

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

4,6



Experimento 2: Pêndulo simples

Kaue de Sotti Silva

Matheus Dante Gonçalves

São Paulo

2019

RESUMO

O estudo realizado em cima do experimento de pêndulo simples, teve como objetivo identificar qual a influência de parâmetros como massa, comprimento do fio e ângulo inicial em seu período. Para realizar este objetivo, usamos a metodologia da variação de parâmetros, buscando observar a dependência do período para diferentes parâmetros em diferentes medidas.

resultados?

INTRODUÇÃO

não era necessário...

Devido à pandemia do Novo Coronavírus e respeitando as recomendações do Ministério da Saúde e a Organização Mundial da Saúde, a Universidade de São Paulo decidiu suspender suas atividades por tempo indeterminado, por conta disso, as aulas da graduação precisaram ser adaptadas para um meio online, ~~para tanto os professores quanto seus alunos darem continuidade aos seus cursos~~. Assim, as aulas de laboratório foram adaptadas para o meio virtual, onde o professor realizou o experimento em sua casa e gravou uma série de vídeos para a turma, a qual a partir desses vídeos, recolheu os dados necessários para a análise do fenômeno.

Em 1673, Christiaan Huygens demonstrou em seu livro *Horologium oscillatorium* uma relação entre o período e o comprimento do fio (1) em oscilações com um pequeno ângulo, na qual fosse possível realizar a aproximação $\theta = \sin(\theta)$. Sendo T o período, L o comprimento do fio e g o valor da gravidade do local.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

Partindo da equação (1), o experimento foi realizado com o intuito de observar o quanto o período varia ao variar o comprimento da corda e se ao variar ~~ou o quanto variar~~ o ângulo influencia o período ou a confiabilidade da fórmula. Inicialmente, o estudo também iria se estender para a influência da massa na fórmula, mas devido a pandemia de Coronavírus não foi possível realizar o arranjo experimental.

Objetivos?

Dedução da fórmula?

ARRANJO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O arranjo experimental realizado para a execução do experimento consiste na criação de um pêndulo simples montado por uma corda de massa desprezível e comprimento variável fixo em um ponto, e um limão de 120 ± 10 gramas. Abaixo segue uma foto de como foi disposto o arranjo para a realização do experimento:



Arranjo experimental do experimento do pêndulo simples

faça frases curtas, objetivas

A execução do experimento foi feita de modo a minimizar os erros estatísticos, para isso, realizamos a medição do tempo de 16 oscilações completas por 6 vezes, após isto, calculamos a média das 16 oscilações entre as 6 medições; para chegar no período de 1 oscilação, dividimos a média por 16. Para a situação em que analisamos a dependência da fórmula com o comprimento do fio, foi realizado 6 medidas de 16 períodos, para a do ângulo, foram 6 medidas de 10 períodos. O método para achar o período de uma oscilação foi o mesmo para os dois casos, como descrito acima.

ângulos diferentes?

Para medir como se comporta o período, ao variar cada parâmetro, deixamos as outras variáveis constantes, exemplificando, para estudar a dependência do ângulo no período, deixamos o comprimento da corda e sua massa constante.

outros cuidados?

Para medir o tempo, foram usados cronômetros em aparelhos celulares.

ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÃO

separar análise de discussão

Seguindo o procedimento descrito anteriormente, iremos analisar como o período depende do comprimento do fio, para isso, a massa e o ângulo da oscilação é constante.

Os resultados obtidos nesta etapa estão representados na tabela 1 e 2, abaixo:

ang0	inc ang0	L	inc L	T16 (1)	T16 (2)	T16 (3)	T16 (4)	T16 (5)	T16 (6)	inc Tinst
10	1	0,3	0,02	16,13	16,20	15,95	15,83	16,99	17,18	0,5
		0,45	0,02	21,44	21,49	21,63	21,58	21,64	21,38	0,5
m	inc m	0,6	0,02	24,58	24,92	24,59	24,75	24,80	24,76	0,5
0,12	0,01	0,75	0,02	27,69	27,77	27,03	27,69	27,83	27,87	0,5
		0,9	0,02	30,50	30,50	30,15	30,55	30,35	30,52	0,5

muito gde...

Tabela 1

incoerente..

T16 med	inc T16 med	incf	T1	inc t1	raiz L	inc raizL
16,38	0,23	1,14	1,02	0,07	0,51	0,01
21,53	0,04	1,12	1,35	0,07	0,67	0,01
24,73	0,05	1,12	1,55	0,07	0,77	0,01
27,65	0,13	1,13	1,73	0,07	0,86	0,01
30,43	0,06	1,12	1,90	0,07	0,95	0,01

Tabela 2

não lembro de ter pesado o limão...

Para o cálculo de incerteza da massa de um limão, utilizando uma balança, medimos sua massa e a partir da incerteza instrumental, disponibilizada em seu manual, determinamos sua incerteza final. A incerteza do comprimento do fio foi adotada como a menor divisão de uma régua, instrumento usado na medição. Para calcular a incerteza do período, propagamos a incerteza na equação (1), usando derivadas parciais em relação às variáveis L e g. Assim, chegando a equação (2):

2 cm?

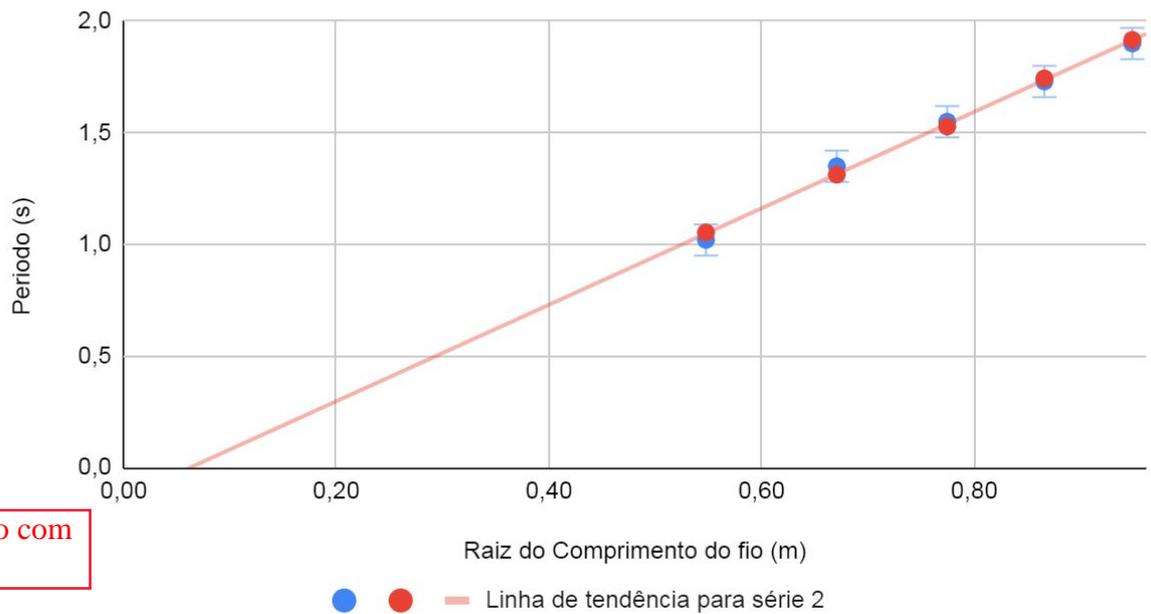
$$\sigma_g^2 = \frac{64\pi^2 L^2}{T^6} \sigma_T^2 + \frac{16\pi^4}{T^4} \sigma_L^2 \quad (2)$$

Usando a equação (2), é possível isolar as incógnitas da qual precisaremos para calcular as outras incertezas em outras situações .

A partir dos resultados representados nas tabelas 1 e 2, e usando o método de mínimos quadrados(MMQ), foram feitos alguns gráficos para auxiliar a discussão:

valores coeficientes
angular e linear?

Período (s) X Raiz do comprimento (m)



tem algo errado com
dados...

Gráfico 1

É importante ressaltar sobre o gráfico 1, que os pontos azuis são os valores experimentais e os pontos vermelhos foram usados para criar a linha de tendência adaptado pelo método do MMQ.

Gráfico Resíduo Absoluto

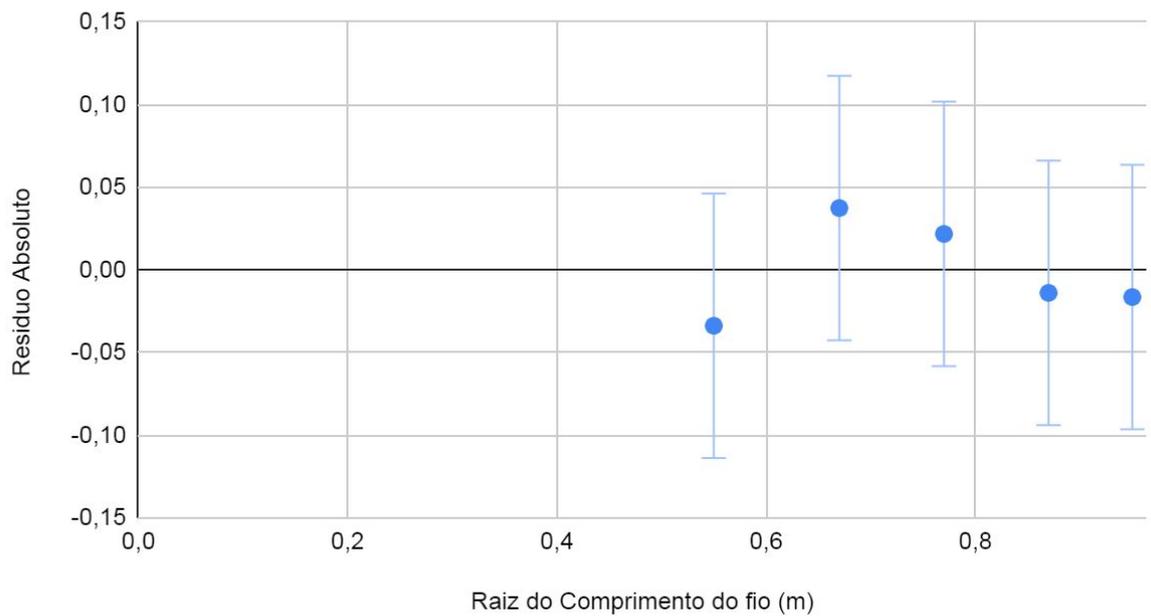


Gráfico 2

Gráfico Resíduo Reduzido

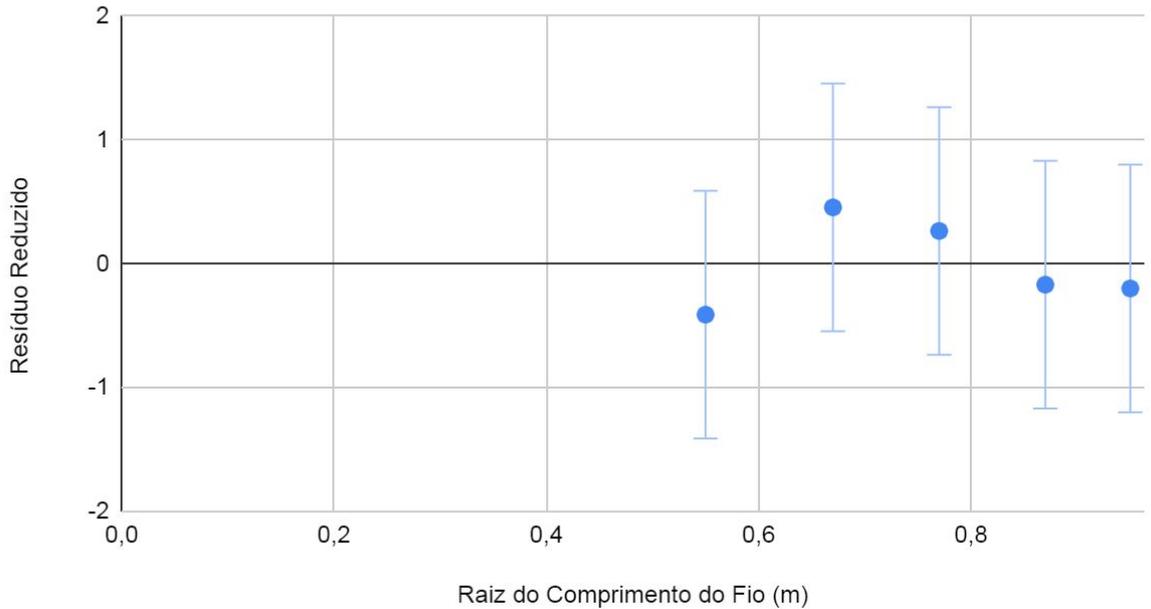


Gráfico 3

passa pelo zero?

Ao analisar o gráfico 1, é possível observar uma relação de crescimento linear diretamente proporcional entre o período e o comprimento do fio. Além do gráfico, é possível observar este fato analisando a relação entre as variáveis período e comprimento do fio na equação 1.

Ao analisar os dois gráficos de resíduos, é possível concluir uma pequena variação nas medidas, no entanto, todas compatíveis, considerando a margem de erro entre elas.

Outro estudo feito, foi como a gravidade obtida por meio da equação (1) é compatível com o valor medido pelo IAG-USP, segue os dados obtidos:

ang0	inc ang0	L	inc L	T16 (1)	T16 (2)	T16 (3)	T16 (4)	T16 (5)	T16 (6)	inc Tinst
10	1	0,60	0,02	23,23	23,19	24,76	23,35	23,27	24,63	0,5

Tabela 3

T16 med	inc T16 med	incf	T1	inc t1	g (m/s ²)	inc g	z
23,74	0,30	1,16	1,484	0,072	10,76	0,40	2,3

Tabela 4

incerteza 1 significativo

A partir da equação (1), isolamos o valor da gravidade, fazendo-o ficar em função do período e do comprimento do fio, expresso abaixo:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (3)$$

A partir da equação (3), sabendo o período de uma oscilação e o comprimento do fio, é possível obter uma estimativa do valor da gravidade. Substituindo os valores na equação, obtemos o valor da gravidade de 10,76±0,49 m/s². Sua incerteza foi calculada com base na equação (3), isolando a incógnita e substituindo os valores, semelhante ao descrito anteriormente para calcular a incerteza do período.

Ao comparar a estimativa do valor da gravidade obtido por meio da equação do pêndulo com o valor da gravidade medido pelo IAG-USP (9,78 m/s²), concluímos com o teste Z, no qual trata-se de um teste de compatibilidade entre dois valores, em que os valores deram compatíveis em um nível de 3 sigma.

Por fim, a última análise, trata-se da dependência do período em relação ao ângulo θ inicial. A seguir, encontra-se os resultados obtidos e alguns gráficos feitos usando o método do MMQ, para auxiliar a discussão.

m	inc m			ang 0	inc ang0	T10 (1)	T10 (2)	T10 (3)	T10 (4)	T10 (5)	T10 (6)	incTinst
0,12	0,01			5	1	14,11	14,31	13,94	15,08	14,06	14,91	0,5
				10	1	14,13	14,05	14,06	14,3	14,27	13,89	0,5
L	inc L			15	1	14,14	14,02	14,07	14,20	14,28	14,27	0,5
0,5	0,01			20	1	14,02	14,13	14,09	14,09	14,23	14,19	0,5
				30	1	14,90	14,23	14,35	14,33	14,43	14,42	0,5
				45	1	14,23	14,33	14,23	14,50	14,23	14,28	0,5

Tabela 5

T10 med	inc T10 med	incf	T1	inc t1	Tteorico	inc T teo	z
14,40	0,20	0,54	1,44	0,05	1,42	0,45	0,04
14,12	0,06	0,50	1,41	0,05	1,42	0,45	0,02
14,16	0,04	0,50	1,42	0,05	1,42	0,45	0,01
14,11	0,03	0,50	1,41	0,05	1,42	0,45	-0,02
14,39	0,10	0,51	1,44	0,05	1,42	0,45	0,04
14,26	0,04	0,50	1,43	0,05	1,42	0,45	0,01

Tabela 6

como calculou?
Está muito gde...

coeficientes angular
e linear?

Período (s) X Angulo (θ)

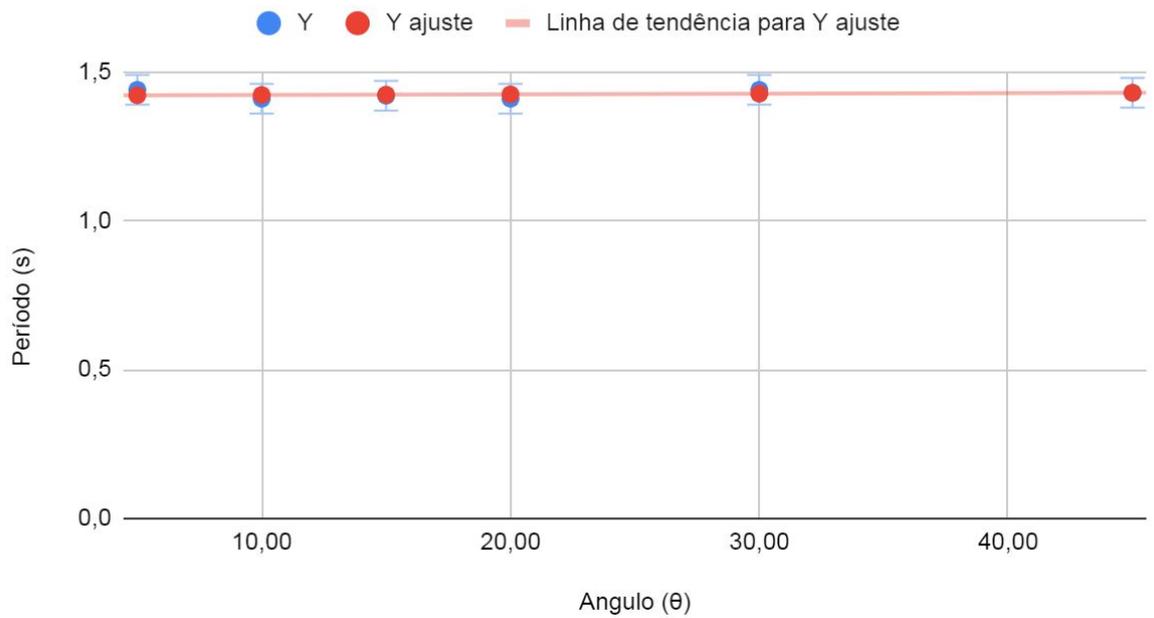


Gráfico 4

Gráfico Resíduo Absoluto

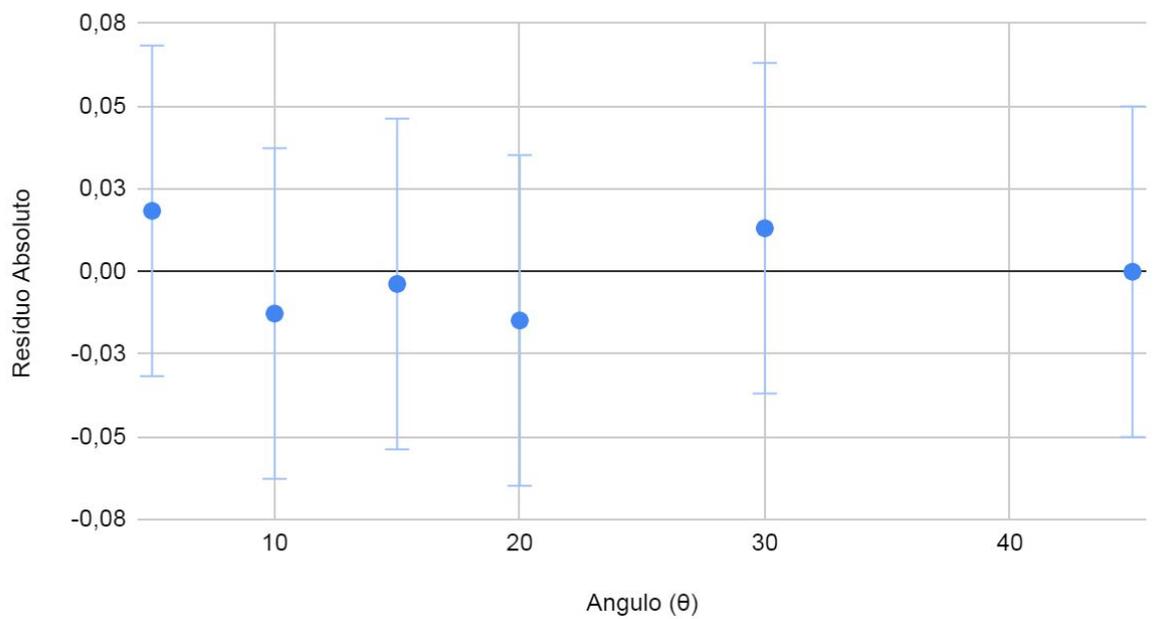


Gráfico 5

Gráfico Resíduo Reduzido

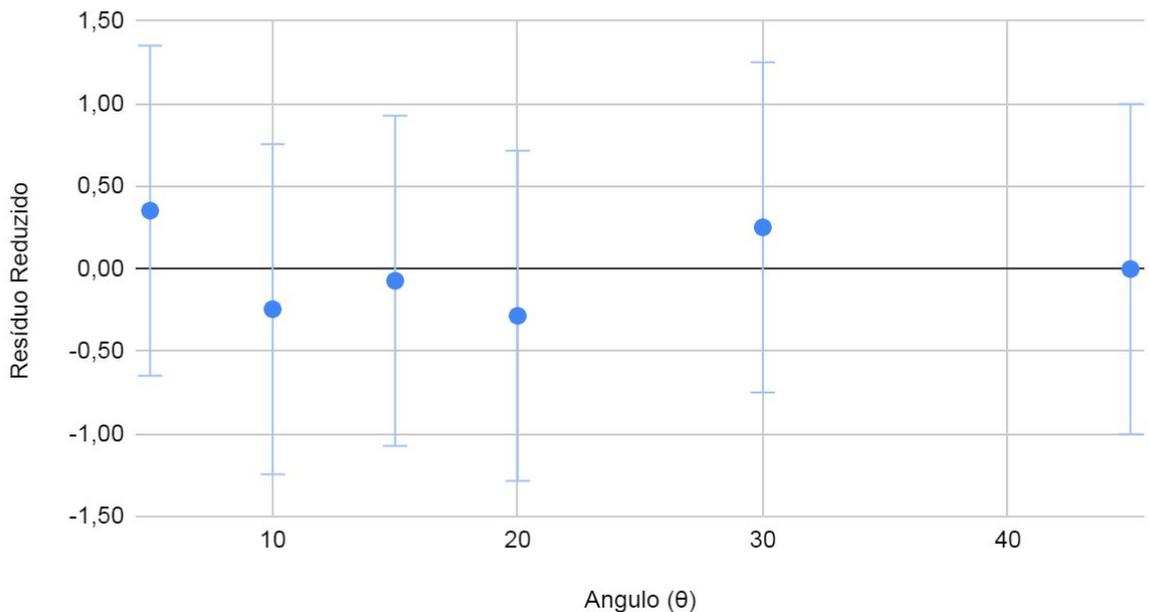


Gráfico 6

Ao analisar o gráfico 4, referente a média dos valores obtidos do período do pêndulo em função do ângulo inicial, é possível observar uma pequena ou até mesmo nula interferência do ângulo nas medidas, ou seja, conclui-se que até para 45° a aproximação $\theta = \text{sen}(\theta)$ ainda é válida.

CONCLUSÃO

É possível concluir, que o período de oscilação de um pêndulo depende de ~~forma linear e crescente~~ do comprimento do fio e que a equação (1) mostra-se precisa até para ângulos um tanto quanto grandes (cerca de 45°), mostrando que a aproximação citada acima, continua valendo.

A fórmula também demonstra sua precisão ao obter um valor compatível da gravidade com o valor real desta grandeza obtido pelo IAG-USP.

método? incertezas?

