

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM FÍSICA

JOSÉ VINÍCIUS PINHEIRO DE SOUZA

UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO NO ENSINO DE FÍSICA: uma
proposta de protótipo para o estudo de queda livre

MACAPÁ-AP

2025

JOSÉ VINÍCIUS PINHEIRO DE SOUZA

UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO NO ENSINO DE FÍSICA: uma
proposta de protótipo para o estudo de queda livre

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
coordenação do curso superior de Licenciatura
em Física como requisito avaliativo para
obtenção do título de graduado em Licenciatura
em Física.

Orientador: Me. Cássio Renato da Glória
Pereira dos Santos.

MACAPÁ-AP

2025

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S729u Souza, José Vinícius Pinheiro de
Utilização da plataforma arduino no ensino de física: uma proposta de protótipo para o estudo de queda livre / José Vinícius Pinheiro de Souza - Macapá, 2025.
40 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Licenciatura em Física, 2025.

Orientador: Cássio Renato da Glória Pereira dos Santos.

1. Ensino de física. 2. Queda livre. 3. Arduino. I. Santos, Cássio Renato da Glória Pereira dos, orient. II. Título.


Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JOSÉ VINÍCIUS PINHEIRO DE SOUZA

UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO NO ENSINO DE FÍSICA: uma proposta
de protótipo para o estudo de queda livre.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
coordenação do curso superior de Licenciatura
em Física como requisito avaliativo para
obtenção do título de graduado em Licenciatura
em Física.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 CASSIO RENATO DA GLÓRIA PEREIRA DOS SANTOS
Data: 19/12/2025 12:27:35-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Me. Cássio Renato da Glória Pereira dos Santos (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Brenda da Silva Pinheiro

Profa. Esp. Brenda da Silva Pinheiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Élys da Silva Mendes

Prof. Dr. Élys da Silva Mendes
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 19/12/2025.

Conceito/Nota: 84

Às minhas mães, ao meu pai de criação, á tia que considero como mãe e os familiares, que não mediram esforços para que eu tivesse uma educação baseada em adquirir conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos ao meu orientador, Me. Cássio Renato da Glória Pereira dos Santos, pela orientação, dedicação, paciência e pelo apoio durante toda a elaboração deste trabalho. Minha profunda gratidão também se estende à minha família, especialmente às minhas duas mães Rita Mariana Pinheiro de Souza e Cristiane Pinheiro de Souza, que desde o começo do curso nunca deixaram de acreditar nos meus sonhos. O incentivo e o apoio de vocês me deram força e coragem para conquistar essa vitória.

Sinto-me profundamente grato ao meu pai de criação Claudio Pinheiro de Souza e à minha tia Tatiana do Socorro Pinheiro de Souza que considero como uma mãe, tia Fabiane de Moraes Nogueira, por estarem ao meu lado em cada fase dessa jornada, oferecendo apoio, compreensão e palavras de incentivo nos momentos mais difíceis aqui em Macapá. Também destaco a importância e expressei minha gratidão aos meus amigos que ganhei ao longo desta caminhada como Jeferson Palheta, Vanderlei Rodrigues, Enzo Gomes, Dinael Amaral, Charlon Golçalves, João Miguel, Benedito Xavier, Samuel Moraes Pessoa, Victor Gabriel, Hugo Barbosa, Bianca Cardoso, Luana Letícia Brito de Souza, Roane Bitencourt, Andressa Monteiro, Edivan Oliveira, Adriano Junio Gama dos Santos e o Lucas dos Santos, minha companheira Emília Monteiro Melo que dividiram essa caminhada comigo, tornando tudo mais alegre e inesquecível.

Não posso deixar de reconhecer a relevância e agradecer aos professores do colegiado de Física do IFAP em especial ao Me. Astrogecildo Ubaiara Brito e o prof. Dr. Willians Lopes de Almeida, prof. Dr. Elys da Silva Mendes, prof. Dr. Argemiro Midones Bastos, especial às professoras Dra. Suany Rodrigues da Cunha, profa. Ma. Thaynam Cristina Maia dos Santos, profa. Esp. Jacqueline Souza de Jesus, profa. Esp. Brenda da Silva Oliveira, profa. Ma. Karoline Braga Aldenas que ao longo da minha formação ajudaram no meu desenvolvimento acadêmico, profissional e humano. Cada aprendizado que recebi foi um alicerce indispensável na construção do caminho que me trouxe até aqui. Afinal, como afirmou Isaac Newton: ‘Se vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes’.

“Vida sem luta é um mar morto no centro do organismo universal.”

(Machado de Assis).

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de protótipo experimental de baixo custo para o estudo da queda livre, utilizando a plataforma Arduino como protótipo didático no ensino de Física. O experimento foi estruturado a partir da integração de sensores de luminosidade (*Light Dependent Resistor*), LDR, módulos laser, placa Arduino Uno R3 e um sistema de coleta e processamento de dados programado em ambiente de desenvolvimento integrado *Integrated Development Environment* (IDE). A metodologia adotada envolveu a construção de um protótipo de baixo custo, a modelagem de peças no *software* Tinkercad e a realização de medições do tempo de queda de um corpo a partir de diferentes alturas, com posterior tratamento estatístico dos dados obtidos. Os resultados experimentais evidenciaram uma tendência compatível com o modelo teórico da queda livre do tempo de queda, observando-se a relação funcional entre a distância percorrida e o quadrado do tempo, do tempo de queda, bem como valores médios da aceleração da gravidade próximos aos da literatura em relação aceleração da gravidade, especialmente para maiores distâncias entre os sensores. As análises dos resultados indicaram que, apesar das limitações instrumentais e dos efeitos de atrasos eletrônicos e erros aleatórios, o protótipo apresentou desempenho satisfatório para fins educacionais. Conclui-se que a proposta experimental se mostra viável como ferramenta pedagógica, contribuindo para a contextualização de conceitos de queda livre, para a discussão sobre incertezas de medição e para o refinamento da articulação entre teoria e prática no Ensino de Física, sobretudo em contextos escolares com recursos limitados.

Palavras-chave: ensino de física; queda livre; arduino.

ABSTRACT

The objective of this work is to present a low-cost experimental prototype for the study of free fall, using the Arduino platform as a didactic prototype in physics education. The experiment was structured based on the integration of (*Light Dependent Resistor*), LDR-type light sensors, laser modules, an Arduino Uno board, and a data collection and processing system programmed in an integrated development environment (IDE). The methodology adopted involved the construction of a low-cost prototype, the modeling of parts in Tinkercad software, and the measurement of the fall time of a body from different heights, with subsequent statistical treatment of the data obtained. The experimental results showed a trend compatible with the theoretical model of free fall, observing the functional relationship between the distance traveled and the square of the time, as well as average values of gravitational acceleration close to the reference values, especially for greater distances between the sensors. The analysis of the results indicated that, despite instrumental limitations and the effects of electronic delays and random errors, the prototype showed satisfactory performance for educational purposes. It is concluded that the experimental proposal proves to be viable as a pedagogical tool, contributing to the contextualization of free fall concepts, to the discussion of measurement uncertainties, and to the refinement of the articulation between theory and practice in Physics teaching, especially in school contexts with limited resources.

Keywords: physics teaching; free fall; arduino.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA... ..	12
2.1	Aceleração Gravitacional (AG): aspectos históricos e conceituais.. ..	12
2.2	Lei da Gravitação Universal.	13
2.3	O Ensino de Física no Brasil.	15
2.4	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC).... ..	16
2.5	Plataforma Arduino.....	17
3	METODOLOGIA	19
3.1	Construção e montagem do protótipo.....	19
3.2	Circuito eletrônico.....	23
3.3	Coleta e análise de dados.....	24
3.3.1	Coleta de dados	24
3.3.2	Análise estatística dos dados e cálculo da aceleração da gravidade g	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5	CONSIDRAÇÕES FINAIS.....	34
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física é fundamental para que os estudantes compreendam o funcionamento do mundo ao seu redor, desde os fenômenos da natureza até as tecnologias que utilizam no cotidiano. Para o autor Moreira (2021), quando o ensino se apresenta de forma técnica e desconectada da realidade dos estudantes, a compreensão dos conceitos torna-se dificultada, o que contribui para o desinteresse dos alunos pela disciplina de Física no ensino médio.

Nos últimos anos, a educação passou por uma verdadeira transformação, impulsionada pelos avanços das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC). Essas inovações mudaram não apenas a forma como acessam o conhecimento, mas também os papéis de professores e estudantes no processo de ensino e aprendizagem (FERREIRA *et al.*, 2025). Os estudantes passaram a exercer maior autonomia na busca pelo conhecimento, enquanto os professores assumem, cada vez mais, o papel de mediadores. Apesar dessas possibilidades, implementar tais tecnologias nas escolas públicas ainda apresenta vários desafios.

Na concepção de Siqueira, Bedin e Lima (2022), tal dificuldade ocorre tanto pela insuficiência na formação docente quanto pela precariedade estrutural das escolas, evidenciada pela ausência de laboratórios e equipamentos adequados. Diante desse cenário, o uso de tecnologias como o Arduino, justifica-se como uma alternativa viável para aprimorar o Ensino de Física. Por se tratar de uma plataforma de *software* e *hardware*, de fácil manuseio uso, o Arduino permite a realização de experimentos mesmo em escolas que não dispõem de laboratório de Física.

Ademais, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de protótipo para o estudo de queda livre, de baixo custo e tornar o processo de aprendizagem mais prático e acessível. Segundo Fonseca e Costa (2023), a falta de estrutura adequada, a escassez de recursos didáticos e a ausência de laboratórios de Física nas escolas públicas dificultam a realização de atividades experimentais essenciais para o aprendizado dos conteúdos, o que limita a compreensão dos fenômenos físicos e reduz a disciplina a abordagens puramente teóricas.

Esses obstáculos exigem que os professores busquem soluções criativas e alternativas pedagógicas para envolver os alunos em práticas experimentais, a fim de tornar o aprendizado mais dinâmico. Essas estratégias rompem com o modelo tradicional expositivo de ensino e ajudam os estudantes a aprenderem de forma mais prática e interessante.

A perspectiva defendida por Rosa, Silva e Darroz (2021), é importante, pois, no Ensino de Física, a excessiva abstração dos conteúdos, quando dissociada do cotidiano e da

experimentação, dificulta a compreensão conceitual, reduz o interesse dos estudantes e compromete a aprendizagem. Nesse sentido, atividades experimentais, ao contrário, propiciam que o aluno tenha contato direto com o fenômeno estudado, tornando o aprendizado mais concreto e interessante.

Ao observar, manipular e testar hipóteses, os estudantes desenvolvem habilidades essenciais, como autonomia, pensamento crítico e investigativo, fundamentais tanto para a formação científica quanto para o exercício da cidadania com mediação dos professores em sala de aula. Os autores Pinheiro e Massoni (2024), apontam que a formação inicial dos professores de Física precisa ser repensada, pois ainda se sustenta em modelos tradicionais.

De acordo com a abordagem de Moraes e Ustra (2024), a formação dos professores de Física ainda carece de experiências que articulem teoria e prática, bem como de estímulos ao uso de atividades contextualizadas com a vivência dos estudantes.

Como consequência, observa-se uma carência de experiências que integrem práticas investigativas, recursos tecnológicos e o uso de experimentos. Ainda que os professores de Física passem por uma formação que contempla diferentes métodos de ensino, muitos tendem a permanecer vinculados aos modelos tradicionais, como o predomínio de aulas expositivas e o uso intensivo do quadro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aceleração Gravitacional (AG): aspectos históricos e conceituais

O estudo do movimento dos corpos é um dos fenômenos da Física clássica que, ao longo da história, passou por muitas mudanças de conceito. Desde os tempos antigos, pensadores têm buscado entender como os objetos se movem, começando com observações práticas e, depois, usando fórmulas matemáticas para explicar esses movimentos.

Na Grécia Antiga, Aristóteles (384 AEC - 322 AEC) foi um filósofo grego que tentou explicar o movimento com base nas suas observações do mundo ao redor (NUSSENZVEIG, 2002). Ele acreditava que objetos mais pesados caíam mais rápido do que os mais leves, uma ideia que surgiu a partir de observações diretas da natureza.

Para entender melhor como Aristóteles via o movimento e a ideia de que cada coisa tem um “lugar natural”, podemos explorar o seguinte trecho:

Um elemento deslocado de seu lugar natural procuraria regressar a ele: isto explicaria por que a fumaça sobe, ao passo que corpos mais pesados (compostos de "Terra") caem. Segundo Aristóteles, quanto mais pesado um corpo, mais depressa ele cai: uma pedra cai bem mais depressa que uma gota de chuva. Estas ideias, baseadas em observações qualitativas, transformaram-se em dogma e predominaram durante cerca de 20 séculos! (NUSSENZVEIG, 2002, v. 1, p. 35).

Durante muito tempo, a visão de Aristóteles foi aceita sem questionamentos, somente com os experimentos de Galileu Galilei (1564–1642) percebeu-se que todos os corpos, independentemente de sua massa, caem com a mesma aceleração (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016), um descobrimento que mudou completamente a forma de entender o movimento. Essa teoria, embora atualmente considerada incorreta de Aristóteles, prevaleceu por muitos séculos até a emergência do método experimental e das demonstrações matemáticas modernas sobre o movimento, que vieram a ser consolidadas apenas a partir dos trabalhos de Galileu Galilei promoveu um rompimento radical na compreensão do movimento ao introduzir o método experimental como base da investigação científica.

A partir de experimentos sobre queda livre, utilizou-se plano inclinado, onde demonstrou-se que os corpos caem na rampa com aceleração constante, independente da massa, desde que a resistência do ar e do plano da rampa sejam desprezíveis (NUSSENZVEIG, 2002). Tal abordagem não apenas refutou a concepção aristotélica, mas também estabeleceu fundamentos para a formulação matemática da cinemática.

Conforme afirmam Young e Freedman (2016), a demonstração experimental de que a distância percorrida por um corpo em queda é proporcional ao quadrado do tempo tem sido supostamente atribuída a Galileu Galilei, sendo evidenciado que tal movimento se realiza sob condição de aceleração constante. Com fundamento nesse princípio, o Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) é representado matematicamente por meio da função horária da posição, a qual é apresentada na Equação 1.

$$S = S_0 + V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

Onde,

S : posição final, em metro (m).

S_0 : posição inicial, em metro (m).

V_0 : velocidade inicial, em metro por segundo (m/s).

t : instante que o móvel passa pela posição S , em segundo (s).

a : aceleração, calculada em metros por segundos ao quadrado (m/s²).

No caso da queda livre, no início do movimento, tomando a posição inicial S_0 no ponto zero e a velocidade inicial V_0 como nula, a Equação 1 reduz-se a:

$$S = \frac{1}{2} a t^2 \quad (2)$$

Para análise da queda livre como a proposta neste trabalho, são desprezíveis os efeitos da resistência do ar de modo que, ao cair de uma altura h , o corpo está sujeito à aceleração da gravidade local, designada por g . Deste modo, trocando a por g e S por h na Equação 2 e manipulando-a para isolar g , obtém-se:

$$g = \frac{2h}{t^2} \quad (3)$$

g : corresponde à aceleração da gravidade, expressa em metros por segundo ao quadrado (m/s²);

h : corresponde à altura de queda, expressa em metros (m);

t : corresponde ao tempo de queda ao quadrado, expresso em segundos (s).

A Equação 3 permite obter o valor de a aceleração da gravidade local a partir da medida do tempo de queda de um corpo qualquer.

2.2 Lei da Gravitação Universal

A Lei da Gravitação Universal foi proposta por Isaac Newton e descreve a força de atração mútua (força gravitacional) entre duas massas em função da distância que as separa (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). No caso da Terra e do objeto, considera-se a

Terra e corpo como esferas de massas uniforme M e m , respectivamente, separadas pela distância d entre seus centros de massa. A força gravitacional pode ser determinada por meio da expressão prevista por Newton, dada por:

$$\vec{F} = -G \frac{Mm}{\vec{d}^2} \quad (4)$$

\vec{F} : representa a força gravitacional, expressa em newtons (N).

G : é a constante gravitacional universal, expressa em ($\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$).

M : corresponde à massa de um dos corpos, expressa em quilogramas (kg).

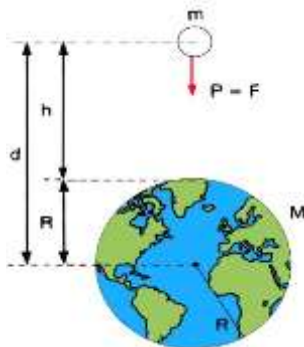
m : corresponde à massa do outro corpo, expressa em quilogramas (kg).

\vec{d} : representa o vetor posição (distância entre os centros dos corpos), expresso em metros (m).

Na Equação 4, G é a constante de gravitação universal e seu valor é $6,674 \cdot 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$. Como o próprio nome sugere, esta lei é universal e tem validade para a interação entre duas massas quaisquer e o sinal negativo indica a sua natureza atrativa.

Entretanto, dada à ordem de grandeza da constante gravitacional universal G , a força de atração gravitacional só se torna apreciável em situações nas quais pelo menos uma das massas envolvidas apresenta valor suficientemente elevado, como ocorre no sistema Terra e objeto, no qual os efeitos gravitacionais se manifestam de forma significativa na superfície terrestre. Nesse contexto, a Figura 1 ilustra a interação gravitacional entre a Terra de massa M e o objeto de massa m , exemplificando como corpos de grande massa exercem forças mútuas de atração, conforme descrito pela Lei da Gravitação Universal de Newton.

Figura 1 – Interação gravitacional entre a Terra e o objeto.



Fonte: autoria própria , 2025.

Quando um objeto de massa m é liberado próximo à superfície da terrestre, inicia-se, de forma natural, um movimento em direção ao centro da Terra, o qual é causado pela força gravitacional e tal movimento é caracterizado por uma aceleração constante, que é aceleração da gravidade. A distância entre o objeto e o centro da Terra é representada por d , sendo h a

altura do objeto em relação à superfície terrestre e R o raio da Terra.

Conforme apresentado por Young e Freedman (2016), essa aceleração é compreendida à luz da Segunda Lei de Newton, segundo a qual a força resultante atuante sobre um corpo é proporcional ao produto entre sua massa e a aceleração produzida. No contexto de um corpo em queda livre próximo à superfície terrestre, desprezando a resistência do ar, a força resultante é a força gravitacional e a aceleração do movimento é a aceleração da gravidade.

Desse modo, pela Segunda Lei de Newton, a \vec{F} é dada em módulo por:

$$F = m g \quad (5)$$

Comparando os módulos das forças dadas nas equações 4 e 5, obtém-se:

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad (6)$$

Na expressão, M refere-se à massa da Terra e d indica a distância entre o corpo de massa m em queda livre e o centro da Terra. Dessa forma, à medida que o valor de d aumenta como em regiões de maior altitude a aceleração da gravidade diminui.

Tal como apontam Young e Freedman (2016), essa relação evidencia que a magnitude de g é influenciada pela distribuição de massa do planeta e pela localização do ponto de medição.

2.3 O Ensino de Física no Brasil

No contexto do Ensino de Física no Brasil, é importante considerar os desafios históricos enfrentados pela disciplina, como a abordagem tradicional, muitas vezes carente de metodologias e didáticas inovadoras e do uso de tecnologias. Como destaca Moreira (2021), o Ensino de Física tem sido caracterizado por uma aprendizagem mecânica, focada principalmente na preparação para vestibulares, o que leva os estudantes a decorarem conteúdos sem compreender plenamente seu significado ou sua aplicação no cotidiano.

Esse modelo acaba simplificando a Física a um conjunto de regras, o que pode afastar o estudante de perceber essa ciência como algo que faz parte do nosso dia a dia, mesmo com a chegada de novas diretrizes, como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018). Contudo, observa-se que a maioria das instituições de ensino ainda faz uso de livros desatualizados e apresenta insuficiência de estrutura suficiente para a realização de práticas experimentais, conforme destacado por (SILVA JÚNIOR, 2024). Apesar do progresso nas discussões voltadas para uma educação crítica e reflexiva, as escolas permanecem vinculadas a

modelos de ensino excessivamente tradicional.

Por outro lado, a formação dos professores de Física reflete diretamente a qualidade do ensino nas escolas públicas brasileiras. Nesse sentido, Oliveira (2023), destaca que partes do docentes que lecionam o componente curricular no ensino médio não possuem formação específica na área, o que compromete o ensino e evidencia a necessidade de políticas públicas voltadas à formação e à valorização de professores especializados.

Essa situação traz à tona a preocupação de se a formação desses professores é suficiente para ensinar Física. Afinal, os cursos em outras áreas podem não proporcionar uma possibilidade de haver conhecimento aprofundado necessário para lecionar Física fazendo uso de práticas e metodologias diversas, o que pode dificultar um bom desempenho na sala.

2.4 Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC)

As Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) são recursos tecnológicos como computadores, internet, celulares e *softwares* usados para transmitir, processar e compartilhar informações. Na educação, TDIC ajudam a tornar o ensino mais dinâmico, interativo e conectado com a realidade dos alunos e ajudando os professores em sala de aula, que vêm sendo cada vez mais desenvolvidas e difundidas, buscam espaço em vários ambientes e na escola não é diferente.

Por conta disso, muitos acabam perdendo o interesse nas aulas tradicionais, onde não têm participação ativa e se tornam apenas ouvintes passivos. De acordo com Melo *et al.* (2021) a presença das TDIC no ensino já vem sendo debatida há algum tempo, e sua inserção deve ser vista como uma aliada no processo de ensino e aprendizagem da Física. Afinal, a escola precisa acompanhar as transformações da sociedade, especialmente no que diz respeito à tecnologia, à informação e à comunicação.

Conforme destacado por Melo *et al.*(2021) as TDIC são reconhecidas como instrumentos didáticos capazes de fomentar uma maior interação no âmbito educacional. Partindo-se do entendimento de que as complexidades enfrentadas pelos profissionais docentes de Física possuem raízes históricas, tais dificuldades são influenciadas por uma diversidade de fatores.

Dentre eles, destacam-se a carência de estrutura adequada nas escolas como falta de materiais experimentais e impressoras 3D, a limitação de recursos tecnológicos e laboratoriais, a ausência de políticas públicas, além de obstáculos como a baixa remuneração e a ausência de incentivos governamentais.

Nesse contexto, a utilização da plataforma Arduino é considerada acessível e permite que o ensino mediado pelo professor de Física seja promovido de forma prática e objetiva para os estudantes, mesmo em condições de recursos limitados. Tal proposta encontra respaldo na Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018), a qual incentiva a incorporação de tecnologias, o desenvolvimento do pensamento crítico e a resolução de problemas no âmbito das atividades pedagógicas.

2.5 Plataforma Arduino

A placa Arduino foi criada em 2005 com um objetivo de tornar acessível a aprendizagem e a criação para quem não é especialista, seja na programação ou na eletrônica. Essa plataforma surgiu como um projeto de pesquisa no Instituto de Ivrea, na Itália, desenvolvida por um grupo de pessoas de várias partes do mundo.

Hoje, ela é uma ferramenta que conecta ideias e estimula a inovação em escala global, como destacam Guaitolini Junior *et al.*(2016), ao abordar o potencial do Arduino em atividades experimentais. A plataforma Arduino é composta basicamente por dois elementos a placa controladora que atualmente é apresentada em diversos modelos e o ambiente de programação, chamado *Integrated Development Environment (IDE)*.

O modelo de placa Arduino Uno R3 tem sido amplamente utilizado em experimentos sobre gravidade e movimento, sendo valorizado por sua versatilidade, baixo custo e capacidade de coletar dados. Características que reforçam sua adequação como ferramenta didática no ensino de Física (SIQUEIRA; BEDIN; LIMA, 2022). O elemento central da placa é o microcontrolador, comparável a um computador em miniatura contido em um único chip ATmega328P.

Esse microcontrolador processa, armazena e executa programas e dados. Para controlá-lo, é necessário enviar um conjunto de instruções por meio da linguagem de programação do Arduino, baseada na Wiring e similar a C/C++ (ARDUINO, 2025). A Placa Arduino Uno R3, apresentada na Figura 2, é uma das versões da plataforma Arduino que apresenta melhor custo benefício para aplicações educacionais. Sua utilização no ensino de Física destaca-se pela praticidade, uma vez que possibilita o controle de sensores e atuadores, bem como a execução de práticas experimentais, favorecendo a realização de atividades didáticas de baixo custo e com potencialidade pedagógica.

Figura 2 – Placa Arduino Uno.



Fonte: Adobe Stock , 2025.

A utilização da placa Arduino R3, não apenas complementa as aulas tradicionais, no ensino de Física tem sido reconhecida como uma ferramenta de grande potencial para as aulas. A coleta e o processamento de dados em tempo real podem ser facilitados pelo Arduino, contribuem para o aprimoramento do entendimento teórico dos fenômenos físicos. Devido à sua acessibilidade e ao fato de ser uma plataforma de código aberto.

O Arduino possibilita que instituições com recursos limitados realizem experimentos que, no passado, dependiam de laboratórios caros e equipamentos sofisticados (ARDUINO 2025), democratizando o acesso à experimentação científica no ensino e estimulam os estudantes a desenvolverem uma postura mais crítica na compreensão dos fenômenos. De acordo com a Nascimento e Uibison (2021), o ambiente de desenvolvimento utilizado pelo Arduino, denominado de IDE, é projetado para possibilitar ao usuário a escrita, edição e carregamento de forma prática e estruturada.

Dependendo do modelo, o Arduino pode ser econômico comparado a outros microcontroladores e isso ajuda a democratizar seu uso, permitindo que mais pessoas tenham a oportunidade de explorar essa tecnologia. A IDE do Arduino é compatível com diversos sistemas operacionais como *Windows*, *macOS* e *Linux*, o que torna seu uso mais fácil em diferentes plataformas para Monk (2017). O Arduino Web Editor é uma versão *online* que funciona direto pelo navegador, e que pode ser acessada pelo mesmo site <https://www.arduino.com>.

O Arduino, por ser uma plataforma de código aberto tanto no *software* quanto no *hardware*, oferece uma liberdade enorme para que qualquer pessoa possa explorar fazer modificações nos códigos, adaptar as placas ou até criar suas próprias versões. Essa abertura não só ajuda a reduzir custos, mas também estimula a criatividade, tornando o processo de aprender e de desenvolver tecnologia mais acessível e envolvente para todos. Nesse contexto, o uso de plataformas no Ensino de Física estimula a autonomia dos estudantes, permitindo que participem ativamente do processo de aprendizagem.

3 METODOLOGIA

Este trabalho, de natureza aplicada e com foco explicativo, foi realizado com a inclusão de elementos de caráter experimental (PRODANOV; FREITAS, 2013). A finalidade da pesquisa foi o desenvolvimento de uma base teórica aliada à criação de uma proposta de modelo protótipo destinada ao estudo de queda livre e construção de um aparato experimental de baixo custo acessível, pode ser utilizado como uma possível proposta de experimento aplicável para o estudo de queda livre. Com base em Nascimento e Uibson (2021), atividades que envolvem experimentos com materiais de baixo custo costumam despertar a curiosidade dos alunos, tornar o aprendizado mais interessante e aproximar o conteúdo teórico da realidade vivenciada em sala de aula.

Para fundamentar a pesquisa, foi elaborada uma revisão bibliográfica usando plataformas como o Google Acadêmico, o Portal de Periódicos da Capes e repositórios de universidades públicas e institutos federais, com a finalidade de identificar colaborações mais recentes para o Ensino de Física envolvendo o uso da plataforma Arduino. O protótipo experimental, por sua vez, foi montado a partir da colaboração de diferentes etapas.

3.1 Construção e montagem do protótipo

O protótipo desenvolveu-se a partir do projeto Utilização da Plataforma Arduino, feita com Ardublok em salas de aulas, aprovado no edital nº 13/2022 no âmbito do Programa Práticas Pedagógicas Inovadoras (PPPI), do Instituto Federal do Amapá. Ele é composto por quatro elementos básicos: periféricos eletrônicos como sensores e *lasers*, suportes feitos com impressão 3D, placa controladora Arduino e uma estrutura feita em madeira que serve de suporte para todos os elementos.

Tabela 1 - Os materiais necessários para a confecção do protótipo estão descritos na abaixo:

Material	Quantidade	Valor total
Computador com acesso à internet.	1	Disponível no Laboratório de Física.

Paquímetro.	1	Disponível no Laboratório de Física.
Sensor de luminosidade LDR.	2	R\$ 22,64
Resistor de 1kΩ.	2	R\$ 1,00
Módulo laser diodo vermelho 5v 650nm 6 Mm Ky-008 Cartão SD.	2	R\$ 28,71
Ferro de solda de 25W.	1	R\$ 34,89
Fita isolante.	1	R\$ 3,00
Cabo duplo alto falante som vermelho cristal polarizado 2 mm ² x 0,20 mm. ²	1	R\$ 20,00
Conector plug P4 macho e P4 fema.	6	R\$ 20,00
Módulo <i>Arduino</i> Uno versão R3.	1	R\$ 88,59
Triângulo de madeira como corpo de prova.	1	Material reaproveitado
Fita métrica flexível 150 cm.	1	R\$ 12,00
Aplicador de cola quente bivolt 12 w com 2 bastões de cola <i>bestfer</i> .	1	R\$ 22,00
Impressora 3D <i>Creality</i> CR10 V2 modelo da impressora 3.	1	Disponível no Laboratório de Física.
Filamento ABS na cor branca, para os suportes.	1	Disponível no Laboratório de Física.
Estanho para solda 25 g.	1	R\$ 18,00
Serviço de marcenaria.	1	R\$ 200,00
CUSTO TOTAL		R\$ 470,83

A parte estrutural de madeira foi produzida em uma marcenaria localizada na cidade de Macapá e no Laboratório de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), *Campus* Macapá, uma impressora 3D foi empregada com a finalidade de realizar impressões dos modelos de dois suportes e de uma caixa retangular para servir de suporte para a placa controladora.

Para a impressão 3D foi utilizado o filamento ABS, uma resina termoplástica derivada do petróleo formada por: acrilonitrila, butadieno e estireno. A montagem do dispositivo experimental, bem como os testes e ajustes necessários, foram realizados posteriormente.

Para a etapa de modelagem, foi utilizado o software Tinkercad, escolhido por ser uma plataforma *online*, gratuita e de uso intuitivo. Sua principal vantagem está na facilidade de acesso, dispensando *downloads* ou instalações, bastando criar uma conta para começar a utilizar.

Com o Tinkercad, é possível desenvolver modelos em 3D a partir de formas básicas já disponíveis, como cilindros, esferas, cubos e cones, o que torna o processo de criação acessível de ser construído. A impressão foi feita em uma impressora 3D marca Creality, Modelo CR-10 V2, usando filamento ABS para impressão, como observado na Figura 3.

Figura 3 – Impressora 3D Creality CR-10.



Fonte: autoria própria, 2025.

De posse da estrutura de madeira, das peças feitas em impressão 3D e dos elementos eletrônicos, partiu-se para montagem propriamente do arranjo experimental onde foram posicionadas as peças de apoio vertical, que servem para viabilizar a configuração do protótipo para medir tempos de queda em diferentes distâncias suporte para os lasers e para os sensores LDR. Estas peças foram encaixadas usando um tubo de PVC marrom de diâmetro 20 mm medindo 94 centímetros cm de comprimento, de forma a permitir o deslizamento dos suportes.

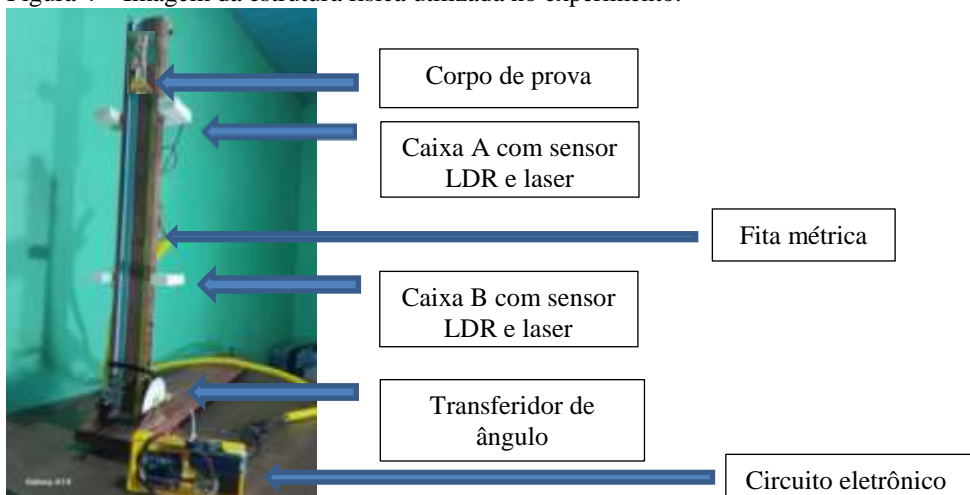
O código de programação utilizado foi desenvolvido em linguagem C++, uma linguagem de programação derivada de C e orientada a objetos, com o auxílio da ferramenta de Inteligência Artificial (IA) ChatGPT (*Generative Pre-trained Transformer*) permitindo a implementação de uma configuração experimental para cálculo do valor do tempo entre dois sensores, resultante da queda livre de um objeto no formato de triângulo de madeira. Este triângulo foi considerado como corpo de prova em movimento vertical descendente. O código utilizado neste trabalho encontra-se no Apêndice A.

Os valores das medidas dos tempos de queda foram obtidos em milissegundos e o próprio código de programação já tinha o algoritmo para converter esses valores para segundos e os dados obtidos são exibidos no monitor serial (Janela da IDE do Arduino utilizada para visualizar dados enviados pela porta de comunicação serial) e na LDC (Display de Cristal Líquido). O objetivo deste experimento foi direcionado ao cálculo da aceleração gravitacional, considerada como $9,82 \text{ m/s}^2$, aproximadamente durante a queda livre.

Nesse processo, buscou-se integrar em um único protótipo feito a partir de duas estruturas experimentais distintas, contemplando os fenômenos do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) e Queda Livre (QV). Entretanto, a evidência obtida da velocidade instantânea não correspondeu coerência com resultados esperados e por conseqüente optou-se em desenvolver apenas o cálculo da aceleração gravitacional ao longo do desenvolvimento da arquitetura experimental.

A montagem do protótipo foi realizada utilizando-se uma estrutura de madeira feita na marcenaria. Essa base foi utilizada para montar a estrutura experimental do movimento de queda livre, como pode ser visto na Figura 4.

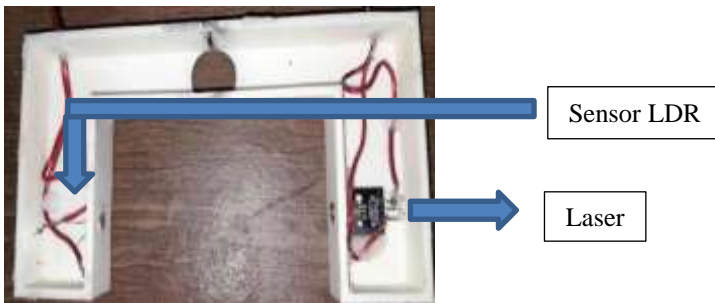
Figura 4 – Imagem da estrutura física utilizada no experimento.



Fonte: autoria própria, 2025.

Na estrutura do protótipo, foram posicionadas duas caixas, com base maior de 17 de 8,5 cm. Ademais, foram instalados dois sensores de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor*), juntamente com um Laser Diodo Vermelho 5V, 650 nm, 6 mm (KY-008), conforme ilustrado na Figura 5. Ressalta-se que o experimento foi conduzido em condições de isolamento luminoso, com o objetivo de minimizar a interferência da luz ambiente e garantir maior precisão nas medições realizadas pelos sensores.

Figura 5 – Caixa com sensor LDR e Módulo Laser Diodo Vermelho.

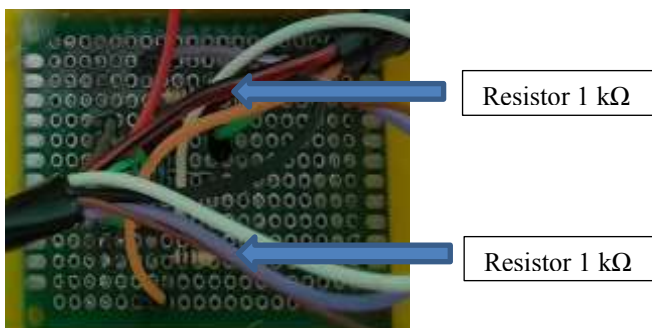


Fonte: autoria própria, 2025.

3.2 Circuito eletrônico

A Figura 6 apresenta o circuito eletrônico finalizado, montado sobre uma placa de circuito impresso (PCB) de dupla face, com dimensões de 10 cm × 10 cm. Nota-se na imagem a presença de dois resistores de 1 kΩ soldados diretamente na placa, os quais desempenham a função de limitar a corrente elétrica no circuito, assegurando a proteção dos componentes e o funcionamento adequado do sistema experimental.

Figura 6 – Imagem do circuito eletrônico.



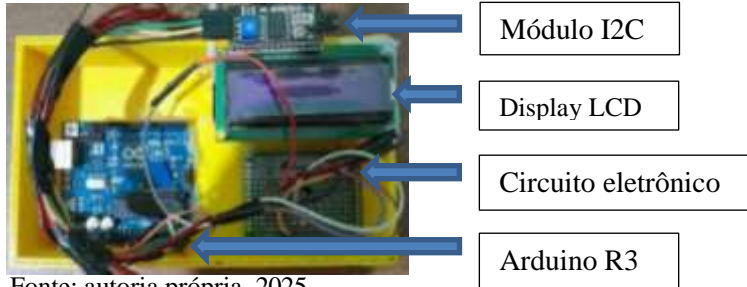
Fonte: Autoria própria, 2025.

Os componentes eletrônicos foram montados e acondicionados em uma caixa retangular impressos na impressora 3D, cuja base possui 17 cm e altura de 8,5 cm, com o objetivo de acomodar o display LCD (Liquid Crystal Display) de 16 colunas por 2 linhas,

juntamente com um módulo I2C.

Esses dispositivos foram utilizados como interface para a visualização dos dados experimentais, tais como as medidas de tempo, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Caixa contendo o display LCD e o módulo I2C utilizados na interface de visualização dos dados.



Fonte: autoria própria, 2025.

3.3 Coleta e análise de dados

O protótipo foi montado de forma que os dois sensores de movimento podem ser posicionados à diferentes distâncias de modo que, após os testes para calibração dos sensores e definição da forma de liberação do corpo de prova para a queda livre, foi determinado que os lançamentos seriam feitos para as distâncias de 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm e 50 cm. Os tempos registrados foram aplicados no cálculo da aceleração da gravidade por meio da Equação 3 e depois foi aplicada estatística descritiva básica para análise dos dados.

3.3.1 Coleta de dados

Para cada distância de queda analisada, foram realizadas séries de medições de tempo obtidas por meio de 15 lançamentos independentes, repetidos três vezes em cada altura de acordo com o procedimento descrito nos próximos parágrafos.

Para os lançamentos, foi definido o arranjo experimental onde um sensor foi mantido em posição fixa, sendo o referencial para as medidas e, abaixo deste, o outro sensor era movido para cada uma das distâncias estabelecidas a fim de registrar os tempos de queda. Desse modo, os lançamentos foram realizados de forma sucessiva da seguinte maneira: abaixo do sensor fixo, o segundo sensor foi posicionado na posição 10 cm e foram realizadas quinze repetições de lançamentos cujos tempos eram lidos no display LCD e registrados em tabela.

Após isso, o sensor móvel foi posicionado na posição 20 cm, onde foram realizados os lançamentos perfazendo mais quinze repetições, para registro do tempo de queda. Este procedimento foi repetido sucessivamente para as posições 30 cm, 40 cm e 50 cm, fechando a

Série 1 dos lançamentos. Depois o sensor móvel foi reposicionado em 10 cm novamente e procedimento descrito foi repetido da mesma maneira mais duas vezes (Série 2 e Série 3). Os lançamentos foram realizados desta maneira com a finalidade de que os efeitos de erros sistemáticos e aleatórios pudessem ser detectados pela análise estatística.

3.3.2 Análise estatística dos dados e cálculo da aceleração da gravidade g

Inicialmente, foi realizada uma estatística descritiva básica com o objetivo de avaliar a consistência das medições e a variabilidade associada ao procedimento experimental. Para cada conjunto de tempos, foram calculados:

- Média aritmética do tempo (\bar{t}) – medida de tendência central utilizada como referência para o cálculo de grandezas derivadas como a aceleração da gravidade;
- Desvio-padrão amostral (σ_t) – medida que quantifica a dispersão dos tempos em torno da média, permitindo avaliar a precisão das medições (variabilidade dos dados);
- Erro-padrão da média (EP), dado por $EP = \frac{\sigma_t}{n}$, onde n é o número total de medições por distância que é igual a 10 no caso deste trabalho (15 repetições em 3 séries).

Essa análise preliminar permitiu identificar eventuais valores discrepantes, além de verificar se a variabilidade experimental permanecia compatível entre diferentes alturas de queda, garantindo coerência e confiabilidade nos dados obtidos.

A aceleração da gravidade g foi calculada individualmente para cada lançamento. Com isso, gerou-se um conjunto de valores de g para cada altura estudada. Esses valores individuais foram posteriormente utilizados para calcular a média de g por distância, determinar o desvio-padrão correspondente e investigar a presença de tendências sistemáticas relacionadas à altura.

Essa abordagem ponto a ponto permitiu verificar a estabilidade da estimativa de g e identificar possíveis desvios repetitivos ou sistemáticos no experimento. Para obter uma estimativa global e mais robusta da aceleração da gravidade, foi aplicada a relação teórica da queda livre dada pela Equação 2. Assim, foi construído um gráfico de dispersão relacionando:

- eixo x: t^2 médio obtido em cada distância;
- eixo y: a altura h correspondente;

Sobre essa distribuição, ajustou-se uma regressão linear do tipo:

$$h = a t^2 \tag{7}$$

Onde, $a = \frac{g}{2}$. Logo, a estimativa de g pelo ajuste linear foi obtida por $g = 2a$.

Além disso, foram analisados o coeficiente de determinação R^2 , como medida da

qualidade do ajuste e da aderência dos dados ao modelo teórico e a coerência física do intercepto, que idealmente deve ser próximo de zero.

O uso da regressão permite integrar todas as alturas de forma global, resultando em uma estimativa mais estável e menos sensível a flutuações individuais.

Finalmente, os valores médios de g foram plotados em um gráfico apresentando g *versus* t para visualização do comportamento dos valores medidos em função do tempo, que é esperado ser constante, teoricamente.

	0,1	0,132	0,134	0,129	0,428	0,135	0,126	0,155	0,076	0,011
	0,2	0,215	0,195	0,208	0,203	0,189	0,242	0,261	0,205	0,031
Série 1	0,3	0,278	0,276	0,239	0,231	0,239	0,265	0,252	0,014	0,002
	0,4	0,320	0,280	0,272	0,272	0,344	0,283	0,292	0,023	0,003
	0,5	0,316	0,325	0,311	0,313	0,320	0,332	0,324	0,015	0,002
	0,1	0,134	0,199	0,141	0,148	0,138	0,139	0,148	0,016	0,002
	0,2	0,201	0,214	0,197	0,187	0,193	0,209	0,201	0,008	0,001
Série 2	0,3	0,241	0,275	0,264	0,268	0,321	0,239	0,262	0,022	0,003
	0,4	0,278	0,318	0,294	0,342	0,277	0,293	0,304	0,021	0,003
	0,5	0,323	0,316	0,367	0,336	0,321	0,310	0,328	0,014	0,002
	0,1	0,206	0,157	0,154	0,161	0,140	0,136	0,151	0,018	0,003
	0,2	0,204	0,224	0,252	0,196	0,243	0,219	0,215	0,022	0,003
Série 3	0,3	0,265	0,241	0,243	0,263	0,246	0,242	0,261	0,021	0,003
	0,4	0,283	0,287	0,369	0,278	0,356	0,284	0,307	0,029	0,004
	0,5	0,330	0,319	0,309	0,346	0,314	0,353	0,323	0,014	0,002

Fonte: Autoria própria, 2025.

A análise das médias dos tempos mostra um aumento constante à medida que a altura aumenta o que confirma a consistência geral dos dados. Isso também indica que o experimento conseguiu captar, de forma confiável, a relação entre a distância percorrida e o tempo percorrido. Os baixos valores de desvio padrão amostral indicam uma menor dispersão dos tempos de queda em torno da média entre as 15 medições de cada série para cada uma das alturas de queda, especialmente nas maiores distâncias – que implicam em maiores tempos de queda.

Isso sugere que pequenas diferenças no lançamento do objeto provocadas pela interação entre o pesquisador e o protótipo podem estar associadas ao tempo de resposta dos sensores LDR, dado que podem ocorrer erros sistemáticos como a área do corpo de prova que passa diretamente à frente do sensor e leves solavancos somados à precisão dos sensores que influenciam a qualidade das medidas feitas para as distâncias como 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m e 0,4 m.

Cabe destacar que no caso destas distâncias menores, o tempo de resposta dos sensores, pois representam tempos de queda mais curtos. As medidas de tempo de queda na altura de 0,5 m são as que apresentam os menores desvios padrão amostral, indicando que as medidas apresentam maior homogeneidade para esta altura, o que certamente é provocado pela

diminuição da influência de erros associados ao tempo de resposta dos sensores.

Por sua vez, também foi observado que o erro padrão apresenta uma tendência de diminuição para alturas maiores quando comparadas com as menores alturas, o que indica que a confiabilidade estatística das medidas aumenta. Além disso, sugere-se que, à medida que o tempo registrado cresce, o efeito dos ruídos eletrônicos se torna proporcionalmente menor e maior homogeneidade dos resultados quando o valor se aproxima de zero.

Estes valores de erro padrão indicam que todos os valores obtidos neste experimento tendem a se repetir se o experimento for refeito. Isso quer dizer que mesmo nos casos em que as medidas obtidas não correspondem ao previsto teoricamente, o erro decorre de variáveis associadas à precisão dos sensores e esse é um erro sistemático que no contexto do protótipo desenvolvido neste trabalho só foi contornado para distâncias de 0,5 m. Distâncias maiores que 0,5 m não foram testadas porque houve dificuldade em ajustar o alinhamento dos sensores nestas circunstâncias.

Os valores da aceleração da gravidade g obtidos independentemente para cada medida de tempo de queda TQ a partir dos dados da Tabela 2 foram calculados com a precisão de duas casas decimais e apresentaram diferenças significativas quando comparadas individualmente ao valor teórico de $9,82 \text{ m/s}^2$, especialmente nas distâncias de 0,1 m à 0,4 m.

Por outro lado, embora também haja valores discrepantes para as distâncias de 0,5 m medidas nas três séries, os valores médios de g foram próximos ao valor teórico, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Distribuição dos valores de g , g médio (GM), desvio padrão amostral (DPA) e do erro padrão (EP).
(continua)

	h	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g8	g9
	(m)	(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)
	0,1	10,97	9,26	11,31	10,66	12,40	9,92	13,01	9,01	9,92
	0,2	10,96	10,31	10,85	7,97	9,16	10,52	7,12	8,73	0,40
Série 1	0,3	9,76	9,23	9,16	9,83	9,83	10,42	10,59	9,68	8,48
	0,4	10,20	9,01	7,67	10,66	10,50	8,89	11,14	8,32	10,43
	0,5	7,93	10,28	10,08	9,64	9,83	10,01	8,45	8,07	10,47
	0,1	9,92	8,01	9,13	9,65	9,26	8,22	9,65	10,06	10,50
Série 2	0,2	9,71	10,00	10,31	8,98	9,90	9,07	10,74	10,31	9,43
	0,3	9,23	10,16	7,93	8,35	9,76	9,30	10,33	7,13	9,37

	0,4	7,81	7,96	9,71	8,32	9,65	7,39	9,38	9,85	7,09
	0,5	9,77	8,35	9,70	9,89	8,96	8,91	9,30	9,30	9,53
	0,1	10,20	10,66	9,92	9,78	8,43	9,13	10,66	9,38	7,17
	0,2	9,90	9,80	10,41	8,04	10,52	8,19	5,87	10,20	10,31
Série 3	0,3	7,49	7,23	9,30	7,65	9,16	6,24	10,33	10,25	9,23
	0,4	9,65	9,51	8,38	8,60	8,22	9,45	6,38	8,01	9,51
	0,5	10,08	10,08	9,83	10,14	10,27	10,34	9,41	8,60	10,08

Tabela 3 – Distribuição dos valores de g , g médio (GM), desvio padrão amostral (DPA) e do erro padrão (EP).
(conclusão)

	h	g10	g11	g12	g13	g14	g15	GM	DPA	EP
	(m)	(m/s ²)	(m/s ²)	(m/s ²)	(m/s ²)	(m/s ²)	(m/s ²)	(m/s ²)		
	0,1	11,48	11,14	12,02	1,09	10,97	12,60	10,38	2,827	0,730
	0,2	8,65	10,52	9,25	9,71	11,20	6,83	8,81	2,698	0,697
Série 1	0,3	7,76	7,88	10,50	11,24	10,50	8,54	9,56	1,040	0,269
	0,4	7,81	10,20	10,81	10,81	6,76	9,99	9,55	1,369	0,353
	0,5	10,01	9,47	10,34	10,21	9,77	9,07	9,58	0,824	0,213
	0,1	11,14	5,05	10,06	9,13	10,50	10,35	9,37	1,464	0,378
	0,2	9,90	8,73	10,31	11,44	10,74	9,16	9,91	0,755	0,195
Série 2	0,3	10,33	7,93	8,61	8,35	5,82	10,50	8,87	1,326	0,342
	0,4	10,35	7,91	9,26	6,84	10,43	9,32	8,75	1,193	0,308
	0,5	9,59	10,01	7,42	8,86	9,70	10,41	9,31	0,738	0,191
	0,1	4,71	8,11	8,43	7,72	10,20	10,81	9,02	1,649	0,426
	0,2	9,61	7,97	6,30	10,41	6,77	8,34	8,84	1,604	0,414
Série 3	0,3	8,54	10,33	10,16	8,67	9,91	10,25	8,98	1,312	0,339
	0,4	9,99	9,71	5,88	10,35	6,31	9,92	8,66	1,452	0,375
	0,5	9,18	9,83	10,47	8,35	10,14	8,03	9,66	0,772	0,199

Fonte: Autoria própria, 2025.

Ao analisar-se os valores da aceleração da gravidade a partir dos dados da Tabela 3 inicialmente notou-se que distâncias de 0,1 m apresentam uma variação inconsistente evidenciada tanto pelo valor de 1,09 m/s² (g3, série 1), ocorrido em um momento em que o

desvio padrão da média foi alto, de 2,827. Este tipo de discrepância se repete também com valores da aceleração da gravidade maiores do que o valor teórico, como por exemplo 12,60 m/s², obtido na altura de 0,1 m (g15, série 1).

No geral, estes erros estão presentes na maior parte dos dados de aceleração da gravidade obtidos nas alturas de 0,1 m a 0,4 m e os valores de desvio padrão amostral permitem identificar a dispersão dos dados.

A causa provável destes valores discrepantes para aceleração da gravidade nas distâncias de 0,1 m a 0,4 m é a propagação dos erros gerados nas medidas de tempo. Essa interpretação é reforçada ao notar que os valores da aceleração da gravidade obtidos na altura de 0,5 m nas três séries foram os mais próximos do valor teórico, ainda que não coincidentes.

No geral, a Tabela 3 demonstra que quanto menor o percurso, maior é a influência dos erros do equipamento e do tempo de resposta dos sensores. Cabe retomar que o desvio padrão amostral tende a diminuir para distâncias maiores. Isso sugere que, quanto mais tempo o objeto fica em queda, maior é a precisão das medidas, já que os efeitos de atrasos eletrônicos, erros ou ruídos nas leituras dos sensores LDR se tornam menos relevantes, dado que há maior tempo para processamento das informações pela placa controladora.

Por outro lado, o erro padrão apresenta valores menores baixos. Isso aponta para a provável repetição dos resultados em caso de nova coleta de dados. Neste contexto, isso quer dizer que, os valores obtidos são resultados de medidas confiáveis, embora os resultados não sejam tão próximos do valor teórico previsto.

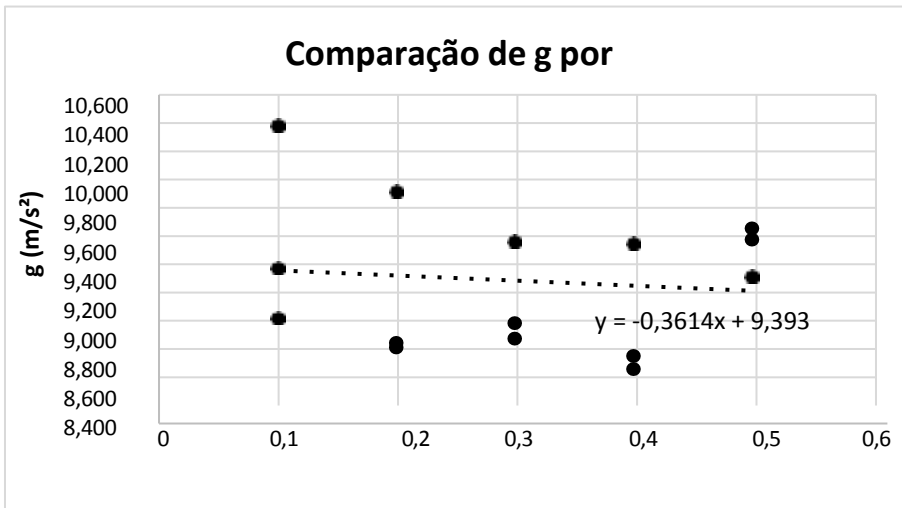
Neste ponto, já é de chamar atenção que os dados sugerem que para distâncias iguais e maiores do que 0,5 m, as medidas tendem a ser mais precisas. Entretanto, esta hipótese carece de testes que não foram possíveis de ser realizados no cronograma desta pesquisa. Dessa forma, a combinação de um percurso maior e a repetição das medições foi responsável por um resultado mais próximo do teórico.

A discrepância mencionada entre valores experimentais e teóricos é reconhecida como algo comum em experimentos dessa natureza e não deve ser interpretada como um erro, mas sim como uma consequência natural das condições reais do protótipo experimental, que pode ser aperfeiçoado.

Para mitigar o erro sistemático das medidas de tempo e consequente cálculo da aceleração da gravidade, foi necessário reduzir a área de formato circular dos sensores LDRs para diminuir a entrada de luz com o objetivo de torná-los menos sensíveis a variações como sombras provocadas pelo movimento de quem manipula o protótipo e variações na iluminação do ambiente.

No gráfico apresentado na Figura 8, pode-se observar de forma mais clara como os pontos experimentais estão distribuídas, evidenciando a relação entre as distâncias percorridas em metros e os valores médio da aceleração gravitacional obtidos em cada uma das séries de lançamento do experimento.

Figura 8 – Gráfico da aceleração da gravidade média em função das distâncias obtidas e cada série.

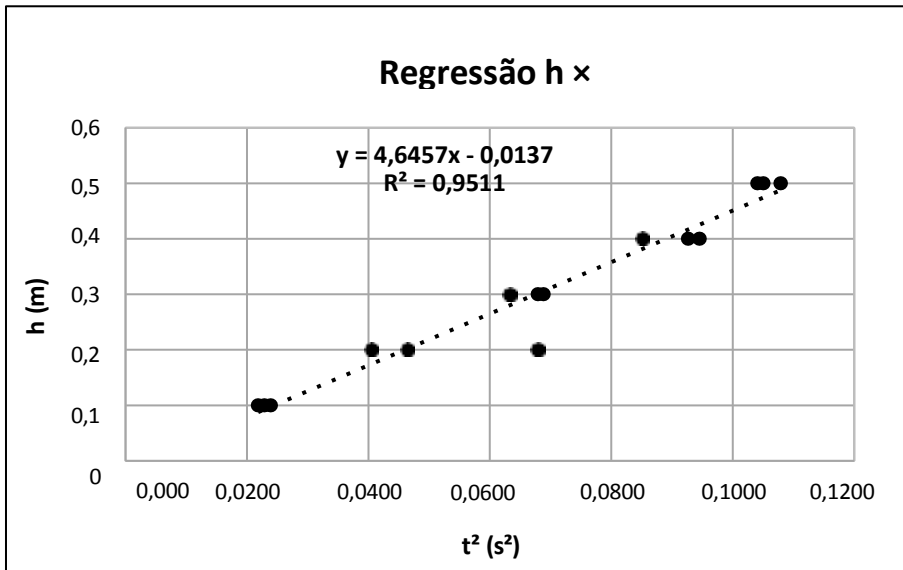


Fonte: Autoria própria, 2025.

Essa análise dos resultados é considerada útil uma vez que se revela que os valores obtidos não apresentam um padrão uniforme, como esperado. Os dados, apresentados no gráfico da Figura 8 evidenciam a maior dispersão dos pontos ao longo das alturas 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m e 0,4 m, como já mencionados anteriormente.

O gráfico da Figura 9 mostra a regressão linear entre a distância percorrida e o quadrado do tempo, evidenciando o comportamento esperado para queda livre obedecendo a lei de regressão dada pela Equação 7.

Figura 9 – Gráfica de regressão linear entre a distância percorrida e o quadrado do tempo.



Fonte: Autoria própria, 2025.

O coeficiente de determinação R^2 apresentou valor de 0,9511, o que indica que os dados obedecem a proporcionalidade esperada e que os valores médios dos tempos de queda encontraram ajustados ao modelo preditivo.

A equação da linha de tendência no gráfico é dada por $y = 4,6457x - 0,0137$, onde o eixo y representa os valores de altura e o eixo x representa os valores de t^2 . O valor 4,6457 é o coeficiente angular a da reta apresentado na Equação 7.

Desse modo, sendo $g = 2a$ e arredondando o resultado para duas casas decimais, a regressão linear aponta que $g = 9,29 \text{ m/s}^2$. Ou seja, a despeito de o gráfico mostrar o padrão linear esperado, o valor da aceleração da gravidade obtido a partir da lei de regressão linear é menor que $9,82 \text{ m/s}^2$.

A equação da linha de tendência também mostra que o gráfico mostra o valor do intercepto como sendo $-0,0137$. Este valor próximo zero também é esperado pela lei de regressão. De modo geral, os dados confirmam a previsão teórica para o comportamento o comportamento genérico das medidas.

Entretanto o valor de $9,29 \text{ m/s}^2$ apontado para a aceleração gravidade indica que o protótipo precisa ser aperfeiçoado ou mesmo que sejam realizadas medidas para distância iguais ou maiores do que 0,5 m, como já mencionado anteriormente. Embora o sistema de medição seja de baixo custo, o padrão linear é mantido de forma qualitativa, evidenciando a consistência com a teoria da dinâmica e confirmando a funcionalidade para o estudo preliminar da queda livre, necessitando de ajustes para melhorar precisão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, buscou-se integrar teoria e prática experimental, promovendo uma análise do fenômeno da queda livre, de acordo com as recomendações de Aquino, Silva e Medeiros (2022) e os documentos oficiais da educação básica. Os resultados experimentais obtidos indicaram um comportamento compatível com o modelo teórico de queda livre, destacando-se especialmente a relação entre altura e tempo de queda, mas que precisa ser aperfeiçoado por meio de melhorias estruturais e com testes para alturas de queda maiores do que 0,5 m.

A análise dos gráficos revelou uma tendência de crescimento quadrático, conforme previsto pela equação correspondente. Além disso, o desvio padrão amostral mostrou que os valores médios de aceleração gravitacional não apresentaram comportamento próximo ao valor de referência estabelecido na literatura. Contudo, apesar de suas limitações, o protótipo demonstrou desempenho satisfatório, no que diz respeito a possibilidade de realizar leituras confiáveis para fins educativos bastando, para isso, realizar as melhorias já mencionadas.

A análise estatística dos dados coletados, incluindo-se a média, o desvio padrão amostral e erro padrão, evidenciou que o arranjo experimental apresenta uma precisão considerada razoável dentro das condições de um dispositivo construído com materiais de baixo custo. Essa observação confirma que a proposta é uma ferramenta pedagógica, capaz de promover discussões importantes sobre erros experimentais, incertezas de medição e limitações dos instrumentos, elementos essenciais para o ensino de Física.

No contexto apresentado, o dispositivo experimental desenvolvido neste estudo é considerado uma alternativa viável para a utilização por docentes de Física na educação básica e em projetos de iniciação científica. Sua configuração, caracterizada por uma estrutura composta por sensores LDR, *lasers*, suportes impressos em impressão 3D e uma placa Arduino Uno, possibilita sua replicação em instituições públicas com baixo investimento financeiro.

Ademais, a capacidade de monitorar em tempo real grandezas físicas, como o tempo de queda e a aceleração, pode ser proporcionada aos estudantes por meio de intervenção dos professores, promovendo uma experiência prática que estimula a curiosidade científica e reforça a conexão entre teoria e prática.

Apesar dessas limitações, os resultados preliminares foram considerados satisfatórios, indicando que, mediante pequenos aprimoramentos, o dispositivo poderá atingir níveis superiores de precisão e confiabilidade. Dessa forma, abre-se espaço para a realização de novas investigações voltadas à exploração de diferentes componentes eletrônicos, tais como sensores

ópticos mais robustos, módulos temporizadores dedicados e interfaces gráficas avançadas.

Em síntese, considera-se que a presente pesquisa oferece uma contribuição importante para o ensino de Física ao evidenciar a viabilidade de elaboração de um aparato experimental que seja, acessível e pedagógico. Espera-se que a proposta aqui apresentada possa servir de inspiração para professores e futuros educadores, incentivando o desenvolvimento de práticas experimentais inovadoras, capazes de promover uma aprendizagem mais estimulante e relacionada ao contexto do mundo real.

A experimentação, quando realizada com intencionalidade pedagógica e aliada ao uso de tecnologias digitais, possui potencial para transformar o processo de ensino, aumentar o engajamento dos estudantes e fortalecer a construção do conhecimento científico no âmbito da escola pública.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **Arduino Uno Rev3** – especificações técnicas e documentação oficial. Arduino.cc, 2025. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Acesso em: 10 set. 2024.
- ADOBE STOCK. **Arduino Uno**. Disponível em: <https://stock.adobe.com/br/search?k=arduino+uno>. Acesso em: 13 out. 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- FERREIRA, Joelson Miranda et al. Uso das tecnologias digitais de comunicação e informação nas escolas de tempo integral. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n5p1198-1214>. Acesso em: 13 set. 2024.
- FONSECA, Júlio César Abreu; COSTA, Messias de Souza. Desafios no ensino de Física no ensino médio em escolas públicas: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, [S. l.] , v. 12, n. 7, p. e2812742440, 2023. Disponível em: 10.33448/rsd-v12i7.42440 . Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/42440>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- GUAITOLINI JUNIOR, Judismar Tadeu *et al.* Avaliação do módulo da aceleração da gravidade com Arduino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 619-640, mar. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n2p619>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física: Gravitação, ondas e termodinâmica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2.
- MELO, Ruth Brito de Figueiredo *et al.* Uma proposta didática utilizando o arduino como alternativa experimental para o ensino de física. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU), 7., 2021, Campina Grande. **E-book VII CONEDU 2021: educação como (re)existência: mudanças, conscientização e conhecimentos**. v. 3. Campina Grande: Realize Editora, 2022. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/82342>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- MONK, Simon. **Programação com Arduino: começando com sketches**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.
- MORAES, Sandra A.; USTRA, Sandro R. V. Levantamento bibliográfico sobre a interdisciplinaridade no ensino de Física. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 14, n. 2, p. 40-55, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.31512/encitec.v14i1.980>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/>. Acesso em: 21 out. 2024.

NASCIMENTO, Camila Souza; UIBSON, José. Uso de experimentos no ensino de Física: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Científica Digital**, 2021. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220508878.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024

NUSSENZVEIG, Moysés. **Curso de Física Básica: Mecânica**. v. 1. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

OLIVEIRA, Marluce Pereira. A escassez de professores habilitados em física na educação básica. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU), 9., 2023, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2023/TRABALHO_COMPLETO_EV185_MD4_ID11876_TB7150_04102023221303.pdf. Acesso em: 13 out. 2024.

PINHEIRO, Lisiane Araujo; MASSONI, Neusa Teresinha. Uma vivência interdisciplinar na formação de professores de física: disciplina interdepartamental em uma universidade pública. Alexandria: **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 1, p. 1–25, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/93785>. Acesso em: 13 out. 2024.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da; SILVA, Roberto Oliveira da; DARROZ, Luiz Marcelo. Atividades experimentais como estratégia didática: do aprender ao ensinar Física. **Revista de Estudos em Educação, Sorocaba**, SP, v. 23, n. 3, p. 625–643, 2021. DOI: 10.22483/2177-5796.2021v23n3p625-643. Disponível em: <https://periodicos.uniso.br/quaestio/article/download/3815/4480/14869>. Acesso em: 13 out. 2024.

SIQUEIRA, Lucas Eduardo de; BEDIN, Everton; LIMA, Vinícius Fernando de. Arduino como recurso educacional aberto: construção de experimentos acessíveis para o estudo de movimento e gravidade. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 5, n. 2, p. 1–23, 2022. Disponível em: <https://ojs.upf.br/index.php/rbecm/article/view/15520>. Acesso em: 03 set. 2024.

SILVA JÚNIOR, Walter Vieira da. Robótica educacional: uma proposta de ensino de Física no ensino básico. In: Congresso Internacional de educação e tecnologias (Ciet), 5., 2024, São Carlos, SP. **Anais do CIET: horizonte**. São Carlos, SP: CIET, 2024. v. 5, n. 1. Disponível em: <https://ciet.ufscar.br/submissao/index.php/ciet/article/view/2202>. Acesso em: 11 dez. 2025.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o Ensino Médio**, v. 1: *Mecânica*. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I: Mecânica**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

APÊNDICE A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Configuração do LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);
// Pinos dos sensores
const int sensorA = A0;
const int sensorB = A1;
// Limiar de detecção (ajuste conforme a luz ambiente)
int limiarA = 600;
int limiarB = 500;
// Variáveis de tempo (ms)
unsigned long t1 = 0, t2 = 0;
// Flags de passagem
bool passouA = false, passouB = false;
// Distância entre sensores (em metros)
const float distanciaAB = 0.5; //
// Controle de debounce (ms)
const unsigned long debounce = 50;
unsigned long ultimaLeituraA = 0;
unsigned long ultimaLeituraB = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Sistema 2 LDRs");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Aguardando...");
  Serial.println("=== Sistema de Medicao AB ===");
}
void loop() {
  int valorA = analogRead(sensorA);
  int valorB = analogRead(sensorB);

```

```

unsigned long agora = millis();
// Detecção no sensor A (início da contagem)
if (!passouA && valorA < limiarA && (agora - ultimaLeituraA) > debounce) {
t1 = agora;
passouA = true;
ultimaLeituraA = agora;
Serial.println(">> Passou no sensor A (t=0)");
}
// Detecção no sensor B (fim da contagem)
if (passouA && !passouB && valorB < limiarB && (agora - ultimaLeituraB) > debounce) {
t2 = agora;
passouB = true;
ultimaLeituraB = agora;
if (t2 == t1) t2 += 1; // evitar divisão por zero
float tempo_ms = t2 - t1;
float tempo_s = tempo_ms / 1000.0;
float velocidade = distanciaAB / tempo_s;

// Monitor Serial
Serial.println("=== RESULTADOS ===");
Serial.print("Tempo AB = "); Serial.print(tempo_ms); Serial.print(" ms (");
Serial.print(tempo_s, 4); Serial.println(" s)");
Serial.print("Velocidade = "); Serial.print(velocidade, 3); Serial.println(" m/s");
Serial.println("=====");
// LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("t=");
lcd.print(tempo_s,
4); lcd.print("s");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("v=");
lcd.print(velocidade, 2);
lcd.print("m/s");
// Aguarda e reinicia

```

```
delay(3000);  
lcd.clear();  
lcd.print("Aguardando...");  
passouA = passouB = false; t1  
= t2 = 0;  
}  
}
```