

## Trabalho 4A - Estudo do Movimento Pendular

Salome' Gomes, Grupo 8, PL6

29/04/2022

### Objetivos

- Estudo experimental do movimento pendular.
- Determinação da aceleração gravítica

### Material

- painel vertical com transdutor e sistema de fixação do pêndulo
- esferas com diferentes massas
- fio de nylon
- cronómetro
- balança digital

### Procedimento

#### Experiência 1

Obj - estudar o efeito da massa <sup>da esfera</sup> no período do pêndulo (comprimento,  $L$ , e amplitude,  $\theta_0$ , fixos)

- 1) ☒ Selecionar 3 esferas e pesá-las na balança digital ( $m_1, m_2, m_3$ )
- 2) ☒ Premer a esfera na extremidade do fio e ajustar o seu comprimento ( $L$ ), ~~que não deverá variar para as repetições com as restantes esferas~~ que não deverá variar para as repetições com as restantes esferas
- 3) ☒ afastar <sup>a esfera</sup> um ângulo  $\theta_0$  (igual para as 3 esferas) da posição de equilíbrio
- 4) ☒ largar a esfera e iniciar a contagem de tempo no cronómetro
- 5) ☒ Medir o tempo correspondente a 10 oscilações da esfera ( $t_i$ )
- 6) ☒ Realizar 3 ensaios para cada esfera

Cuidado: Fio esticado e paralelo ao painel no momento da largada

Ao alterar as massas, é necessário ajustar o fio, já que  $L$  será a soma do comprimento do fio e metade do diâmetro das esferas

### Experiência 2

Obj. - estudar o efeito da amplitude de oscilação no período (mas-  
sa,  $m$ , e comprimento,  $L$ , fixos)

- 1) ☒ Escolher uma esfera e pendê-la na extremidade do fio, me-  
dindo o comprimento ( $L$ )
- 2) ☒ Medir o período de oscilação, da mesma forma que na expe-  
riência 1, para diferentes amplitudes iniciais,  $\theta_0$ . (efetuar 3 en-  
saios para cada amplitude)

Cuidados: Fio esticado e paralelo ao painel no momen-  
to da largada

Para  $\theta_0$  maiores, medir ~~um menor número de~~  
o tempo correspondente a um menor número de  
oscilações

### Experiência 3

Obj. - estudar o efeito do comprimento do pêndulo no seu perí-  
odo, para pequenas oscilações (massa,  $m$ , e ~~ampli-~~  $\theta_0 < 5^\circ$  ~~ampli-~~  
tude,  $\theta_0$ , fixos)

- ~~o~~ calcular a aceleração ~~g~~ gravítica,  $g$

- 1) ☒ Escolher uma esfera e pendê-la na extremidade do fio.
- 2) ☒ Medir o período de oscilação, como na experiência 1, para  
diferentes comprimentos do fio,  $L$  (sempre para a mesma  
amplitude  $\theta_0$ ) - efetuar 3 ensaios para cada comprimento

Cuidados: Fio esticado e paralelo ao painel no momento da largada

# Registro na aula

## Experiência 1

$$m_1 = (29,7 \pm 0,01)g$$

$$m_2 = (68,09 \pm 0,01)g$$

$$m_3 = (43,19 \pm 0,01)g$$

Foi medido o tempo ( $t_i$ ) de  
10 oscilações

↓

$$T_i = \frac{t_i}{10}$$

$$L = (57,20 \pm 0,05)cm$$

$$\theta = (5,0 \pm 0,5)^\circ$$

Massa	Ensaio	$t_i$ (s) $\pm 0,01s$	<del><math>T_i</math> (s) <math>\pm 0,01s</math></del>
1	1	15,2	<del>1,52</del>
	2	14,9	
	3	15,2	
2	1	15,1	
	2	15,3	
	3	15,3	
3	1	15,3	
	2	15,4	
	3	15,2	

~~Como o sistema é um pêndulo leve, o valor para a diferença~~

## Experiência 2

$$m = m_2$$

comprimento do fio

$$L' = (56,50 \pm 0,05)cm$$

$$d = (2,475 \pm 0,001)cm$$

diâmetro da massa

$\theta_i$ (°) $\pm 0,5^\circ$	Ensaio	$t_i$ (s) $\pm 0,1s$	número de oscilações	$T_i$ (s) $\pm 0,01s$
2,0	1	14,8	10	1,48
	2	15,2		1,52
	3	15,4		1,54
4,0	1	15,4	10	1,54
	2	15,3		1,53
	3	15,2		1,52
6,0	1	15,3	10	1,53
	2	15,4		1,54
	3	15,4		1,54

$\theta_0(^{\circ}) \pm 0,5$	Ensaio	$t_i(s) \pm 0,1$	número de oscilações	$T_i(s)$
8,0	1	15,2	10	$1,52 \pm 0,01$
	2	15,4		$1,54 \pm 0,01$
	3	15,3		$1,53 \pm 0,01$
10,0	1	15,3	10	$1,53 \pm 0,01$
	2	15,3		$1,53 \pm 0,01$
	3	15,2		$1,51 \pm 0,01$
20,0	1	15,5	10	$1,55 \pm 0,01$
	2	15,4		$1,54 \pm 0,01$
	3	15,5		$1,55 \pm 0,01$
30,0	1	8,0	5	$1,60 \pm 0,02$
	2	7,7		$1,54 \pm 0,02$
	3	7,8		$1,56 \pm 0,02$
40,0	1	7,8	5	$1,56 \pm 0,02$
	2	7,9		$1,58 \pm 0,02$
	3	7,9		$1,58 \pm 0,02$
50,0	1	<del>8,0</del> 4,7	3	$1,57 \pm 0,03$
	2	4,8		$1,60 \pm 0,03$
	3	5,0		<del>1,60 <math>\pm</math> 0,03</del> $1,67 \pm 0,03$
60,0	1	5,0	3	$1,67 \pm 0,03$
	2	5,1		$1,70 \pm 0,03$
	3	5,0		$1,67 \pm 0,03$

~~Para ângulos de oscilação mais pequenos os valores obtidos são~~

Para ângulos de oscilação mais pequenos ( $< 10^{\circ}$ ) os valores obtidos para o período são semelhantes, ~~pois~~ começando depois a aumentar para ângulos maiores. Assim, na experiência 3, devemos ter amplitudes de oscilação ~~inferiores~~ pequenas, preferencialmente inferiores.

# Experiência 3

$$m = m_2$$

$$\theta_0 = (4,0 \pm 0,5)^\circ$$

$$L' \text{ (cm)}$$

$L' \rightarrow$  comprimento do fio

$$d = (2,475 \pm 0,001) \text{ cm}$$

10 oscilações

$L' \text{ (cm)}$	Ensaio	$t_i \text{ (s)}$ $\pm 0,1 \text{ s}$	$T_i \text{ (s)}$ $\pm 0,01 \text{ (s)}$
60,0	1	15,8	1,58
	2	15,8	1,58
	3	15,4	1,54
55,0	1	15,2	1,52
	2	15,2	1,52
	3	15,1	1,52
50,0	1	14,5	1,45
	2	14,5	1,45
	3	14,4	1,44
45,0	1	13,7	1,37
	2	13,8	1,38
	3	13,7	1,37
40,0	1	12,9	1,29
	2	13,0	1,30
	3	13,1	1,31
35,0	1	12,2	1,22
	2	12,2	1,22
	3	12,0	1,20
30,0	1	11,4	<del>1,14</del> 1,14
	2	11,3	1,13
	3	11,4	<del>1,14</del> 1,14
25,0	1	<del>10,4</del> 10,4	1,04
	2	10,4	1,04
	3	<del>10,2</del> 10,2	1,02
20,0	1	15,5	1,55
	2	15,5	1,55
	3	15,5	1,55
15,0	1	14,9	1,49
	2	14,8	1,48
	3	14,8	1,48

$L$	Experiência	$t_p(s) \pm 0,1s$	$T_p(s) \pm 0,01s$
47,5	1	14,2	1,42
	2	14,2	1,42
	3	14,1	1,41
42,5	1	13,5	1,35
	2	13,4	1,35
	3	13,1	1,35
37,5	1	12,7	1,27
	2	12,8	1,28
	3	12,6	1,26
32,5	1	11,7	1,17
	2	11,8	1,18
	3	11,7	1,17
27,5	1	10,7	1,07
	2	10,9	1,09
	3	10,8	1,08
22,5	1	10,0	1,00
	2	9,9	0,99
	3	10,0	1,00

### Análise de dados

#### Experiência 1

- $m_1 = (29,71 \pm 0,01)g$
- $m_2 = (68,09 \pm 0,01)g$
- $m_3 = (43,19 \pm 0,01)g$

} Massas utilizadas

O comprimento ~~do fio~~ do pêndulo, correspondente ao comprimento do fio ~~do gancho~~ mais o fio do gancho ~~e~~ metade do diâmetro (no caso das esferas) ou metade da altura (no caso do cilindro) foi  $L = (57,020 \pm 0,05)cm$

O ângulo de oscilação foi  $\theta = (5,0 \pm 0,5)^\circ$





Como foi medido o tempo,  $t_i$ , de 10 oscilações do pêndulo,  $T_i = \frac{t_i}{10}$ .

Logo,  ~~$u(T_i)$~~   $u(T_i) = \sqrt{\left(\frac{\partial T_i}{\partial t_i} u(t_i)\right)^2} = \frac{u(t_i)}{10} = \frac{0,1}{10} = 0,01$

~~Para cada massa~~

Tabela 1:

Massa	Ensaio	$t_i$ (s) $\pm 0,1$	$T_i$ (s) $\pm 0,01$	$\bar{T}_i$ (s)	$u(T_i)/s$
1	1	15,2	1,52	1,51	0,02
	2	14,9	1,49		
	3	15,2	1,52		
2	1	15,1	1,51	1,52	0,02
	2	15,3	1,53		
	3	15,3	1,53		
3	1	15,3	1,53	1,53	0,01
	2	15,4	1,54		
	3	15,2	1,52		

$\bar{T}_i$  corresponde à média dos valores obtidos para o período em cada um dos 3 ensaios realizados para cada ~~uma~~ massa.

A incerteza na média é calculada, para cada massa, pela seguinte fórmula:

$$u(\bar{T}_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (T_{ij} - \bar{T}_i)^2}$$

em que  $j$  corresponde ao número do ensaio

Como podemos ver, os valores <sup>médios</sup> obtidos para o período, para as diferentes massas, não se mantêm constante, o que seria de esperar porque este não depende da massa do objeto ( $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ).

Esta variação pode dever-se, por exemplo, a ~~uma~~ <sup>pequena</sup> diferença de diferenças no comprimento,  $L$ , do pêndulo, já que o comprimento do fio teve de ser ajustado para cada uma das massas, ~~uma~~ como estas têm diferentes diâmetros / alturas. Outra explicação possível seria que, por as massas terem formas diferentes, a resistência do ar que atua sobre cada uma delas também é diferente. No entanto, por se <sup>tratarem</sup> de amplitudes de oscilação muito pequenas, ~~assim como as~~

próprias massas, a resistência do ar é desprezável, pelo que esta não parece uma justificação válida.

### Experiência 2

Foi utilizada a massa 2

$$L' = (56,50 \pm 0,005) \text{ cm}$$

$$d = \text{~~0,00~~} (2,475 \pm 0,0005) \text{ cm}$$

$$r = (1,2375 \pm 0,0005) \text{ cm}$$

$$L = L' + r$$

$$u(L) = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial L'} u(L')\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial r} u(r)\right)^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,0005^2} = \text{~~0,0500~~} \text{ cm}$$

$$L = (57,7375 \pm 0,0500) \text{ cm}$$

Neste caso, o número de oscilações não foi o mesmo para todos os ângulos, já que, para ~~amplitudes~~ amplitudes menores o pêndulo acabava por bater no painel vertical ao fim de algumas oscilações, devido à força de Coriolis. Para além disso, a amplitude de oscilação também ia diminuindo relativamente à amplitude inicial. Assim, sendo  $n$  o número de oscilações, temos que:

$$T_i = \frac{t_i}{n} \quad \text{~~u(T}_i\text{)}~~ \quad u(T_i) = \frac{u(t_i)}{n}$$

Para além disso, calculamos  $\bar{T}_i$  e  $u(\bar{T}_i)$ , utilizando a fórmula anteriormente referida.

Para  $\theta_0 = (8,0 \pm 0,5)^\circ$ , por exemplo, ficamos com:

$$\bar{T}_i = \frac{1,52 + 1,54 + 1,53}{3} = 1,53$$

$$u(\bar{T}_i) = \sqrt{\frac{1}{3}[(1,52 - 1,53)^2 + (1,54 - 1,53)^2 + (1,53 - 1,53)^2]} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2} = \sqrt{0,0002} = 0,01$$



Tabela 2:

$\theta_0 (^\circ)$ $\pm 0,5^\circ$	Ensaio	$t_i / s$ $\pm 0,1 s$	número de oscilações	$T_i / s$	$u(T_i) / s$	$\bar{T}_i / s$	$u(\bar{T}_i) / s$
2,0	1	14,8	10	1,48	0,01	1,51	0,04
	2	15,2	10	<del>1,52</del> 1,52	0,01		
	3	15,4	10	1,54	0,01		
4,0	1	15,4	10	1,54	0,01	1,53	0,01
	2	15,3	10	1,53	0,01		
	3	15,2	10	1,52	0,01		
6,0	1	15,3	10	1,53	0,01	1,54	0,01
	2	15,4	10	1,54	0,01		
	3	15,4	10	1,54	0,01		
8,0	1	15,2	10	1,52	0,01	1,53	0,01
	2	15,4	10	1,54	0,01		
	3	15,3	10	1,53	0,01		
10,0	1	15,3	10	1,53	0,01	1,53	0,01
	2	15,3	10	1,53	0,01		
	3	15,2	10	1,52	0,01		
20,0	1	15,5	10	1,54	0,01	1,55	0,01
	2	15,4	10	1,55	0,01		
	3	15,5	10	1,55	0,01		
30,0	1	8,0	5	1,60	0,02	1,57	0,04
	2	7,7	5	1,54	0,02		
	3	7,8	5	1,56	0,02		
40,0	1	7,8	5	1,56	0,02	1,57	0,02
	2	7,8	5	1,58	0,02		
	3	7,8	5	1,58	0,02		
50,0	1	4,7	3	1,57	0,03	1,61	0,07
	2	4,8	3	1,60	0,03		
	3	5,0	3	1,67	0,03		
60,0	1	5,0	3	1,67	0,03	1,68	0,03
	2	5,1	3	1,70	0,03		
	3	5,0	3	1,67	0,03		

Nota: os valores de  $\bar{T}_i$  e  $u(\bar{T}_i)$  foram calculados recorrendo a uma folha ~~excel~~ de excel

Utilizando os dados da tabela anterior, construímos o gráfico 1, de  $T_i$  em função de  $\theta_0$ .

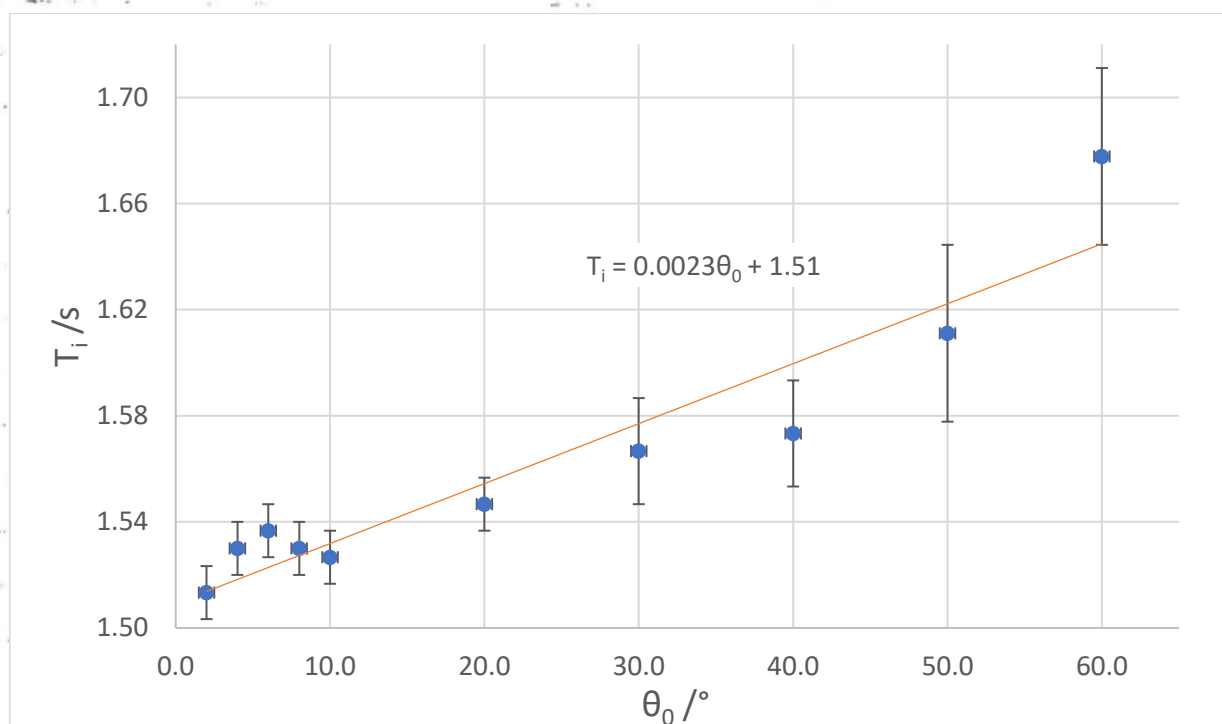


Gráfico 1

No gráfico 1, foram representadas as barras de incerteza <sup>verticais</sup> em cada ponto, mas as horizontais não são visíveis a esta escala.

Foi também representada a reta de ajuste para este conjunto de dados, bem como a sua equação.

Ao contrário do esperado, o ~~período~~ período do pêndulo parece variar com a amplitude de oscilação (mais propriamente aumentar), o que se pode dever, como referido anteriormente, à influência da resistência do ar sobre a massa, que será maior para ângulos de oscilação maiores. Para além disso, o facto de não ser possível, ~~medir o tempo de tantas oscilações como para amplitudes maiores~~, medir o tempo de tantas oscilações como para amplitudes menores, leva a erros maiores no cálculo do período para amplitudes maiores.

No entanto, esta variação não é muito significativa, ~~para~~ principalmente para ângulos menores, pois, como podemos ver, o declive da reta de ajuste é muito pequeno, ~~comparando com a escala dos nossos dados~~ comparando com a escala dos nossos dados.

### Experiência 3

foi utilizada a massa  $m$

$$d = (2,475 \pm 0,001) \text{ cm} = (2,475 \pm 0,001) \times 10^{-2} \text{ m}$$

Como vimos anteriormente,  $r = (1,2375 \pm 0,0005) \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\theta = (4,0 \pm 0,5)^\circ$$



Para cada valor de  $L'$  vamos ter:

$$L = L' + r$$

$$u(L) = \sqrt{[u(L')]^2 + [u(r)]^2} = 5,00 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Mais uma vez, foi medido o tempo de 10 oscilações para calcular o período, realizando-se 3 ensaios para cada comprimento do pêndulo, ou seja:

$$T_i = \frac{t_i}{10}; \quad u(T_i) = \frac{u(t_i)}{10} = 0,01 \text{ s}$$

$$u(\bar{T}_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (T_{ij} - \bar{T}_i)^2}$$

Abaixo encontram-se os dados recolhidos:

Tabeta 3:

$L'/\text{m}$	$L/\text{m}$	Ensai	$t_i/\text{s}$	$T_i/\text{s}$	$\bar{T}_i/\text{s}$	$u(\bar{T}_i)/\text{s}$
$\pm 0,0005 \text{ m}$	$\pm 0,000500 \text{ m}$		$\pm 0,1 \text{ s}$	$\pm 0,01 \text{ s}$		
0,6000	0,612375	1	15,8	1,58	1,57	0,03
		2	15,8	1,58		
		3	15,4	1,54		
0,5500	0,562375	1	15,2	1,52	1,52	0,01
		2	15,2	1,52		
		3	15,1	1,51		
0,5000	0,512375	1	14,5	1,45	1,45	0,01
		2	14,5	1,45		
		3	14,4	1,44		

$L'/m$ $\pm 0,0005m$	$L/m$ $\pm 0,000500m$	Embalço	$t_k/\lambda$ $\pm 0,1\lambda$	$T_k/\lambda$ $\pm 0,04\lambda$	$\bar{T}_k/\lambda$	$\mu(\bar{T}_k)/\lambda$
0,4500	0,462375	1	13,7	1,37	1,37	0,01
		2	13,8	1,38		
		3	13,7	1,37		
0,4000	0,412375	1	12,9	1,29	1,30	0,01
		2	13,0	1,30		
		3	13,1	1,31		
0,3500	0,362375	1	12,2	1,22	1,21	0,02
		2	12,2	1,22		
		3	12,0	1,20		
0,3000	0,312375	1	11,4	1,14	1,14	0,01
		2	11,3	1,13		
		3	11,4	1,14		
0,2500	0,262375	1	10,4	1,04	1,03	0,02
		2	10,4	1,04		
		3	10,2	1,02		
0,5750 <del>0,5750</del>	0,587375 <del>0,587375</del>	1	15,5	1,55	1,55	0,00
		2	15,5	1,55		
		3	15,5	1,55		
0,5250 <del>0,5250</del>	0,537375 <del>0,537375</del>	1	14,9	1,49	1,48	0,01
		2	14,8	1,48		
		3	14,8	1,48		
0,4750 <del>0,4750</del>	0,487375 <del>0,487375</del>	1	14,2	1,42	1,42	0,01
		2	14,2	1,42		
		3	14,1	1,41		
0,4250	0,437375	1	13,5	1,35	1,33	0,03
		2	13,4	1,34		
		3	13,1	1,31		
0,3750	0,387375	1	12,7	1,27	1,27	0,01
		2	12,8	1,28		
		3	12,6	1,26		
0,3250	0,337375	1	11,7	1,17	1,17	0,01
		2	11,8	1,18		
		3	11,7	1,17		
0,2750	0,287375	1	10,7	1,07	1,08	0,01
		2	10,9	1,09		
		3	10,8	1,08		

$L'/m$	$L/m$	Ensaio	$t_x/s$	$T_x/s$	$\bar{T}_x/s$	$u(\bar{T}_x)/s$
$\pm 0,0005m$	$\pm 0,000500m$		$\pm 0,1s$	$\pm 0,01s$		
0,2250	0,237375	1	10,0	1,00	1,00	0,01
		2	9,9	0,99		
		3	10,0	1,00		

Como o nosso objetivo é calcular a aceleração gravítica e sabemos que  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ ,  $\Rightarrow T^2 = 4\pi \frac{L}{g}$ , podemos construir um gráfico de  $T_i^2$  em função de  $L_i$ .

~~Segundo o enunciado, a aceleração gravítica é dada por  $g = 9,81 m/s^2$ .~~  
~~Assim, utilizando os valores de  $T_i^2$  e  $L_i$  da tabela 4, construiremos o gráfico 2. Na tabela 5, temos ainda os parâmetros de ajuste deste gráfico.~~

Seja  $y = T_i^2 \Rightarrow u(y) = \left( \frac{\partial y}{\partial T_i} u(T_i) \right)^2 = 2T_i \cdot u(T_i)$

ou seja, para cada valor de  $T_i$ ,  $u(T_i^2) = 2T_i \cdot u(T_i)$

Assim, utilizando os valores de  $T_i^2$  e  $L_i$  da tabela 4, construiremos o gráfico 2. Na tabela 5, temos ainda os parâmetros de ajuste deste gráfico.

$L/m \pm 0.0005m$	$L/m \pm 0.000500m$	$T_i^2$	$u(T_i^2)$	$T_i^2$ (ajuste)	Resíduos
0.6	0.612375	2.45	0.10	2.49	-0.04
0.55	0.562375	2.30	0.02	2.29	0.01
0.5	0.512375	2.09	0.02	2.09	0.00
0.45	0.462375	1.89	0.02	1.89	0.00
0.4	0.412375	1.69	0.04	1.69	0.00
0.35	0.362375	1.47	0.04	1.49	-0.01
0.3	0.312375	1.29	0.02	1.28	0.01
0.25	0.262375	1.07	0.03	1.08	-0.01
0.575	0.587375	2.40	0.00	2.39	0.01
0.525	0.537375	2.20	0.02	2.19	0.01
0.475	0.487375	2.01	0.02	1.99	0.02
0.425	0.437375	1.78	0.08	1.79	-0.01
0.375	0.387375	1.61	0.04	1.59	0.03
0.325	0.337375	1.38	0.02	1.38	-0.01
0.275	0.287375	1.17	0.03	1.18	-0.02
0.225	0.237375	0.99	0.02	0.98	0.01

Tabela 4

Parâmetros de ajuste			
m	4.03	0.0248	b
sm	0.04	0.0158	sb
r2	0.999	0.02	sy

Tabela 5



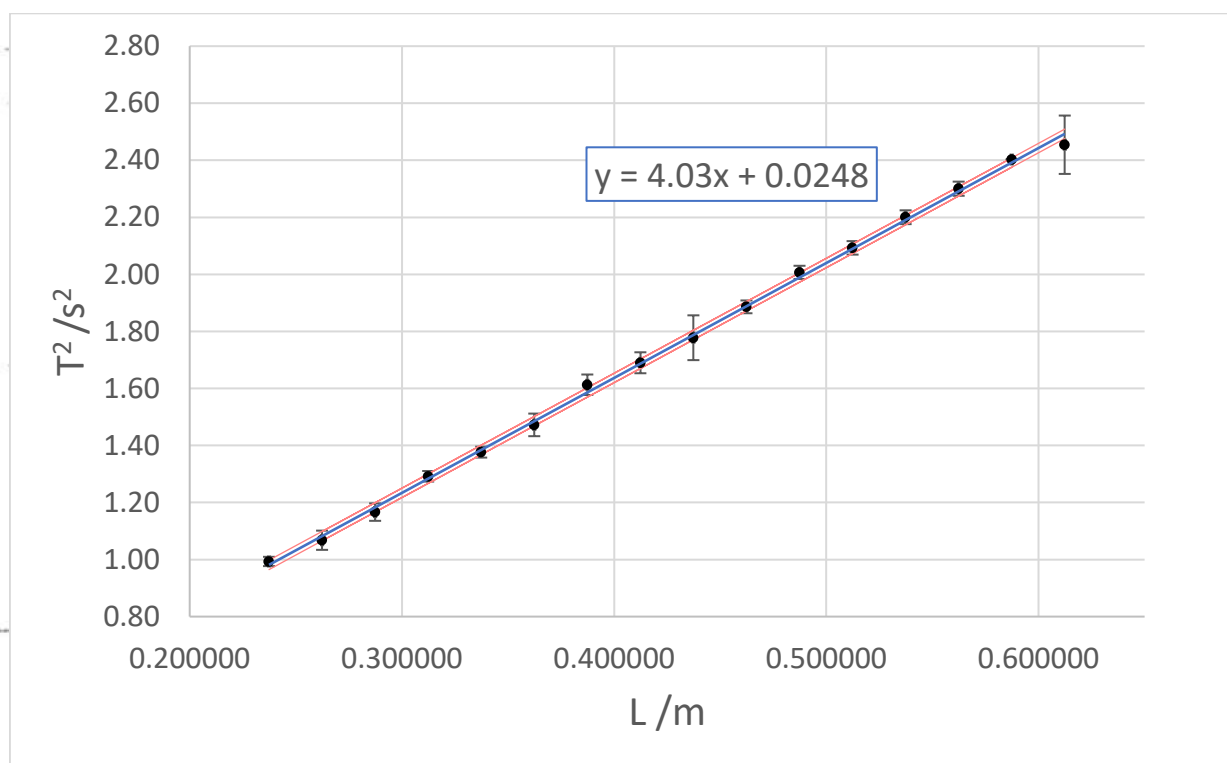


Gráfico 2

No gráfico 2 estão representados, a preto, os dados experimentais e respetivas barras de incerteza (as barras horizontais não são visíveis a esta escala). ~~Para determinar g, basta ler o valor de g na reta de ajuste.~~ A reta azul é a reta de ajuste dos dados experimentais, e as retas vermelhas, quase sobrepostas com esta, ~~delimitam o intervalo mais provável para os valores verdadeiros de g.~~ têm as equações  $y = mx + b + sy$  e  $y = mx + b - sy$ , delimitando o intervalo mais provável para os valores verdadeiros de  $g$ .

Sabemos que, <sup>para  $\theta$  pequenos ( $\leq 5^\circ$ )</sup>  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 L}{g} \Leftrightarrow g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$

~~Como temos o ajuste linear para  $T^2$  em função de  $L$ ,  $g = \frac{4\pi^2}{m^2} u(m)$~~

Logo,  $g = \frac{4\pi^2}{m^2}$  e  $u(g) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial m} u(m)\right)^2} = \frac{4\pi^2}{m^2} u(m)$

Assim, obtemos  $g = (9,80 \pm 0,09) \text{ m/s}^2$



Utilizando os parâmetros de ajuste, (tabela 5), calculamos ainda os valores teóricos de  $T_1^2$  (4.ª coluna da tabela 4) e os resíduos correspondentes (5.ª coluna da tabela 4), representados, no gráfico 3, em função de  $L$ .

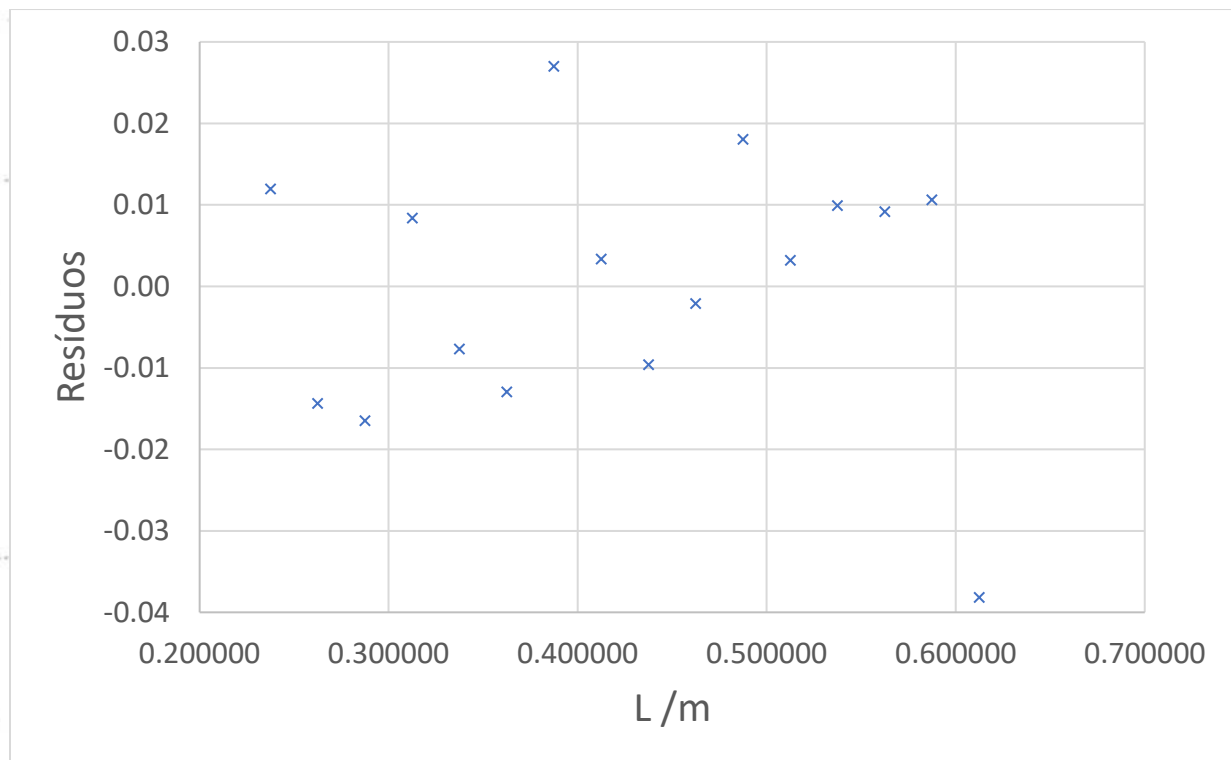


Gráfico 3

Considerando que aceleração gravítica é, aproximadamente,  $9,81 \text{ m/s}^2$ , podemos calcular o erro percentual:

$$E_{\%}(g) = \frac{|9,80 - 9,81|}{9,81} \times 100 = 0,102\%$$

~~Fonte: infopédia, consultado a 10/5/2022 às 18h~~

~~Resumo~~ para a aceleração gravítica. Como podemos ver, ~~o valor~~ o valor obtido experimentalmente está bastante próximo do esperado. No entanto, há que ter em conta que  $9,81 \text{ m/s}^2$  pode não ser o valor mais adequado para comparar com o valor experimental, já que a aceleração gravítica pode sofrer ligeiras variações com a latitude.

\*Fonte: infopédia, consultado a 10/5/2022 às 18h

## Discussão / Conclusões

~~Observando os dados obtidos nas experiências 1, 2 e 3, concluímos que o período de oscilação não parece variar com a massa, já que as pequenas variações verificadas se devem, provavelmente, a erros cometidos nas medições.~~

→ Possíveis fontes de erro:

- força de Coriolis, que causa oscilação do pêndulo em direções indesejadas
- tempo de reação da pessoa que está a controlar o cronómetro
- erros na medição do comprimento do pêndulo ou variações deste ao longo da experiência
- redução da amplitude de oscilação, relativamente à inicial, com as oscilações (mais acentuada para  $\theta_0$  maior).

→ Observando os dados obtidos nas experiências 1, concluímos que o período de oscilação não parece variar com a massa, já que as pequenas variações verificadas se devem, provavelmente, a erros cometidos nas medições.

→ De acordo com os dados obtidos na experiência 2, o período de oscilação parece aumentar com a amplitude de oscilação, ligeiramente com a amplitude de oscilação. No entanto, esta variação é muito pequena (note-se que o declive do ajuste do gráfico 1 é 0,0023) e deverá ser causada pelos erros anteriormente referidos.

→ Com os dados recolhidos na experiência 3, concluímos que o quadrado do período varia linearmente com o comprimento do pêndulo; obtivemos o seguinte valor para a aceleração gravítica:

$$g = (9,80 \pm 0,03) \text{ m/s}^2, \text{ com um erro de } 0,10\%.$$