



CURSO TÉCNICO EM INFORMÁTICA PARA INTERNET

ANA LAURA SANTOS BORGES
CAIO HENRIQUE DASSI VIEIRA
GABRIEL ROBERTO PEREIRA
JULIA CARDOSO DANTAS DOS REIS

KIT EXPERIMENTAL DE FÍSICA COM ARDUINO

**ITAPETININGA – SP
2024**

ANA LAURA SANTOS BORGES
CAIO HENRIQUE DASSI VIEIRA
GABRIEL ROBERTO PEREIRA
JULIA CARDOSO DANTAS DOS REIS

KIT EXPERIMENTAL DE FÍSICA COM ARDUINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Darcy Pereira de Moraes, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, como requisito parcial para a obtenção da habilitação profissional de Técnico de Nível Médio em Informática para Internet sob a orientação do Professor Ari Teixeira de Almeida Neto e coorientação do Professor Kauê Dalla Vecchia Simó.

**ITAPETININGA – SP
2024**

ANA LAURA SANTOS BORGES
CAIO HENRIQUE DASSI VIEIRA
GABRIEL ROBERTO PEREIRA
JULIA CARDOSO DANTAS DOS REIS

KIT EXPERIMENTAL DE FÍSICA COM ARDUINO

Aprovada em : _____ / _____ / _____

Conceito: _____

Banca de Validação:

Professor.....
Etec Darcy Pereira de Moraes
Orientador

Professor
Etec Darcy Pereira de Moraes

Professor
Etec Darcy Pereira de Moraes

ITAPETININGA – SP
2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, pela força e inspiração que nos acompanhou durante toda a jornada deste trabalho. Aos familiares, que expressaram seu sincero amor incondicional e apoio constante. Eles foram a base e motivação. Aos professores do curso, somos gratos pelos ensinamentos, orientações e incentivo. Eles foram fundamentais para o crescimento acadêmico. E, por fim, aos amigos, que os acompanharam, incentivaram e proporcionaram momentos de descontração.

A todos vocês, muito obrigado!

RESUMO

A Física experimental, essencial para a compreensão de eventos físicos, envolve a indução controlada de fenômenos para validar teorias ou obter dados práticos. Nesse contexto, apresenta-se uma carência de instrumentos acessíveis e precisos em escolas públicas, especialmente para experimentos que demandam medição de tempo, como a queda livre. O presente trabalho "Kit Experimental de Física com Arduino" tem como objetivo desenvolver um kit de baixo custo para a Física experimental, com ênfase em experimentos educacionais que utilizam a plataforma Arduino Uno. A metodologia adotada envolveu uma revisão bibliográfica sobre experimentação no ensino de Física e o uso do Arduino, seguida pela construção do kit utilizando componentes eletrônicos simples e programação em C++. O kit foi testado em um experimento de queda livre, demonstrando resultados precisos na medição da aceleração gravitacional. O projeto destaca-se pela significativa economia em relação a equipamentos profissionais, além de promover uma abordagem prática e interativa ao ensino da Física, permitindo que os alunos vivenciem os conceitos teóricos por meio da experimentação.

Palavras-chave: Física experimental; Arduino; Queda livre; Kit educacional; Aceleração gravitacional.

ABSTRACT

Experimental Physics, essential for understanding physical events, involves the controlled induction of phenomena to validate theories or obtain practical data. In this context, there is a noticeable lack of accessible and precise instruments in public schools, especially for experiments requiring time measurements, such as free fall. This study, titled "Experimental Physics Kit with Arduino," aims to develop a low-cost kit for experimental Physics, with a focus on educational experiments using the Arduino Uno platform. The methodology involved a literature review on experimentation in Physics education and the use of Arduino, followed by the construction of the kit using simple electronic components and programming in C++. The kit was tested through a free-fall experiment, demonstrating precise results in measuring gravitational acceleration. The project stands out for its significant cost savings compared to professional equipment, while promoting a practical and interactive approach to Physics education, enabling students to experience theoretical concepts through experimentation.

Keywords: Experimental physics; Arduino; Free fall; Educational kit; Gravitational acceleration.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1.INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2.METODOLOGIA..... | 10 |
| 3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 11 |
| 4.REFERENCIAL TEÓRICO..... | 13 |
| 4.1.Experimentação no ensino de Física..... | 13 |
| 4.1.1.Cinemática e dinâmica..... | 13 |
| 4.1.2.Queda Livre..... | 13 |
| 4.1.3.Trilho de ar..... | 14 |
| 4.2.O uso do Arduino..... | 15 |
| 4.2.1.O Arduino..... | 15 |
| 4.2.2.Uso no meio educacional..... | 15 |
| 4.2.3.O Arduino aplicado aos experimentos..... | 16 |
| 5.DESENVOLVIMENTO..... | 17 |
| 5.1.Análise de equipamentos profissionais..... | 17 |
| 5.1.1.Azeheb - Laboratórios Educacionais (Queda livre)..... | 17 |
| 5.1.2.Azeheb - Laboratórios Educacionais (Trilho de Ar)..... | 19 |
| 5.2.Confecção do projeto..... | 22 |
| 5.2.1.Kit Eletrônico..... | 22 |
| 5.2.2.Adaptações..... | 23 |
| 5.2.3.Estrutura..... | 30 |
| 6.PRÁTICA EXPERIMENTAL..... | 33 |
| 6.1. Queda livre..... | 33 |
| 6.1.1.Descrição do experimento..... | 33 |
| 6.1.2.Resultados adquiridos..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1.3. Análise de acurácia..... | 36 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 38 |
| REFERÊNCIAS..... | 39 |

1. INTRODUÇÃO

No campo da Física, de acordo com Helene (1991), ciências experimentais e trabalhos de aplicação técnica, sempre estão envolvidos com resultados de medidas, as quais expressam o valor de determinadas grandezas, e o que se espera dessas medidas é a confirmação de alguma teoria ou auxílio no desenvolvimento de um trabalho tecnológico.

Nesse contexto, segundo o Laboratório de Física da Universidade Estadual Paulista (UNESP) (s.d), a Física experimental consiste em fazer experimentos, induzindo fenômenos em condições controladas, e que possam ser repetidas. Contudo, no meio educacional, a falta de recursos financeiros e de instrumentos especializados, presentes em grande parte das instituições públicas de ensino fundamental e médio, geram resultados que nem sempre são precisos, o que é um problema recorrente em experimentos que envolvem medição de tempo, por exemplo.

A inspiração para esse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) originou-se da demanda de instrumentos precisos e de baixo custo para a experimentação em laboratório apresentada pelo coorientador desse trabalho, docente do ensino de Física na Etec Darcy Pereira de Moraes, juntamente com o desenvolvimento prévio de pesquisas e projetos utilizando a plataforma Arduino. Portanto, surgiu o desejo de aplicar os conhecimentos adquiridos ao criar um kit de baixo custo para o ensino de Física em instituições de ensino básico.

Desse modo, surge a seguinte problemática de pesquisa: **Como desenvolver um kit experimental de baixo custo com Arduino?**

Diante disso, esse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo: **desenvolver um kit experimental de baixo custo para o ensino de Física usando Arduino.**

2. METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido a partir de uma metodologia dividida em três etapas: I) revisão bibliográfica, II) desenvolvimento do kit usando Arduino e III) avaliação de eficácia e usabilidade a partir de experimentos de queda livre.

A primeira etapa foi realizada a partir da pesquisa de artigos relacionados a temas como, Física experimental de baixo custo, e o uso do Arduino em experimentos de queda livre e movimento dos corpos, seguida da análise e leitura exploratória dos artigos e delimitação das principais contribuições a respeito do uso do Arduino em métodos de experimentação no meio da Física educacional.

A segunda etapa foi composta pela seleção dos componentes eletrônicos essenciais que integram o kit. Além disso, foi desenvolvido um aparato experimental com um medidor de tempo utilizando a plataforma Arduino e a linguagem de programação C++ para coleta e processamento de dados.

A terceira etapa consistiu na aplicação do medidor de tempo através de experimentos de queda livre, explorando as leis fundamentais da cinemática por meio da aceleração gravitacional. Ao fim do experimento foi realizada uma análise dos dados obtidos em comparação com as previsões teóricas e medições oficiais disponíveis.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No embasamento teórico desta monografia, o estudo bibliográfico teve sua origem em investigações acadêmicas centradas na Física experimental e na aplicação da tecnologia Arduino para a concepção de um kit específico. O ponto de partida para esta pesquisa foi o repositório Google Acadêmico. A busca por informações foi conduzida com a utilização dos seguintes descritores combinados com o filtro de “pesquisar páginas em português”, seguem os resultados da pesquisa:

- **Descritor 1:** “kit experimental com Arduino para o ensino de Física”.
- **Resultados para o descritor 1:** 54 artigos encontrados.
- **Descritor 2:** “medida de g com a placa Arduino”.
- **Resultados para o descritor 2:** 34 artigos encontrados.
- **Descritor 3:** “kit experimental com Arduino para o ensino de queda livre”.
- **Resultados para o descritor 3:** 9 artigos encontrados.
- **Descritor 4:** “trilho de ar e a placa Arduino”.
- **Resultados para o descritor 4:** 5 artigos encontrados.

Os artigos encontrados pelo descritor 1, envolviam o ensino de Física de forma geral, além de revisões sistemáticas a respeito de artigos sobre o tema. Portanto, os descritores seguintes filtraram as buscas para os experimentos propostos pelo coorientador do trabalho, e foram obtidos artigos e revisões considerando o uso do Arduino nos experimentos citados, que apresentam distintas soluções possíveis à mesma problemática.

Após análise e seleção dos artigos, foram delimitadas as contribuições mais relevantes perante a proposta do TCC, e tomados como referência os artigos que serão analisados a seguir:

A pesquisa de Cordova e Tort (2016), teve como proposta desenvolver um modo simples de medir a aceleração da gravidade g no laboratório de Física do ensino médio e de Física básica no ensino universitário utilizando um microcontrolador da família Arduino. Na medição realizada, o Arduino registra o instante da liberação e do impacto, logo, medindo o tempo da queda. O valor é então registrado possibilitando o cálculo da força g . O arranjo experimental utilizado apresenta o custo total – sem contar o computador – de cerca de R\$ 60, cumprindo o objetivo de criar um kit experimental de baixo custo. Os resultados experimentais

apresentam um erro relativo de 0,1% em comparativo com o valor local de g medido pelo Observatório Nacional, Rio de Janeiro.

Castilho, Oliveira e Dutra (2020) optaram por uma abordagem diferente, ao realizar uma atividade comparativa entre dois aparatos experimentais de queda livre, desenvolvida durante as aulas de Física em uma turma de primeira série do ensino médio. Os estudantes foram divididos em dois grupos: o primeiro grupo realizou a atividade com o equipamento comercial, e o segundo grupo utilizou a solução com o Arduino. Neste experimento, o Arduino cumpriu um papel semelhante ao realizar a medição do tempo de queda, porém utilizando um sistema de sensoriamento infravermelho em três fases, onde o microprocessador registra as interrupções no fluxo luminoso causadas pelo objeto em queda livre e calcula o tempo total de queda. Com a exploração dos dados obtidos, concluiu-se que as atividades experimentais que utilizam a ferramenta possibilitam a coleta de dados com boa qualidade, inferindo que o Arduino pode ser utilizado nas aulas experimentais de Física para favorecer significativamente a aprendizagem dos estudantes.

A dissertação de Cavalcanti (2016) utiliza a placa Arduino para realizar a aquisição de dados na análise do movimento móvel em um trilho de ar de baixo custo. O protótipo desenvolvido usa sensores LDR conectados ao microprocessador com a finalidade de fazer a marcação temporal do movimento do carrinho sobre o trilho de ar. Depois disso, o experimento foi testado no ensino de Movimento Retilíneo Uniforme (MRU), e Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV). As constatações finais determinaram que a abordagem proporcionou aos alunos uma interação entre a tecnologia e a ciência, modificando o constante desinteresse com relação ao estudo da cinemática.

Os trabalhos examinados apresentam soluções com medições precisas do ponto de vista físico, e que são bem-sucedidas em aumentar o engajamento dos alunos durante as aulas com o uso de experimentação prática, mesmo com equipamentos de baixo custo. Porém, nenhum dos artigos analisados demonstram um kit aplicável a mais de um experimento.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Experimentação no ensino de Física

Referindo-se à Física experimental, definem-se os conceitos e práticas que envolvem experimentos sobre determinado assunto no ramo da Física, induzindo fenômenos em determinadas condições. Nesse contexto, atividades experimentais visam aplicar a teoria na resolução de problemas e dar significado à aprendizagem da Ciência (Zanon; Freitas, 2007). Sendo assim, as atividades experimentais quantitativas podem enriquecer o aprendizado, adotando uma postura mais flexível, que proporciona a incorporação de outros elementos e metodologias no ensino tradicional (Araújo, 2003). Em suma, a Física experimental desempenha um papel crucial no estudo de áreas abstratas da Física, como a cinemática e a dinâmica, contribuindo para a exploração de fenômenos mais complexos, incentivando o interesse dos educandos pelo meio científico.

4.1.1. Cinemática e dinâmica

Segundo Palandi (2010) a cinemática possui o objetivo de descrever como se processam os movimentos, isto é, estabelecer, num dado referencial, as posições que os corpos ocupam ao longo do tempo e suas respectivas velocidades, independentemente das causas desses movimentos. Em outras palavras, a cinemática procura estabelecer formas geométricas das trajetórias dos corpos no espaço, sejam elas retas ou curvas, e os intervalos de tempo levados para percorrer todos os segmentos desses trajetos.

Segmentando as ideias de Palandi (2010), a dinâmica busca entender as causas dos movimentos. Dado um conjunto de corpos interagindo uns com os outros, cabe à dinâmica apresentar as forças que atuam sobre cada um deles, relacionar a resultante dessas forças e entender o movimento correspondente no referencial considerado.

Esses enfoques, quando aplicados experimentalmente, permitem aos alunos não apenas reforçar os conceitos teóricos da cinemática e da dinâmica, mas também os princípios físicos em atividade, promovendo uma aprendizagem mais significativa e promissora.

4.1.2. Queda Livre

De acordo com Évora (2006) o movimento de queda dos corpos é analisado e discutido desde o século IV a.C. por Aristóteles, reforçando que os corpos sempre se deslocavam em busca do seu lugar natural. Mais tarde, o cientista italiano Galileu Galilei (1564 - 1642) realizou experiências para tentar entender o movimento de queda dos corpos.

Após a aplicação do método experimental, Galileu concluiu que se um corpo pesado e um corpo leve forem abandonados de uma mesma altura, eles cairão juntos, chegando ao mesmo tempo no chão (Porto, 2008). Esse efeito, porém, só pode ser observado em situações em que a resistência do ar é nula, ou pequena o suficiente para ser menosprezada, e esse movimento, a queda de um corpo sem resistência do ar, é determinado como **queda livre**.

O experimento da queda livre tem o intuito de medir o tempo em que um objeto cai de uma determinada altura. Ao efetuar a repetição do experimento com diferentes alturas, é possível analisar como o tempo de queda varia, calculando a aceleração do objeto em queda livre, e assim, designar um valor para a **aceleração gravitacional (g)**. Esse valor é constante e independe do corpo afetado. Como a velocidade inicial é nula, o cálculo de **g** é feito com a seguinte equação:

$$g = 2y / t^2$$

Sendo **y** a altura da qual o objeto foi abandonado, e **t** a duração da queda em segundos. O principal empecilho encontrado nesse experimento está na dificuldade em medir **t** com precisão, devido a rapidez com que a queda livre acontece. Por isso, é maximizada a necessidade de utilizar instrumentos de medição precisos.

4.1.3. Trilho de ar

Com o recurso didático para o ensino da Física experimental trilho de ar, é possível simular colisões entre objetos e estudar como a quantidade de movimento é conservada durante o processo. O trilho de ar possibilita o estudo do movimento de objetos sob a influência de uma força constante, permitindo exploração entre força, massa e aceleração, já que minimiza o atrito entre um objeto e uma superfície (Cavalcanti, 2016).

As características apresentadas pelo aparato experimental, permitem a observação prática de conceitos essencialmente exigidos em vestibulares públicos e privados. Segundo Azeheb (s.d), alguns exemplos de temáticas exploradas com esse experimento são: Referencial, Posição Inicial e Final; Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV); Leis de Newton; Conservação da Energia Mecânica; Impulso e Quantidade de Movimento; Conservação da Quantidade de Movimento Linear; Choque Elástico e Choque Inelástico.

4.2. O uso do Arduino

4.2.1. O Arduino

Segundo o Grupo de Robótica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS, 2012), o Arduino UNO surgiu em 2005, na Itália, onde o professor Massimo Banzi e o pesquisador David Cuartielles optaram por criar a sua própria placa programável, com o intuito de ensinar robótica aos seus alunos, devido à falta de placas eficientes e acessíveis no mercado da época. Com o desenvolvimento do hardware feito por Massimo e Cuartielles, David Mellis, um de seus alunos, apoiou e ajudou na criação do software do Arduino, implementando a linguagem de programação C++.

Conforme Martinazzo et al. (2014), o Arduino é uma plataforma de microcontrolador de código aberto, que permite gerenciar sistemas de dispositivos pela aquisição de dados de sensores de entrada e saída, possibilitando a visualização gráfica em tempo real, edições em seu código fonte e fácil upload e leitura de seu arquivo.

A conectividade com este microcontrolador pode ser atribuída aos smartphones, por bluetooth ou rede wireless, ou a opção de compartilhamento físico, com os computadores com o cabo USB (Santos, 2021).

O Arduino se torna uma ferramenta ainda mais conveniente e acessível considerando sua Política de Código Aberto. De acordo com Dansi (2022), não há necessidade de uma licença paga para o software, conseqüentemente gerando uma comunidade contribuinte para o crescimento da plataforma em uso, tornando-a mais efetiva e aprimorada. Ademais, segundo Simdes (2018), a troca de experiências, projetos, perspectivas e bibliotecas de programação é o vigoroso ponto de implementação de uma abrangente e unida comunidade, sendo de plataformas oficiais ou não, essa colaboração é atrativa aos usuários da tecnologia.

4.2.2. Uso no meio educacional

A utilização do Arduino na programação e na robótica, tem avançado no meio educacional. De acordo com Perez et al. (2013), além do ensino de robótica, o Arduino tem sido utilizado para inicializar projetos complexos, controlando sistemas de entrada e saída de dados, e formulando circuitos microcontrolados.

Considerando o meio do ensino de Física, segundo Cavalcante, Tavolaro e Molisani (2011), o Arduino está se tornando um elemento fundamental para a Física experimental. A praticidade exposta em seus resultados, com a diversidade de bibliotecas disponíveis,

proporciona informações mais precisas e concisas, obtidas através de sensores. Na visualização de dados alcançados, podem ser utilizadas as próprias portas digitais e analógicas do Arduino, podendo assim, fornecer graficamente os resultados de experimentos em tempo real, e a prototipagem no âmbito físico experimental, integrando o Arduino como uma peça-chave na gestão de experimentos físicos.

4.2.3. O Arduino aplicado aos experimentos

No experimento de queda livre, seguindo as ideias de Santos (2021), o Arduino servirá como base fundamental e tecnológica para que a própria programação do sistema experimental ocorra, e os resultados sejam explícitos de forma precisa e clara, utilizando seus sensores físicos por meio das portas digitais e analógicas, por isso é recomendado uso do microcontrolador no experimento.

Martinazzo et al. (2014) infere que “[...] É possível ler dados de qualquer fenômeno físico detectável por sensores, ou seja, basicamente é um sistema que lê sinais elétricos em sensores expostos ao ambiente a partir de suas portas digitais e analógicas.”

Vantajosamente, a placa Arduino é capaz de ser extremamente precisa em seus resultados de medição de tempo, conforme alegado por Cordova e Tort (2016), sua precisão de milissegundos a microssegundos, garante resultados perfeitamente satisfatórios em laboratórios de Física.

É de grande importância que o uso do Arduino seja uma opção integralmente relevante, com seu orçamento considerado moderado a baixo, possuindo diversos outros componentes de fácil acesso financeiro em seu kit, como protoboard, resistores e fios. Além de garantir um uso acessível com suas vantagens de custo, resultados e usabilidade. Seu uso implementado em aprendizagem, garante então uma visualização experimental em tempo real e o ensino sobre programação, robótica e Física aplicada no contexto didático.

5. DESENVOLVIMENTO

Após uma análise sistemática de equipamentos experimentais comerciais, o kit medidor de tempo foi montado e aplicado no experimento de queda livre para teste de eficácia. Contudo, vale destacar que os itens selecionados podem ser utilizados na realização de ambos os experimentos com pequenas adaptações estruturais.

5.1. Análise de equipamentos profissionais

Foi realizada uma análise do site Azeheb - Laboratórios Educacionais, especializado em equipamentos para laboratórios de Física. O site possui uma ampla descrição dos equipamentos em questão, dos estudos aos quais são destinados e sua composição detalhada, com especificações de todos os itens do kit, especificações técnicas e requisitos de software mínimos. A busca realizada consistiu em: Queda Livre e Trilho de Ar, sendo eles, equipamentos distintos.

5.1.1. Azeheb - Laboratórios Educacionais (Queda livre)

Os resultados da busca “Queda Livre” retornaram uma descrição e fotos do equipamento como a encontrada na Figura 1, além dos materiais que compõe o kit (Vide Tabela 1).

Figura 1 - Equipamento experimental Queda livre da Azeheb.



Fonte: AZEHEB. **Queda livre (5 sensores)**. Disponível em: <https://azeheb.com.br/queda-livre-415.html>. Acesso em: 26 de abril de 2024.

Tabela 1 – Materiais usados na composição do equipamento Queda Livre

| Versão 2 Sensores | Versão 5 Sensores | Descrição |
|------------------------------|------------------------------|--|
| 01 | 01 | Tripé grande com sapatas niveladoras |
| 01 | 01 | Cronômetro digital multifunções AZB-30 USB |
| 01 | 01 | Fonte chaveada DC 12V/2A |
| 01 | 01 | Perfil metálico para fixação dos sensores e acessórios |
| 01 | 01 | Eletroímã com dois bornes e haste de fixação |
| 02 | 02 | Esferas de aço: Ø20mm e Ø25mm |
| 02 | 05 | Sensores fotoelétricos PGS-D10 |
| 02 | 05 | Cabos de ligação para os sensores |
| 01 | 01 | Cabo de ligação para eletroímã |
| 01 | 01 | Saco coletor de esferas |
| 01 | 01 | Suporte para saco coletor de esferas |
| 07 | 07 | Manípulo M6x16 |
| 05 | 05 | Porcas especiais para fixação dos sensores |
| 01 | 01 | Régua metálica com 10 aberturas de 10mm |
| 01 | 01 | Haste com pino para fixar régua com 10 aberturas |
| 01 | 01 | Prumo magnético |

Fonte: adaptado de AZEHEB. **Queda livre (5 sensores)**. Disponível em: <https://azeheb.com.br/queda-livre-415.html>. Acesso em: 26 de abril de 2024.

O kit é destinado ao estudo de queda livre, aceleração da gravidade e a conservação da energia mecânica. Neste equipamento, uma esfera é lançada e o tempo de queda pode ser medido a partir do cronômetro e dos sensores fotoelétricos. Também é utilizada uma régua raiada com intervalos definidos e regulares para medir 10 tempos de uma vez. Seu preço neste site é de R\$4.115,00.

5.1.2. Azeheb - Laboratórios Educacionais (Trilho de Ar)

Os resultados da busca “Trilho de Ar” retornaram uma descrição e fotos do equipamento como a encontrada na Figura 2, além dos materiais que compõe o kit (Vide Tabela 2).

Figura 2 - Equipamento experimental Trilho de Ar Linear da Azeheb.



Fonte: AZEHEB. **Trilho de Ar Linear (5 sensores)**. Disponível em: <https://azeheb.com.br/trilho-de-ar-linear-155.html>. Acesso em: 26 de abril de 2024.

Tabela 2 – Materiais usados na composição do equipamento Trilho de Ar Linear

| Quantidade | Material |
|------------|---|
| 02 | Carrinhos para trilho, cor preta, com dois pinos para suporte de massas; |
| 05 | Sensores fotoelétricos; |
| 05 | Cabos para sensores; |
| 05 | Cabos para sensores; |
| 05 | Manípulos para fixação dos sensores M6x16; |
| 01 | Knob metálico para sensor; |
| 01 | Multicronômetro digital com tratamento e rolagem de dados com 5 entradas para sensores fotoelétricos e resolução de 6 dígitos (0,000001s), display LCD 16x2 com backlight, memória para armazenamento das medidas, carenagem de metal, painel de controle de policarbonato com teclas tipo táctil, alimentação 12V/2A, saída com tensão variável com plug P4 para conexão do eletroímã/bobina, conexão USB para transmissão de dados; |

| | |
|-----------|---|
| 01 | Cabo de ligação (banana / P4) para eletroímã |
| 01 | Eletroímã de disparo e retenção com bornes e haste |
| 02 | Barreiras para colisão |
| 01 | Régua de alumínio com 10 aberturas para medição de 10 tempos; |
| 01 | Y de final de curso com fixador U para elástico disparador; |
| 01 | Y de final de curso com roldana raiada rolamentada de baixo atrito; |
| 01 | Carretel de linha nº10; |
| 01 | Fixador de eletroímã com manípulo; |
| 01 | Fixador em U para choque |
| 01 | Gancho suporte para massas aferidas com gancho; |
| 02 | Massas aferidas acoplável 50g com furo central de Ø5mm |
| 02 | Massas aferidas acoplável 10g com furo central de Ø5mm |
| 04 | Massas aferidas acoplável 20g com furo central de Ø5mm |
| 01 | Haste para carrinho para ativação de sensor |
| 03 | Porcas borboletas |
| 08 | Manípulos de latão 13mm |
| 04 | Arruelas lisas |
| 01 | Mola para MHS |
| 03 | Elásticos circulares |

| | |
|----|---|
| 01 | Adaptador para mola para MHS |
| 02 | Pino para carrinho com gancho |
| 01 | Pino para carrinho com pitão |
| 01 | Pino para carrinho com agulha |
| 01 | Pino para carrinho com massa aderente |
| 01 | Pino para carrinho com fixador para eletroímã |
| 01 | Fixador metálico de sensor fotoelétrico para roldana raiada |
| 01 | Unidade de fluxo de ar, 110V, potência de 800W, com controle eletrônico, baixo ruído, chave, filtro e conexão rápida de saída |
| 01 | Cabo de força tripolar 1,5m |
| 01 | Mangueira aspirador de 2m x Ø1,5" |
| 01 | Trilho de ar linear com 1200mm de comprimento. Composto por tubo de alumínio quadrado de 50x50mm com furações para saída do ar, montado em base triangular com sistema de cavidades retilíneas com parafusos corredeiros para fixação dos sensores e régua embutida no trilho de apoio para ajuste preciso dos sensores. O trilho é apoiado sobre dois suportes de metal com sapatas niveladoras, sendo um duplo e outro simples. |
| 01 | Manual de montagens e experimentos |

Fonte: Adaptado de AZEHEB. **Trilho de Ar Linear (5 sensores)**. Disponível em: <https://azeheb.com.br/trilho-de-ar-linear-155.html>. Acesso em: 26 de abril de 2024.

O kit Trilho de Ar Linear é destinado aos estudos relacionados à cinemática e dinâmica. O funcionamento desse equipamento se baseia no uso de um gerador de fluxo de ar ligado à sua estrutura por uma mangueira, essencial para prover um jato de ar contínuo. Seu preço neste site é de R\$9.949,00.

Os conjuntos em questão apresentam uma série de paralelos que denotam uma abordagem comum em experimentação científica. Ambos apresentam uma diversidade de sensores, cabos de conexão, manipuladores e régua metálicas para uma medição precisa. Esses instrumentos fornecem uma gama de componentes complementares, como eletroímãs, carrinhos e pesos padronizados, acompanhados por manuais detalhados de montagem e condução de experimentos. A principal diferença do projeto proposto para os kits profissionais está relacionada à acessibilidade. Os instrumentos presentes no site Azeheb possuem valores elevados, sendo assim, financeiramente inviáveis para grande parte das instituições de ensino público. Dessa forma, o projeto proposto mantém as ideias de estudo presentes nos instrumentos analisados, com um grande diferencial, o baixo custo.

5.2. Confeção do projeto

5.2.1. Kit Eletrônico

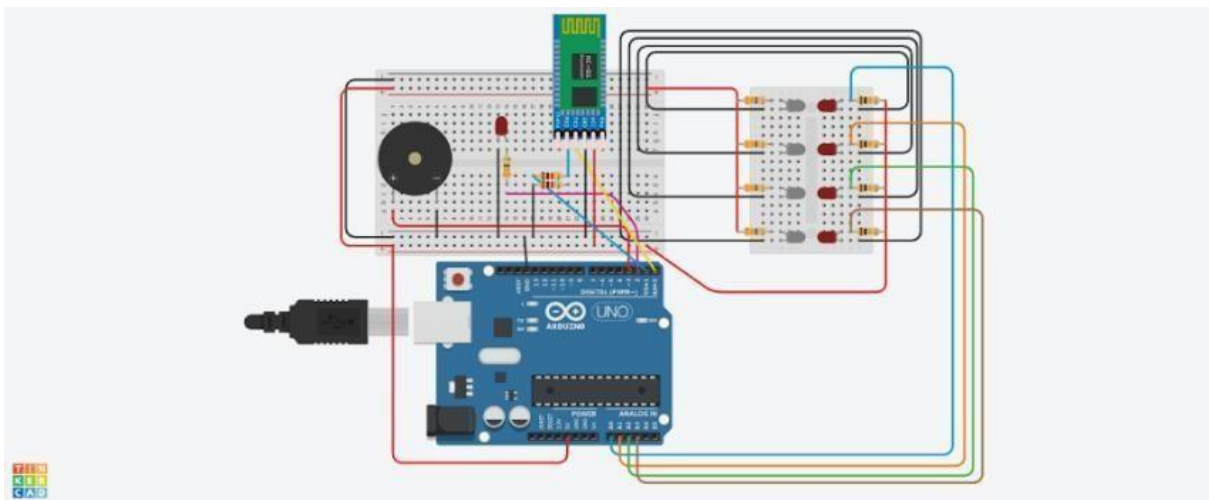
Conforme mencionado anteriormente, o Arduino será a peça principal do projeto, seguido por uma série de outros materiais selecionados para o kit medidor de tempo referenciados na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de componentes do Kit Eletrônico

| QTDE | PEÇA | PREÇO UNIDADE (2024) | | |
|---------------|------------------------------|----------------------|-----------|-------|
| 4 METROS | Cabo CAT-5 | | R\$ 5,00 | |
| 4 | LEDs Infravermelhos | | R\$ 0,70 | |
| 4 | Receptores Infravermelhos | | R\$ 0,70 | |
| 4 | Resistores de 10k ohm | | R\$ 0,12 | |
| 5 | Resistores de 330 ohm | | R\$ 0,12 | |
| 3 | Resistores de 1k ohm | | R\$ 0,04 | |
| 1 | Arduino UNO | | R\$ 30,00 | |
| 1 | Buzzer Ativo | | R\$ 6,00 | |
| 1 | LED Amarelo | | R\$ 0,70 | |
| 1 | TX RX Módulo HC-05 | | R\$ 27,00 | |
| 1 | Protoboard | | R\$ 9,40 | |
| Kit (20 uni.) | Jumpers macho/macho | | R\$ 5,60 | |
| 1 | Cabo para Impressora USB 2.0 | | R\$ 8,00 | |
| | | TOTAL: | 113,50 | REAIS |

No esquema abaixo (Veja figura 3), pode-se observar o esquema feito nas plataformas Tinkercad e Canva da montagem do circuito a partir desses materiais:

Figura 3 – Esquema inicial do circuito eletrônico



Fonte: Autoria Própria (2024)

5.2.2. Adaptações

Durante o desenvolvimento do projeto, foram adicionados os seguintes materiais no aparato experimental (Veja tabela 4), para aumentar a eficácia e precisão.

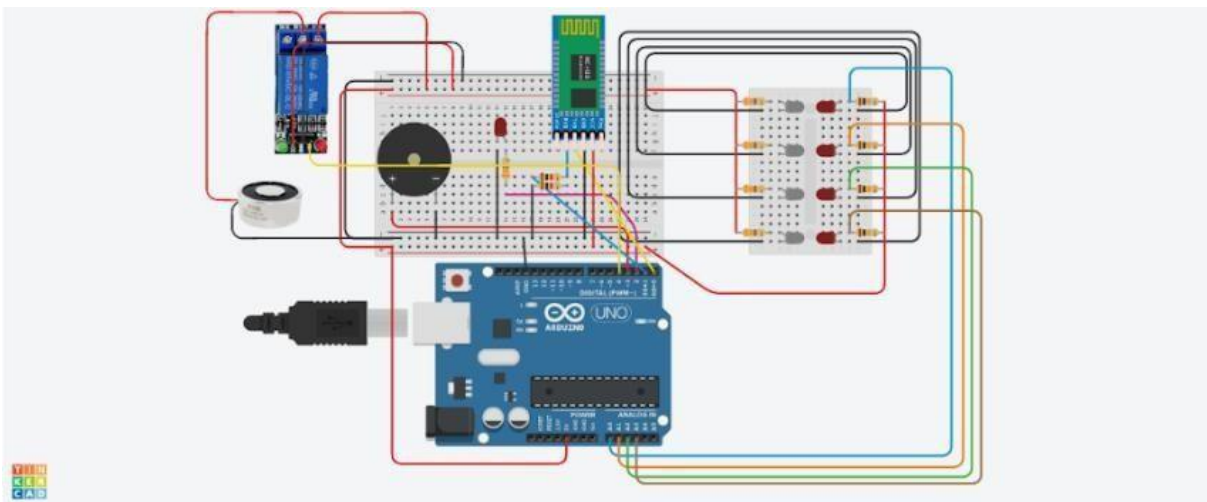
Tabela 4 – Tabela de materiais eletrônicos adicionais

| QTDE | PEÇA | PREÇO UNIDADE (2024) | | |
|------|----------------|----------------------|-----------|-------|
| | | | | |
| 1 | Eletroímã | | R\$ 35,00 | |
| 1 | Bolinha de Aço | | R\$ 0,50 | |
| 1 | Relé | | R\$ 9,00 | |
| | | TOTAL: | R\$ 44,50 | REAIS |

Fonte: Autoria Própria (2024)

Com essas alterações o esquema feito nas plataformas Tinkercad e Canva foi modificado da seguinte maneira para incluir os componentes adicionados:

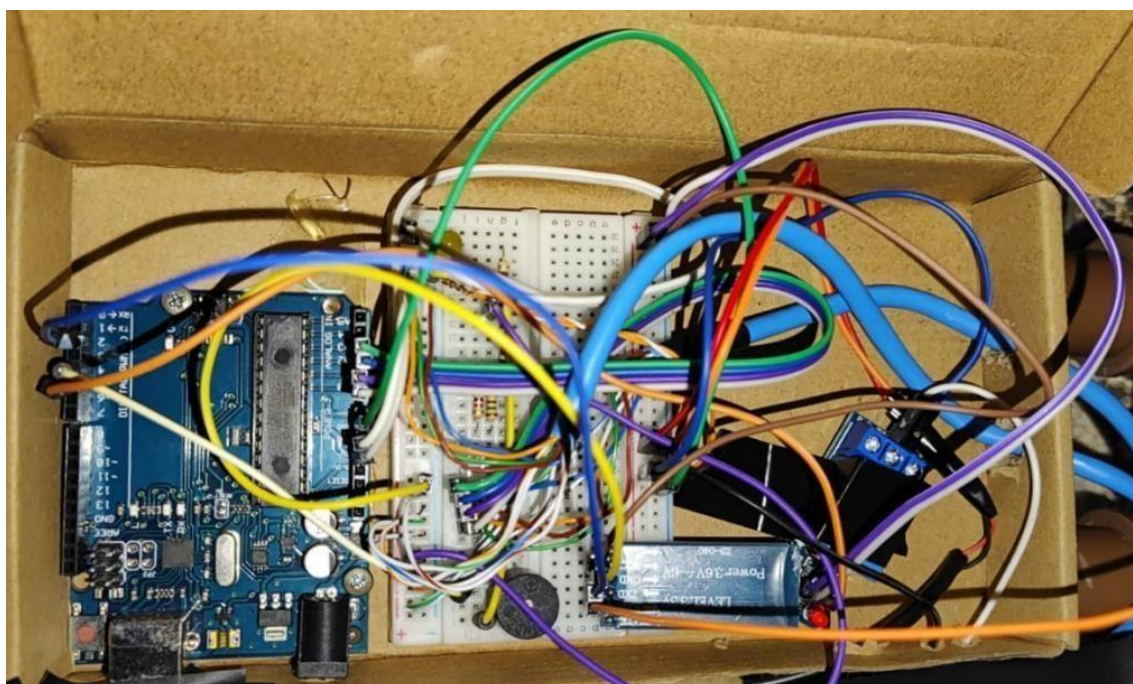
Figura 4 – Esquema do circuito eletrônico adaptado



Fonte: Autorial Própria (2024)

Na Figura 5, pode-se observar o Kit Eletrônico já pronto e aplicado no aparato experimental.

Figura 5 – Kit Eletrônico aplicado ao aparato experimental construído



Fonte: Autorial Própria (2024)

O código criado para o projeto e utilizado no Arduino foi hospedado na plataforma online de hospedagem de código Github, e pode ser acessado no link a seguir: <https://github.com/BetoneraCromada/keffa>. As Figuras de 6 a 9 apresentam prints do código comentado para consulta.

Figura 6 – Blocos de código comentado 1



```
// Define o valor de corte do sensor (quando ele considera que a leitura é
significativa)
#define pontoDeCorteDoSensor 500
// Define o pino do relé (número do pino ao qual o relé está conectado)
#define pinoRele 5

// Array para armazenar os tempos registrados
unsigned long int tempos[5] = {};
// Array contendo os pinos dos sensores
const int pinos[] = {A0, A1, A2, A3};
// Variável para armazenar o estado do relé (ligado/desligado)
bool estadoRele = false;

// Declaração das funções utilizadas no programa
void mostrarTodosOsTempos();
void resetar();
void mostrarTodosOsValores();
void registrarTempo(int i);
void terminou();

// Função de configuração, executada uma vez no início
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicia a comunicação serial a 9600 bps

  // Define os pinos dos sensores como entrada
  int tamanhoPinos = sizeof(pinos) / sizeof(pinos[0]);
  for (int i = 0; i < tamanhoPinos; i++) {
    pinMode(pinos[i], INPUT);
  }

  // Define o pino do relé como saída
  pinMode(pinoRele, OUTPUT);
}
```

Fonte: Autorial Própria (2024)

Figura 7 – Blocos de código comentado 2

```
KEFFA - QUEDA LIVRE

// Função de loop, executada continuamente após o setup
void loop() {
  // Verifica se há dados disponíveis na entrada serial
  if (Serial.available()) {
    char caractere = Serial.read(); // Lê o caractere enviado via serial

    // Verifica o comando recebido e chama a função correspondente
    switch (caractere) {
      case 'a':
        mostrarTodosOsTempos(); // Mostra todos os tempos registrados
        break;
      case 'r':
        resetar(); // Reseta o experimento
        break;
      case 'd':
        mostrarTodosOsValores(); // Mostra as leituras atuais dos sensores
        break;
      case 's':
        // Inicia o experimento com uma contagem regressiva e liga o relé
        estadoRele = false;
        Serial.println("Começando em...");
        delay(100);
        Serial.println("3...");
        delay(500);
        Serial.println("2..");
        delay(500);
        Serial.println("1");
        delay(500);
        Serial.println("Experimento iniciado! HEHEHEHE");
        estadoRele = true;
        tempos[0] = millis(); // Armazena o tempo inicial do experimento
        break;
    }
  }
}
```

Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 8 – Blocos de código comentado 3

```
KEFFA - QUEDA LIVRE

// Verifica se o relé está ligado
if (estadoRele) {
    digitalWrite(pinoRele, HIGH); // Liga o relé

    // Lê os sensores e registra o tempo se o valor lido ultrapassar o ponto de
    corte
    int tamanhoPinos = sizeof(pinos) / sizeof(pinos[0]);
    for (int i = 0; i < tamanhoPinos; i++) {
        int valorLidoDoSensor = analogRead(pinos[i]);
        if (valorLidoDoSensor > pontoDeCorteDoSensor) {
            registrarTempo(i); // Registra o tempo para o sensor
        }
    }
} else {
    digitalWrite(pinoRele, LOW); // Desliga o relé se estadoRele for false
}

// Função para mostrar todos os valores lidos dos sensores
void mostrarTodosOsValores() {
    for (int i = 0; i <= 4; i++) {
        int valorLidoDoSensor = analogRead(pinos[i]);
        Serial.print("Sensor: " + (String)i);
        Serial.println(" -> " + (String)valorLidoDoSensor);
    }
}

// Função para mostrar todos os tempos registrados
void mostrarTodosOsTempos() {
    for (int i = 0; i <= 4; i++) {
        Serial.println(tempos[i]);
    }
}
```

Fonte: Autorial Própria (2024)

Figura 9 – Blocos de código comentado 4

```
KEFFA - QUEDA LIVRE

// Função para resetar o experimento
void resetar() {
    estadoRele = false; // Desliga o relé
    for (int i = 0; i <= 4; i++) {
        tempos[i] = 0; // Zera todos os tempos registrados
    }
    Serial.println("Experimento resetado!");
}

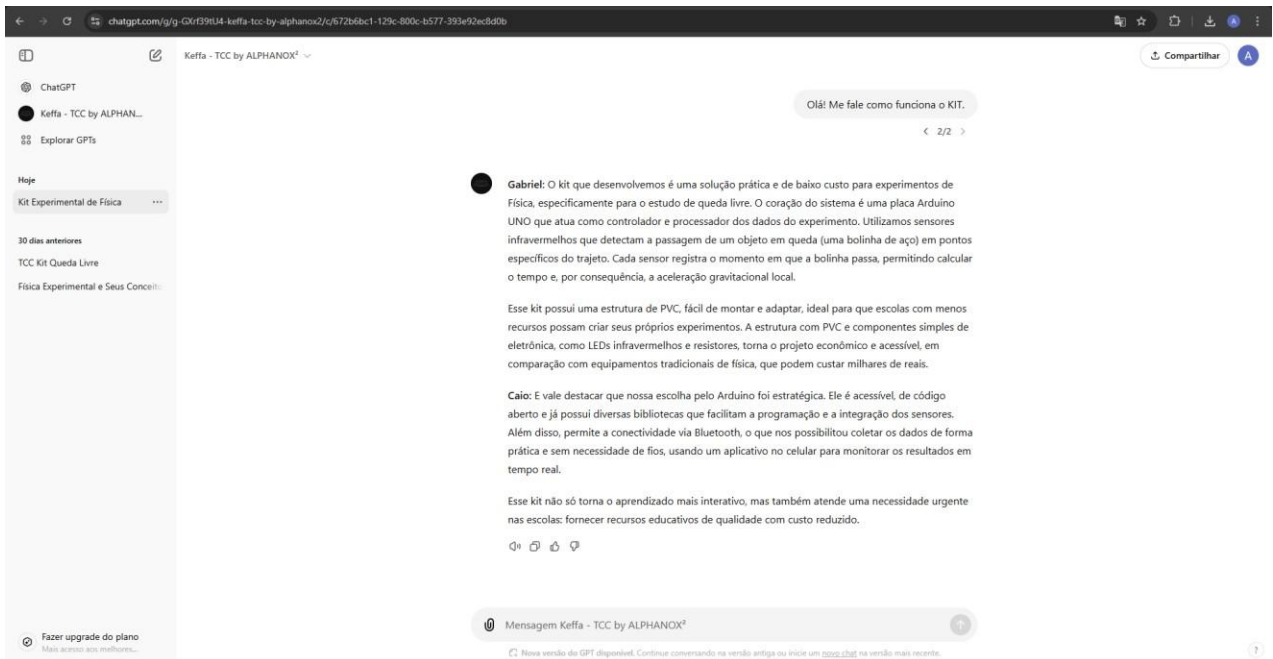
// Função para registrar o tempo de um sensor específico
void registrarTempo(int i) {
    // Verifica se o sensor anterior foi registrado e o atual ainda não foi, exceto o
    // primeiro sensor
    if (tempos[i - 1] != 0 && tempos[i] == 0 && i != 0) {
        Serial.println("O sensor" + (String)i + "acabou de medir!");
        tempos[i + 1] = millis() - tempos[0]; // Calcula o tempo desde o início
        if (i == 3) {
            terminou(); // Se o sensor final foi registrado, chama a função terminou
        }
    }
}

// Função para finalizar o experimento
void terminou() {
    estadoRele = false; // Desliga o relé
    mostrarTodosOsTempos(); // Mostra todos os tempos registrados
    resetar(); // Reseta o experimento
    Serial.println("Experimento finalizado!");
}
```

Fonte: Autorial Própria (2024)

Além disso, um modelo de Inteligência Artificial (IA) foi treinado para dialogar de forma eficiente sobre o tema da monografia, conforme demonstrado na Figura 10, a partir de uma técnica chamada fine-tuning. Essa abordagem consiste em transferir o aprendizado, onde os parâmetros de um modelo pré-treinado são ajustados com novos dados. O link da IA treinada pode ser acessado em: <https://chatgpt.com/g/g-GXrf39tU4-keffa-tcc-by-alphanox2>.

Figura 10 – Exemplo de Funcionamento da IA treinada



Fonte: Autoria Própria (2024)

5.2.3. Estrutura

Durante a confecção inicial, foram utilizadas uma série de materiais responsáveis por estruturar o projeto. É importante mencionar que o foco deste TCC é a criação de um Kit Eletrônico que pode ser utilizado para o experimento de queda livre ou trilho de ar. **A estrutura é adaptável aos materiais disponíveis e ao experimento escolhido pelo docente.** Nesse trabalho, o experimento de queda livre foi selecionado para comprovar a eficácia do medidor de tempo. Os custos da estrutura não fazem parte do Kit, já que ela é versátil e deve ser adaptada de acordo com as circunstâncias de cada escola, inclusive com materiais recicláveis.

Este projeto busca cumprir com um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU). O ODS 4 - Educação de Qualidade, no tópico 4.7 prevê que:

“Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis [...]” (Nações Unidas Brasil, s.d).

Seguindo essa lógica, optou-se por usar Policloreto de Vinila, popularmente conhecido como PVC para a confecção estrutural do projeto. Segundo Da Silva (2021), o PVC apresenta características inovadoras, ao fornecer possíveis soluções para problemas e desafios encontrados.

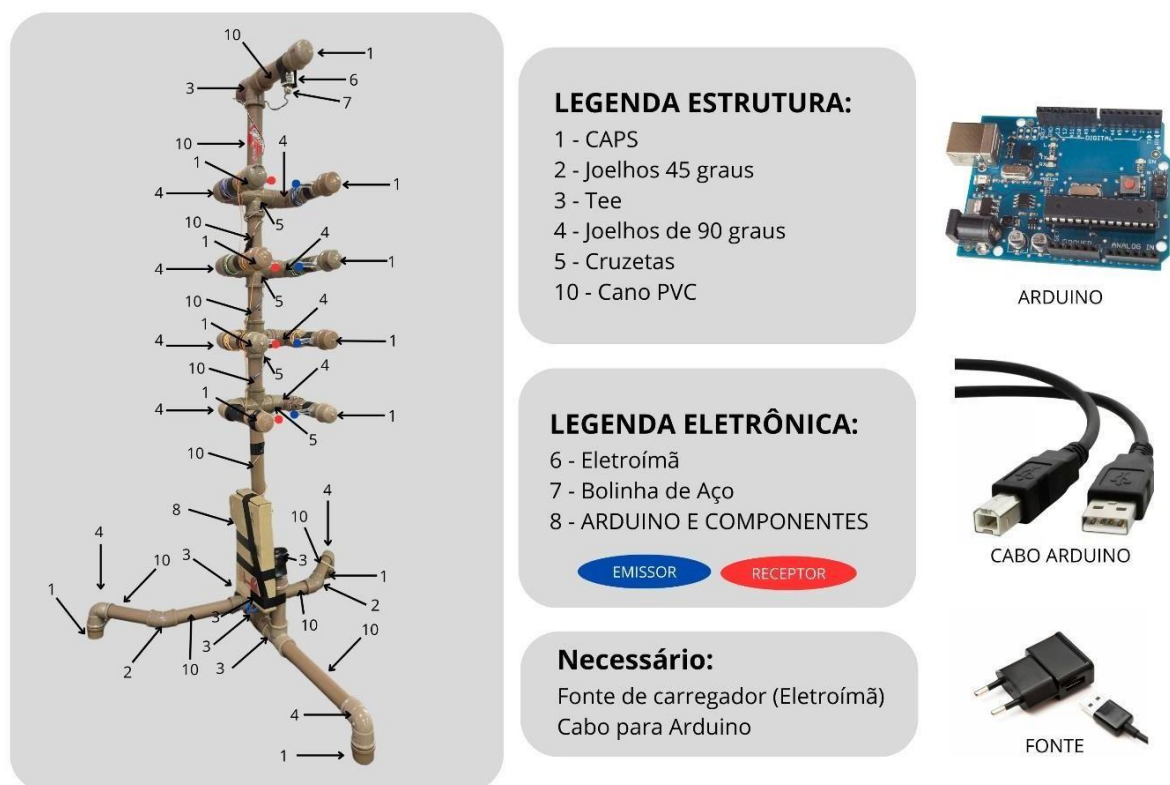
Uma lista dos materiais utilizados na construção da estrutura pode ser encontrada na Tabela 5, a tabela também contém os valores pagos em Itapetininga-SP, 2024. Para visualização da montagem, juntamente com um detalhamento da estrutura vide Figura 11.

Tabela 5 – Tabela dos materiais usados para a estrutura feita com PVC 3/4

| QTDE | PEÇA | PREÇO UNIDADE (2024) | | |
|----------|---------------------|----------------------|-----------|-------|
| 12 | Caps | | R\$ 1,25 | |
| 2 | Joelhos 45 graus | | R\$ 1,60 | |
| 6 | TEE | | R\$ 1,00 | |
| 11 | Joelhos de 90 graus | | R\$ 0,75 | |
| 4 | Cruzetas | | R\$ 10,00 | |
| 4 METROS | Cano PVC | | R\$ 4,00 | |
| | | TOTAL: | R\$ 88,45 | REAIS |

Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 11 – Esquema estrutural do projeto



Fonte: Autoria Própria (2024)

Portanto, o custo total do projeto foi de R\$ 246,45. Em um breve comparativo com o valor cobrado pelo equipamento de Queda Livre da Azeheb, observamos uma diferença de R\$ 3.868,55 em relação ao equipamento profissional, representando uma economia de aproximadamente 93,6%.

6. PRÁTICA EXPERIMENTAL

6.1. Queda livre

Para determinar a precisão e eficiência do Kit desenvolvido no trabalho, no dia 18 de outubro de 2024, foi realizado o experimento de queda livre com o objetivo de determinar a aceleração gravitacional local por meio da queda livre de uma esfera de aço.

6.1.1. Descrição do experimento

Nesta experiência, o objeto é uma bolinha de aço, podendo ser substituída por qualquer esfera de tamanho pequeno a médio (que seja de metal), que cai entre emissores e receptores (par de sensores) infravermelhos sem tocá-los. Para isso, conforme demonstrado na Figura 12, há quatro pares de sensores, cada em uma posição, conectados ao Arduino, que por sua vez registram o tempo em que a bolinha passa por cada checkpoint até sua posição final. A ação foi repetida 10 vezes e os dados coletados.

Figura 12– Pares de sensores

KIT EXPERIMENTAL DE FÍSICA COM ARDUINO

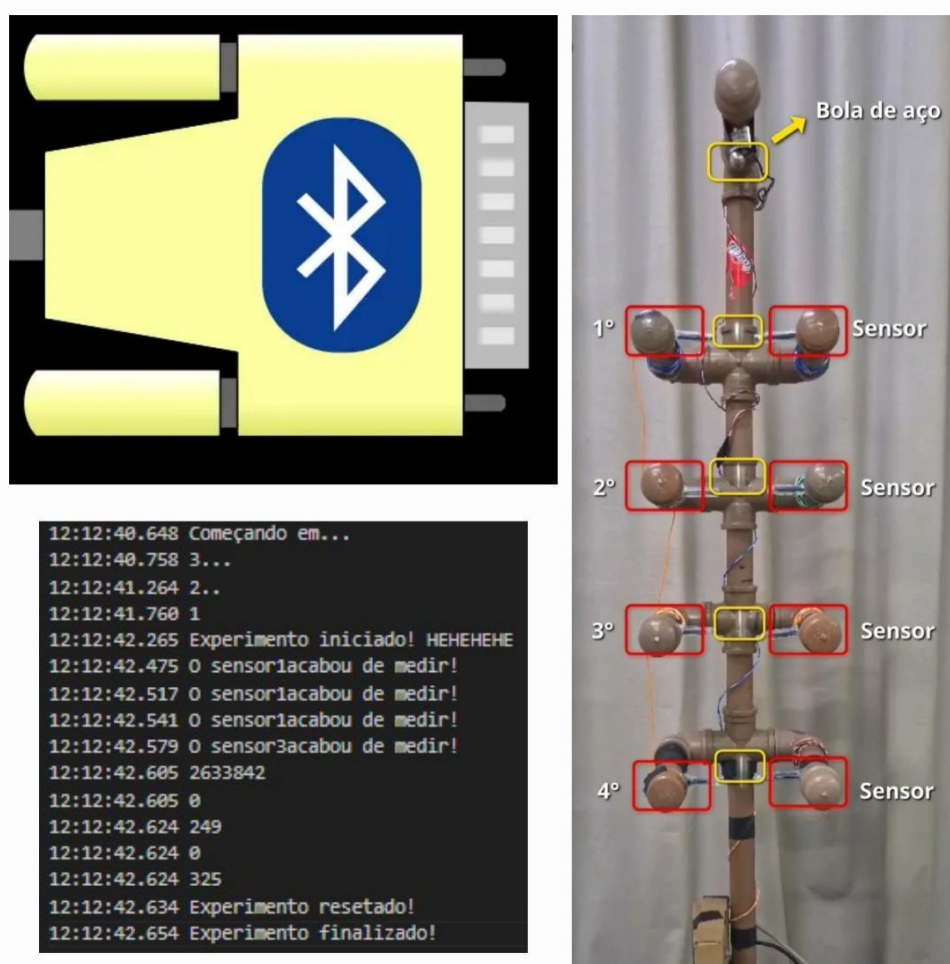


Fonte: Autoria Própria (2024)

Para obter os dados e manipular o experimento, foi utilizado o aplicativo Serial Bluetooth Terminal, que permite a comunicação em tempo real com o monitor serial do Arduino a partir da tecnologia bluetooth. O aplicativo para smartphone pode ser encontrado no seguinte link na loja Google Play para o sistema operacional Android: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.kai_morich.serial_bluetooth_terminal.

O experimento realizado no aparato experimental desenvolvido neste trabalho foi registrado em vídeo, conforme destacado na Figura 13, e pode ser encontrado no link a seguir: <https://youtu.be/Nsn8dYjbxQ8?si=iwe4SphSZ1HV3agL>.

Figura 13 – Serial Bluetooth Terminal e sua exibição e Queda Livre



Fonte: Autoria Própria (2024)

6.1.2. Resultados adquiridos

Os dados recolhidos pelos sensores podem ser encontrados na tabela abaixo:

Tabela 6 – Dados obtidos no experimento de queda livre (18 de Outubro de 2024)

| Med. | t(s) | g (m/s ²) | Med. | t(s) | g (m/s ²) |
|------|------|-----------------------|------|------|-----------------------|
| 1 | 324 | 9,525 | 6 | 320 | 9,765 |
| 2 | 323 | 9,585 | 7 | 322 | 9,652 |
| 3 | 320 | 9,765 | 8 | 322 | 9,652 |
| 4 | 325 | 9,469 | 9 | 321 | 9,708 |
| 5 | 323 | 9,585 | 10 | 323 | 9,585 |

Fonte: Autorial Própria (2024)

Para calcular o valor final para a aceleração gravitacional nos experimentos, foi replicado o método utilizado por Cordova e Tort (2016), a partir do erro padrão da média determinado pela seguinte expressão, sendo **n** o número de medições realizadas:

$$\sigma = \frac{\delta g_i}{\sqrt{n}}$$

A incerteza individual foi calculada a partir da expressão:

$$\delta g_i = \frac{g_{i_{\max}} - g_{i_{\min}}}{2}$$

O resultado é $\delta g_i = 0,148 \text{ m/s}^2$ para todas as dez medidas individuais. O valor médio de g_i é $9,6291 \text{ m/s}^2$ e o erro padrão da média é $0,046 \text{ m/s}^2$, logo o experimento nos dá:

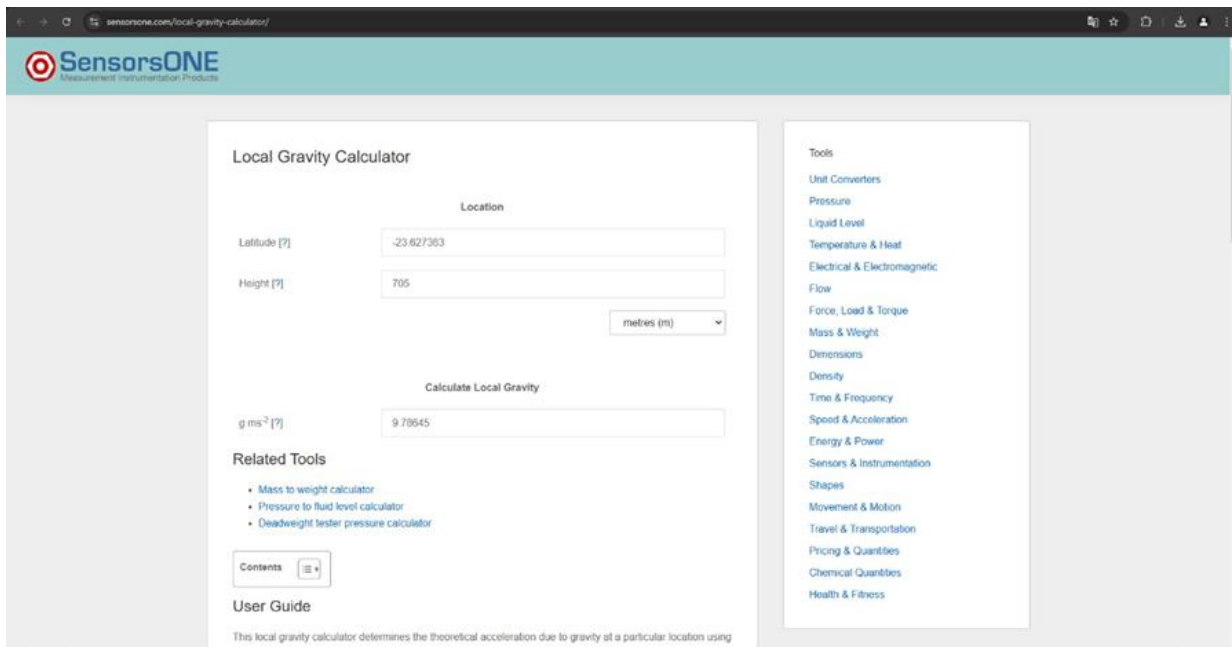
$$g_{\text{exp}} = 9,62 \pm 0,04 \text{ m/s}^2$$

6.1.3. Análise de acurácia

A fim de depurar a precisão da medida adquirida de \mathbf{g} , além do valor definido como constante de $9,8 \text{ m/s}^2$, universalmente ensinado durante o ensino médio, torna-se necessária a busca de um valor mais preciso já que o vetor aceleração da gravidade varia em módulo, direção e sentido (Lopes, 2009). Portanto, grandezas como a distância com relação ao nível do mar (altitude) de um ponto e sua distância em relação ao equador (latitude) devem ser consideradas ao definir um valor preciso para \mathbf{g} teoricamente.

Nesse viés, o site SensorsOne oferece uma ferramenta para realizar o cálculo de \mathbf{g} local considerando as variáveis de latitude e altitude (Vide Figura 14). Para isso, foram utilizadas as coordenadas da Etec Darcy Pereira de Moraes, em Itapetininga-SP, Brasil, obtidas através da ferramenta Google Earth, que determina a latitude local como -23.627363 e a altitude como 705 metros acima do nível do mar. A partir desses valores, a ferramenta “Local Gravity Simulator” descreve \mathbf{g} como **9.78645 m/s^2** . Verificação online pode ser feita no site: <https://www.sensorsone.com/local-gravity-calculator/>.

Figura 14 – Tela de SensorsOne



Fonte: Autoria Própria (2024)

Para fins de comparação, podemos considerar o valor aproximado $g_{local} = 9,78m/s^2$ de, obtendo-se um desvio percentual relativo $g_{exp} = 9,62 \pm 0,04m/s^2$ com de:

$$\frac{|9,78 - 9,62|}{9,78} \times 100 \cong 1,6\%$$

Conclui-se então que a partir do valor obtido pelo experimento desenvolvido de o kit $g_{exp} = 9,62 \pm 0,04m/s^2$ medidor de tempo apresenta uma precisão excelente, com **margem de erro percentual de 1,6%**.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Física experimental consiste no estudo de conceitos e práticas por meio da realização de experimentos, nos quais fenômenos são induzidos sob condições controladas. Essa disciplina desempenha um papel essencial na investigação de diversas áreas da Física, promovendo a análise detalhada de fenômenos complexos e contribuindo significativamente para a ampliação do conhecimento científico.

No contexto educacional, o Arduino tem se destacado como uma ferramenta em ascensão para o ensino de robótica e programação, consolidando-se como um recurso oportuno na Física experimental. Sua versatilidade e capacidade de interação com diferentes sensores e dispositivos permitem a realização de experimentos práticos, contribuindo de forma significativa para a compreensão de conceitos físicos e o desenvolvimento de habilidades tecnológicas.

O objetivo do projeto em questão foi alcançado com resultados satisfatórios, demonstrando a eficácia do kit desenvolvido com o Arduino. No experimento de queda livre, o sistema proporcionou uma precisão adequada, apresentando margens de erro mínimas em comparação aos valores teóricos da aceleração da gravidade. Comparado com os equipamentos profissionais, o kit proposto oferece uma economia substancial, tornando-se uma alternativa viável para escolas públicas e outras instituições educacionais que buscam incorporar a experimentação científica em seus currículos.

Por fim, esse Trabalho de Conclusão de Curso cumpriu seu objetivo de desenvolver um kit acessível e funcional para o ensino de Física, reforçando a importância de incorporar tecnologias de baixo custo no ambiente educacional. Além disso, promove-se uma maior integração entre teoria e prática, facilitando a compreensão dos alunos por meio de atividades experimentais. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se expandir o uso desse kit para outros experimentos de Física, como o trilho de ar linear, e explorar sua aplicação em disciplinas correlatas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de ensino de Física*, v. 25, p. 176-194, 2003.

BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé; BLINI, Ricardo Brugnolle. Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de Física. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, v. 31, n. 1, p. 43-49, 2009.

CARVALHO, Luciana Guimaraes; PARREIRAS, Fernando Silva. Adoção de software de código aberto: uma revisão sistemática da literatura. *Anais do X Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, p. 518-529, 2014.

CASTILHO, Weimar Silva; OLIVEIRA, Denise Lima; OIV3BVGS DUTRA, Marco Vinicius Gome. O ensino de Física e a aprendizagem significativa: um kit experimental com Arduino para o ensino de queda livre. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 15, n. 3, p. 247-262, 2020.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano; MOLISANI, Elio. Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, p. 4503-4503, 2011.

CAVALCANTI, Deiverson Rodrigo Candido. Análise do movimento do móvel usando o trilho de ar e a placa Arduino como aquisição de dados. 2016. 40 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física em Rede Nacional) - Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física em Rede Nacional, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

CORDOVA, H.; TORT, C. Medida de g com a placa Arduino em um experimento simples de queda livre. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, p. e2308, 2016.

DA SILVA, Erico Rodrigo. A viabilidade do PVC na construção civil. 2021.

DA SILVA, Hudson Henrique; DA SILVA, Samira Santos; DE MEIRELES, Sincler Peixoto. Utilização do Arduino como Ferramenta de Divulgação da Área Nuclear. In: *Anais do XVI Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas*. SBC, 2019. p. 168-171.

DANSI, Fernando Bueno. Plataforma de código aberto para o ensino de empreendedorismo utilizando a gamificação como fator potencializador do ensino. 2022.

DE ROBÓTICA, Grupo. Introdução ao Arduino. Notas de aula, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, v. 10, 2012.

ÉVORA, Fátima. Discussão Acerca do Papel Físico do Lugar Natural na Teoria Aristotélica do Movimento. *Cadernos de História E Filosofia da Ciência*, v. 16, n. 2, 2006.

FERREIRA, Lenon Couto et al. MobTracker: um aplicativo de captura de dados para o ensino de Física. 2023.

HELENE, Otaviano AM; VANIN, Vito R. Tratamento estatístico de dados em Física experimental. Editora Blucher, 1991.

Laboratório de Física 1. UNESP [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodedocentes973/fernandorogeriodepaula/aula01_fsica-exp.1.pdf>.

LOPES, Wilson. Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 561–568, 2009. DOI: 10.5007/2175-7941.2008v25n3p561.

MARTINAZZO, Claodomir Antonio et al. Arduino: Uma tecnologia no ensino de Física. Revista Perspecfiva, v. 38, n. 143, 2014.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Sustainable Development Goal 4: Educação de qualidade | As Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/4>>.

PALANDI, Joiceir et al. Cinemática e Dinâmica. Universidade Federal de Santa Maria– Departamento de Física. Santa Maria–RS, 2010.

PEREZ, Anderson Luiz Fernandes et al. Uso da Plataforma Arduino para o Ensino e o Aprendizado de Robótica. In: International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning. 2013. p. 230-232.

PORTO, Cláudio M.; PORTO, MBDSM. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, p. 4601.1-4601.9, 2008.

Queda Livre - Português BR. Disponível em: <<https://azeheb.com.br/queda-livre-415.html>>.

RUVER, V. V.; BARROS, M. P. DE. Guia para atividades práticas no Ensino de Física. UFMG - Instituto de Física, Programa de pós-graduação do ensino de Ciências Naturais, jun. 2016.

SANTOS, Diogo Tiago dos et al. Experimento de queda livre construído com Arduino e operado através de uma interface SCADA. 2021.

SIMDES, Jonas Karst. Implementação de um sistema de automação residencial utilizando a plataforma Arduino e os módulos de rádio frequência XBee. 2018.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. Porto Alegre: Editora SBC, 2006.

Trilho de Ar Linear - Português BR. Disponível em: <<https://azeheb.com.br/trilho-de-ar-linear-155.html>>.

ZANON, Dulcimeire Ap Volante; DE FREITAS, Denise. A aula de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental: ações que favorecem a sua aprendizagem. *Ciências & Cognição*, v. 10, 2007.