



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS CARAÚBAS
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ADRIEL BATISTA SOARES

ESTUDO DO MOVIMENTO RETILÍNEO COM USO DO ARDUÍNO

CARAÚBAS – RN

2022

ADRIEL BATISTA SOARES

ESTUDO DO MOVIMENTO RETILÍNEO COM USO DO ARDUÍNO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Ana Tereza de Abreu Lima

CARAÚBAS – RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S676e Soares, Adriel.
Estudo do movimento retilíneo com o uso do
arduíno / Adriel Soares. - 2022.
50 f. : il.

Orientadora: Ana Tereza Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2022.

1. aulas. 2. física. 3. movimento retilíneo
uniformemente variado. I. Lima, Ana Tereza,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ADRIEL BATISTA SOARES

ESTUDO DO MOVIMENTO RETILÍNEO COM USO DO ARDUÍNO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 24/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Ana Tereza de Abreu Lima. (UFERSA)
Presidente (Orientador)

Prof. Dr. Hudson Pacheco Pinheiro. (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Zenner Silva Pereira. (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria de Fatima Batista, a memória do meu pai, Francisco Soares Junior e a todos os meus amigos e familiares. Por toda ajuda que me deram, carinho, incentivo e por não deixarem de acreditar.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha mãe Maria de Fatima que sempre esteve ao meu lado, e fez o possível e o impossível para me ajudar. Aos meus familiares que me apoiaram e me incentivaram, tanto moralmente como financeiramente, desde até os dias de hoje, e mesmo os que já partiram no meio dessa jornada.

Não me esqueceria dos meus amigos e colegas de curso que foram de grande apoio durante os momentos de dificuldade do curso, tanto para me ajudar com os estudos como para me fazer rir. Edney, Fabio, João, Genesis, Luís, Leonardo, Lizandra, Marcelo, Naara, Antônio, e Rosimery, um obrigado para vocês e muitos outros que estiveram comigo até aqui.

Agradeço também a todos do corpo docente do curso de ciência e tecnologia que me ensinaram, e principalmente, a minha orientadora Ana Tereza, por sua ajuda com este trabalho, me fornecendo orientação e recursos. Sem ela não teria sido possível, muito obrigado.

Quando em dúvida Meriadoc, sempre siga seu
nariz.

Peter Robert Jackson.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um experimento de movimento retilíneo uniformemente variado utilizando o Arduino, com o uso de uma rampa que pode ter seu ângulo com relação a um plano alterado, uma pequena bola que será solta do ponto mais alto dessa rampa e seguirá até o final. Ao longo desse plano inclinado são instalados sensores que captaram o momento pelo qual o objeto, nesse caso a bola, passa por eles, e um display exibirá o tempo que levou entre o início do seu movimento, no topo do plano inclinado, passando por cada ponto, ao longo do trajeto, até o fim do plano inclinado. Tal experimento além de ter um custo barato para ser produzido poderá ser implementado em escola e cursos de física, dos quais possuem escassez com relação aos materiais para aulas experimentais, que além de ajudar os alunos a visualizarem melhor o que foi abordado nas aulas teóricas, também pode ser um bom meio de capturar o interesse dos estudantes. Os testes com o experimento construído mostraram o pleno funcionamento desse projeto, com uso de expressões matemáticas da física, foi possível comprovar a veracidade dos dados dos sensores, além de ajudarem a analisar os fundamentos da física atuantes como atrito, gravidade, momento de inércia, rotação e diagrama de forças. Levando em conta o baixo custo para o desenvolvimento, a facilidade de se montar, e todos os conceitos que podem ser abordados para o ensino da mecânica clássica, é válido concluir que a aplicação desse experimento em aulas de física é de bastante proveito para professores e alunos.

Palavras-chave: aulas; física; movimento retilíneo uniformemente variado.

ABSTRACT

This work aims to develop an experiment of uniformly varied rectilinear motion using the Arduino, using a ramp that can have its angle with respect to a plane changed, a small ball that will be released from the highest point of this ramp and follow it to the end. Along this inclined plane are installed sensors that capture the moment by which the object, in this case the ball, passes by them, and a display will show the time it took between the beginning of its movement, at the top of the inclined plane, passing by each point along the path, until the end of the inclined plane. Such an experiment, besides being inexpensive to produce, can be implemented in schools and physics courses, which have a shortage of materials for experimental classes, which besides helping students to better visualize what was covered in the theoretical classes, can also be a good way to capture the students' interest. The tests with the constructed experiment showed the full functioning of this project, with the use of mathematical expressions of physics, it was possible to prove the veracity of the sensor data, besides helping to analyze the fundamentals of acting physics such as friction, gravity, moment of inertia, rotation, and force diagram. Taking into account the low cost for the development, the ease of assembly, and all the concepts that can be addressed to teach classical mechanics, it is worth concluding that the application of this experiment in physics classes is very useful for teachers and students.

Keywords: classes; physics; uniformly varied rectilinear motion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de portas logicas do Arduino.....	18
Figura 2 – Placa de microcontrolador Arduino mega.....	19
Figura 3 – IDE do Arduino.....	20
Figura 4 – Vetores velocidade e aceleração de um objeto.....	21
Figura 5 – Diagrama de forças em um plano inclinado.....	23
Figura 6 - Diagrama das forças em uma esfera no plano inclinado.....	24
Figura 7 – Base de madeira com rampa para o experimento.....	29
Figura 8 – Sensor óptico reflexivo.....	31
Figura 9 – Display LCD.....	31
Figura 10 – Modulo I2C.....	32
Figura 11 – Esfera metálica.....	33
Figura 12 – Representação das conexões do Arduino.....	34
Figura 13 – Protótipo do experimento montado.....	34
Figura 14 – Visão por onde a esfera desce.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos sensores em segundos.....	36
Tabela 2 – aceleração (a) para o intervalo entre cada sensor, nas três inclinações.....	40
Tabela 3 – Comparação das acelerações teóricas e experimentais.....	40
Tabela 4 – Altura (h) dos sensores no plano inclinado para a três angulações.....	41
Tabela 5- velocidades (v) no momento de cada sensor.....	41
Tabela 6 – Velocidade (V) no momento de cada sensor, em cada uma das inclinações.....	41
Tabela 7 – custo do desenvolvimento do experimento.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação entre espaço por tempo no ângulo de 35°	37
Gráfico 2 – Relação entre espaço por tempo no ângulo de 25°	37
Gráfico 3 – Relação entre espaço por tempo no ângulo de 15°	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cm	Centímetros
CC	Corrente contínua
g	Gramas
kg	Quilogramas
LCD	<i>Liquid Crystal display</i> (display de cristal líquido)
m	Metro
ms	Milissegundos
m/s	Metro por segundo
m/s ²	Metro por segundo ao quadrado
MRUV	Movimento retilíneo uniformemente variado
N	Newtons
s	Segundos
VCC	Tensão de corrente continua

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	ARDUINO	17
3.1.1	Hardware do Arduino	17
3.1.2	Software do Arduino	19
3.2	MRUV	20
3.2.1	Conceitos fundamentais	20
3.2.2	Cinemática	22
3.2.3	Plano inclinado	23
3.2.4	Esfera no plano inclinado	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	ESTRUTURA DO PLANO INCLINADO.....	29
4.2	SISTEMA DO MICROCONTROLADOR	30
4.2.1	Arduino	30
4.2.2	Sensor óptico reflexivo.....	30
4.2.3	Display LCD	31
4.2.4	Modulo I2C.....	32
4.2.5	Esfera	32
4.3	LÓGICA DE FUNCIONAMENTO	33
5	RESULTADOS	36
5.1	OS DADOS DOS SENSORES.....	36
5.2	A ANÁLISE FÍSICA DO EXPERIMENTO	38
5.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O EXPERIMENTO	43
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46
	ANEXOS	49

1 INTRODUÇÃO

A física é uma das ciências responsáveis pelas grandes inovações tecnológicas da nossa sociedade. Entender a física é ter uma compreensão dos fenômenos da natureza que nos cerca, desde aqueles que não vemos, como a gravidade, ou os mais visíveis como a própria luz (SILVA, 2022). No Brasil, o estudo da física começa a ser diferenciado de outras ciências a partir do ensino médio, com o objetivo de ser mais aprofundado, levando em conta os conceitos mais abstratos, e também matemáticos, dessa ciência.

A falta de uma base sólida no conhecimento da física durante o ensino médio, pode ser um problema a longo prazo, principalmente para alunos que desejam seguir academicamente nos cursos de ensino superior de ciências exatas e engenharia. Essa ausência nos fundamentos da física, pode gerar uma dificuldade dos estudantes não só de ingressarem nesses cursos por conta das provas avaliativas, como Enem, mas também de não serem capazes de acompanhar o conteúdo avançado abordado nas aulas das universidades.

Apesar da sua importância na formação dos alunos, é notável a dificuldade que a maioria dos estudantes possui no aprendizado dos conceitos físicos e também na aplicação matemática dos problemas abordados. Um exemplo de uma das muitas áreas da física que geram confusão nos estudantes é a inicial, a cinemática (vaicairnoenem, 2021). Esse empecilho no aprendizado pode ser causado por vários fatores, um deles é, sem dúvida a dificuldade de visualizar os fenômenos físicos. Uma forma de resolver isso é através de experimentos em sala que podem estimular a curiosidade e o questionamento.

No entanto, a realização de experimentos de física dentro das escolas tem suas dificuldades, além da reduzida carga horária das disciplinas de física, a questão financeira é também um problema. Atualmente uma das formas de contornar esses problemas é com o uso das tecnologias de microcontroladores, como o Arduino, que possibilitam a criação de ambientes interativos, que ligam o mundo do lado de fora com o que acontece em sala, para o aprendizado da física de forma mais barata e rápida (CASTRO, 2020).

Desse modo a construção de experimentos acessíveis aos alunos e professores, não apenas melhoraria a forma como os discentes veem a física e compreendem seus conceitos e importância, mas também os incentivaria a buscar um futuro profissional em carreiras que, por apresentar uma grande carga desse conhecimento, inicialmente, os afastaria levando a deixar de tomar caminhos que poderiam leva-los a pesquisa ou à docência e consequentemente a contribuir para as áreas de estudo que englobam os fenômenos físicos.

2 OBJETIVOS

Como objetivo, este trabalho visa a construção de um experimento de cinemática, mais precisamente de MRUV (movimento retilíneo uniformemente variado), utilizando o microcontrolador e sua interface da plataforma Arduino. Além disso, avaliar o processo de montagem pelos professores e alunos, se é fácil ou difícil e também o custo em dinheiro. tendo como comparação, experimentos já prontos que existem disponíveis no mercado e que até são usados nos laboratórios das universidades.

Levando em conta todos os aspectos de montagem desse experimento, também será analisado o quão proveitoso e estimulante pode ser, para os alunos, a realização desse experimento em aulas de física. Tendo em mente os conceitos e fundamentos da física que podem ser aprendidos com ele, e com isso, concluir se vale a pena aplicá-lo nas aulas de física do ensino médio.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Um dos princípios da educação é o desenvolvimento do senso crítico dos alunos para com o mundo em que vivem, além de construir o alicerce de conhecimento para que possam crescer e se aprofundar em estudos futuros, como no ensino superior, ou em pesquisas nas suas respectivas carreiras profissionais como cientistas das mais diversas áreas.

De acordo com tutormundi (2021), uma plataforma de reforço para estudos, as matérias que os alunos brasileiros do ensino médio sentem mais dificuldade de aprendizagem são: física, matemática e química. A plataforma também aponta, através de entrevistas, que os assuntos que os alunos mais têm dificuldade em física são: cinemática, leis de newton, dinâmica impulsiva e MRU.

O trabalho experimental que busca o questionamento, a investigação, a aplicação no mundo real, e vai contra o simples passo a passo de roteiros, é aceito por professores e pela comunidade científica no geral, já que diminui as dificuldades de interpretação das teorias por parte dos alunos, além de gerar debates entre os alunos sobre o que foi visto no experimento (Cachapuz, 2000, apud CUNHA et al., 2012).

Mas para o real envolvimento dos alunos nas práticas, segundo Cunha (2012), é preciso que o professor conceda ao aluno, a liberdade e a autoridade, para que executem o experimento de forma mais autônoma. Há também que ser mantido o rigor de desafio da tarefa, para que esta não adquira aspectos tediosos, mas não ao ponto de o objetivo não parecer claro para o aluno. Estes aspectos geram aumento de produtividade dos estudantes e diminuía a necessidade de o docente corrigir o envolvimento deles.

Existem alguns empecilhos na aplicação de atividades entre eles, podemos citar, o tempo para a preparação das aulas, os estudos com o intuito de realizá-las de forma mais qualitativa possível, e também os recursos necessários para realização destes experimentos, como uma sala apropriada e os próprios kits de experimentos que, muitas vezes, não cabem no orçamento das escolas (Silva, 2017).

Segundo Castro (2020) uma forma prática e barata de criar experimentos físicos que propiciam um bom estudo das propriedades dos fenômenos, sem que haja a necessidade de ambientes totalmente preparados e controlados, é utilizando os microcontroladores eletrônicos como o Arduino. Essas plataformas são acessíveis e fáceis de se programar, e ao mesmo tempo possibilitam a criação de diversos tipos de experimentos para as muitas áreas da física.

3.1 ARDUINO

O projeto Arduino começou em 2005. O professor italiano, Massimo Banzi, no Interaction Design Institute, estava à procura de um meio mais acessível, economicamente para os alunos do curso de design poderem trabalhar em seus projetos com microcontroladores (BANZI, 2011). Na época, as opções no mercado para se trabalhar na área eram bem limitadas e caras. Sendo assim, ele procurou ajuda de outros pesquisadores, para a realização dessa ideia.

David Mellis, um aluno de Massimo, escreveu o software da interface, David Cuartielles, um pesquisador da área, desenvolveu o hardware da placa, e por fim, Gianluca Martino produziu uma remessa inicial de duzentas placas, que inclusive foram vendidas muito rápido. Dessa forma nasce o Arduino um microcontrolador programável que segundo seus criadores: “custaria o mesmo que sair para comprar uma pizza” (Evans, 2013).

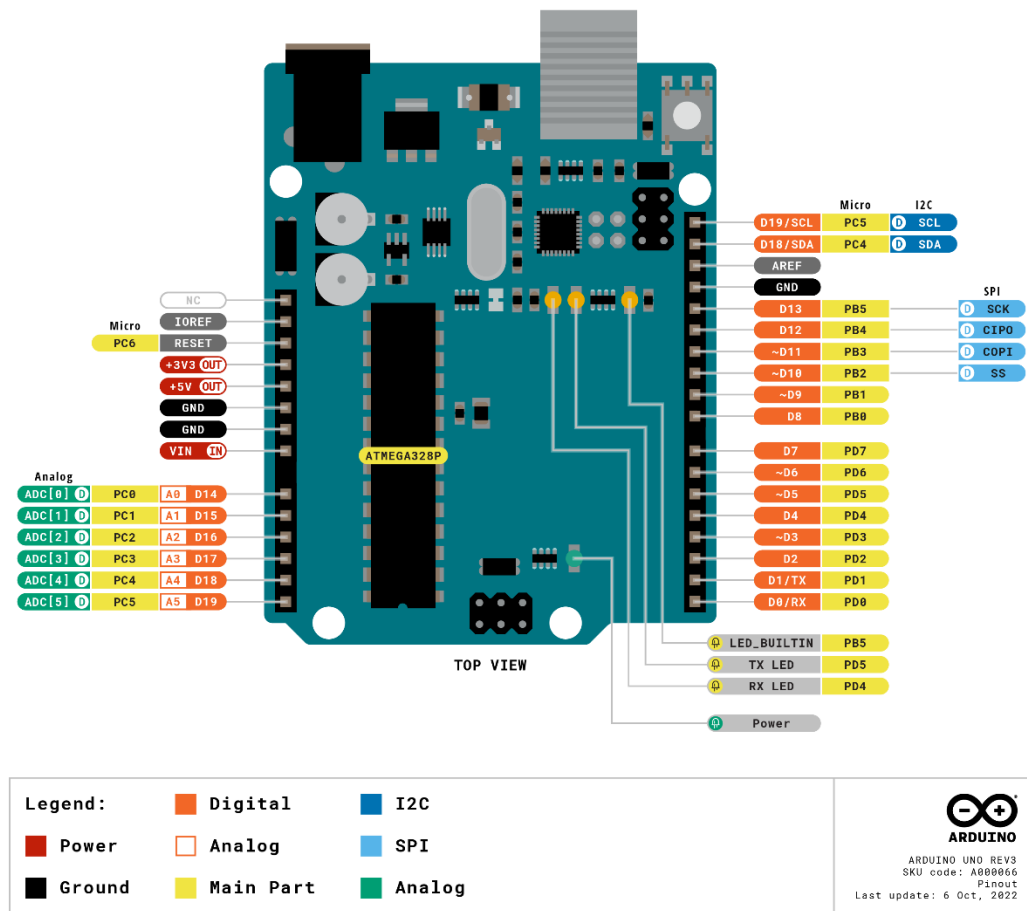
Segundo McRoberts (2011, p. 22): “Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele”. Ou seja, uma informação sendo ela digital ou analógica, é introduzida em uma das portas da placa e ela, através de como foi programada, usa essa informação para enviar um comando que será executado por um componente externo conectado a ele.

3.1.1 Hardware do Arduino

De acordo como o site oficial do Arduino (arduino.cc, 2022), o *hardware* desse microcontrolador tem como base o microprocessador Atmel AVR. Atualmente, a placa do modelo UNO se baseia na ATmega328 que possui uma memória não volátil de 32 kB, comutando entre corrente contínua (CC) e o USB.

O Arduino UNO que pode ser considerado o mais básico, e no geral, o mais comprado pelos iniciantes, está mostrado na figura 1. Pode-se observar que ele possui 14 pinos digitais, que funcionam como entrada e saída de sinais binários, em nível lógico 0 ou 1. Há incluídas seis entradas analógicas que, neste caso, servem como entrada e saída de sinais de uma infinidade de valores. A placa UNO também possui portas para fornecimento de tensão, aterramento, além de entradas para alimentação por bateria, conector serial *in-circuit* e um botão para *reset* (CASTRO, 2020).

Figura 1- Esquema de portas logicas do Arduino UNO.

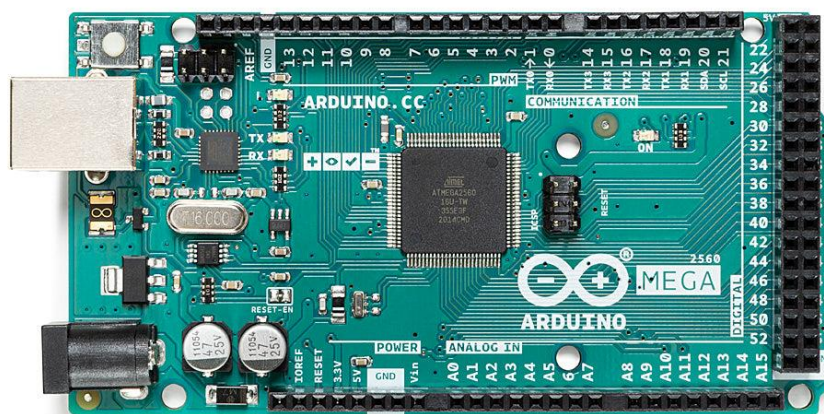


Fonte: Arduino.cc (2022).

A placa mais completa da família Arduino, exibida na figura 2, é chamada de MEGA. Diferente de sua irmã UNO, utiliza um microprocessador maior, o ATmega2560. Tem uma memória de estado sólido de 256 kB, mas acima de tudo possui uma maior quantidade de portas, sendo 54 pinos digitais e 16 analógicos (MCROBERTS, 2011). O MEGA é normalmente usado quando se quer construir projetos mais complexos, que tenham vários componentes, ou componentes que necessitam de múltiplos pinos como o *display* LCD.

Segundo o Evans (2013), o Arduino é um *hardware* de tecnologia de código aberto, graças a filosofia de ensino de seus criadores. Ou seja, qualquer um pode obter uma cópia dos arquivos publicados *computer-aided design*, via *download*, e criar seus próprios microcontroladores baseados no Arduino. Por causa disso várias cópias foram fabricadas por diversas empresas e pessoas ao longo dos anos, com diferentes alterações, tornando assim ainda mais acessível a tecnologia. Valendo apenas a ressalva de não utilizarem o nome nem o símbolo da marca original, Arduino, em seus produtos.

Figura 2 – Placa de microcontrolador Arduino mega



Fonte: Arduino.cc (2022)

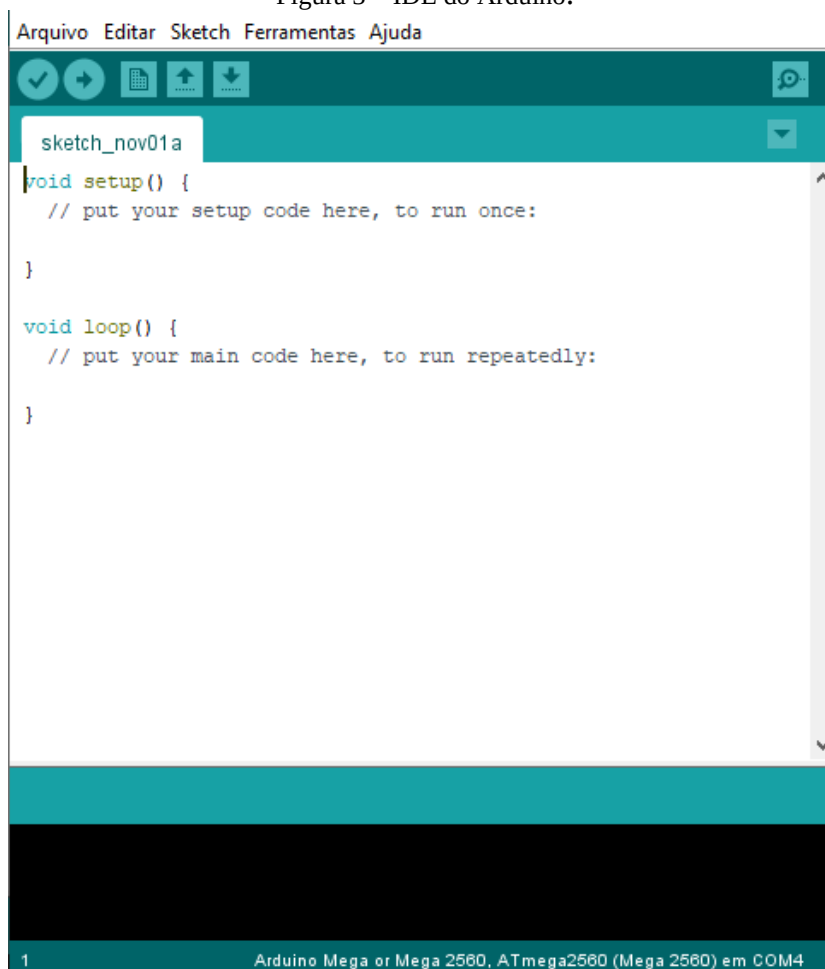
3.1.2 Software do Arduino

Toda via, o Arduino não faz nada por si só. Apenas montar de forma correta o projeto, não fará nada acontecer. Sendo assim, é preciso inserir um programa no Arduino. Esse programa nada mais é do que uma lista de comandos que a placa executará em uma sequência estabelecida (CASTRO, 2020). Esses comandos definem a coleta de dados de componentes como botões (que são ativados mecanicamente ao serem pressionados) e sensores (que são acionados quando algo é aproximado deles), ao envio de dados para outros como leds, motores e *displays*.

Assim como o *hardware*, o *software* do Arduino também é de código aberto. Ele, por sua vez é denominado de IDE e é de fácil acesso, sendo possível baixá-lo no *site* oficial da plataforma e de forma gratuita. A interface é muito simples, não complicando em nada o processo de programação. Os blocos de instruções são chamados de *sketch*, termo utilizado em *processing*, que é uma linguagem de programação na qual a IDE foi baseada (MCROBERTS, 2011). Cada uma das ferramentas do programa está disposta de forma intuitiva, o que significa que programar, salvar e transferir para o Arduino não é nada difícil.

A interface de programação do Arduino, mostrado na figura 3, apresenta dois espaços para programação que são os mais utilizados: O *void setup*, onde são declaradas por digitação quais portas lógicas da placa serão usadas, e se elas funcionaram como saída ou entrada de dados. E o *void loop*, onde ficara a parte da programação que dita as regras, ou passo a passo, que o microcontrolador irá seguir. O nome **loop** vem do fato de que sempre que o Arduino terminar de ler os comandos escritos, ele vai começar a lê-los de novo pelo início, de forma indefinida, ou seja, em execuções repetidas (BANZI, 2011).

Figura 3 – IDE do Arduino.



Fonte: autoria própria (2022).

3.2 MRUV

Quando um objeto está em movimento retilíneo uniformemente variado ou MRUV, implica que seu movimento é em linha reta. E seu deslocamento varia em um módulo constante de tempo, tanto para mais velocidade como para menos (GOUVEIA, 2022).

3.2.1 Conceitos fundamentais

O estudo do movimento dos objetos é uma das bases da física, sendo ela o alvo de estudo inclusive de um dos mais importantes pensadores da física como o Galileu. A velocidade é a taxa de variação de espaço pelo tempo, ou seja, como o objeto se desloca à medida que o tempo passa. A função matemática para velocidade média (V) é dada pela equação (1), onde V é a velocidade, Δx a diferença da posição original (x_0) para final (x_1), e Δt a diferença entre o momento inicial (t_0) do movimento e o momento final (t_1), logo, o tempo necessário para

percorrer o espaço. A unidade de medidas da velocidade é o m/s (HOLZNER, 2011). Assim, temos que:

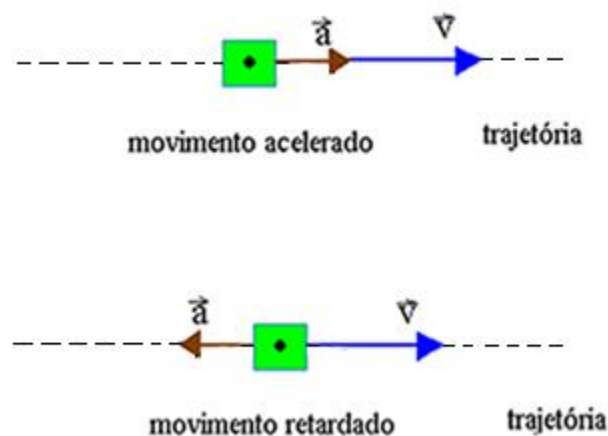
$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

A aceleração é um conceito que vai além do da velocidade e traz um pouco mais de realidade ao estudo do movimento, pois no mundo real é comum observar corpos mudando de velocidade. Ela é a taxa de variação de velocidade, quer dizer, que para cada momento o objeto vai mudar de velocidade, podendo ser para mais rápido no caso de uma aceleração ou para mais devagar no caso de uma desaceleração, e sendo sua unidade de medida m/s^2 (NUSSENZVEIG, 2017). Isso significa também que, caso o objeto não esteja variando a sua velocidade, não importando a intensidade do deslocamento, não vai existir aceleração.

A função horária da aceleração (a) é dado pela equação (2), onde Δv é a diferença entre a velocidade inicial (v_0) e a velocidade final (v_1), e Δt é a diferença entre os instantes, tal qual na equação (1) (HALLIDAY, 2016). Sendo assim, essa função indicará a mudança de velocidade que houve entre um instante e outro, como por exemplo, um carro que perde velocidade pois o seu motorista observou que logo há frente a um sinal de trânsito amarelo e pisou no freio.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

Figura 4 – Vetores velocidade e aceleração de um objeto.



Fonte: SILVA (2022).

Ambas as grandezas, tanto a aceleração como a velocidade, são vetoriais, o que quer dizer que elas não possuem apenas intensidade a ser levado em consideração, mas também um sentido e uma direção, de acordo com o que é mostrado na figura 4. Sendo assim, é certo dizer que quanto a um movimento, deve-se ter como referência para onde vai esse corpo (SILVA, 2022). Uma bola pode ser jogada em qualquer direção, logo, quando é dito que “ela foi jogada com uma velocidade 1 m/s para cima”, foram dadas todas as referências acerca da sua grandeza vetorial.

Ao analisar um corpo em deslocamento deve-se levar em conta um diagrama, que nem o da figura 4, onde cada grandeza aponta para seu respectivo sentido. Na parte superior dessa figura é possível observar que um objeto possui um vetor velocidade, e um vetor aceleração, aplicados no mesmo sentido. Já no canto inferior da figura, os vetores são opostos, isso é um indicativo de duas forças contrárias, uma que provocou o movimento, ou seja, a velocidade, e outra que está desacelerando o corpo. Força também é um vetor e como pode ser observado na equação (3), conhecida como a segunda lei de Newton, a força (F) é o produto entre, a massa (m) do corpo e a aceleração (a), e sua unidade de medida é o Newton (HALLIDAY, 2016).

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

Uma força comum quando se analisa um objeto em movimento é a do atrito (F_{at}), que não só tende a se opor ao movimento inicial do objeto, ao ponto de pará-lo. Mas também é o motivo pelo qual muitos movimentos são possíveis, afinal, não é possível andar sem o chão aos pés, por onde é aplicada força para se mexer. A equação (4) da F_{at} é determinada pelo produto da força normal (N), e pelo coeficiente de atrito (μ) entre as superfícies de contato. A força de atrito se encontra em duas formas, atrito estático (para quando o objeto está parado) e atrito cinético (quando o corpo está em movimento), sendo que esse último tende a ser menor que o primeiro, porém a equação é a mesma (AURELIO, 2022).

$$F_{at} = \mu \cdot N \quad (4)$$

3.2.2 Cinemática

A cinemática é ramo de estudo onde são descritos os movimentos sem a descrição de suas causas. Há funções para se estudar e resolver problemas de deslocamento, sendo as equações (5), (6) e (7) algumas das mais conhecidas. Cada uma delas é usada com base nos

dados que o observador possui e nos que ele deseja obter. Todavia, essas fórmulas só descrevem movimentos nos quais a aceleração é constante, e que todas as variáveis na equação se referem a uma direção, que está sendo estudada, horizontal (x) ou vertical (y), mas não as duas ao mesmo tempo (HALLIDAY, 2017).

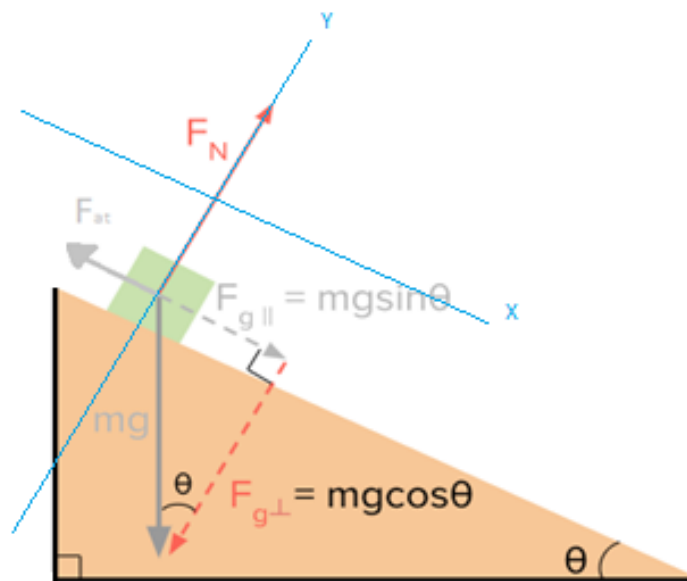
$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (5)$$

$$v = v_0 + a t \quad (6)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 a \Delta x \quad (7)$$

3.2.3 Plano inclinado

Figura 5 – Diagrama de forças em um plano inclinado.



Fonte: khanacademy (2020).

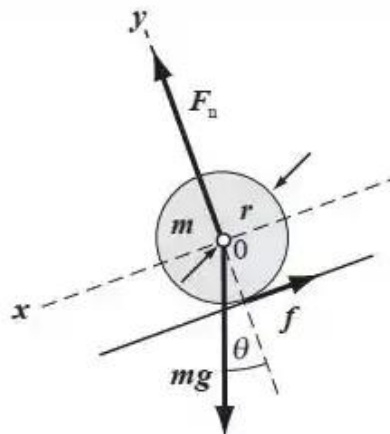
O plano inclinado é um exemplo fundamental da mecânica, a figura 5 ilustra um típico caso, onde um corpo é posicionado no topo de um plano, e livre para descer conforme é submetido a uma série de forças, sendo a da gravidade (F_g) a responsável pelo movimento (khanacademy, 2020). O diagrama mostra vetorialmente como algumas das forças no bloco estão distribuídos, sendo elas:

- a força normal (F_n) ou (N), provocada pela reação entre o contato da superfície do bloco com a do chão;
- a força peso (P), dada por $P = mg$, onde esse (g) é a aceleração da gravidade;
- $F_{g\parallel} = mg\sin\theta$, é a componente da força gravitacional paralela ao plano;
- $F_{g\perp} = mg\cos\theta$, é a componente da força gravitacional perpendicular ao plano;
- Há também, uma que é oposta a $F_{g\parallel}$, a força de atrito (F_{at}) entre o plano e o bloco.

3.2.4 Esfera no plano inclinado

Um problema relativamente mais complexo do que o plano inclinado com o bloco deslizando é o com uma esfera rolando. Isso acontece por causa da quantidade de forças envolvidas como mostra a Figura 6, e também se levar em consideração a rotação da esfera.

Figura 6 – Diagrama das forças em uma esfera no plano inclinado.



Fonte: respondeai.com (2022).

A rotação da esfera para um caso assim é consequência do torque vindo do atrito das duas superfícies. Segundo Halliday (2017) “O torque é uma tendência de rotação ou torção em torno de um eixo que um corpo sofre quando é submetido a uma força”, o módulo desse fenômeno é dado pela expressão

$$\delta = R.F.\sin\theta \quad (8)$$

Sendo no caso, (R) o raio, (F) a força empregada ao eixo e (θ) o ângulo de inclinação. Para ser capaz de determinar a aceleração do centro de massa (a_{cm}) em uma esfera nessa situação é

preciso compreender cada uma das forças que estão aplicadas ao objeto, valendo ressaltar que considerando a figura 6 essa bola translada no eixo x. Nesse caso, tem-se o somatório

$$\sum F_x = m \cdot a \quad (9)$$

É perceptível duas forças ao longo de x, que nada mais são do que a componente da força peso (P_x), no eixo em questão, e a força de atrito, que se opõe a primeira. Logo a expressão (9) fica como

$$P_x - F_{at} = m \cdot a_{cm} \quad (10)$$

O módulo da força peso é dado por

$$P_x = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (11)$$

Onde o g é a aceleração da gravidade, ou seja, aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$. Sendo assim, a equação (10), também pode ser tida como

$$m \cdot g \cdot \sin \theta - F_{at} = m \cdot a_{cm} \quad (12)$$

Para determinar a_{cm} será necessária uma segunda equação que seja capaz de fornecer uma outra solução ao atrito, utilizando o somatório dos torques aplicados na esfera tem-se

$$\sum \delta = I_{cm} \cdot \alpha \quad (13)$$

Em que α é a aceleração angular, e onde I_{cm} , nada mais é do que o momento de inercia do objeto, que também segundo Halliday (2017) “é a forma como a massa está distribuída em relação ao eixo de rotação”. Dependendo do objeto a expressão varia. No caso de uma esfera maciça é dada por

$$I_{cm} = \frac{2}{5} m R^2 \quad (14)$$

Observando a figura 6 é possível determinar que apenas uma força está provocando torque no objeto. Como já mencionado, é a força de atrito, pois esta é única que é perpendicular ao centro da esfera, logo o somatório da equação (13), fica

$$R_N \cdot N + R_P \cdot P + R \cdot F_{at} = I_{cm} \cdot \alpha \quad (15)$$

Considerando a F_{at} o único torque possível, já que N e P são paralelas ao eixo de rotação, logo os raios das outras forças R_N e R_P são iguais a zero, com isso, e reorganizando o somatório (15), é encontrado a seguinte expressão para o atrito

$$F_{at} = \frac{I_{cm} \cdot \alpha}{R} \quad (16)$$

Uma outra forma de obter a aceleração angular é através de

$$a_{cm} = \alpha \cdot R \quad (17)$$

Isolando o α na fórmula (17) e em seguida substituindo na (16), chegasse a seguinte expressão

$$F_{at} = \frac{I_{cm} \cdot a_{cm}}{R^2} \quad (18)$$

Encontrado uma relação para a força de atrito, é possível substitui-la na equação (12), logo

$$m \cdot g \cdot \sin \theta - \frac{I_{cm} \cdot a_{cm}}{R^2} = m \cdot a_{cm}$$

Reorganizando

$$m \cdot g \cdot \sin \theta = a_{cm} \cdot \left(\frac{I_{cm}}{R^2} + m \right)$$

E agora isolando aceleração do centro de massa

$$a_{cm} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \theta}{m + \frac{I_{cm}}{R^2}} \quad (19)$$

Sabendo que I_{cm} é dado pela expressão (14), e a substituindo na (19), chegasse a

$$a_{cm} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \theta}{m + \frac{2}{5}m}$$

Reorganizando, é obtido uma expressão mais simples para a_{cm}

$$a_{cm} = \frac{5}{7} \cdot g \cdot \sin \theta \quad (20)$$

Vale ressaltar a ausência de massa (m) nessa expressão (20), isso implica que a aceleração da esfera não depende dela, mais do seu próprio formato, e de como cada grama que a compõe está distribuída em seu corpo (HOLZNER, 2011). Agora com essa relação da aceleração (20), é possível determinar uma para velocidade utilizando a expressão (7), também conhecida como equação de Torricelli. Substituindo a (20) na (7), tem-se:

$$v_{cm}^2 = v_0^2 + 2 \cdot \frac{5}{7} \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \Delta x$$

Levando em conta que Δx pode ser tido como a hipotenusa de um triângulo retângulo, já que este também representa o tamanho da rampa do plano inclinado, logo usando a relação trigonométrica do seno

$$\sin \theta = \frac{h}{\Delta x} \Rightarrow \Delta x = \frac{h}{\sin \theta}$$

Nessa relação trigonométrica (h) é o cateto oposto, e também a altura da rampa com relação a base. Substituindo isso na equação de Torricelli, e obtido

$$v_{cm}^2 = v_0^2 + 2 \cdot \frac{5}{7} \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \frac{h}{\sin \theta}$$

Reorganizando e considerando a velocidade inicial (V_0) igual a zero, logo

$$v_{cm} = \sqrt{\frac{10}{7} \cdot g \cdot h} \quad (21)$$

É possível perceber que essa velocidade é independente de massa, e do raio da esfera, além disso, tende a ser menor do que $(\sqrt{2 \cdot g \cdot h})$, condição normalmente encontrado na equação de Torricelli para casos onde não se considera atrito (TIPLER, 2014).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ESTRUTURA DO PLANO INCLINADO

Esquemáticamente, o experimento de plano inclinado a ser desenvolvido, foi idealizado como uma plataforma de madeira com um plano inclinado, que pode ter seu ângulo ajustado, por uma pequena haste. Ao longo da rampa do experimento estarão dispostos cinco sensores, conectados ao Arduino. Quando soltado uma pequena esfera no topo da rampa, ela a percorrerá em MRUV, e ao passar pelos sensores, estes enviarão sinais ao Arduino que irá processar e reenviar para um *display* LCD, onde será possível ver o tempo decorrido na passagem do objeto em movimento por cada sensor.

Figura 7 – Base de madeira com rampa para o experimento.



Fonte: autoria própria (2022).

A rampa do plano inclinado possui 70 centímetros de comprimento, pode ser ajustada nas seguintes inclinações: 35, 25 e 15 graus. Está fixada em um pequeno suporte através de porcas e parafusos, a haste de 45 cm é fixada na base, como visível na figura 7, e possui furos posicionados nas seguintes posições, 17 cm, 28 cm e 39 cm, como poder ser visto na figura 7.

O topo do plano inclinado é alterado usando uma peça de ferro que entra nos furos e dá um apoio mecânico. O trajeto é percorrido por uma cavidade que se encaixa a esfera, fazendo

que não saia da trajetória prevista, além de uma fita que aumenta o atrito entre a bola e a superfície.

4.2 SISTEMA DO MICROCONTROLADOR

4.2.1 Arduino

O sistema que irá gerenciar toda lógica desse experimento é o Arduino Mega, visível na figura 2. É nele que estarão conectados os sensores pelas suas portas de sinais digitais, além do *display* LCD. O *software* transferido para ele foi programa para receber os sinais dos sensores, processa-los e, em seguida, enviá-los para o *display*.

O Arduino também será o responsável por dividir a corrente elétrica que alimentara cada um dos componentes, tudo isso sem precisar de manuseio ativo do usuário. A placa contém um botão de reset, na cor vermelha que pode ser pressionado caso seja desejado reiniciar o experimento, já que este mesmo reinicia o programa contido. O programa desenvolvido para este projeto pode ser encontrado na secção de anexos.

4.2.2 Sensor óptico reflexivo

Os cinco sensores utilizados são do tipo óptico reflexivo Tcrt5000, ele possui um infravermelho emissor e um fototransistor receptor. O sensor funciona da seguinte maneira, sempre que um objeto atravessa seu campo, ou seja, passa na sua frente, os raios infravermelhos emitido batem no objeto e são refletidos para o fototransistor. Com isso, a ligação base coletor do fototransistor é ativada gerando uma corrente que é detectada pela conexão com o Arduino.

Figura 8 – Sensor óptico reflexivo.



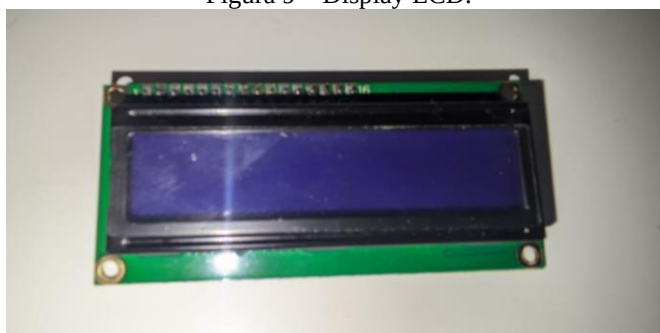
Fonte: FilipeFlop.com (2022).

Na figura 8 é possível ver o Tcrt5000. Este componente foi criado para bloquear outras luzes, como a do ambiente no intuito de diminuir o ruído. Ele será ativado quando a esfera estiver descendo o plano inclinado, que foi pintada de branco para melhor detecção pelos sensores. Além disso, os sensores estão ligados ao Arduino através de conexões em uma *protoboard*.

4.2.3 Display LCD

O LCD ou *liquid crystal display*, é um pequeno monitor que possui 16 colunas verticais e 2 linhas horizontais de espaço para caracteres. Este componente possui um fluido que em seu estado líquido não permite que a luz interna do dispositivo o ultrapasse. Sendo assim, ao injetar uma corrente no líquido esse entra em estado sólido, do qual permite a passagem de luz.

Figura 9 – Display LCD.



Fonte: autoria própria (2022).

Esse *display*, mostrado na figura 9, exibirá o tempo em milissegundo da passagem da esfera pelos sensores. Na seguinte ordem, para o primeiro sensor “T1=” para o segundo sensor, “T2=”, e assim até o quinto sensor. Esse componente possui 16 pinos para conexão, o que pode complicar o seu uso por causa dos números de fios necessário.

4.2.4 Módulo I2C

O I2C é um dispositivo que facilita o uso dos *displays*, esse componente reduz o número de pinos necessários entre a comunicação do Arduino para o *display*, a redução é de 16 para 4, através da técnica de demultiplexação. Entre eles um pino para aterramento, para alimentação VCC, para recebimento de dados e por fim para temporização. O I2C é bastante pequeno e fácil de usar como pode ser visto na figura 10. Ele também possui uma pequena caixa azul onde pode ser inserida uma pequena chave de fenda para ajusta via rotação, o contraste do monitor.

Figura 10 – Módulo I2C.



Fonte: FilipeFlop.com (2022).

4.2.5 Esfera

A esfera, da figura 11, possui o peso de 24 gramas e um diâmetro de aproximadamente 1,8 cm. Essa pequena bola metálica será o corpo que entrará em MRUV no experimento proposto. Esse objeto foi pintado de branco utilizando uma tinta guache, a cor tanto ajuda na melhor visualização do experimento por parte do observado, como a precisão dos sensores, que lidam melhor com objetos de cor clara. A textura da tinta também aplica um coeficiente maior de atrito.

Figura 11 – Esfera metálica.



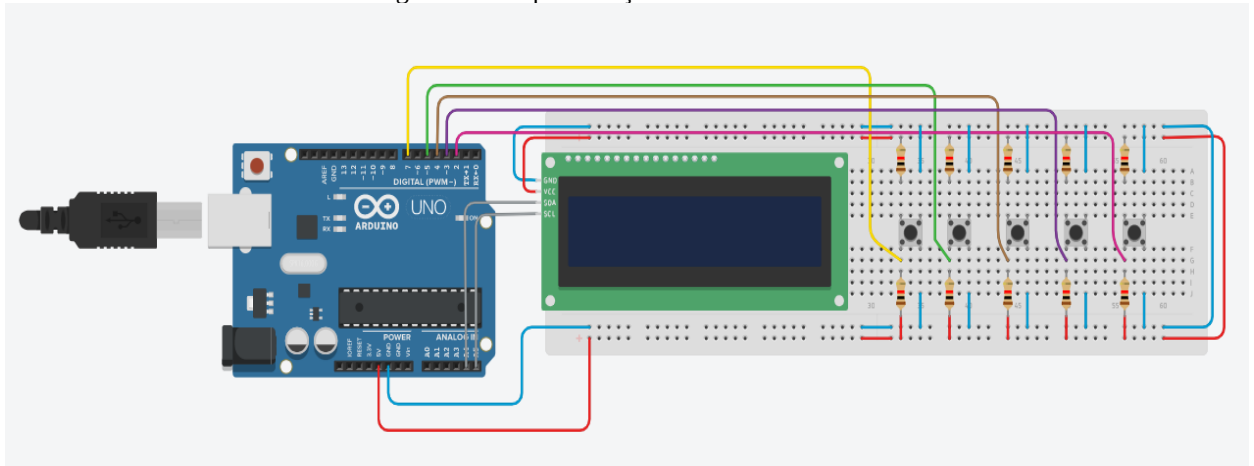
Fonte: autoria própria (2022).

4.3 LÓGICA DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento do protótipo é bastante simples. Primeiramente deve ser escolhido o ângulo do plano inclinado, através de um dos furos da plataforma, para 35°, 25° e 15°. Em seguida, ao posicionar a esfera no topo e soltá-la, o primeiro dos cinco sensores, irá enviar essa informação ao Arduino através de uma corrente, a placa Arduino, por sua vez, vai iniciar uma contagem de tempo. Depois para cada sensor que a bola cruzar o caminho, o microcontrolador vai armazenar a informação do tempo em milissegundos, que levou do primeiro sensor até o segundo, o terceiro, e assim até o quinto.

Todos os dados armazenados no Arduino, são imediatamente convertidos em sinais digitais referentes aos caracteres, que são enviados para o modulo I2C. O modulo por sua vez irá demultiplexar esse sinal, isto é, converter de uma informação que passa por vários fios, à uma que passa apenas por um fio. para os pinos de entrada do *display LCD*. O monitor nesse caso vai exibir os caracteres referentes a informação que lhe foram entregues, ou seja, exibindo o tempo que a esfera levou para alcançar cada sensor. Na figura 12, é ilustrado as conexões entre o microcontrolador, o *display* e os sensores.

Figura 12 – Representação das conexões no Arduino.



Fonte: autoria própria (2022).

Com todas as conexões feitas no Arduino, e devidamente testados para saber se estão em pleno funcionamento, os sensores são colados no plano inclinado com fita dupla face, e através de jumpers fêmea/fêmea, macho/fêmea e macho/macho são mantidas as conexões com a protoboard. O termo fêmea nesse caso se refere a uma entrada para *plugin*, e macho ao próprio *plugin*. Os componentes ópticos reflexivos são distanciados 16 cm um dos outros ao longo de toda a rampa, sendo o primeiro deles posicionado a 1,5 cm do topo. O resultado dessa montagem pode ser visualizado na figura 13, já a figura 14 mostra de onde a esfera será solta.

Figura 13 – Protótipo do experimento montado.



Fonte: autoria própria (2022).

Figura 14 – visão por onde a esfera desce.



Fonte: autoria própria (2022).

5 RESULTADOS

5.1 OS DADOS DOS SENSORES

Com a realização do experimento, a Tabela 1 mostra os dados correspondentes ao momento em que a esfera passou por cada sensor. Os testes foram feitos nos três ângulos ajustáveis do protótipo. A esfera é largada do topo do plano inclinado, os tempos em segundos foram identificados através do *display LCD*. O experimento foi repetido cinco vezes para cada uma das angulações, e foi calculada uma média entre elas para uma melhor precisão. Há também que ser ressaltado o uso de um cronômetro externo, para verificar a plausibilidade das informações obtidas através do Arduino.

Tabela 1 – Dados dos sensores em segundos.

$\theta \backslash$ Sensor	2° (16cm)	3° (32cm)	4° (48cm)	5° (64cm)
35°	0,28s	0,41s	0,51s	0,60s
25°	0,32s	0,47s	0,59s	0,69s
15°	0,45s	0,65s	0,80s	0,94s

Fonte: autoria própria.

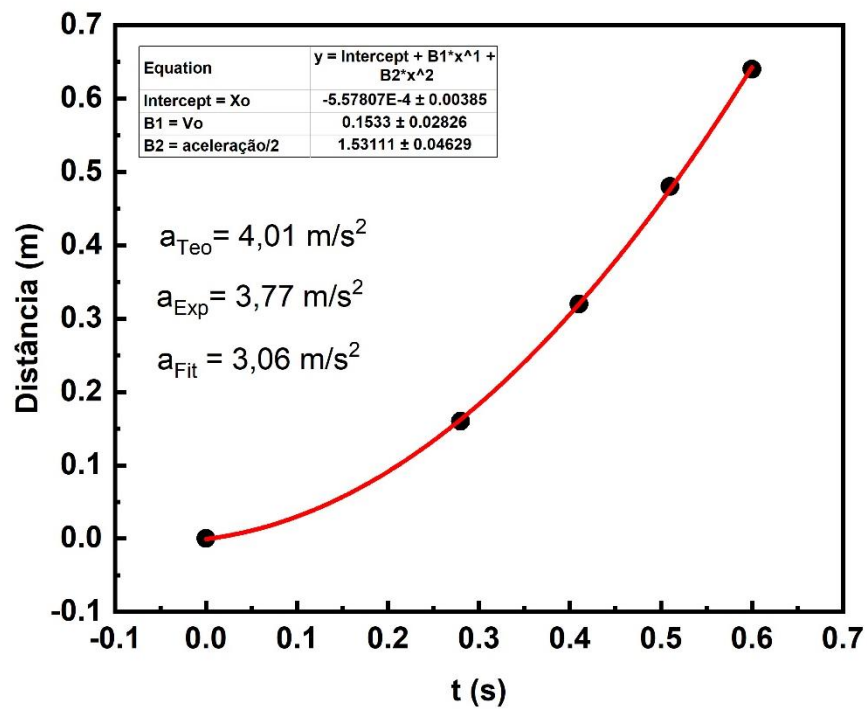
Utilizando o *software origin*, foi criado os gráficos 1, 2 e 3, que relacionam o espaço (m) percorrido pela bola, e tempo (s) que ela levou. Sendo usado como base os valores encontrados na Tabela 1. O programa plotou o gráfico de forma a considerar uma equação de segundo grau, ou seja, ele executou uma regressão quadrática. O que faz sentido considerando que a função horária da posição é uma desse tipo.

A equação dada pelo *origin*, e que pode ser vista nos gráficos é

$$y = \text{intercept} + B_1 \cdot x + B_2 \cdot x^2$$

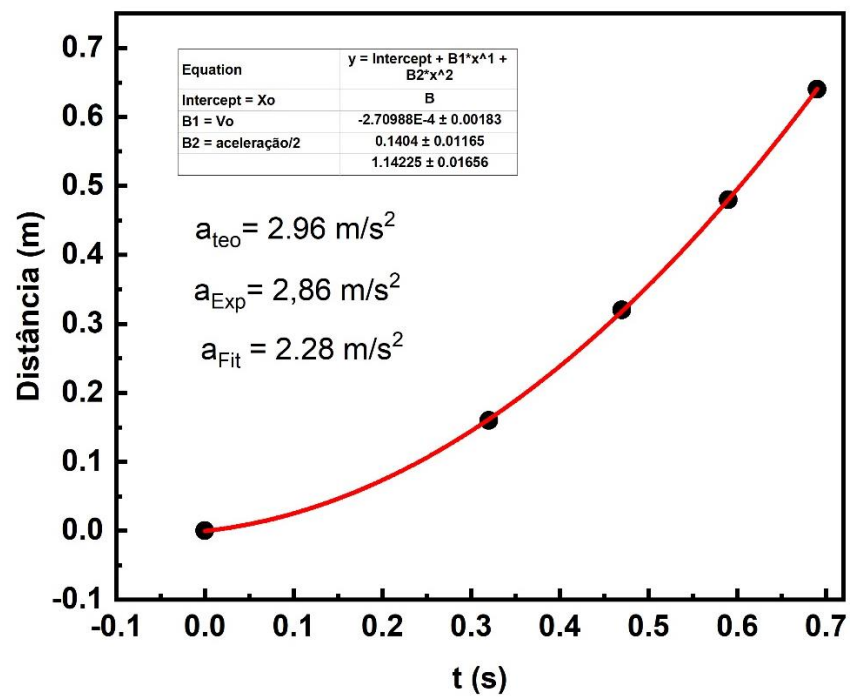
Ela é facilmente comparável a função horária da posição, sendo “y” a posição final (x), “intercept” a inicial (x_0), “ B_1 ” é a velocidade inicial (V_0), “ B_2 ” a aceleração dividido por dois ($a/2$) e por último “x” é o tempo (t). No caso de B_2 , é notável que para achar o valor da aceleração simulada pelo *origin*, basta multiplica-lo por dois. Sendo assim, a_{Fit} é igual a duas vezes B_2 .

Gráfico 1 – Relação entre espaço por tempo no ângulo de 35°.



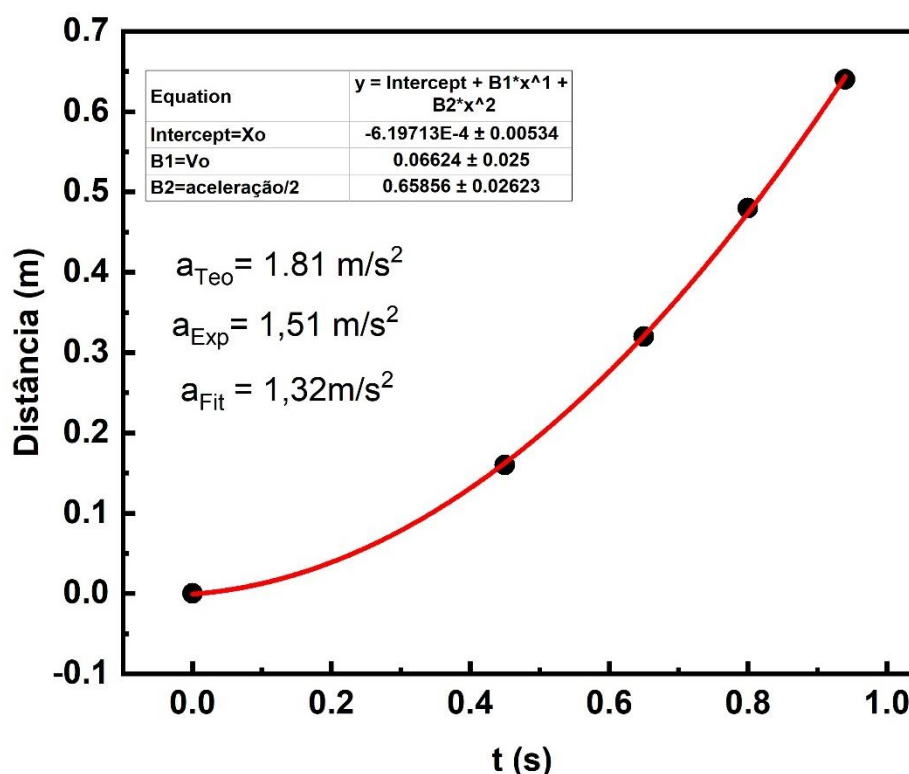
Fonte: autoria própria (2022).

Gráfico 2 – Relação entre espaço por tempo no ângulo de 25°.



Fonte: autoria própria (2022).

Gráfico 3 – Relação entre espaço por tempo no ângulo de 15°.



Fonte: autoria própria (2022).

5.2 A ANÁLISE FÍSICA DO EXPERIMENTO

Observando atentamente, tanto os gráficos 1, 2 e 3, como também a própria tabela 1, é possível notar alguns fatos:

- O tempo que a esfera leva de um sensor até o outro diminui quando mais próximo do final do plano. Isso implica que a velocidade cresceu durante todo o trajeto.
- Quanto maior o ângulo menor foi o tempo que a esfera levou para ir do primeiro ao último sensor. Consequentemente, isso implica que sua velocidade possuirá magnitude mais elevada no final da rampa, quando mais aberta for a inclinação;

O primeiro fato aponta de forma clara a existência da aceleração nesse experimento, por indicar uma variação da velocidade. Já o segundo fato, considerando também o anterior, que quanto maior o ângulo maior é aceleração. Isso configura a seguinte prática como um MRUV, mas para se aprofundar ainda mais, é necessário averiguar a magnitude da aceleração, assim como o atrito envolvido entre a esfera e a superfície da rampa. Considerando a equação (20), para a aceleração do centro de massa (a_{cm}), temos que

$$a_{cm} = \frac{5}{7} \cdot g \cdot \sin\theta \quad (20)$$

Sendo a gravidade (g) aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$ e θ o ângulo de inclinação da rampa, logo para o plano em 15° é obtido

$$a_{cm} = \frac{5}{7} \cdot 9,8 \cdot \sin 15^\circ \Rightarrow a_{cm} = 1,811 \text{ m/s}^2$$

Para o plano inclinado a 25°

$$a_{cm} = \frac{5}{7} \cdot 9,8 \cdot \sin 25^\circ \Rightarrow a_{cm} = 2,958 \text{ m/s}^2$$

Se a inclinação for de 35°

$$a_{cm} = \frac{5}{7} \cdot 9,8 \cdot \sin 35^\circ \Rightarrow a_{cm} = 4,015 \text{ m/s}^2$$

Como já citado anteriormente, mas novamente demonstrado nesses resultados calculados, quanto maior a angulação da rampa maior a aceleração da esfera. É notável também que de acordo com a expressão (20), a massa do objeto não influencia na aceleração no plano inclinado. Contudo, esse é um resultado totalmente teórico, que não usa, de fato, os dados obtidos experimentalmente. Para isso é necessário utilizar a função horária da posição, equação (5), para cada sensor em relação ao primeiro.

$$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (5)$$

Considerando $V_0 = 0$, para todos os casos. Então

$$x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \Rightarrow a = \frac{2 \cdot x}{t^2}$$

Utilizando os dados da tabela 1, e os substituindo nessa equação é encontrado os seguintes valores de aceleração dispostos na tabela 2, onde a cada da se refere ao intervalo entre cada sensor, tendo sempre o primeiro como base de partida, e a inclinação da rampa.

Tabela 2 – aceleração (a) para o intervalo entre cada sensor, nas três inclinações.

	1° ao 2°	1° ao 3°	1° ao 4°	1° ao 5°
15°	$1,60m/s^2$	$1,51m/s^2$	$1,50m/s^2$	$1,45m/s^2$
25°	$3,10m/s^2$	$2,90m/s^2$	$2,75m/s^2$	$2,70m/s^2$
35°	$4,08m/s^2$	$3,80m/s^2$	$3,70m/s^2$	$3,50m/s^2$

Fonte: autoria própria (2022).

Realizando uma média entre esses dados, é obtido a aceleração para os ângulos, que podem ser comparados. Levando em conta que os valores encontrados pela teoria, é visível uma diferença, e uma porcentagem de erros, que podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3 – Comparação das acelerações teóricas e experimentais.

	$a_{Teo} (m/s^2)$	$a_{Exp} (m/s^2)$	diferença (m/s^2)	Erro (%)
15°	1,811	1,51	0,296	16,3
25°	2,958	2,86	0,098	3,3
35°	4,015	3,77	0,254	6,1

Fonte: autoria própria (2022).

Uma outra forma de aborda esse problema é verificando a velocidade que a esfera possui ao passar por cada sensor. Na teoria, basta usar a equação (21) nas inclinações dos experimentos.

$$v_{cm} = \sqrt{\frac{10}{7} \cdot g \cdot h} \quad (21)$$

Vale ressaltar que, para essa equação, o (h) é o cateto oposto de um triângulo retângulo, onde a distância entre os sensores na rampa é a hipotenusa. Sendo assim, o valor de (h) muda dependendo de quais sensores estejam sendo relacionados. Essa variável também muda caso a angulação seja mudada. A tabela 4, mostra a altura (h), ou o cateto oposto de um triângulo retângulo, tendo como relação ao primeiro sensor como uma ponta da hipotenusa e os seguintes como outra ponta, sendo assim, nas três inclinações da rampa.

Tabela 4 – Altura (h) dos sensores no plano inclinado para a três inclinações.

	1° ao 2°	1° ao 3°	1° ao 4°	1° ao 5°
15°	0,0414m	0,0828m	0,1242m	0,1656m
25°	0,0676m	0,1352m	0,2028m	0,2704m
35°	0,0917m	0,1835m	0,2753m	0,3670m

Fonte: autoria própria (2022).

Levando em conta esses dados, e a equação (21) é possível determinar a velocidade teórica para cada um desse pontos, em cada inclinação da rampa. Para isso a tabela 5, mostra os resultados desses cálculos das velocidades.

Tabela 5- velocidades (v) no momento de cada sensor.

	2°	3°	4°	5°
15°	0,76m/s	1,00 m/s	1,40m/s	1,52m/s
25°	0,96m/s	1,37m/s	1,68m/s	1,94m/s
35°	1,13m/s	1,60m/s	1,96m/s	2,26m/s

Fonte: autoria própria (2022).

Mas, novamente, assim como na aceleração esses são apenas dados teóricos, a velocidade com os dados obtidos através do experimento é calculada através da função horária da velocidade (6), considerando $V_0 = 0$, usando as acelerações da tabela 2 e os dados de tempo da tabela 1, correspondentes a cada sensor (aceleração do sensor 1, tempo de passagem do sensor 1), é possível montar a tabela 6, onde estão dispostas as velocidades pontuais que a esfera possuía no momento da passagem por cada sensor, logo

$$v = v_0 + at \quad (6)$$

Tabela 6 – Velocidade (V) no momento de cada sensor, em cada uma das inclinações.

	2° sensor	3° sensor	4° sensor	5° sensor
15°	0,72m/s	0,98m/s	1,20m/s	1,36m/s
25°	0,99m/s	1,36m/s	1,62m/s	1,86m/s
35°	1,14m/s	1,55m/s	1,88m/s	2,10m/s

Fonte: autoria própria (2022).

Ao comparar cada uma dessas tabelas, de valores teóricos e experimentais, é notável que existe uma pequena diferença nos dados, que não é o suficiente pra invalidar a veracidade dos experimentos com relação aos fundamentos da mecânica clássica utilizados. Além disso, outro fenômeno que deve ser levado em consideração é o atrito (F_{at}), que é dado pela equação (18):

$$F_{at} = \frac{I_{cm} \cdot a_{cm}}{R^2} \quad (18)$$

Sendo o momento de inércia (I_{cm}) de uma esfera expressado como

$$I_{cm} = \frac{2}{5} m R^2$$

E considerando que o raio (R) da esfera é de aproximadamente 0,9 cm, e sabendo que a massa é de 24 g, logo

$$I_{cm} = \frac{2}{5} m R^2 \Rightarrow I_{cm} = \frac{2}{5} 0,024 \cdot 0,009^2 \Rightarrow I_{cm} = 7,77 \cdot 10^{-7} \text{ kg.m}^2$$

Com o valor do momento de inércia da esfera, e usando a aceleração encontrada a 15° do plano inclinado, agora é possível calcular a força de atrito voltando a expressão (18), sendo assim

$$F_{at} = \frac{I_{cm} \cdot a_{cm}}{R^2} \Rightarrow F_{at} = \frac{7,77 \cdot 10^{-7} \cdot 1,811}{0,009^2} \Rightarrow F_{at} = 0,0173 \text{ N}$$

Uma outra forma de calcular o atrito seria usando a equação (4), que propõe

$$F_{at} = \mu \cdot F \quad (4)$$

Sendo μ o coeficiente de atrito, e F igual a força normal (N). Considerando que a força normal é igual a força peso em módulo já que é a força contrária ao peso, provocada pela superfície em que se encontra, logo

$$N = m \cdot g \cdot \cos\theta$$

A massa (m) é igual 24g e a aceleração da gravidade é $9,8\text{m/s}^2$, tem-se

$$N = 0,024 \cdot 9,8 \cdot \cos 15^\circ \Rightarrow N = 0,2271\text{N}$$

Com esse valor de N e o valor de F_{at} , é possível encontrar o coeficiente de atrito entre a rampa e a esfera, isolando μ na equação (4), ou seja

$$\begin{aligned} F_{at} &= \mu \cdot N \Rightarrow \mu = F_{at}/N \\ \mu &= 0,0173/0,2271 \Rightarrow \mu = 0,076 \end{aligned}$$

Vale ressaltar o ângulo em que esse atrito é efetivo, de modo que a bola não se movimenta. Experimentalmente utilizando a própria base com plano inclinado, e uma ferramenta para medição, foi obtido que esse ângulo é de menos cinco graus.

Deve ser também considerado a possibilidade desse coeficiente de atrito não ser constante, pois pode haver pequenas falhas na cavidade da rampa, além da possibilidade de a esfera, em algum momento durante a descida, deslizar e não rolar. Motivos para considerar isso, podem ser vistos na tabela 2, onde a aceleração não se mostrou totalmente constante entre os sensores, tendo uma pequena discrepância entre cada um.

5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O EXPERIMENTO

Levando em conta todos os conceitos físicos abordados ao se realizar esse experimento, como: velocidade, aceleração, atrito, força, rotação, momento de inercia, além da análise de dados necessários para o estudo do caso. É válido chegar à conclusão que, qualquer aluno que fosse realizar essa atividade, exercitaria bastante seus conhecimentos sobre mecânica clássica. Além de ajudar eles a sair um pouco da rotina totalmente teórica da sala de aula.

Quanto ao custo para a criação desse protótipo, pode ser visto na tabela 7. Levando em conta o que foi gasto em dinheiro, todo o conhecimento de física trabalhado com esse experimento, as possibilidades para o uso do Arduino e dos outros componentes em experimentos futuros. Além da facilidade de se montar, que não exigiu nenhum um nível alto de programação, é válido dizer que foi de grande aproveitamento, saindo uma experiência de aprendizado completa e barata. Deve-se considerar que com tudo isso, esse protótipo não fica

atrás dos utilizados em universidades e fornecidos por empresas como, a Cidepe. Pois estes mesmos utilizam como base, a aplicação dos conceitos aqui abordados.

Tabela 7 – custo do desenvolvimento do experimento.

Material	Custo em reais (R\$)
Plataforma de madeira	50,00
Arduino MEGA	90,00
sensores	2,76
jumpers	8,46
Pacote de resistores	3,45
Display LCD	18,89
Modulo I2C	12,26
protoboard	13,86
TOTAL	199,65

Fonte: autoria própria.

6 CONCLUSÃO

O trabalho abordado demonstrou a criação de um protótipo de experimento de física sobre movimento retilíneo uniformemente variado. Que tem como objetivo saciar a escarces de práticas relacionadas as teorias de mecânica clássica, existentes em salas de aulas do ensino médio do Brasil. Através de testes e de cálculos foi provado o seu funcionamento e sua veracidade para com os conceitos científicos abordados.

As atividades experimentais são conhecidas, por vários profissionais da área da pedagogia, como uma forma de estimular a curiosidade dos alunos. Além de ajudá-los a visualizar os conceitos abordados nas aulas teóricas com mais facilidade que, por sua vez, os ajudam e empolgam nos estudos da área. isso os incentiva a seguir carreiras nas áreas científicas que tem como base matérias que possuem muita dificuldade durante o ensino médio, como calculo e física.

Sendo assim, foi criado um experimento de MRUV, que usa uma esfera em um plano inclinado, de baixo custo, com materiais baratos como o microcontrolador Arduino, que é de fácil acesso e pode ser reutilizado em projeto futuros. Também foram utilizados componentes como sensores para captar o movimento do objeto em movimento que foi utilizado, e também uma plataforma de madeira onde a prática acontece.

O experimento demonstrou, que para sua realização o aluno põe em prática fundamentos como força, aceleração e atrito. Levando-o assim a usar o raciocínio e o discernimento para alcançar conclusões a respeito dos fatos físicos envolvidos. Isso leva a conclusão do quão proveitoso é o desenvolvimento de projetos como esse, que busca o melhoramento das atividades em sala de aula, sem custar muito ou exigir demasiado trabalho dos educadores.

REFERÊNCIAS

AURELIO, Marco. Determinando o Coeficiente de Atrito Cinético. **brasilecola**. Disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/determinando-coeficiente-atrito-cinetico.htm#:~:text=Como%20sabemos%2C%20a%20for%C3%A7a%20de>>. Acesso em: 3 nov. 2022.

BANZI, Massimo. **Getting Started with Arduino**. Gravenstein Highway North: O'REILLY, 2011.

CASTRO, L. O uso do Arduino e a criação de objetos educacionais em tempos e espaços desarticulados. **Revista de Ciência da Computação**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 2596-2701, jan/jun 2020. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/recic/article/download/6550/4778/12728> Acesso em: 01 de ago. de 2022.

CUNHA, A. E. et al. Envolver os alunos na realização de trabalho experimental de forma produtiva: o caso de um professor experiente em busca de boas práticas. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, Vigo, v. 11, n. 3, p. 635-659, 2012. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen11/REEC_11_3_9_ex658.pdf> Acesso em: 01 de ago. de 2022.

EVANS, M; NOBLE, J; HOCHENBAUM, J. **Arduino em Ação**. São Paulo: Novatec, 2013.

ESTUDANTES tem mais dificuldade em física, matemática e química. **Vaicaíroenem**, 2021. Disponível em: <https://www.vaicaíroenem.com/2021/08/23/estudantes-tem-mais-dificuldades-em-fisica-matematica-e-quimica-diz-pesquisa#:~:text=Os%20assuntos%20indicados%20pelos%20entrevistados,qu%C3%ADmica%2C%20qu%C3%ADmica%20inorg%C3%A2nica%20e%20estequiometria>. Acesso 25 jul. de 2022.

GOUVEIA, Rosimar. Movimento Retilíneo Uniformemente Variado. **todamateria.com.br**, 2022. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/movimento-retilineo-uniformemente>>

variado/#:~:text=O%20Movimento%20Retil%C3%ADneo%20Uniformemente%20Variado>.

Acesso em: 1 nov. 2022

HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Vol. 1 - Mecânica**, 10ª edição. LTC, 06/2016. VitalBook file.

HARDWARE Arduino. **arduino.cc**, 2022. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/hardware>. Acesso em 23 de jul. de 2022.

HOLZNER, Steven. **Física para Leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2011.

Módulo Serial I2C para Display LCD. **FilipeFlop.com**, 2022. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino/>> Acesso em: 14 nov. 2022

MCROBERTS, M. Arduino Básico. São Paulo: Novatec, 2011. braic Equations. IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9, No. 2.

NUSSENZVEIG, Moysés. **Curso de Física básica 1**. São Paulo: Blucher, 2017.

O que são inclinações?. **Khanacademy.org**, 2020. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/physics/forces-newtons-laws/inclined-planes-friction/a/what-are-inclines>>. Acesso em: 7 nov. 2022

RANKING de dúvidas. **Tutormundi**, 2021. Disponível em: <https://tutormundi.com/ranking-duvidas/>. Acesso em: 22 de jul. de 2022.

Sensor Óptico Reflexivo Fototransistor TCRT5000. **FilipeFlop.com**, 2022. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000/>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. "Características da aceleração vetorial"; **brasilecola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/caracteristicas-aceleracao-vetorial.htm>. Acesso em 06 de novembro de 2022.

SILVA, Paulo. Importância da física. **Preparaenem**, 2022. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/fisica-e-importante.htm>>. Acesso 23 de jul. de 2022.

SILVA, E. **A importância das atividades experimentais na educação**. Monografia (Pós-graduação em Docência do Ensino Superior) – Faculdade Integrada Pós-Graduação Lato Sensu, Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, p. 11. 2017.

Uma esfera maciça e uniforme rola descendo um plano inclinado. **respondeai.com (2022)**. Disponível em: <<https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/livro/exercicios/esfera-macica-uniforme-rola-descendo-plano-inclinado-deslizar-aceleracao-linear-22145>>. Acesso em: 10 nov. 2022

TIPLER, P; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. 6 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014, v 1.

ANEXOS

CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO MEGA – PROTÓTIPO

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define endereco 0x3F
#define colunas 16
#define linhas 2
LiquidCrystal_I2C lcd(endereco, colunas, linhas);

bool PIR;
unsigned long tempo;
unsigned long tempoa;
unsigned long tempob;
unsigned long tempoc;
bool aContar = false;
bool aContara = false;
bool aContarb = false;
bool aContarc = false;

int pinoSensorA = 7;
int pinoSensorB = 4;
int pinoSensorC = 3;
int pinoSensorD = 2;
int pinoSensorE = 5;

void setup() {
  pinMode (pinoSensorA, INPUT);
  pinMode (pinoSensorB, INPUT);
  pinMode (pinoSensorC, INPUT);
  pinMode (pinoSensorD, INPUT);
  pinMode (pinoSensorE, INPUT);
```

```
lcd.init(); // INICIA A COMUNICAÇÃO COM O DISPLAY
```

```
lcd.backlight(); // LIGA A ILUMINAÇÃO DO DISPLAY
```

```
lcd.clear(); // LIMPA O DISPLAY
```

```
lcd.print("  Plano ");
```

```
delay(1000); // DELAY DE 1 SEGUNDOS
```

```
lcd.setCursor(0, 1); // POSICIONA O CURSOR NA PRIMEIRA COLUNA DA LINHA 2
```

```
lcd.print("  inclinado ");
```

```
delay(2000); // DELAY DE 2 SEGUNDOS
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.print("T1=");
```

```
lcd.setCursor(8,0);
```

```
lcd.print("T2=");
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("T3=");
```

```
lcd.setCursor(8,1);
```

```
lcd.print("T4=");
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  if (digitalRead(pinoSensorA) == LOW && !aContar && !aContara && !aContarb &&
!aContarc){
```

```
    aContar = true;
```

```
    aContara = true;
```

```
    aContarb = true;
```

```
    aContarc = true;
```

```
    tempo = millis();
```

```
    tempoa = millis();
```

```
    tempob = millis();
```

```
    tempoc = millis();
```

```
}
```

```
if (digitalRead(pinoSensorB) == LOW && aContarc){
```

```
  aContarc = false;
```

```

        unsigned long total = millis() - tempoc;
        lcd.setCursor(3,0);
        lcd.print(total);
    }
    if (digitalRead(pinoSensorC) == LOW && aContarb){
        aContarb = false;
        unsigned long total = millis() - tempob;
        lcd.setCursor(11,0);
        lcd.print(total);
    }
    if (digitalRead(pinoSensorD) == LOW && aContara){
        aContara = false;
        unsigned long total = millis() - tempoa;
        lcd.setCursor(3,1);
        lcd.print(total);
    }
    if (digitalRead(pinoSensorE) == LOW && aContar){
        aContar = false;
        unsigned long total = millis() - tempo;
        lcd.setCursor(11,1);
        lcd.print(total);
    }
    else{
        // nada foi programado nesse espaço, para que os dados sejam mantidos no display.
    }
}

```