UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SERGIPE

LABORATÓRIO DE FÍSICA 1

CARLOS AUGUSTO SANTOS DE CARVALHO

GUILHERME MENEZES DE AZEVEDO

NÍCKOLAS FELIPE PAULINO SANTOS

ERLANDSON DA SILVA PESSOA JÚNIOR

BERNARDO SILVA LUZ

RELATÓRIO

Determinação Experimental da Gravidade

Aracaju, Sergipe

02/03/2023

1. Introdução

A Teoria da Gravidade foi criada por Isaac Newton (1643 - 1727) durante a quarentena da Peste Bubônica, sendo aperfeiçoada por Albert Einstein (1879 - 1955) mais à frente. Newton concluiu a existência de uma força de atração mútua entre todos corpos, o qual ela dependeria das massas dos seus respectivos corpos.[1]

A gravidade é um fenômeno natural fundamental para a vida no Planeta Terra. Sem ela, os gases seriam expelidos para o espaço, pois ela é uma força que atrai corpos físicos.

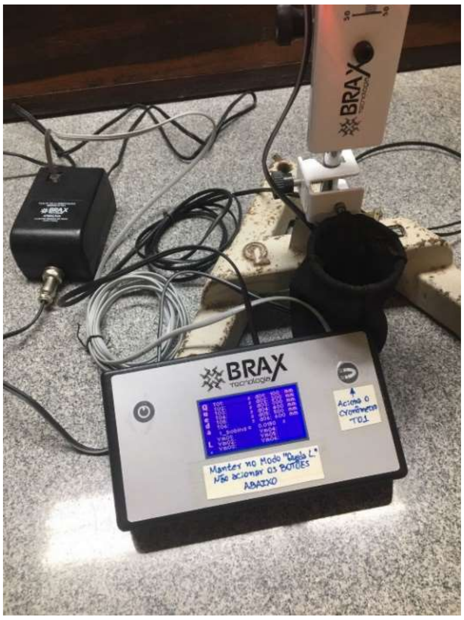
A aceleração da gravidade é fundamental para a vida, pois ela é responsável por manter gases e corpos presos na superfície da Terra. A medida dessa aceleração ao nível do mar é 9,8 m/s², podendo variar de acordo com a altura. [2]

2. Objetivo

Determinar o valor da gravidade a partir do estudo do movimento de Queda Livre de um corpo e realizar um gráfico parabólico da altura x tempo, utilizando fórmulas de movimento vertical e também o cálculo de incertezas e de desvio padrão.

3. Materiais

Eletroímã; Esfera de aço; Fonte de tensão; Abraçadeiras; Fios diversos; Régua com marcadores (Incerteza Instrumental de 1 mm); Cronômetro digital (Incerteza Instrumental de 0,0001 s); Base de apoio; Haste de sustentação.



4. Procedimento

- Métodos:

1. Medimos a altura de queda do objeto a partir do solo, usando a régua.
2. Deixamos o objeto cair de 8 alturas diferentes medidas, cronometrando o tempo que leva para chegar ao solo.
3. Repetimos o procedimento várias vezes, para obter uma média mais precisa do tempo de queda.
4. Registramos as medições de altura e tempo em uma tabela.

- Representação das Medidas:

(média da grandeza ± incerteza) unidade da medida

- Valor médio da grandeza:

$$\bar{x} = \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i$$

- Desvio Padrão da grandeza:

$$D_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

- Incerteza do Valor Médio:

$$\sigma_a = \frac{D_p}{\sqrt{n}}$$

- Incerteza Instrumental:

$\sigma_b =$ Menor medição do instrumento

- Incerteza Absoluta:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

- Incerteza Relativa:

$$IR\% = \frac{\sigma_C}{\bar{x}} \times 100$$

- Erro:

Erro = valor médio - valor real

- Propagação de Incertezas:

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{df}{da} \cdot \sigma_a\right)^2 + \left(\frac{df}{db} \cdot \sigma_b\right)^2 + \cdots + \left(\frac{df}{dz} \cdot \sigma_z\right)^2}$$

Onde, o símbolo $\frac{df}{da}$ representa a derivada parcial de f em relação a, ou seja, a derivada da função f quando apenas a é tomada como variável, e b, c, ..., z são consideradas constantes. E σ_a , σ_b, ..., σ_z são os desvios padrões da variável correspondente. [3]

- Fórmula para a Experiência de “Queda Livre”:

$$h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v = -g \cdot t$$

5. Dados Coletados:

Informações coletadas e adaptadas na tabela abaixo:

	h (mm)	σb (mm)	Medida 1 (s)	Medida 2 (s)	Medida 3 (s)	Medida 4 (s)	Medida 5 (s)	tempo médio	σa (s)	σb (s)	σc (s)	DPM	VALOR FINAL
altura 1	100 mm	1 mm	0,1484 s	0,1684 s	0,1503 s	0,1447 s	0,1641 s	0,154180 s	0,005108	0,0001	0,005109	0,011421	(0,154 ± 0,005) s
altura 2	200 mm	1 mm	0,1989 s	0,2123 s	0,2128 s	0,2031 s	0,1985 s	0,205120 s	0,003139	0,0001	0,003141	0,00702	(0,205 ± 0,003) s
altura 3	300 mm	1 mm	0,2465 s	0,2510 s	0,2491 s	0,2500 s	0,2445 s	0,248220 s	0,001193	0,0001	0,001197	0,002668	(0,248 ± 0,001) s
altura 4	400 mm	1 mm	0,2845 s	0,2847 s	0,2869 s	0,2882 s	0,2929 s	0,287440 s	0,00153	0,0001	0,001533	0,003422	(0,287 ± 0,002) s
altura 5	500 mm	1 mm	0,3158 s	0,3188 s	0,3278 s	0,3170 s	0,3187 s	0,319620 s	0,00212	0,0001	0,002122	0,00474	(0,319 ± 0,002) s
altura 6	600 mm	1 mm	0,3458 s	0,3483 s	0,3476 s	0,3474 s	0,3673 s	0,351280 s	0,004026	0,0001	0,004027	0,009002	(0,351 ± 0,004) s
altura 7	700 mm	1 mm	0,3745 s	0,3762 s	0,3792 s	0,3787 s	0,3877 s	0,379260 s	0,002276	0,0001	0,002278	0,005089	(0,379 ± 0,002) s
altura 8	800 mm	1 mm	0,4029 s	0,4056 s	0,4099 s	0,4029 s	0,4237 s	0,409000 s	0,003892	0,0001	0,003893	0,008702	(0,409 ± 0,004) s

6. Cálculo dos Valores Médios e Incertezas

Calculamos os valores médios dos 5 tempos nas 8 alturas, logo depois calculamos o desvio padrão para cada valor médio e encontramos enfim a Incerteza Estatística (σ_a) e com a Incerteza Instrumental (σ_b) encontramos a Incerteza do valor Médio (σ_c) e suas respectivas Incertezas Relativas.

Segue abaixo demonstração dos cálculos:

Altura 1 = 100 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,1484 s

2ª medição: 0,1684 s

3ª medição: 0,1503 s

4ª medição: 0,1447 s

5ª medição: 0,1641 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0{,}154180\ s\ ;\ \sigma_b = 0{,}0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0{,}011421$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0{,}005108$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0{,}005109$$

$$t = (0{,}154 \pm 0{,}005)\ s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0{,}005}{0{,}154} = 0{,}0324 = 3{,}24\%$

Altura 2 = 200 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,1989 s

2ª medição: 0,2123 s

3ª medição: 0,2128 s

4ª medição: 0,2031 s

5ª medição: 0,1985 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0{,}205120\ s\ ;\ \sigma_b = 0{,}0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0{,}00702$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0{,}003139$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0{,}003141$$

$$t = (0{,}205 \pm 0{,}003)\ s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0{,}003}{0{,}205} = 0{,}0146 = 1{,}46\%$

Altura 3 = 300 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,2465 s

2ª medição: 0,2510 s

3ª medição: 0,2491 s

4ª medição: 0,2500 s

5ª medição: 0,2445 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0{,}248220\ s\ ;\ \sigma_b = 0{,}0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0{,}002668$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0{,}001193$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0{,}001197$$

$$t = (0{,}248 \pm 0{,}001)\ s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0{,}001}{0{,}248} = 0{,}004 = 0{,}4\%$

Altura 4 = 400 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,2845 s

2ª medição: 0,2847 s

3ª medição: 0,2869 s

4ª medição: 0,2882 s

5ª medição: 0,2929 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0{,}287440\ s\ ;\ \sigma_b = 0{,}0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0{,}003422$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0{,}00153$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0{,}001533$$

$$t = (0{,}287 \pm 0{,}002)\ s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0{,}002}{0{,}287} = 0{,}0069 = 0{,}69\%$

Altura 5 = 500 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,3158 s

2ª medição: 0,3188 s

3ª medição: 0,3278 s

4ª medição: 0,3170 s

5ª medição: 0,3187 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0{,}319620\ s\ ; \sigma_b = 0{,}0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0{,}00474$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0{,}00212$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0{,}002122$$

$$t = (0{,}319 \pm 0{,}002)\ s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0{,}002}{0{,}319} = 0{,}0062 = 0{,}62\%$

Altura 6 = 600 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,3458 s

2ª medição: 0,3483 s

3ª medição: 0,3476 s

4ª medição: 0,3474 s

5ª medição: 0,3673 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0,351280\ s\ ;\ \sigma_b = 0,0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0,009002$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0,004026$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0,004027$$

$$t = (0,351 \pm 0,004)s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0,004}{0,351} = 0,0113 = 1,13\%$

Altura 7 = 700 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,3745 s

2ª medição: 0,3762 s

3ª medição: 0,3792 s

4ª medição: 0,3787 s

5ª medição: 0,3877 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0{,}379260\ s\ ;\ \sigma_b = 0{,}0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0{,}005089$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0{,}002276$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0{,}002278$$

$$t = (0{,}379 \pm 0{,}002)s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0{,}002}{0{,}379} = 0{,}0052 = 0{,}52\%$

Altura 8 = 800 mm ; $\sigma b = 1mm$; n = 5 valores

1ª medição: 0,4029 s

2ª medição: 0,4056 s

3ª medição: 0,4099 s

4ª medição: 0,4029 s

5ª medição: 0,4237 s

$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t4+t_5}{5} \Rightarrow \bar{t} = 0{,}409\ s\ ;\ \sigma_b = 0{,}0001$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(t_1-\bar{t})^2+(t_2-\bar{t})^2+(t_3-\bar{t})^2+(t_4-\bar{t})^2+(t_5-\bar{t})^2}{n-1}} \Rightarrow Dp = 0{,}008702$$

$$\sigma_a = \frac{Dp}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_a = 0{,}003892$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \Rightarrow \sigma_c = 0{,}003893$$

$$t = (0{,}409 \pm 0{,}004)s$$

Incerteza Relativa = $\frac{0{,}004}{0{,}409} = 0{,}0097 = 0{,}97\%$

7. Cálculo da Incerteza das alturas

Nesse tópico iremos abordar o cálculo das alturas. Temos as alturas experimentais que são 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm, 600 mm, 700 mm, 800 mm. Contudo, devemos calcular as alturas teóricas que serão abordados logo mais no gráfico plotado pelo Sci-Davies. E consideramos como a gravidade no experimento como - 9,78 m/s².

Dessa forma, podemos exprimir o seguinte:

Altura 1 Experimental: $(100 \pm\ 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}154 \pm 0{,}005)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}154)^2}{2} \Rightarrow h \approx 0{,}116m \Rightarrow 116\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \Rightarrow \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\Rightarrow \sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}154 \cdot 0{,}005 \Rightarrow \sigma_h = 0{,}0075306$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}116 \pm 0{,}008)\ m$

Altura 2 Experimental: $(200 \pm 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}205 \pm 0{,}003)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}205)^2}{2} \Rightarrow h \approx 0{,}206m \Rightarrow 206\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \Rightarrow \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\Rightarrow \sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}205 \cdot 0{,}003 \Rightarrow \sigma_h = 0{,}0060147$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}206 \pm 0{,}006)\ m$

Altura 3 Experimental: $(300 \pm\ 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}248 \pm 0{,}001)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}248)^2}{2} \Rightarrow h \approx 0{,}301m \Rightarrow 301\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \Rightarrow \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\Rightarrow \sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}248 \cdot 0{,}001 \Rightarrow \sigma_h = 0{,}00242544$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}301 \pm 0{,}002)\ m$

Altura 4 Experimental: $(400 \pm 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}287 \pm 0{,}002)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}287)^2}{2} \qquad h \approx 0{,}403m \qquad 403\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \qquad \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}287 \cdot 0{,}002 \qquad \sigma_h = 0{,}00561372$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}403 \pm 0{,}006)\ m$

Altura 5 Experimental: $(500 \pm\ 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}319 \pm 0{,}002)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}319)^2}{2} \Rightarrow h \approx 0{,}498m \Rightarrow 498\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \Rightarrow \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\Rightarrow \sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}319 \cdot 0{,}002 \Rightarrow \sigma_h = 0{,}00623964$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}498 \pm 0{,}006)\ m$

Altura 6 Experimental: $(600 \pm\ 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}351 \pm 0{,}004)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}351)^2}{2} \quad h \approx 0{,}602m \quad 602\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \quad \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}351 \cdot 0{,}004 \quad \sigma_h = 0{,}01373112$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}602 \pm 0{,}014)\ m$

Altura 7 Experimental: $(700 \pm\ 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}379 \pm 0{,}002)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}379)^2}{2} \Rightarrow h \approx 0{,}702m \Rightarrow 702\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \Rightarrow \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\Rightarrow \sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}379 \cdot 0{,}002 \Rightarrow \sigma_h = 0{,}00741324$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}702 \pm 0{,}007)\ m$

Altura 8 Experimental: $(800 \pm\ 1)\ mm$

Tempo calculado: $(0{,}409 \pm 0{,}004)\ s$

Usando a Fórmula: $h = h_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Encontramos a altura teórica como sendo:

$$h = \frac{9{,}78 \cdot (0{,}409)^2}{2} \Rightarrow h \approx 0{,}818m \Rightarrow 818\ mm$$

Usando a Fórmula de Propagação de Incertezas podemos achar a Incerteza dessa altura teórica encontrada:

$$\sigma_h = \frac{dh}{dt} \cdot \sigma_t \Rightarrow \sigma_h = \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)' \cdot \sigma_t$$

$$\Rightarrow \sigma_h = g \cdot \bar{t} \cdot \sigma_t$$

Dessa forma, a Incerteza de h será calculado dessa forma:

$$\sigma_h = 9{,}78 \cdot 0{,}409 \cdot 0{,}004 \Rightarrow \sigma_h = 0{,}016000008$$

Então temos a seguinte altura teórica: $(0{,}818 \pm 0{,}016)\ m$

8. Análise

Ao analisar os resultados obtidos, podemos observar que o tempo de queda aumenta à medida que a altura de queda aumenta. Isso ocorre porque a velocidade do objeto aumenta à medida que cai, devido à aceleração da gravidade.

Usando a equação: $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ podemos rearranjar da seguinte forma:

$g = \frac{2 \cdot h}{t^2}$.

Substituindo os valores h e t com os resultados das alturas experimentais e os tempos médios podemos estimar a gravidade:

- Altura 1: $g = \frac{2 \cdot 0{,}1}{0{,}154^2} \Rightarrow g \approx 8{,}43\ m/s^2$
- Altura 2: $g = \frac{2 \cdot 0{,}2}{0{,}205^2} \Rightarrow g \approx 9{,}51\ m/s^2$

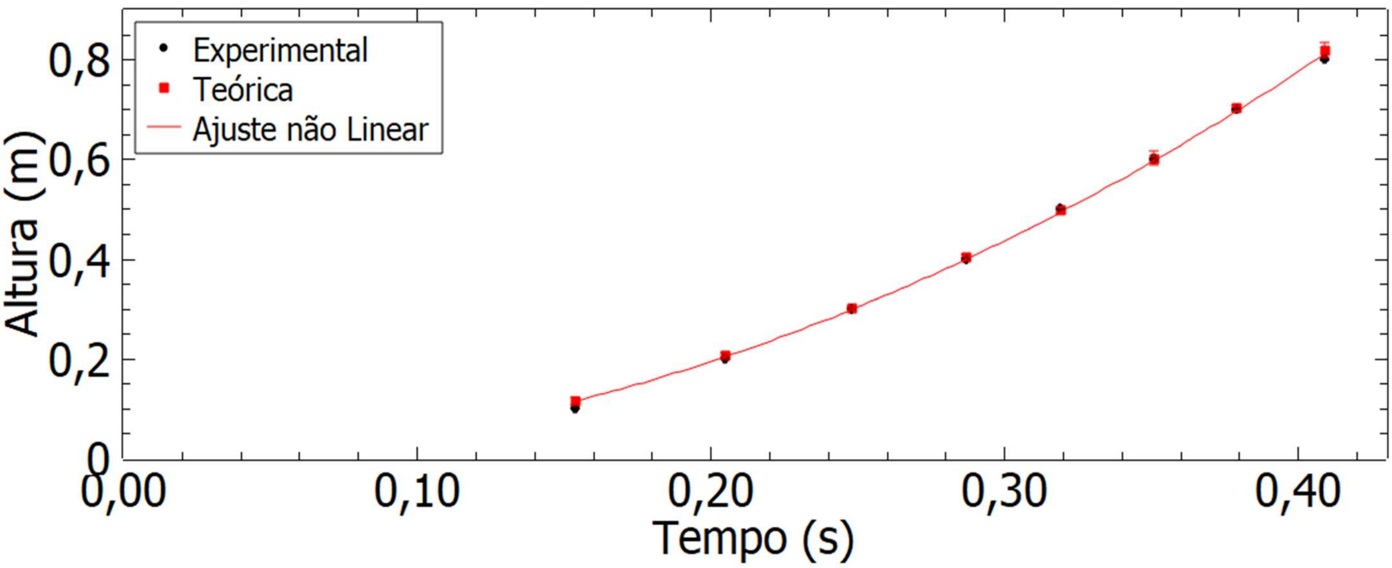
- Altura 3: $g = \frac{2 \cdot 0{,}3}{0{,}248^2} \Rightarrow g \approx 9{,}75\ m/s^2$
- Altura 4: $g = \frac{2 \cdot 0{,}4}{0{,}287^2} \Rightarrow g \approx 9{,}71\ m/s^2$
- Altura 5: $g = \frac{2 \cdot 0{,}5}{0{,}319^2} \Rightarrow g \approx 9{,}82\ m/s^2$
- Altura 6: $g = \frac{2 \cdot 0{,}6}{0{,}351^2} \Rightarrow g \approx 9{,}74\ m/s^2$
- Altura 7: $g = \frac{2 \cdot 0{,}7}{0{,}379^2} \Rightarrow g \approx 9{,}75\ m/s^2$
- Altura 8: $g = \frac{2 \cdot 0{,}8}{0{,}409^2} \Rightarrow g \approx 9{,}57\ m/s^2$

9. Gráfico no Sci-Davies

- Resultado com o ajuste não linear com a gravidade sendo a * x²:

```
[domingo, 26 de fevereiro de 2023 15:46:46 Hora oficial do Brasil  Plot: "Graph1"]
Non-linear fit of dataset: Table1_altura experimental, using function: a*x*x
Y standard errors: Unknown
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0,0001
From x = 0,154 to x = 0,409
a  = 4,84057740025716 +/- 0,0263390772694432
---------------------------------------------------------------------------------
Chi^2 = 0,000422712475702679
R^2 = 0,999792788002107
---------------------------------------------------------------------------------
Iterations = 1
Status = success
---------------------------------------------------------------------------------
```

- Gráfico do Ajuste não Linear:



10. Conclusão

A partir da utilização de equipamentos laboratoriais, foram realizadas diversas medições do tempo de queda de um objeto em diferentes alturas. Utilizando as informações coletadas, o grupo foi capaz de estimar o valor da aceleração gravitacional, $g = 2 \cdot a$ e $a \approx 4{,}84$, será $g = 9{,}68 \frac{m}{s^2}$ e para calcular a incerteza na gravidade, podemos utilizar a fórmula de propagação de incertezas: $\sigma_g = 2 \cdot \sigma_\alpha$, com isso encontramos que $\sigma_g = 2 \cdot 0{,}026339$, então $\sigma_g = 0{,}052678\, m/s^2$ Sendo assim, aproximação não linear realizada no Sci-Davies encontramos a gravidade sendo aproximadamente:

$$\boldsymbol{(9,68 \pm 0,05)\ m\ /\ s^2}$$

Encontramos o Erro Relativo considerando a gravidade como sendo **9,78 m/s²** achamos: $\boldsymbol{E_R = 9,68 - 9,78 = -0,1\ x\ 100 = -10\%}$

Esse valor foi obtido por meio de cálculos de queda livre que levaram em consideração os valores obtidos com o experimento, bem como suas respectivas incertezas. Os resultados foram plotados em um gráfico utilizando o software Sci-Davis, o que permitiu uma aproximação do valor da gravidade. Contudo, é importante ressaltar que as incertezas dos instrumentos e interferências externas devem ser consideradas na análise. Com base nesse experimento, o grupo adquiriu conhecimentos sobre o manuseio de instrumentos como o eletroímã e o cronômetro digital, além de reforçar o entendimento sobre cálculo de incertezas e queda livre.

11. Referências

Enrique, Qual a importância da gravidade para a vida no planeta Terra, disponível em:

[1] <https://planetariodevitoria.org/espaco/qual-a-importancia-da-gravidade-para-a-vida-no-planeta-terra.html>, acesso em 16/02/2023

[2] Rafael C. Asth, Gravidade, disponível em:<https://www.todamateria.com.br/gravidade/>, acesso em 16/02/2023

[3] <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/guias/roteiro_incertezas_2015.pdf>, acesso em 17/02/2023