

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
CAMPUS POETA TORQUATO NETO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE FÍSICA

Lucas de Assis Silva Santos

Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando um Pêndulo e o Tracker

A R T I G O

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em Física
da Universidade Estadual do Piauí Campus Poeta
Torquato Neto como parte dos requisitos obriga-
tórios para a obtenção do título de Licenciando
em Física.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Janete Batista Brito

Teresina(PI), novembro de 2025

Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando um Pêndulo e o Tracker

Determining Gravitational Acceleration Using a Pendulum and Tracker

Lucas de Assis Silva Santos[†]

Orientador: Prof^a. Dr^a. Janete Batista Brito[‡]

[†]lucasasantos.uespi@aluno.com, [‡]janetebrito@ccn.uespi.br

TCC - Licenciatura em Física - CCN - UESPI | Teresina(PI), novembro de 2025

Resumo

Neste trabalho tivemos como principal meta, determinar o módulo da aceleração gravitacional local g . Para isso, escolhemos uma abordagem de pesquisa experimental, em que o movimento real de um pêndulo foi rastreado e analisado com o auxílio do software Tracker. Devido à pequena dimensão e formato do corpo de prova (aproximadamente esférico) em relação aos comprimentos dos fios, optamos por omitir o momento de inércia, logo, consideramos a análise do movimento conforme a teoria do pêndulo simples. Os resultados experimentais apresentaram uma boa concordância com o valor teórico de g , com erros relativos inferiores a 2%, e o gráfico que relaciona os valores de $T^2 \times L$ (período ao quadrado versus comprimento) evidenciam uma tendência linear, demonstrando a eficiência do método teórico escolhido (a inclusão do momento de inércia pode ser recomendada para experimentos futuros). De acordo com os dados obtidos, foi possível evidenciar os princípios fundamentais relacionados ao movimento oscilatório pendular, desenvolver habilidades práticas com o registro e análise do movimento utilizando o software Tracker, além de determinar o valor da aceleração gravitacional local.

Abstract

The main goal of this work was to determine the modulus of the local gravitational acceleration g . To achieve this goal, we chose an experimental research approach, in which the actual movement of the pendulum was recorded and analyzed with the aid of Tracker software. Due to the small size and shape of the specimen (approximately spherical) in relation to the lengths of the wires, we chose to omit the moment of inertia, so we considered the analysis of the movement according to the simple pendulum theory. The experimental results showed good agreement with the theoretical value of g , with relative errors of less than 2%, and the graph relating the values of $T^2 \times L$ (squared period versus length) shows a linear trend, demonstrating the efficiency of the theoretical method chosen (the inclusion of the moment of inertia can be recommended for future experiments). According to the data obtained, it was possible to highlight the fundamental principles related to pendulum oscillatory movement, develop practical skills in recording and analyzing movement using Tracker software, and determine the value of the local gravitational acceleration.

Palavras-chave: Aceleração Gravitacional; Pêndulo, Vídeo análise; Propagação de Incertezas

Keywords: Gravitational Acceleration; Pendulum, Video Analysis; Propagation of Uncertainty

Sumário

1	Introdução	3
2	Fundamentação Teórica	3
2.1	Conceitos Fundamentais sobre Movimento Periódico e Oscilações	3
2.2	Movimento Oscilatório e o Movimento harmônico simples	4
2.3	O Pêndulo Simples	5
3	Metodologia	7

4	Resultados e Discussão	10
5	Conclusão	12
	Referências	12

1 Introdução

Todos os corpos do Universo possuem campo gravitacional, e a Terra, seguindo o mesmo princípio, utiliza esse campo para manter sua atmosfera. A intensidade do campo gravitacional terrestre em um ponto específico da superfície é expressa pela aceleração da gravidade, que pode variar de acordo com a latitude, altitude e outros fatores. Para fins didáticos, consideramos que todos os corpos em queda livre na superfície da Terra estão sujeitos a uma aceleração gravitacional local.

De acordo com Silveira (1995), o interesse pela compreensão e a determinação da aceleração gravitacional têm sido objeto de investigação em vários estudos ao longo da história. Segundo o autor algumas das principais contribuições que edificaram esse conhecimento se devem a Galileu Galilei, com a investigação sobre o movimento de queda dos corpos e a Christiaan Huygens, sendo ele o pioneiro ao utilizar o pêndulo para determinar a aceleração da gravidade.

Embora seja um dispositivo simples, o pêndulo é um instrumento eficaz para obtenção de diversas variáveis físicas, principalmente relacionadas à mecânica oscilatória. Além disso, é objeto de estudo nas disciplinas elementares em laboratórios de física e engenharia, sendo ainda hoje utilizado como base para muitos recursos tecnológicos.

Muitas pesquisas sobre o pêndulo, suas variações e aplicações práticas mostram como ele continua sendo uma ferramenta valiosa no ensino e na pesquisa em física, além do mais, a pesquisa experimental quantitativa associada a videoanálise constitui um método de grande eficácia para a investigação de fenômenos físicos. Nesse contexto, a prática de atividades experimentais utilizando o *software Tracker* se torna útil para a realização da coleta de dados, análise e modelagem dos dados adquiridos (PARREIRA, 2018).

Vale destacar que determinar experimentalmente a aceleração da gravidade é essencial na educação científica, pois possibilita ao indivíduo adquirir habilidades práticas, testar e avaliar valores medidos, teorias científicas, além de desenvolver interesse pela ciência e pelo método científico.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o módulo da aceleração gravitacional local por meio da análise do movimento de um pêndulo simples, considerando a fórmula do período para pequenas amplitudes. Com esse propósito, foi utilizado o *software Tracker* que possibilitou uma investigação por meio de vídeoanálise sobre as variáveis físicas associadas ao movimento pendular.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Conceitos Fundamentais sobre Movimento Periódico e Oscilações

Os movimentos periódicos são aqueles que se repetem em intervalos regulares de tempo (cíclicos), caracterizados por um período T . O exemplo mais comum entre eles é associado ao movimento de rotação da Terra em seu próprio eixo (com período aproximado de 24 horas), o movimento de translação da Terra em torno do Sol (com período aproximado de 365 dias).

O comportamento periódico pode ser descrito por duas grandezas fundamentais, o período T : tempo necessário para realizar uma oscilação completa e a frequência f : número de oscilações que a partícula faz por unidade de tempo. Segundo o SI, T é expresso em segundos (s) e f é expressa em Hertz (s^{-1}):

$$f = \frac{1}{T}. \quad (1)$$

Para a Física, o termo oscilação se refere a um movimento de ida e volta em torno de um ponto fixo. O movimento oscilatório é um caso particular do movimento periódico,

pois existe a inversão do sentido da direção (se alternando periodicamente). É importante fazer essa distinção, pois nem todo movimento periódico é oscilatório, exemplo disso, é que o movimento circular uniforme é periódico, mas não é oscilatório (COSTA, 2018).

Um dos primeiros registros históricos relacionados ao estudo das oscilações foi derivado das observações do cientista italiano Galileu Galilei (1564-1642). De acordo com relatos, ao observar o balanço de um candelabro na Catedral de Pisa, Galileu percebeu que o tempo das oscilações permanecia aproximadamente constante, independentemente da amplitude inicial. Essa observação, embora simples, constituiu uma das bases fundamentais para o avanço dos estudos sobre o movimento oscilatório (BASSALO, 2009).

Na natureza existem diversos eventos oscilatórios que se repetem de forma periódica, por exemplo: as ondas sonoras, a vibração de cordas em instrumentos musicais, as radiações eletromagnéticas, até o movimento dos elétrons em um campo elétrico alternado são fenômenos que apresentam comportamento oscilatório e periódico.

Embora cada um desses fenômenos tenha uma natureza distinta, o modo como suas grandezas variam ao longo do tempo pode ser descrito por modelos matemáticos semelhantes. Essa semelhança permite que o estudo de sistemas simples sirva de base para compreender modelos mais complexos. As oscilações podem ser classificadas de três formas: livres, amortecidas ou forçadas.

As oscilações livres acontecem quando um sistema é deslocado da sua posição de equilíbrio e se move sem a influência contínua de uma força externa (podemos considerar o exemplo do movimento pendular, ou o massa-mola em condições ideais); as oscilações amortecidas recebem influência de forças dissipativas, por exemplo, o atrito, resistência do ar, etc; e as oscilações forçadas ocorrem quando uma força externa e periódica mantém o sistema em movimento, por exemplo, o ato de tocar a corda do violão, repetidas vezes, mantém seu estado de vibração (SANTOS, 2018).

2.2 Movimento Oscilatório e o Movimento harmônico simples

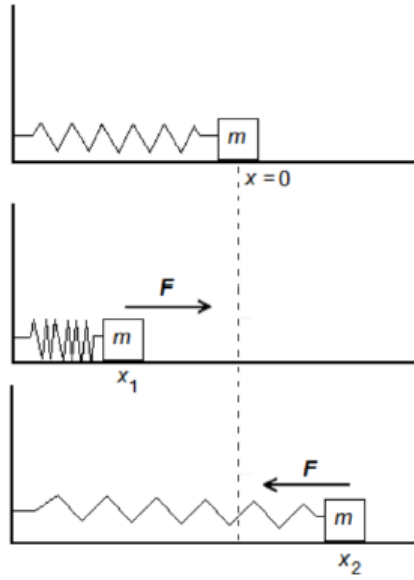
Dentre os tipos de oscilações descritos, a configuração mais simples (classificado como oscilação livre) é o movimento harmônico simples (MHS). O MHS, também conhecido por oscilador harmônico simples é o modelo caracterizado por uma partícula que se move ao longo de uma reta sob ação de uma força restauradora.

O exemplo mais clássico disso é o sistema massa-mola: um corpo de massa m preso a uma mola de constante elástica k de comprimento L , que se move em uma superfície horizontal sem atrito. Quando este é deslocado de sua posição de equilíbrio e solto, a mola exerce uma força restauradora proporcional ao deslocamento, levando o corpo a oscilar em torno do ponto de equilíbrio.

A força restauradora da mola, é expressa pela lei de Hooke (1635-1703), e descrita matematicamente como:

$$F = -kx, \quad (2)$$

em que x é o deslocamento da massa em relação à posição de equilíbrio, em metros (m) e k , a constante máxima da mola, em Newton por metro ($\frac{N}{m}$). É importante frisar que o sinal negativo se dá pela característica restauradora do movimento, ou seja, indica que a força tem sentido oposto ao deslocamento da partícula em relação ao ponto de equilíbrio.

Figura 1: Representação do sistema massa mola.

Fonte: (ROQUE, 2023).

O MHS pode ser descrito por uma equação diferencial ordinária (EDO) linear e homogênea de 2ª ordem, substituindo a lei de Hooke na 2ª lei de Newton ($F = ma$), sendo expressa como:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0. \quad (3)$$

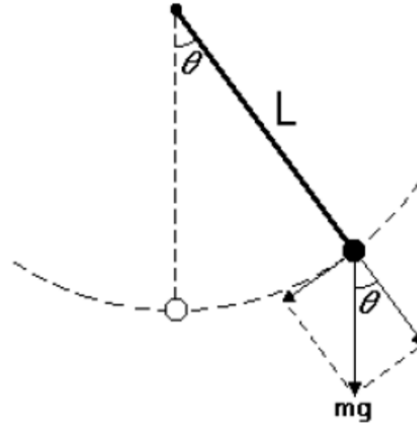
As soluções dessa equação diferencial podem ser expressas por funções senoidais; uma de suas soluções é dada por (THORNTON; MARION, 2011):

$$x(t) = A \sin(\omega_0 t - \delta), \quad (4)$$

sendo A , a amplitude da onda, ω_0 a frequência angular (expressa em rad/s), e δ o ângulo de fase.

2.3 O Pêndulo Simples

O pêndulo simples é um sistema idealizado (desconsiderando forças dissipativas) que consiste numa massa puntiforme suspensa por um fio ideal (inextensível). Quando este é deslocado da sua posição de equilíbrio, ele executa um movimento oscilatório periódico em torno da mesma (devido à força restauradora).

Figura 2: Representação esquemática do pêndulo simples.

Fonte: (SILVA; FERRAZ; MIRANDA, 2018).

O período T de oscilação do pêndulo simples para pequenos ângulos é dado pela seguinte expressão (NUSSENZVEIG, 2018):

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (5)$$

em que L é o comprimento do fio e g , a aceleração da gravidade.

Para pequenas amplitudes (ângulos menores que 10°) o pêndulo executa um movimento harmônico simples. Desse modo, a EDO que descreve o movimento do pêndulo simples é dada por (THORNTON; MARION, 2011):

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0. \quad (6)$$

A solução dessa EDO pode ser expressa por:

$$\theta(t) = A_\theta \sin(\omega_0 t - \delta), \quad (7)$$

sendo θ , o ângulo de deslocamento a partir do ponto de equilíbrio, e ω_0 , a frequência angular da onda senoidal, dada por:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L}}. \quad (8)$$

Vale mencionar que na expressão (7), o argumento $\cos(\omega_0 t + \delta)$ se refere a uma função periódica de $\omega_0 t$ de período 2π , portanto, o período de oscilação do pêndulo para pequenos deslocamentos pode ser expresso como (NUSSENZVEIG, 2018):

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \quad (9)$$

em que ω_0 é a frequência angular, dada em rad/s.

O pêndulo também pode ser um método bastante útil (dentro de suas limitações) para a medição da aceleração gravitacional g por meio da expressão do período do pêndulo simples, expresso na equação (10). O valor teórico utilizado para fins didáticos e em nível do mar da gravidade local é $g_{teo} \cong 9,8 \text{ m/s}^2$ (NUSSENZVEIG, 2018).

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}. \quad (10)$$

Vale mencionar que, mesmo Galileu tendo notado que o período do pêndulo simples ao quadrado era proporcional ao comprimento do fio, a formulação da lei do pêndulo simples foi apresentada pelo físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695), em sua obra "Horologium Oscillatorium, publicado em 1673 (UZÊDA, 2011).

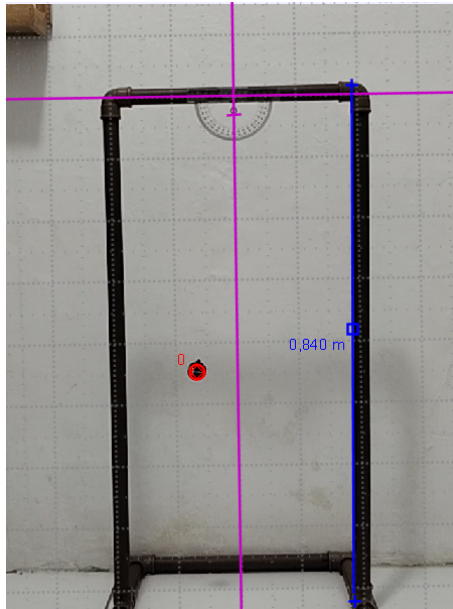
3 Metodologia

O Tracker é um software gratuito de videoanálise e uma ferramenta de modelagem de dados criada por um grupo de físicos e educadores utilizando as bibliotecas de códigos Java da Open Source Physics (inicialmente aplicado para análise de vídeo no ensino de Física). Algumas de suas principais funções estão relacionadas ao rastreamento de objetos com sequência de quadros (imagens) em tempos sucessivos; gráficos de posição, velocidade e aceleração (possibilitando ajustes de funções matemáticas); filtros especiais, quadros de referência e pontos de calibração (BROWN; CHRISTIAN; HANSON, 2025).

Os instrumentos utilizados para a realização do experimento foram: fio de nylon, chaveiro mini bola de bilhar, fita métrica (graduada em centímetros e milímetros), transferidor de 180 graus para medição do deslocamento angular, canos de pvc, câmera do smartphone para registro experimental, e um computador com o software Tracker instalado.

Após o conjunto: fio, mini bola de bilhar, transferidor de 180º estarem devidamente montados e fixados ao suporte de cano pvc, se deu início a gravação do movimento oscilatório pendular para 6 comprimentos de fio diferentes.

Figura 3: Representação da montagem do aparato experimental e instante inicial da oscilação após a inserção do bastão de calibração (azul) de comprimento igual a 0,840 m e eixo de referência (rosa).



Fonte: Captura de tela produzida no software *Tracker* (2025).

De forma geral, os procedimentos realizados foram os seguintes: O pêndulo foi deslocado manualmente da posição de repouso (levado em conta que o ângulo de deslocamento fosse menor que 10º), e em seguida, solto, livre para oscilar.

Em seguida, o vídeo registrado com o smartphone foi importado para o software Tracker. Houve o corte do vídeo, considerando o intervalo de tempo do movimento analisado.

Foi inserido um eixo de referência/ plano cartesiano, no eixo do fio do pêndulo. A calibragem dimensional do aparato experimental foi feita utilizando o "bastão de calibração" para que o software tenha uma referência de medida do objeto estudado.

Para a coleta de dados, optamos pela marcação manual, quadro a quadro, ao longo de 10 oscilações completas (fizemos a marcação manual tomando como referência aproximadamente o centro da bolinha no decorrer da sua trajetória).

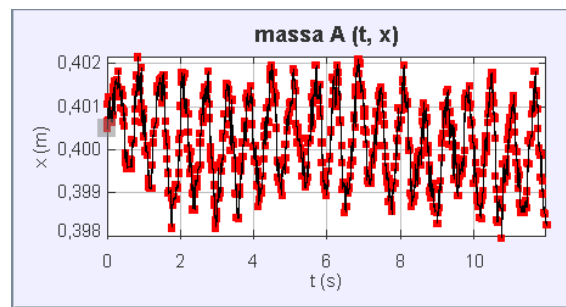
Figura 4: Detalhe da marcação manual no *Tracker*, tomando como referência o centro da bolinha.



Fonte: Captura de tela produzida no software *Tracker* (2025).

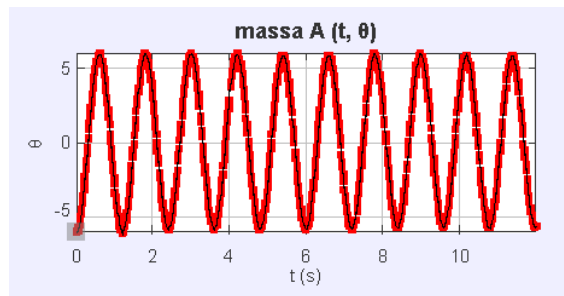
Os dados coletados foram organizados em um gráfico de posição em função do tempo $x(t)$, e posteriormente, o eixo de coordenadas foi rotacionado, a fim de analisar o gráfico a partir do ângulo de rotação $\theta(t)$ (que serviu de base para obter a frequência angular e por consequência o período de oscilação correspondente a cada comprimento). As figuras (5) e (6) mostram detalhes do gráfico da trajetória com base na posição $x(t)$ e ângulo de rotação $\theta(t)$.

Figura 5: Gráfico $x(t)$ após rotacionar o eixo de coordenadas em 90° no sentido horário, evidenciando a distorção provocada pela mudança de base.



Fonte: Captura de tela produzida no software *Tracker* (2025).

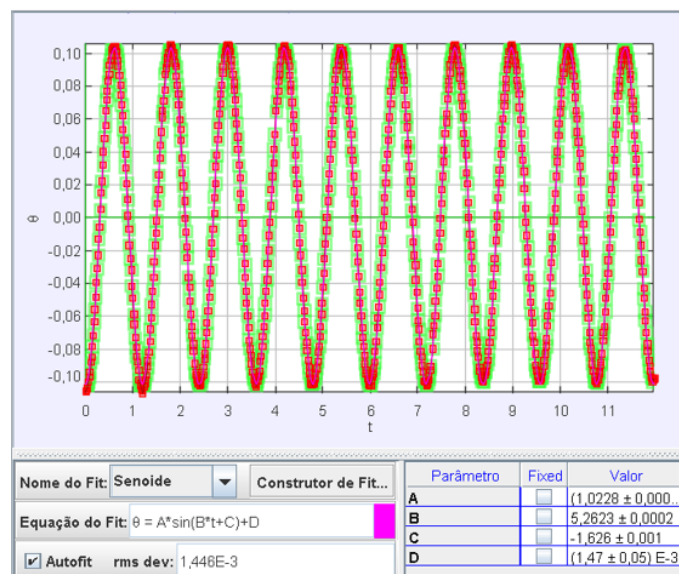
Figura 6: Representação do gráfico $\theta(t)$; após o gráfico $x(t)$ da figura (5) ser ajustado para ser analisado através do ângulo de rotação.



Fonte: Captura de tela produzida no software *Tracker* (2025).

A ilustração abaixo mostra o ajuste senoidal gerado após a coleta dos dados e os valores de cada parâmetro da função que descreve a trajetória do pêndulo. Sendo A, a amplitude angular, B, a frequência angular, C, a fase, e D, o deslocamento vertical da massa (não afeta no cálculo de g). A função senoidal associada ao gráfico é correspondente a equação (7) :

Figura 7: Representação do gráfico senoidal da figura (6) com a função trigonométrica ajustada pelo *Tracker*.



Fonte: Captura de tela produzida no software *Tracker* (2025).

Os valores de período obtidos e comprimentos correspondentes foram organizados em uma tabela, e com base na expressão teórica do pêndulo simples, foi possível relacionar o período ao quadrado (T^2) com o comprimento (L). Com esse objetivo, foi utilizado o software SciDAVis, que possibilitou a representação gráfica de $T^2 \times L$, e a determinação da equação da reta através do ajuste linear, possibilitando determinar o valor da aceleração gravitacional local.

4 Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados experimentais obtidos para o **comprimento do fio** (L), a **frequência angular** (ω)¹, o **período de oscilação** (T), o **quadrado do período** (T^2), o valor da **aceleração da gravidade experimental** (g_{exp}), assim como os **erros absoluto e relativo** associados a cada medida ².

Tabela 1: Valores experimentais de L , ω , T , T^2 e g obtidos com o software Tracker.

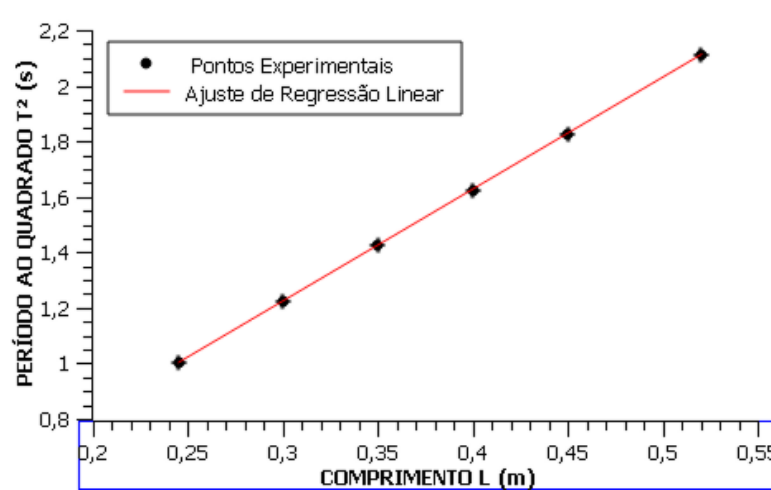
$L(m)$ $\pm 0,0005$	ω (rad/s) $\pm 0,0002/\pm 0,0003$	$T_{exp}(s)$ $\pm 0,0001$	T^2 (s ²) $\pm 0,0001$	$g_{exp}(m/s^2)$	$E_{abs}(m/s^2)$	$E_{rel}(\%)$
0,2450	6,2837	0,9999*	0,9998	9,6737	0,1263	1,29
0,3000	5,6810	1,1060	1,2232	9,6821	0,1179	1,20
0,3500	5,2623	1,1940	1,4256	9,6921	0,1079	1,10
0,4000	4,9345	1,2733	1,6213	9,7397	0,0603	0,62
0,4500	4,6489	1,3515	1,8267	9,7255	0,0745	0,76
0,5200	4,3244	1,4530	2,1111	9,7242	0,0758	0,77

Fonte: Autor (2025).

É possível notar, que a medida em que o comprimento L do fio aumenta, o período de oscilação também cresce e por consequência a frequência angular ω diminui, estando em concordância com o comportamento previsto pela teoria do pêndulo simples. A relação observada entre L e T indica que o período do movimento oscilatório é proporcional à raiz quadrada do comprimento do fio.

A partir dos dados de T e L , foi construído pelo software SciDavis o gráfico $T^2 \times L$, conforme apresentado abaixo.

Figura 8: Ilustração do gráfico de dados experimentais ($T^2 \times L$) gerado pelo software SciDAVis a partir dos dados de T e L da Tabela 1.



Fonte: Captura de tela produzida no software SciDAVis (2025).

¹Os valores de ω exibidos na Tabela 1 estão relacionados aos ajustes realizados pelo software Tracker, e as incertezas associadas foram de $\pm 0,0003$ rad/s para os comprimentos de 0,2450 m e 0,3000 m e de $\pm 0,0002$ rad/s para os demais comprimentos analisados. Os valores de ω foram utilizados para determinar T através da equação (9).

²Para o comprimento de 0,245 m, a incerteza de T foi expressa com 5 casas decimais devido à precisão do software Tracker.

O ajuste de regressão linear forneceu a seguinte equação da reta:

$$Y = (4,0314 \pm 0,0006)L + (0,0127 \pm 0,0002), \quad (11)$$

com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9999$, indicando excelente correlação entre as variáveis. Para fins de registro e validação da equação (11), os resultados do ajuste linear do gráfico $T^2 \times L$ pode ser visualizado na ilustração abaixo:

Figura 9: Resultados do ajuste linear do gráfico $T^2 \times L$ fornecido pelo SciDAVis.

```
[mardi 4 novembre 2025 16:07:52 Hora oficial do Brasil Plot:
"Graph6"]
Linear Regression fit of dataset: Table1_Período ao quadrado T²
(s), using function: A*x+B
Y standard errors: Associated dataset (Table1_Incerteza de T²
(s))
From x = 0,245 to x = 0,52
B (y-intercept) = 0,0126780276165426 +/- 0,0002219017454408
A (slope) = 4,03141691673377 +/- 0,000626486143120154
-----
-----
Chi² = 1436,54394635849
R² = 0,999965309435935
```

Fonte: Captura de tela produzida no software SciDAVis (2025).

Em que "A (slope)" é o coeficiente angular, "B (y-intercept)" é o coeficiente linear e R^2 , o coeficiente de correlação. Os valores obtidos de A e B foram utilizados para determinar a função linear mostrada na equação (11).

A equação (5) pode ser reorganizada como:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g}L. \quad (12)$$

Comparando as expressões (11) e (12), é possível evidenciar o valor do coeficiente angular correspondente ao termo $(4\pi^2/g)$, que possibilitou calcular a aceleração da gravidade experimental local, de modo que:

$$g_{exp.local} = 9,794 \pm 0,002 \text{ m/s}^2. \quad (13)$$

Com base no valor de referência $g_{teo} \cong 9,8 \text{ m/s}^2$, em relação ao resultado obtido em (13), temos um erro relativo de aproximadamente 0,061 %, o que evidencia coerência e precisão experimental.

Tal discrepância se deve a fatores experimentais, como por exemplo: incertezas na medida do comprimento do fio, imprecisão na marcação manual dos pontos no *Tracker*, limitação da taxa de quadros da câmera no registro do movimento, arredondamento de cálculos, dissipação de energia (atrito do ar, torção do fio), etc.

Contudo, a incerteza associada ao valor experimental de g se mostrou pequena, indicando que houve consistência na coleta de dados, validando o modelo teórico do pêndulo simples para pequenos deslocamentos.

Os resultados apontam que o uso dos softwares *Tracker* e SciDAVis foram eficientes para a análise quantitativa do experimento, proporcionando a determinação da aceleração gravitacional local.

5 Conclusão

O experimento realizado possibilitou determinar o módulo da aceleração gravitacional local, com base na teoria do pêndulo simples, utilizando o *software Tracker*. A partir do registro e análise do movimento oscilatório, foram obtidos os valores do período para diferentes comprimentos de fio e , com isso, estabelecer a relação linear entre T^2 e L , conforme previsto pela teoria.

O valor experimental obtido para a aceleração da gravidade foi de $g_{exp.local} = 9,794 \pm 0,002 m/s^2$, havendo concordância com o valor de referência acadêmico. Essa diferença pode ser atribuída a incertezas experimentais e limitações do método experimental.

Diante do exposto, é possível aferir que os objetivos propostos foram alcançados, sustentando a eficiência do método de videoanálise para a investigação de fenômenos físicos (em especial no âmbito de ensino básico). A utilização do *Tracker* demonstrou ser uma ferramenta didática relevante, capaz de auxiliar na compreensão do movimento oscilatório e na determinação experimental de grandezas e parâmetros físicos.

Referências

- BASSALO, José Maria Filardo. **Osciladores Harmônicos Clássicos e Quânticos**. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2009.
- BROWN, Douglas; CHRISTIAN, Wolfgang; HANSON, Robert M. **Tracker: Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education**. 2025. <<https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/>>. Acesso em: 30/10/2025.
- COSTA, Maxmyller Rezende. **Avaliação e ensino de ondulatória, acústica e movimento harmônico simples usando contexto musical e jogo de tabuleiro**. 88 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) — Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica. Volume 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2018. Livro eletrônico.
- PARREIRA, Júlia Esteves. Um curso de mecânica com o uso do programa de vídeo-análise tracker. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 980–1003, 2018.
- ROQUE, Antônio. **Figura do sistema massa-mola**. 2023. In: *Sistema massa-mola e o movimento harmônico simples* [Material de aula]. 5910236 - Física II (Q) Aula 1 - Sistema massa-mola e MHS. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/docs/sistema-massa-mola-e-movimento-harmonico-simples/10563250/>>.
- SANTOS, Paulo Vinicius Brito dos. **Estudo sistemático de oscilações mecânicas unidimensionais**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) — Instituto de Matemática e Estatística, Centro de Tecnologia e Ciência, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- SILVA, Lorena Ferreira; FERRAZ, Avenida Marcondes; MIRANDA, Welber Leal de Araújo. **Estudo de oscilações com videoanálise: aplicações para o ensino de Física experimental nas engenharias**. In: **Anais do XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE)**. Salvador, Bahia: Universidade Estadual da Bahia, 2018.

SILVEIRA, Fernando Lang da. Determinando a aceleração gravitacional. **Revista de Enseñanza de la Física**, Córdoba, v. 10, n. 2, p. 29–35, 1995. Versão traduzida pelo autor. Acessado em: 30/11/25. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/GRAVIDADE.pdf>>.

THORNTON, Stephen T; MARION, Jerry B. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas**. [S.l.]: Cengage Learning, 2011.

UZÊDA, Diego Dias. **Tópicos em Mecânica Clássica**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.