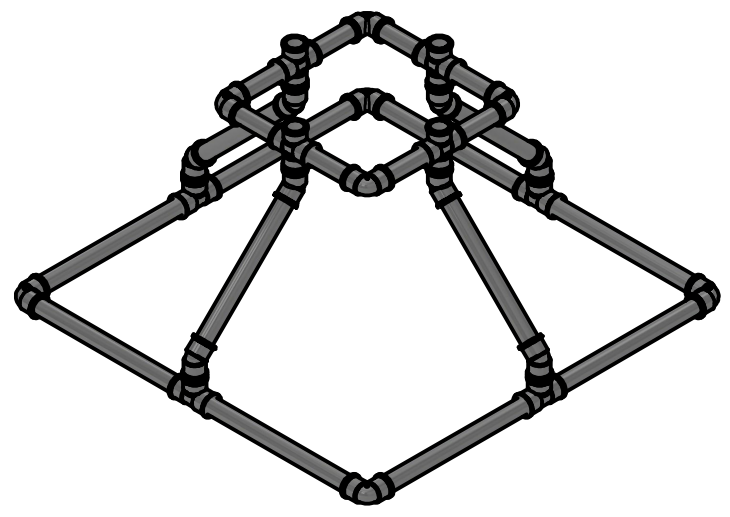
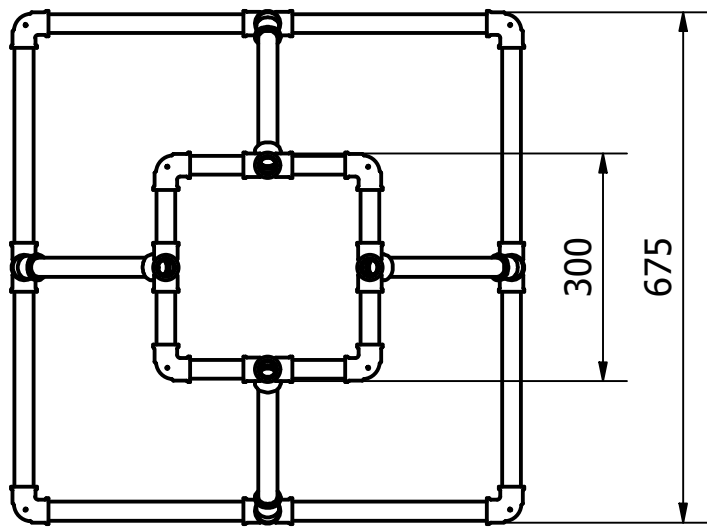
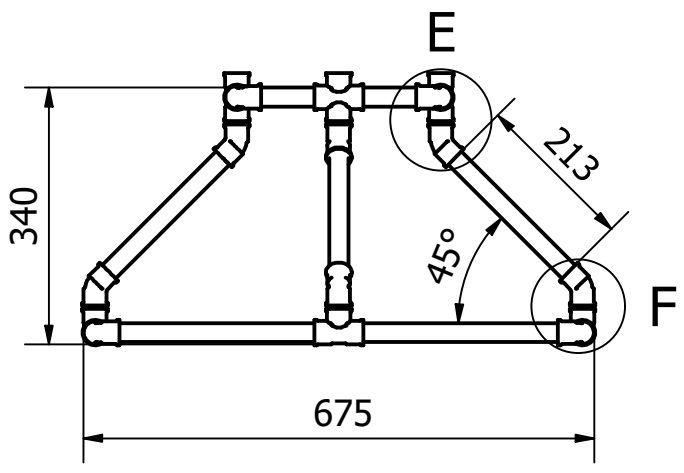
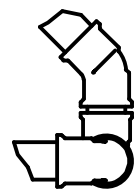
UNIDADE - MM

2024

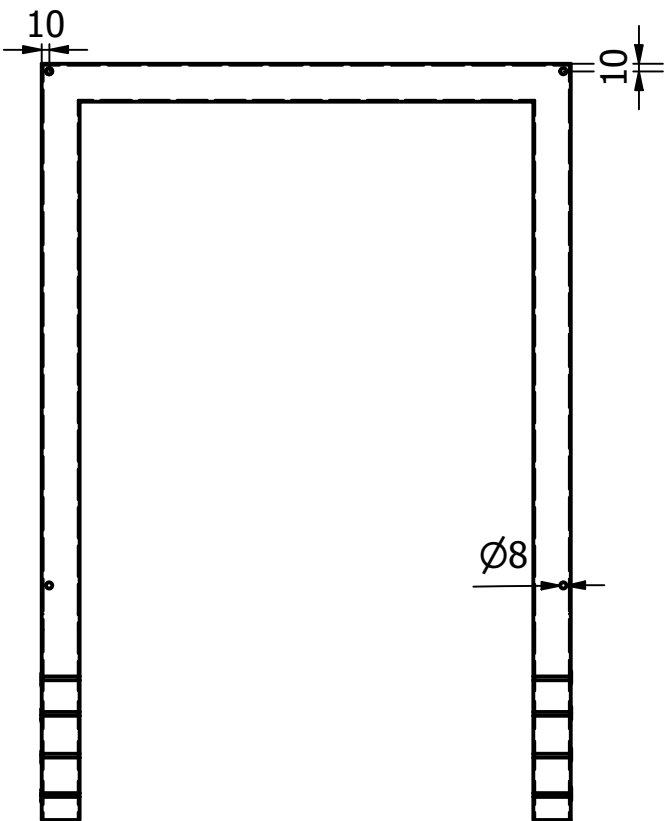
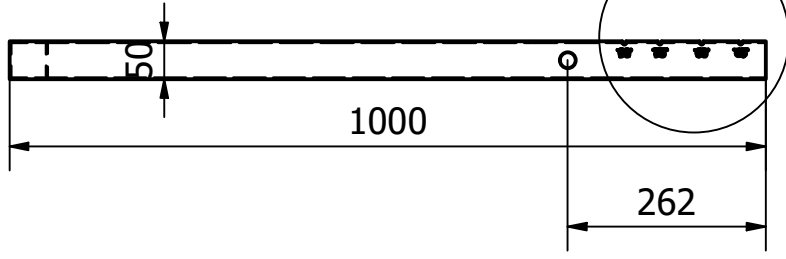
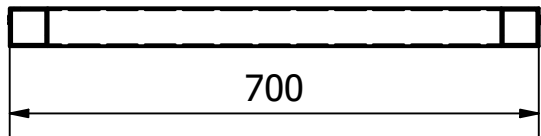
E (1 : 5)



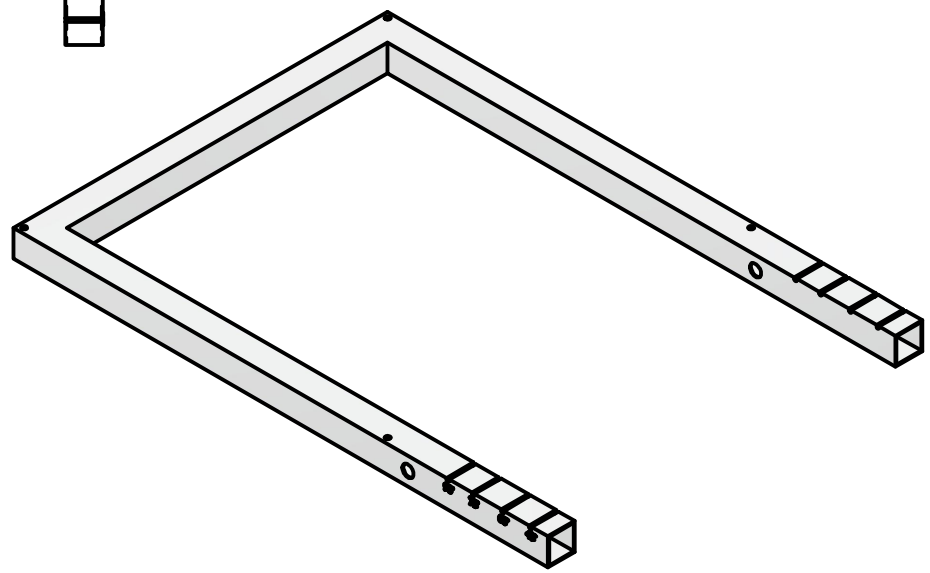
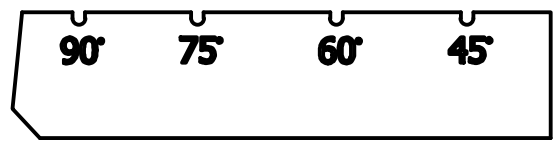
F (1 : 5)



KIT EXPERIMENTAL PARA AUXÍLIO NO APRENDIZADO E FIXAÇÃO DE CONTEÚDOS DE FÍSICA	
BASE TRAPEZOIDAL	
ESCALA - 1:10	TCC - DESIGN DE PRODUTO
UNIDADE - MM	2024



D (1 : 3)



KIT EXPERIMENTAL PARA AUXÍLIO NO APRENDIZADO E FIXAÇÃO DE CONTEÚDOS DE FÍSICA	
BASE FIXA	
ESCALA - 1:5	TCC - DESIGN DE PRODUTO
UNIDADE - MM	2024

