

Análise comparativa do movimento em plano inclinado com diferentes corpos: uma abordagem experimental alternativa integrada às tecnologias digitais da informação e comunicação

Comparative analysis of inclined plane motion with different bodies: an alternative experimental approach integrated with digital information and communication technologies

André Scheidegger Laia^{*1,2}, Guilherme Messias Pinto¹, José Mateus Pereira Oliveira², Pedro Henrique Mota Coelho², Milene Araújo Nascimento³

¹Universidade do Estado do Pará, Departamento de Ciências Naturais, Marabá, PA, Brasil.

²Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, PA, Brasil.

³Universidade do Estado do Pará, Departamento de Engenharia de produção Marabá, Marabá, PA, Brasil.

Recebido em 24 de julho de 2025. Revisado em 16 de janeiro de 2026. Aceito em 20 de fevereiro de 2026.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a análise de um aparato experimental alternativo para o estudo quantitativo do movimento uniformemente acelerado em plano inclinado. Utilizando materiais alternativos como placas de MDF, bobinas de fio de cobre, imã, um carrinho de brinquedo e um bloco de madeira, construiu-se uma plataforma capaz de gerar sinais elétricos induzidos, captados por meio do *software Audacity*. Os dados obtidos foram comparados com resultados teóricos e com outros extraídos por vídeo-análise no *software Tracker*. A proposta integra o uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) a práticas experimentais, permitindo a reprodução didática em contextos escolares com poucos recursos. Os resultados mostraram coerência entre os diferentes métodos de análise, além de evidenciar o potencial pedagógico da atividade para o ensino de física por investigação. A acessibilidade, a replicabilidade e a integração tecnológica tornam o experimento uma alternativa didaticamente relevante para o ensino prático de cinemática.

Palavras-chave: Ensino de Física, Práticas Experimentais, Materiais Alternativos, *Audacity*.

This study presents the development and analysis of an alternative experimental apparatus for the quantitative investigation of uniformly accelerated motion on an inclined plane. Using low-cost materials such as MDF boards, copper wire coils, a magnet, a toy cart, and a wooden block, a platform was constructed capable of generating induced electrical signals, recorded through the Audacity software. The data obtained were compared with theoretical results and others extracted via video analysis using the Tracker software. The proposal integrates the use of Digital Information and Communication Technologies (DICTs) into experimental practices, enabling didactic replication in school contexts with limited resources. The results demonstrated coherence among the different analysis methods and highlighted the pedagogical potential of the activity for inquiry-based physics teaching. The accessibility, replicability, and technological integration make the experiment a didactically relevant alternative for practical physics instruction in kinematics.

Keywords: Physics Education, Experimental Practices, Alternative Materials, Audacity.

1. Introdução

O ensino de Física nas escolas brasileiras enfrenta desafios persistentes relacionados à descontextualização dos conteúdos e à ênfase exagerada em abordagens expositivas e conteudistas, frequentemente alheias à realidade dos estudantes [1, 2]. Entre os tópicos que apresentam maiores obstáculos conceituais está o estudo do plano inclinado, cuja compreensão exige articulações entre conceitos de força, movimento e decomposição vetorial,

usualmente mediados por abstrações matemáticas pouco tangíveis no cotidiano escolar [3].

A integração das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) no ensino de Física tem se mostrado uma estratégia potente para a ressignificação das práticas pedagógicas, especialmente em contextos escolares com infraestrutura limitada. Conforme apontado por Leonel, Murriel e Dioni [4], essa integração ultrapassa o uso instrumental das tecnologias e requer uma apropriação crítica e criativa por parte dos docentes, promovendo práticas reflexivas e contextualizadas. Nesse sentido, ferramentas como o *Audacity* e o *Tracker*, ao aliarem acessibilidade com potencial analítico, têm

*Endereço de correspondência: andrelaia@uepa.br

Editor-Chefe: Marcello Ferreira

se destacado na criação de experiências didáticas mais engajadoras e formativas. Motta, Kalinke e Mocrosky [5] ressaltam que tais tecnologias possibilitam maior protagonismo discente ao promoverem interações mais significativas com os conceitos físicos, além de favorecerem o desenvolvimento de competências analíticas e interpretativas essenciais à alfabetização científica. Assim, a incorporação das TDIC no ensino experimental da Física não apenas amplia as possibilidades metodológicas, como também contribui para o enfrentamento das dificuldades históricas de aprendizagem associadas à disciplina.

Nesse cenário, o uso de experimentos didáticos com materiais alternativos e tecnologias digitais como o *Tracker* e o *Audacity* tem se mostrado uma estratégia promissora para promover uma aprendizagem mais significativa [2, 6]. Tais ferramentas possibilitam a coleta e a análise de dados em tempo real, favorecendo a investigação ativa por parte dos estudantes e a integração entre teoria e prática. Trabalhos anteriores também apontam que o uso dessas ferramentas pode ajudar a superar obstáculos epistemológicos na aprendizagem de Física, ao tornar os conceitos mais compreensíveis por meio da experimentação [7, 8].

No entanto, é importante destacar que o simples uso de ferramentas digitais não garante, por si só, a ressignificação de conteúdos considerados descontextualizados [9]. O diferencial está em como essas tecnologias são integradas à prática experimental, pois é no contato direto com a investigação, a manipulação de materiais e a observação de fenômenos que os estudantes conseguem construir significados mais sólidos [10, 11]. Nesse sentido, a física experimental assume papel central no processo de recontextualização dos conceitos: ao proporcionar situações investigativas concretas, ela permite que a teoria seja ancorada em experiências reais, dando sentido ao uso das TDICs e favorecendo a aprendizagem significativa [9, 12].

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a análise de uma plataforma experimental de plano inclinado, construída com materiais alternativos, integrada ao *software Audacity* para a coleta de dados gerados pela passagem de objetos sobre bobinas de fio de cobre distribuídas ao longo da rampa. O experimento permitiu comparar os resultados obtidos com os previstos por modelos matemáticos e com os valores extraídos por meio do *software Tracker*. O objetivo é investigar o potencial desse aparato como recurso pedagógico para o ensino de cinemática, em especial no estudo de movimentos acelerados e no enfrentamento das dificuldades conceituais associadas ao tema.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Conceitos físicos fundamentais e modelagem matemática

O estudo do movimento em um plano inclinado envolve uma série de conceitos fundamentais da mecânica

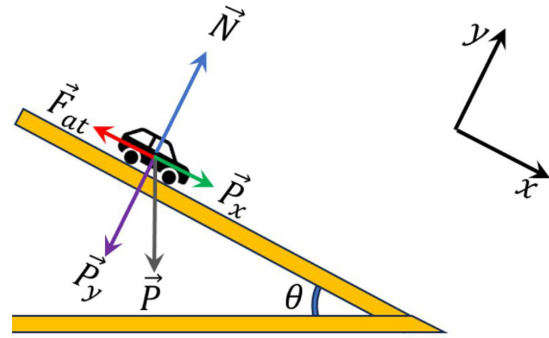


Figura 1: Diagrama de corpos livres representando as direções das forças envolvidas e suas respectivas componentes. Fonte: Autores, 2025.

clássica, especialmente no que se refere à decomposição de forças, ao movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), e à interação entre o corpo e a superfície por meio do atrito. Assim, seu estudo apresenta grande potencial didático por permitir a observação direta da aceleração, da decomposição de forças e da atuação do atrito como fatores dependentes do ângulo de inclinação.

No plano inclinado apresentado no diagrama da Figura 1, a força peso $\vec{P} = M\vec{g}$ é decomposta em duas componentes: uma paralela e outra perpendicular à superfície da rampa, as quais podemos correlacionar aos eixos “x” e “y” indicados na Figura 1, e cujo módulos podem ser dados por $\vec{P}_x = M\vec{g}\sin\theta$ e $\vec{P}_y = M\vec{g}\cos\theta$, respectivamente. Neste caso, M é a massa do objeto, g é a aceleração da gravidade e θ é o ângulo entre a rampa e a horizontal. A componente paralela é responsável por acelerar o corpo ao longo do plano, enquanto a componente perpendicular determina a força normal $\vec{N}$ exercida pela superfície. Além disto, temos a força de atrito dada por $\vec{F}_{at} = \mu M\vec{g}\cos\theta$, onde μ é o coeficiente de atrito.

Para sistemas de partículas que podem ser descritos por um único ponto material, desconsiderando sua estrutura interna, dimensões e distribuição de massa, assim como o caso clássico de um bloco de madeira, sua aceleração ao longo do plano inclinado é diretamente proporcional ao seno do ângulo de inclinação da rampa e independe da massa, quando o atrito é desprezado:

$$\vec{a}_x = \vec{g}\sin\theta, \quad (1)$$

quando o atrito é considerado, a aceleração passa a depender tanto do ângulo de inclinação quanto do coeficiente de atrito cinético (μ_c), sendo dada por [13]:

$$\vec{a}_x = \vec{g}(\sin\theta - \mu_c\cos\theta). \quad (2)$$

No caso de corpos extensos, torna-se necessário considerar efeitos adicionais, como a rotação e o momento de inércia, que podem influenciar diretamente a dinâmica do objeto. Esse é o caso por exemplo de um carrinho com rodas. Para modelar essa situação considera-se um carrinho de massa “ M ” com quatro rodas de massa “ m ”,

que giram sem escorregar (condição de rolamento sem deslizamento). Isso implica que o atrito que atua entre as rodas e a rampa é estático, necessário para gerar o torque que faz as rodas girarem, mas que não dissipa energia diretamente.

Nessas condições, a energia cinética total (E_c) é composta pela soma das componentes translacionais e rotacionais, considerando que a velocidade angular é dada por $\omega = v/r$ e o momento de inércia das rodas é igual a $I = \frac{1}{2}mr^2$ (cilindro maciço), conforme mostrado na equação (3).

$$E_c = \frac{1}{2}Mv^2 + 3mv^2 \quad (3)$$

Por outro lado, a energia potencial do carrinho pode ser dada pela equação (4).

$$E_p = (M + 4m)gL\sin\theta \quad (4)$$

Considerando a conservação de energia, podemos igualar as equações (3) e (4) para obter:

$$v^2 = \frac{2(M + 4m)gL\sin\theta}{M + 6m}. \quad (5)$$

Levando em conta a aceleração constante do carrinho, e considerando que o mesmo parte do repouso, temos $\bar{v}^2 = 2(\bar{a}_x)L$. Logo a aceleração pode ser dada pela equação 6:

$$\bar{a}_x = \frac{(M + 4m)\bar{g}\sin\theta}{M + 6m}. \quad (6)$$

Essa equação mostra que a aceleração do carrinho também depende da distribuição de massa entre o corpo e as rodas, sendo sempre menor que a condição sem atrito $\bar{a}_x = \bar{g} \cdot \sin\theta$, mesmo sem perdas por atrito cinético, devido à energia investida na rotação das rodas.

Assim, a modelagem matemática de cada caso reflete de maneira distinta a interação entre massa, geometria, atrito e distribuição de energia, tornando-se uma ferramenta essencial para compreender o comportamento dinâmico dos sistemas.

2.2. Breve explicação sobre bobinas e indução eletromagnética

A fundamentação do sistema de detecção utilizado neste trabalho está no fenômeno da indução eletromagnética, descrito por Faraday, segundo o qual a variação do fluxo magnético através de uma espira produz uma força eletromotriz induzida na mesma. Quando o ímã acoplado ao objeto aproxima-se ou afasta-se das bobinas dispostas ao longo da rampa, ocorre uma variação do fluxo magnético produzindo um pulso elétrico captado pela entrada de microfone da placa de som do computador, como demonstrado por Pinto e Saraiva [14]. Esse procedimento permite identificar com precisão os instantes de passagem do objeto pelas bobinas, convertendo o

registro acústico em informação temporal relevante para o estudo do MRUV.

Como discutido por Guaitolini Junior e colaboradores. [15], o uso de sensores simples como bobinas e interfaces de som oferece uma alternativa didática eficiente, permite relacionar de forma direta os modelos teóricos, como as equações do MRUV e as leis da indução eletromagnética, às práticas experimentais de coleta, registro e análise de dados [8]. Esta abordagem também favorece o engajamento dos estudantes, como enfatizado por Barreto Junior e colaboradores [16], consolidando a proposta de experimentação acessível e significativa.

Um aspecto importante a ser mencionado neste processo é a ação da Lei de Lenz que produz uma força eletromotriz resistiva induzida (F_e), a qual é dada por $F_e = \frac{\mathcal{E}^2}{(R_{eff} \cdot v)}$ [17]. Com base nas intensidades máximas de picos registrados no experimento pelo programa *Audacity* e em trabalhos anteriores [18], a força eletromotriz máxima produzida foi cerca de 0,05 V. A resistência efetiva do circuito é de aproximadamente 140 Ω e a velocidade máxima atingida é de 3,8 m/s. Assim, a força magnética máxima é de aproximadamente $4,7 \times 10^{-6}$ N, o que corresponde a uma desaceleração de aproximadamente $1,15 \times 10^{-4}$ m/s². Este valor é desprezível quando comparado às forças gravitacionais e de atrito, mas é fundamental para a descrição física do fenômeno de indução eletromagnética.

2.3. Importância pedagógica de práticas investigativas e TDICs no ensino de física

A integração entre práticas investigativas e TDICs constitui uma estratégia pedagógica que favorece a autonomia, o engajamento e a construção ativa do conhecimento, como destacam Leonel, Muryel e Dioni [4] e Motta, Kalinke e Mocrosky [5]. Ao possibilitar a visualização e a análise imediata dos dados, software como *Audacity* e *Tracker* ampliam o potencial de interpretação dos fenômenos físicos, aproximando teoria e prática em sala de aula.

Silva, Heidemann e Campomanes [7] demonstram que a integração entre atividades computacionais e experimentais, contribui significativamente para o desenvolvimento de habilidades de análise crítica e compreensão dos modelos físicos. Fontes e colaboradores [19] reforçam que a articulação entre essas atividades facilita o entendimento conceitual e reduz barreiras de acesso à experimentação, especialmente em contextos educacionais com infraestrutura limitada. Portanto, práticas investigativas mediadas por TDICs não apenas enriquecem o processo de ensino-aprendizagem, mas também favorece uma proposta de ensino mais inclusiva e significativa.

Contudo, é crucial que a atividade seja cuidadosamente planejada para que o foco da análise permaneça no conceito físico em estudo. A simples facilitação na coleta de dados, embora vantajosa, pode transformar elementos fundamentais do experimento em uma

“caixa preta”, onde o estudante interage com a ferramenta digital sem compreender plenamente a origem dos dados e os princípios físicos subjacentes [20, 21]. Em fenômenos de mecânica clássica, por exemplo, o uso de sensores e softwares pode desviar a atenção do estudante da análise das forças e movimentos em si para a instrumentação, valorizando mais o “como” se coleta do que o “porquê” do fenômeno [22–24]. Assim, o papel do professor é indispensável na concepção da atividade, garantindo que a tecnologia sirva como um instrumento para aprofundar a compreensão, e não para substituir a reflexão sobre o fenômeno físico em análise [25–27].

3. Materiais e Métodos

No estudo, foram utilizados dois tipos de corpos móveis: um bloco maciço de madeira e um carrinho de brinquedo de quatro rodas, ambos com um pequeno ímã de neodímio fixado em sua base. O bloco com o ímã tinha uma massa de $0,1013 \pm 0,0001$ kg e o carrinho com o ímã acoplado sem as rodas tinha uma massa de $0,035 \pm 0,0001$ kg, enquanto cada roda tinha uma massa de $0,0015 \pm 0,0001$ kg. O carrinho foi utilizado para explorar os efeitos da rotação das rodas no movimento, enquanto o bloco foi usado para análise puramente translacional com atrito de deslizamento.

Para a realização do experimento, foi construída uma plataforma de plano inclinado utilizando materiais acessíveis e de baixo custo. A estrutura principal foi confeccionada a partir da junção de 6 placas de MDF (duas de $0,8 \text{ m} \times 0,04 \text{ m}$; uma de $0,8 \text{ m} \times 0,06 \text{ m}$; uma de $0,9 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$; uma de $0,5 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$ e outra de $0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$). As duas primeiras foram aparafusadas nas laterais da terceira formando a rampa, a quarta serviu como uma base, a quinta foi fixada a extremidade esquerda da base e a aproximadamente $0,3 \text{ m}$ da extremidade direita da rampa usando dobradiças e a última placa foi fixada na extremidade direita da rampa usando outra dobradiça. Na placa da base, foi feito um rasgo ao longo do comprimento ($0,6 \text{ m} \times 0,004 \text{ m}$) e na sexta placa foi feito um furo. Assim, foi utilizado um parafuso com duas arruelas e porca borboleta para fixar a sexta placa ao longo da base. Essa placa móvel é que permite ajustar o ângulo da rampa entre 0° e 90° . Um esquema representativo deste aparato é apresentado na Figura 2(a).

Ao longo do plano inclinado, foram instaladas 11 bobinas quadradas ($0,105 \text{ m} \times 0,105 \text{ m}$) de fio de cobre esmaltado ($0,3 \text{ mm}$ de diâmetro), cada uma com 50 espiras, enroladas manualmente. As bobinas foram fixadas à estrutura com espaçamento médio de $0,065 \pm 0,005 \text{ m}$, centradas ao longo da linha de passagem do ímã. As bobinas foram conectadas a um cabo condutor que levava os sinais de tensão ao conector P2 estéreo, inserido na entrada de microfone do computador.

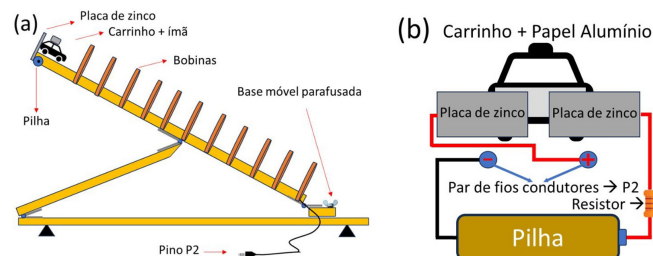


Figura 2: (a) Esquema da plataforma experimental desenvolvida, (b) esquema do circuito elétrico desenvolvido para registrar o instante de início do movimento. Fonte: Autores, 2025.

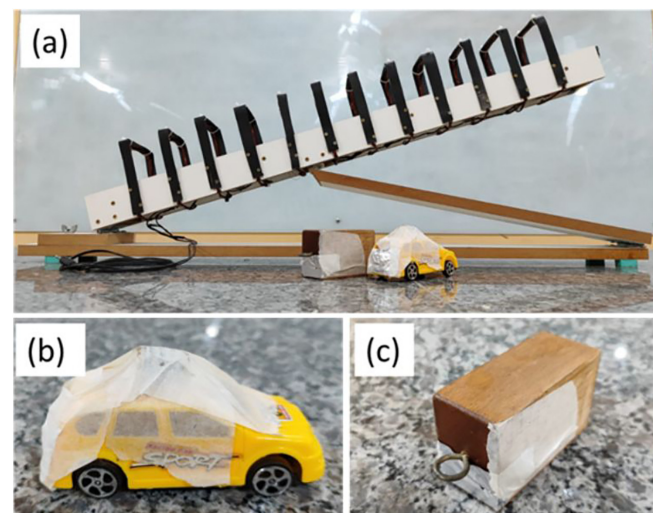


Figura 3: Fotografia da plataforma desenvolvida juntamente com os corpos usados para o estudo do movimento (a), carrinho de brinquedo (b) e bloco de madeira usado (c). Fonte: Autores, 2025.

As imagens reais do aparato montado e dos objetos utilizados na descida (Bloco e carrinho) são apresentadas na Figura 3.

O instante de liberação do corpo foi registrado com precisão com a incorporação de um circuito simples de detecção baseado no fechamento e abertura de contato elétrico. Duas placas de zinco foram fixadas no ponto de partida do plano inclinado, separadas por aproximadamente $0,01 \text{ m}$. Na parte traseira do carrinho e do bloco foi afixado um pequeno pedaço de papel alumínio (medindo aproximadamente $0,03 \text{ m} \times 0,04 \text{ m}$), de modo que, ao posicionar o corpo entre as placas, o circuito fosse fechado. Esse circuito incluía uma pilha de $1,5 \text{ V}$, um resistor para limitar a corrente (120Ω), e fios condutores ligando os componentes e o circuito anterior contendo o conector P2 estéreo, que fazia a conexão com a entrada de microfone do computador (Figura 2 (b)). Quando o corpo era liberado, o papel alumínio se afastava das placas, interrompendo o circuito e gerando um pulso elétrico perceptível no *software Audacity*. Em seguida, à medida que o ímã fixado no corpo passava pelas bobinas ao longo da rampa, novos

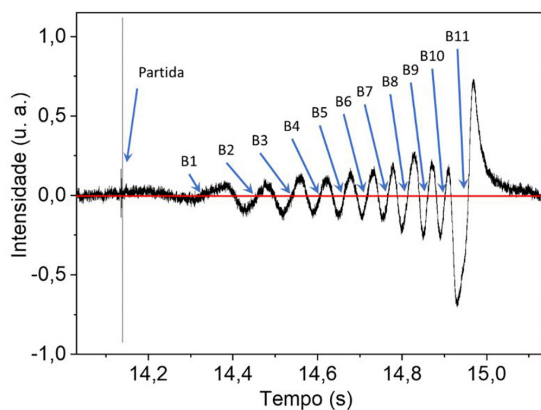


Figura 4: Sinal elétrico produzido e lido pelo programa *Audacity* durante a descida do móvel. Os pontos de B1 a B11 indicam a posição de coleta dos tempos registrados pelas 11 (onze) bobinas dispostas ao longo da rampa. Fonte: Autores, 2025.

pulsos de tensão eram induzidos e também registrados pelo *Audacity*. Ao se aproximar de cada bobina o ímã induzia um pico negativo e ao se afastar induzia um pico positivo. O ponto intermediário entre cada vale e pico foi então adotado como o instante em que o ímã estava no centro da bobina, os quais foram representados por B1, B2, B3, ... e B11 (Figura 4).

Complementarmente, os movimentos também foram registrados em vídeo com um smartphone posicionado lateralmente ao plano. Os vídeos foram analisados no *software Tracker*, seguindo o passo a passo descrito por Ferreira 2022 [28] (Figura 5). Essa estratégia permitiu a comparação dos dados obtidos por métodos distintos (indução eletromagnética e análise de vídeo). Essa triangulação metodológica visou validar os resultados e aumentar a confiabilidade da investigação.

Para garantir a confiabilidade dos resultados e minimizar a influência de fatores externos, foram adotados procedimentos de controle das variáveis experimentais.

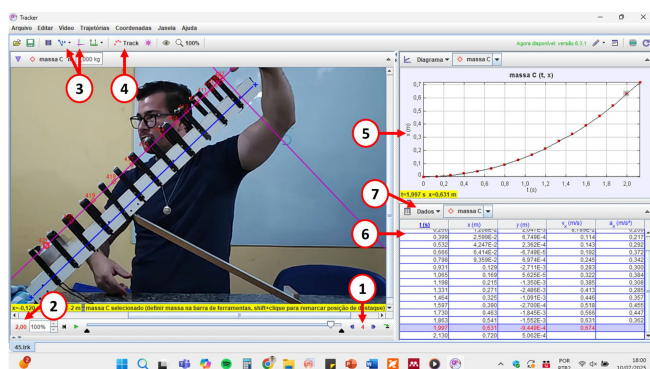


Figura 5: Recursos do programa *Tracker* utilizados na análise: (1) número de quadros avançados por vez; (2) zerar tempo inicial; (3) bastão de medição e eixos de coordenadas; (4) controle de trajetória; (5) gráfico de visualização; (6 e 7) tabela de dados x , V_x e a_x . Fonte: Autores, 2025.

O ângulo de inclinação do plano foi ajustado cuidadosamente com o auxílio do aplicativo *PhyPhox*, que oferece uma função de inclinômetro precisa e acessível via *smartphone*. Dessa forma, foi possível variar o ângulo de forma controlada e reproduzível, com precisão de $0,1^\circ$. Os experimentos foram realizados com ângulos crescentes a partir de 0° , adotando-se incrementos de $5 \pm 0,1^\circ$ até o limite máximo de 90° , totalizando 19 ângulos distintos.

Para cada ângulo testado, foram realizadas três repetições independentes, tanto com o carrinho de brinquedo quanto com o bloco de madeira, totalizando uma amostragem suficientemente robusta para fins comparativos e estatísticos. As repetições permitiram identificar eventuais desvios sistemáticos ou falhas pontuais no circuito de detecção ou na trajetória dos corpos.

4. Resultados e Discussão

A análise dos dados obtidos nesta investigação permitiu avaliar o comportamento do movimento de dois corpos (um bloco de madeira e um carrinho de brinquedo com rodas) em uma rampa com inclinação variável. As medições foram realizadas utilizando dois métodos distintos de coleta e análise de dados: (1) o *software Audacity*, que registra os picos de tensão gerados pela passagem de um ímã (preso ao móvel) por bobinas dispostas ao longo da rampa, e (2) o *Tracker*, que permite a análise de vídeos com extração quadro a quadro da posição dos corpos. Os dados experimentais foram confrontados com os valores obtidos por modelagem teórica, considerando os efeitos do atrito e, no caso do carrinho, a rotação das rodas. A unidade de inclinação utilizada foi o grau ($^\circ$) e a unidade de aceleração foi o metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

4.1. Bloco de madeira – resultados com o *Audacity*

No caso do bloco, o primeiro ângulo adotado foi de 15° , pois o bloco somente ficou na eminência do movimento para um ângulo de aproximadamente 14° . É conveniente destacar aqui que o ângulo de iminência de movimento do bloco permite estimar o coeficiente de atrito estático ($\mu_e = \tan \theta$), que é um limite superior para o coeficiente de atrito cinético μ_c . Para obter o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a rampa, a rampa foi posicionada na horizontal ($\theta = 0^\circ$) e o bloco foi arrastado sobre a rampa com baixa velocidade (aproximadamente constante) utilizando um dinamômetro também na horizontal. O processo foi gravado com um celular que se movia juntamente com o dinamômetro e através do vídeo foi verificado a força registrada pelo dinamômetro que correspondia neste caso a força de atrito cinético, com a qual foi possível obter um coeficiente de atrito cinético igual a 0,24. Os dados de tempo foram obtidos subtraindo os tempos registrados em cada bobina pelo tempo de partida registrado em cada descida. Para cada

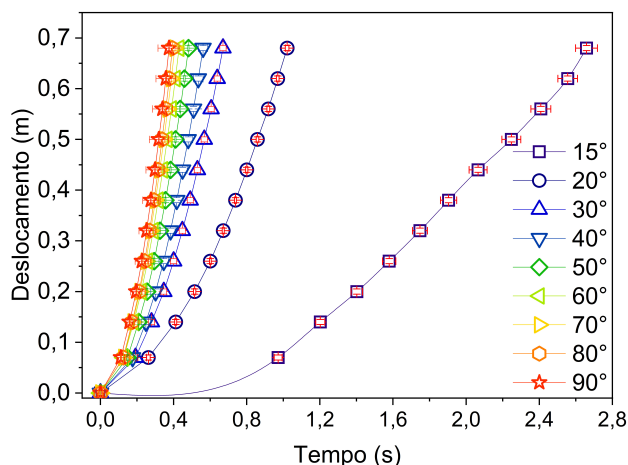


Figura 6: Gráfico da posição versus o tempo para diferentes ângulos. Fonte: Autores, 2025.

ângulo foram obtidos 3 valores de tempo distintos para cada intervalo de tempo entre a partida e cada uma das bobinas, assim foram calculados as médias e os desvios-padrão correspondentes. Os desvios-padrão foram utilizados nas barras de erro, uma vez que os erros de leitura atrelados ao *Tracker* e ao *Audacity* são demasiadamente grandes em relação as incertezas instrumentais destas ferramentas (de 0,001s e 0,000001s, respectivamente). Na Figura 6 é apresentado um gráfico com os dados de posição e tempo obtido através do *software Audacity* para os ângulos de 15°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° e 90° no movimento do bloco (com precisão de 0,1°). As linhas que interligam os pontos experimentais foram utilizadas apenas para facilitar a visualização do leitor. Na análise realizada, todas as curvas foram ajustadas individualmente por uma parábola do tipo $x(t) = Ct^2$ para determinar a aceleração ($a_x = 2C$).

Neste gráfico é possível verificar que à medida que o ângulo de inclinação aumenta as curvas tornam-se cada vez mais ascendentes, ou seja, considerando semi-parábolas, o coeficiente “C” torna-se cada vez maior indicando um aumento da aceleração. Além disto, é possível ver que a curva para 15° se aproxima muito de uma reta, o que indica uma aceleração muito pequena, como foi possível constatar $\vec{a}_x = 0,196 \text{ m/s}^2$.

A Figura 7 apresenta o gráfico de posição em função do tempo para o ângulo de inclinação de 45°, com ajuste polinomial de segundo grau, indicando o caráter uniformemente acelerado do movimento com r^2 próximo de 1 e $\vec{a}_x = 5,04 \text{ m/s}^2$.

Na Figura 8, foi utilizado a aceleração obtida no gráfico da Figura 7 para calcular a velocidade com base na função horária da velocidade para o MRUV (curva em preto). Os dados em vermelho foram obtidos a partir da derivada da posição e tempo utilizando a função *DerivativeXY* do *software OriginPro* 2018. Neste caso, podemos ver a tendência linear esperada para o MRUV e a boa concordância com a velocidade calculada,

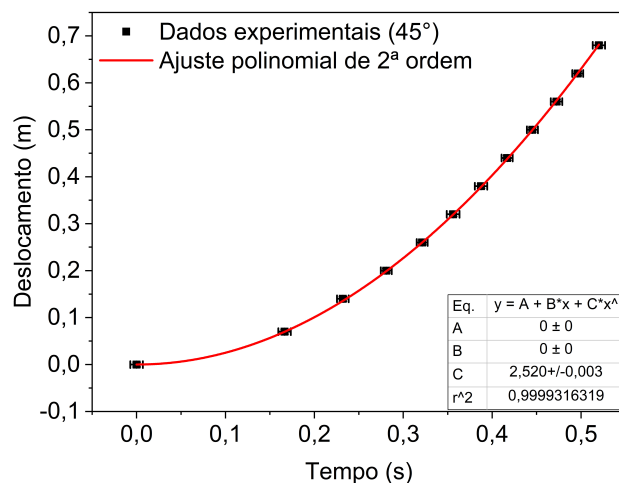


Figura 7: Gráfico da posição versus o tempo para o bloco a 45° (*Audacity*). Fonte: Autores, 2025.

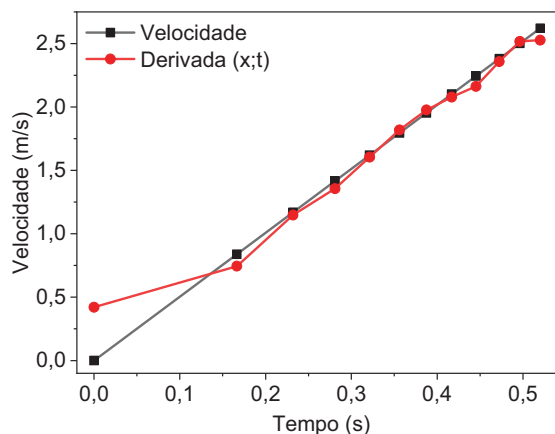


Figura 8: Gráfico da velocidade versus o tempo para o bloco a 45° (*Audacity*). Fonte: Autores, 2025.

demonstrando que de fato a velocidade é a derivada da posição em função do tempo.

4.2. Bloco de madeira – resultados com o *Tracker*

Com os dados obtidos com o *Tracker*, foram calculados as médias e desvios padrões de tempo, posição e velocidade. A Figura 9(a) e (b) são apresentados os gráficos da $x(t)$ com ajuste polinomial de segunda ordem e de $v(t)$ com ajuste linear para o ângulo de 45°, semelhantes aos obtidos no *Audacity*.

4.3. Carrinho com rodas – resultados com o *Audacity*

A Figura 10 foi construída com os dados de posição e tempo obtido através do *software Audacity* para os ângulos de 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° e 90° para o movimento do carrinho. Neste caso, podemos ver que mesmo para uma inclinação de 10°, a curva

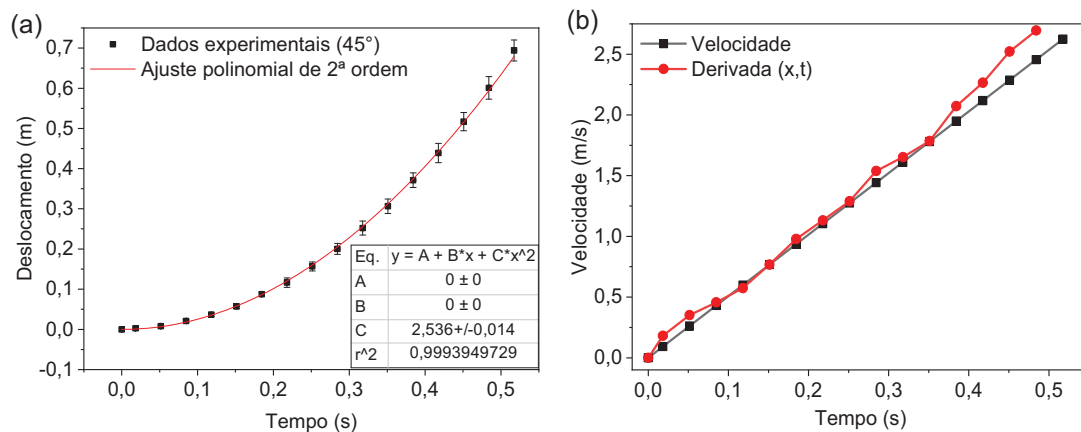


Figura 9: (a) Gráfico da posição versus o tempo para o bloco a 45° (*Tracker*); (b) Gráfico da velocidade versus o tempo para o bloco a 45° (*Tracker*). Fonte: Autores, 2025.

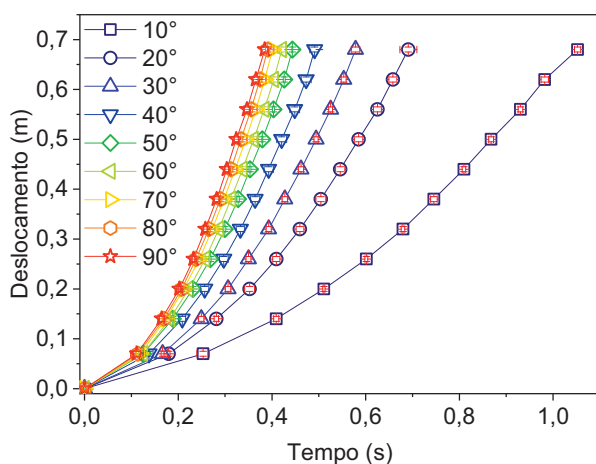


Figura 10: Gráfico da posição versus o tempo para o carrinho em diferentes ângulos (*Audacity*). Fonte: Autores, 2025.

$x(t)$ apresenta um bom comportamento semi-parabólico e uma aceleração significativa ($\vec{a}_x = 1,304 \text{ m/s}^2$).

A Figura 11(a) mostra o gráfico de posição em função do tempo para o carrinho a 45°. A aceleração obtida

para esse caso foi $\vec{a}_x = 6,454 \text{ m/s}^2$, valor compatível com o modelo teórico considerando a rotação das rodas. O valor da aceleração obtido foi utilizado para calcular o valor da velocidade do móvel em cada bobina. Assim, foi construído um gráfico da velocidade em função do tempo para a inclinação de 45° (Figura 11 (b)).

4.4. Carrinho com rodas – resultados com o *Tracker*

Repetindo a análise com o *Tracker*, os gráficos obtidos novamente mostraram excelente correlação com os modelos do MRUV. A Figura 12(a) representa a função posição em função do tempo. A Figura 12(b), mostra a função da velocidade, semelhante ao que foi feito para o bloco, confirmando a constância da aceleração durante a descida.

4.5. Comparações entre os métodos e a teoria

Os dados experimentais foram comparados com os valores teóricos previstos pelos modelos matemáticos deduzidos para o movimento com e sem atrito (para o

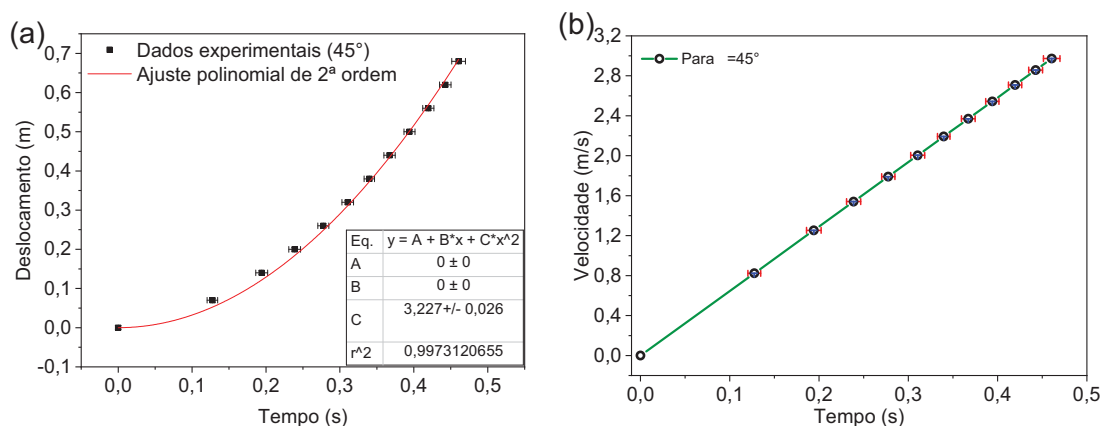


Figura 11: (a) Gráfico da posição versus o tempo e (b) gráfico da $v(t)$ para o carrinho a 45° (*Audacity*). Fonte: Autores, 2025.

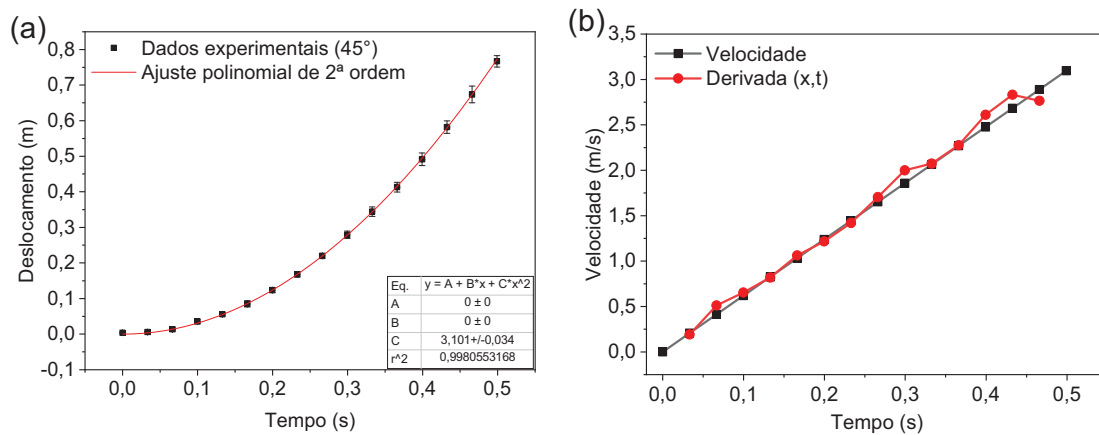


Figura 12: (a) Gráfico $x(t)$ e (b) Gráfico $v(t)$ para o carrinho a 45° (*Tracker*). Fonte: Autores, 2025.

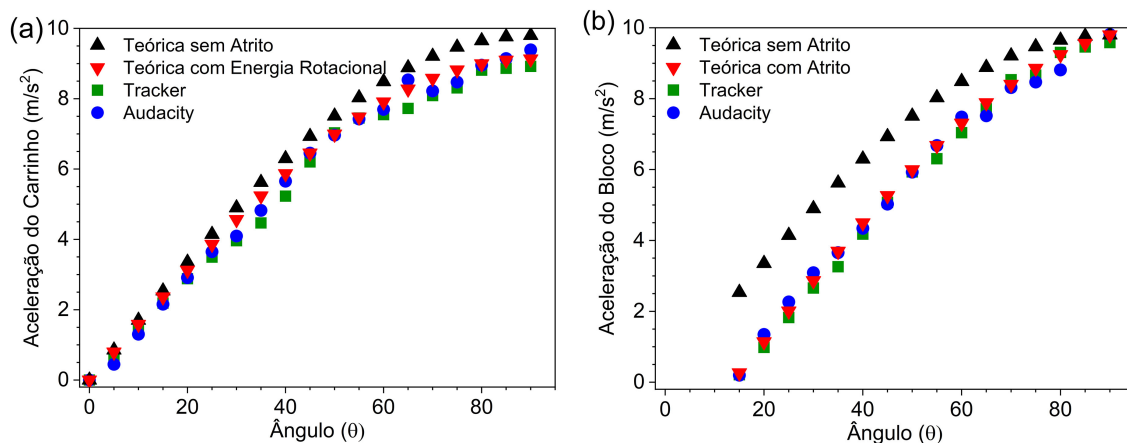


Figura 13: Comparação entre acelerações (a) para o carrinho e (b) para o bloco. Fonte: Autores, 2025.

bloco) e com energia rotacional e sem atrito ou energia rotacional (para o carrinho). Dados completos dessa comparação são apresentados em forma de tabelas no arquivo suplementar deste trabalho.

A Figura 13(a) e (b) representam graficamente os dados comparativos para o carrinho e para o bloco.

Verificou-se que os valores obtidos experimentalmente estão em consonância com os modelos teóricos ajustados às condições reais do experimento. No caso do bloco, os resultados com atrito foram mais coerentes com os dados experimentais. No caso do carrinho, a diferença entre o valor teórico (sem considerar atrito) e o valor obtido experimentalmente foi explicada pelo efeito da rotação, devidamente modelado, mostrando a importância deste parâmetro para o estudo. Na análise com o carrinho, em alguns ângulos (30°, 35°, 40°, 65°, 70° e 75°) houve uma maior divergência entre os resultados experimentais e a modelagem considerando a energia rotacional, no entanto, as divergências com o *Audacity* sempre foram menores que com o *Tracker* e em todo caso essas divergências foram inferiores a 10% e podem estar associadas a fatores aleatórios e irregularidades durante o percurso tais como o contato com a proteção lateral da rampa ou

a ruptura da rotação pura das rodas em alguns pontos por irregularidades da rampa.

4.6. Precisão dos métodos, limitações e comparação com outros estudos

O método com o *Audacity* demonstrou excelente precisão temporal, devido a clareza dos pulsos induzidos nas bobinas. Sua principal limitação é o espaçamento fixo entre os sensores, que restringe a resolução espacial do movimento. O *Tracker*, por sua vez, possui resolução espacial superior, mas sofre com limitações temporais impostas pela taxa de quadros da câmera e está sujeito a erros de desfoque de movimento, paralaxe ou perspectiva, que podem afetar a marcação precisa dos pontos. Entre os dois métodos, o *Audacity* apresentou maior consistência entre as repetições e com a modelagem da aceleração, enquanto o *Tracker* contribuiu para validar os resultados. Quanto as limitações enfrentadas, destacam-se os ruídos no sinal elétrico, as variações na fixação manual do ângulo, pequenas oscilações na liberação dos corpos, a presença de atrito residual e pequenas irregularidades nas superfícies.

A comparação com trabalhos similares mostra que, embora diversas propostas utilizem materiais alternativos e softwares gratuitos para o estudo de movimentos em queda livre ou plano inclinado, muitas apresentam limitações na quantidade de sensores [14, 16], na profundidade da análise [19] ou na necessidade de conhecimentos técnicos avançados, como programação e eletrônica [6, 15, 29]. Diferentemente dessas abordagens, a proposta apresentada destaca-se por combinar múltiplos sensores ao longo da rampa, análise complementar com diferentes softwares e uso de um aparato simples e de baixo custo (levando em consideração a disponibilidade de computadores e celulares). Essa combinação amplia as possibilidades de análise do movimento, facilita a replicação em contextos escolares e confere maior robustez metodológica e relevância pedagógica ao estudo da cinemática.

4.7. Implicações pedagógicas

A possibilidade de analisar um mesmo fenômeno com diferentes métodos e tecnologias oferece um grande potencial pedagógico. O uso do *Audacity* e do *Tracker*, integrados a uma estrutura física de fácil replicação com materiais alternativos, favorece o engajamento dos estudantes e a apropriação ativa de conceitos físicos, promovendo a interdisciplinaridade entre Física, Matemática, Tecnologia e Informática [9,19,30,31].

Ao confrontar teoria e prática, os alunos não apenas verificam fórmulas, mas também compreendem os fundamentos do método científico: coleta de dados, análise crítica, controle de variáveis e interpretação de resultados. Além disso, a triangulação metodológica fortalece o entendimento conceitual e a reflexão sobre a confiabilidade e limitações das medições, elementos essenciais na formação de um pensamento científico autônomo. Como observado por Leonel, Murriel e Dioni [4], o uso pedagógico de tecnologias digitais permite transformar o espaço escolar em um ambiente mais investigativo e participativo, condição evidenciada ao longo deste experimento.

5. Considerações Finais

A proposta experimental desenvolvida demonstrou grande potencial para o ensino investigativo de conceitos de cinemática, especialmente relacionados ao plano inclinado e ao movimento acelerado. A comparação entre os dados obtidos via *Audacity*, *Tracker* e modelagem teórica evidenciou coerência nos resultados e permitiu identificar com clareza os efeitos de variáveis como atrito e momento de inércia e demonstraram que é possível realizar práticas experimentais rigorosas mesmo em ambientes com infraestrutura limitada. Além da robustez metodológica, o aparato se destaca por sua acessibilidade e reprodutibilidade, o que o torna adequado para contextos educacionais com restrições de recursos. A integração com tecnologias digitais fortalece o vínculo entre teoria

e prática, favorecendo uma aprendizagem mais ativa e significativa. Além disso, o caráter investigativo da proposta estimula a análise crítica dos estudantes e o contato direto com conceitos físicos fundamentais, valorizando a experimentação como ferramenta pedagógica. Assim, o experimento proposto representa uma alternativa eficaz e viável para enriquecer o ensino de física nas escolas públicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de iniciação científica, bem como à Universidade do Estado do Pará pelo suporte institucional e pela disponibilização do laboratório de Física do Campus VIII, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Material Suplementar

O seguinte material suplementar está disponível online: Tabela S1 – Aceleração do carrinho dada em metros por segundo ao quadrado (m/s^2): comparação entre *Audacity*, *Tracker* e modelagem teórica.

Tabela S2 – Aceleração do bloco dada em metros por segundo ao quadrado (m/s^2): comparação entre *Audacity*, *Tracker* e modelagem teórica.

Disponibilidade de Dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi disponibilizado em <https://10.17632/ychwnn4r7s.1>.

Referências

- [1] G.V. Silva, P.M.C. Dias e C.E. Aguiar, Revista Brasileira de Ensino de Física **44**, e20220203 (2022).
- [2] J.J.P. Santillán e J.L.S. Brito, Reincisol **3**, 3318 (2024).
- [3] F.R. da Silva, L.D. Gusmão e S.J.F. Santos, Ensino & Pesquisa **22**, 828 (2024).
- [4] A.A. Leonel, P.V. Murriel e P.P. Dioni, Revista Enseñanza La Física **33**, 37 (2021).
- [5] M.S. Motta, M.A. Kalinke e L.F. Mocrosky, ACTIO Docência Em Ciências **3**, 65 (2018).
- [6] J.P.J. Ribeiro, *Um produto educacional para o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado usando a plataforma Arduino*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém (2022).
- [7] M.S. da Silva, L.A. Heidemann e R.R. Campomanes, Revista Brasileira de Ensino de Física **45**, e20230082 (2023).
- [8] M.A. Cavalcante, E. da Silva, R. do Prado e R. Hagg, Revista Brasileira de Ensino de Física **24**, 150 (2002).
- [9] C.A.S. Batista e L.O.Q. Peduzzi, Investigações Em Ensino Ciências **27**, 23 (2022).

- [10] M.H.U. Guimarães e B.S. Simões, Revista Internacional de Aprendizaje en Ciencia, Matemáticas y Tecnología **2**, 77 (2015).
- [11] S. Fraiha, W. Paschoal, S. Perez, C.E.S. Tabosa, J.P.S. Alves e C.R. Silva, Revista Brasileira de Ensino de Física **40**, e4403 (2018).
- [12] M.P. Belançon, Revista Brasileira de Ensino de Física **39**, e4001 (2017).
- [13] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de física, volume 1: mecânica* (LTC, Rio de Janeiro, 2016), 10 ed.
- [14] A. Pinto e C. Saraiva, Gazeta de Física **35**, 27 (2013).
- [15] J.T. Guaitolini Junior, G.S. Ramos, S.L. da Silva e A.C. Gama, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **33**, 619 (2016).
- [16] T.P. Barreto Junior, W.R. Gomes, C.K. Piumbini, L.O. Buffon e M.F. Barros, Ensino Em Foco **3**, 119 (2021).
- [17] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo* (LTC, Rio de Janeiro, 2016), 10 ed.
- [18] A.S. Laia, L.M. Gomes, F.C.L. Ferreira, R.M. Gester e W.C.E. Teixeira, Experiências Em Ensino de Ciências **12**, 211 (2017).
- [19] A.S. Fontes, M.C. Batista, R.C. Schwerz e M.C.D. Neves, Ensino, Saúde e Ambiente **12**, 40 (2019).
- [20] A.G. Bezerra Jr, L.P. De Oliveira, J.A. Lenz e N. Saavedra, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **29**, 469 (2012).
- [21] M.G. Reis, E.T. Pimentel, M.D. de Araújo, C.O. Dias e L.M. dos Santos Junior, Caderno Pedagógico **22**, e13882 (2025).
- [22] J. Bernhard, Instructional Science **46**, 819 (2018).
- [23] O.H.M. Silva e C.E. Laburú, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **34**, 404 (2017).
- [24] D.H.O. Braz, *Práticas em Laboratório: Uma Estratégia de Ensino*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, São Paulo (2018).
- [25] M.G. Séré, S.M. Coelho e N.A. Dias, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **20**, 30 (2003).
- [26] A.S. Santos, G.Á.R.M. Esmeraldo e J.M. de Ferraz, Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento **6**, 205 (2020).
- [27] L.R. Góes-Silva, A Física Na Escola **21**, 220604 (2023).
- [28] P.H. Ferreira, *Usando o Tracker para capturar movimento: exemplo MRU*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jKNgxPJdu7I>, acessado em: 23/05/2025.
- [29] J. da Costa e Silva, G.A. Mendes e G. de O.G. Rebouças, Revista Brasileira de Ensino de Física **45**, e20230045 (2023).
- [30] L.C.G. Filho, A.S. Fontes, O.R. dos Santos, M.C. Batista e D.R. Coneglian, Caderno de Física Da UEFS **18**, 2503.1 (2020).
- [31] J.J. De Oliveira Silva, E. Da Silva Rodrigues, D.M. Dos Santos Ribeiro e M. Souza da Silva, Scientia Plena **12**, 104102 (2016).