



9.4 Experiência 4: Deformações Elásticas e Pêndulo Simples

9.4.1 Objetivos

- ✓ Interpretar o gráfico força x alongação;
- ✓ Enunciar e verificar a validade da lei de Hooke;
- ✓ Verificar as equações para a constante de mola efetiva em um sistema com molas em série e outro com molas em paralelo.
- ✓ Calcular o trabalho realizado por uma força ao distender uma mola helicoidal;
- ✓ Estudar a relação entre massa, comprimento do fio e período para um pêndulo simples.

9.4.2 Materiais Necessários

- ✓ Sistema de sustentação principal Arete formado por tripé triangular com escala linear milimetrada, escalar angular de 0 a 120 graus com divisão de um grau, haste principal e sapatas niveladoras amortecedoras: painel em aço com quatro graus de liberdade;
- ✓ Molas helicoidais;
- ✓ Um conjunto de massas acopláveis;
- ✓ Um gancho lastro;
- ✓ Uma escala milimetrada.
- ✓ Um pêndulo simples.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

9.4.3 Procedimento Experimental

9.4.3.1 Primeira Parte – Determinação das constantes elásticas de duas molas helicoidais separadamente.

1. Execute a montagem conforme Figura 1, prendendo a régua pelo orifício existente em sua extremidade e dependurando uma mola na posição B (indicada na peça). Leia o valor ocupado pela parte inferior do gancho lastro, na escala. Este valor será arbitrado como zero. O gancho funcionará como lastro, não o considere como carga.
2. Complete a tabela abaixo, para os valores de massa que você usará para a elongação das molas de constante elástica K_1 e K_2 . Os valores de massa deverão ser em valores crescentes ($M_1 < M_2 < M_3 < M_4 < M_5$).

Tabela 1 – Peso das diversas massas a utilizar no experimento.

Descrição do conjunto	Peso (N)	$\Delta P(N)$
Gancho		
Gancho + massa (M1)		
Gancho + massa (M2)		
Gancho + massa (M3)		
Gancho + massa (M4)		
Gancho + massa (M5)		

Obs: Cuidado com o limite de peso suportado pelo dinamômetro !



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

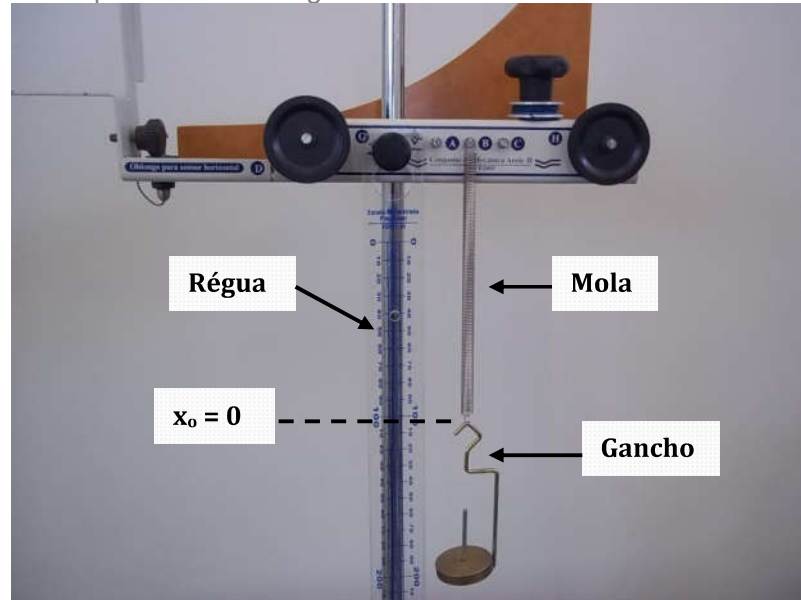


Figura 1 – Montagem experimental inicial para o estudo de deformações elásticas.

3. Coloque o gancho lastro suspenso na mola, considerando a sua posição inicial de equilíbrio como zero. Assinale a posição arbitrada como zero na escala.
4. Acrescente as massas medidas e apresentadas na tabela anterior, uma de cada vez, completando as lacunas da tabela 1, para a mola de constante K_1 e, da tabela 2, para a mola de constante K_2 .

Tabela 2 – Elongação da mola helicoidal de constante elástica K_1 .

Descrição	Peso (N)	X (mm) elongação	Deformação δx (mm)	Incerteza na deformação (mm)
Gancho		$X_0 =$	Arbitrando Zero = 0	
M1		$X_1 =$	$X_1 - X_0 =$	
M2		$X_2 =$	$X_2 - X_0 =$	
M3		$X_3 =$	$X_3 - X_0 =$	
M4		$X_4 =$	$X_4 - X_0 =$	
M5		$X_5 =$	$X_5 - X_0 =$	



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Tabela 3 – Elongação da mola helicoidal de constante elástica K2.

Descrição	Peso (N)	x (mm) elongação	Deformação δx (mm)	Incerteza na deformação (mm)
Gancho		$X_0 =$	Arbitrando Zero = 0	
M1		$X_1 =$	$X_1 - X_0 =$	
M2		$X_2 =$	$X_2 - X_0 =$	
M3		$X_3 =$	$X_3 - X_0 =$	
M4		$X_4 =$	$X_4 - X_0 =$	
M5		$X_5 =$	$X_5 - X_0 =$	

5. Trace o Gráfico do peso P em função de δx para cada uma das molas.

Obs: (i) Faça as leituras na régua, olhando por baixo dos pesos.

(ii) Avalie a incerteza da régua.

6. Utilizando dos valores da tabela 2 e 3 verifique a validade da relação $F \propto \delta x$ para cada medida executada. Obtenha os valores das constantes elásticas, K1 e K2, das molas helicoidal utilizando a média dos valores de F/x , chame este valor de $k_{méd 1}$ e $k_{méd 2}$.
7. Obtenha pelo cálculo do coeficiente angular de uma reta, o valor das constantes elásticas das molas helicoidal ($K_{graf 1}$ e $K_{graf 2}$).
8. A lei de Hooke é sempre válida?
9. A média das constantes de mola obtidas ao calcular F/x para cada valor de x e de F coincide com a constante de mola obtida pelo gráfico de F em função de x? Por quê?



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

9.4.3.2 Segunda Parte - Constante elástica numa associação de molas helicoidais em série.

1. Complete a tabela abaixo:

Obs: A escolha dos valores a utilizar para as massas é livre, mas cuidado com o limite de peso suportado pelo dinamômetro e pelas molas.

(PROFESSOR: Por favor retire no mínimo cinco pontos da nota no relatório do grupo que danificar o dinamômetro e informe o coordenador do laboratório do ocorrido).

Tabela 4 – Elongação para duas molas helicoidais em série.

Descrição	Peso (N)	X (mm) elongação	Deformação δx (mm)	Incerteza na deformação (mm)
Gancho		$X_0 =$	Arbitrando Zero = 0	
M1		$X_1 =$	$X_1 - X_0 =$	
M2		$X_2 =$	$X_2 - X_0 =$	
M3		$X_3 =$	$X_3 - X_0 =$	
M4		$X_4 =$	$X_4 - X_0 =$	
M5		$X_5 =$	$X_5 - X_0 =$	

- Determine graficamente (kgraf3) e pela média de F/x (kméd3) a constante elástica para um sistema formado por duas molas em série (siga o procedimento desenvolvido anteriormente). Utilize as duas molas cuja constante de mola foi determinada na primeira parte deste experimento.
- Compare os resultados obtidos graficamente com aqueles obtidos pela média.
- Pesquise na literatura, descubra qual é a equação para a constante de elasticidade efetiva de duas molas em série em função das constantes de elasticidade das molas individualmente. Calcule a constante de elasticidade efetiva para o sistema de duas molas em série (kteor1) e compare o resultado com os valores de kméd3 e kgraf3.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

9.4.3.3 A constante elástica numa associação de molas helicoidais em paralelo

1. Realize a montagem experimental conforme a Figura 2:

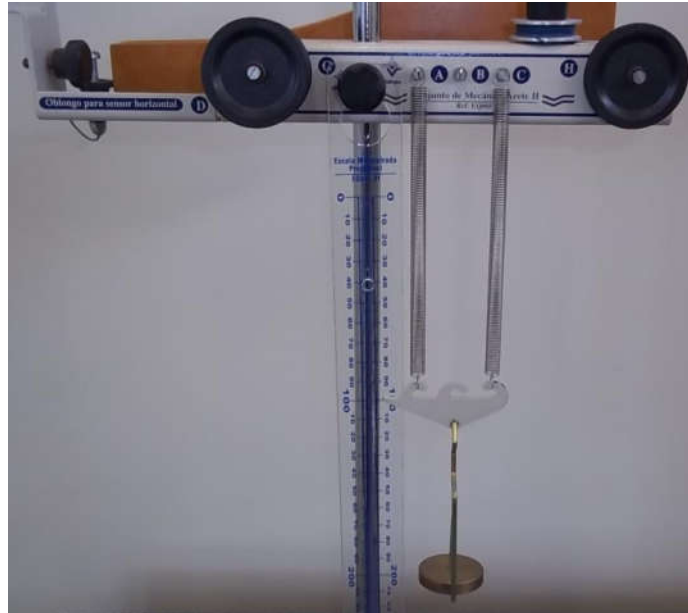


Figura 2 – Montagem experimental para a associação em paralelo de molas helicoidais.

2. Complete a tabela abaixo:

Tabela 5 – Elongação para duas molas helicoidais em paralelo.

Descrição	Peso (N)	X (mm) elongação	Deformação δx (mm)	Incerteza na deformação (mm)
Gancho		$X_0 =$	Arbitrando Zero = 0	
M1		$X_1 =$	$X_1 - X_0 =$	
M2		$X_2 =$	$X_2 - X_0 =$	
M3		$X_3 =$	$X_3 - X_0 =$	
M4		$X_4 =$	$X_4 - X_0 =$	
M5		$X_5 =$	$X_5 - X_0 =$	



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

3. Determine graficamente (k_{graf4}) e pela média de F/x ($k_{méd4}$) a constante de elástica para um sistema formado por duas molas em paralelo (siga o procedimento desenvolvido anteriormente). Utilize as duas molas cuja constante de mola foi determinada na primeira parte deste experimento.
4. Compare os resultados obtidos graficamente com aqueles obtidos pela média.
5. Pesquise na literatura, descubra qual é a equação para a constante de elasticidade efetiva de duas molas em série em função das constantes de elasticidade das molas individualmente. Calcule a constante de elasticidade efetiva para o sistema de duas molas em paralelo (k_{teor2}) e compare o resultado com os valores de $k_{méd4}$ e k_{graf4} .

9.4.3.4 Trabalho e energia mecânica numa mola helicoidal

Utilizando o gráfico de $F \times$ alongação, calcule o trabalho realizado pela força aplicada sobre a mola para alongá-la de sua posição de equilíbrio até a posição final x para uma mola, para duas molas em série e para duas molas em paralelo. Explique os resultados, comparando o trabalho realizado nos três casos.

9.4.3.5 Período de um Pêndulo

1. Monte um pêndulo simples prendendo uma massa na ponta da corda fornecida com o equipamento.
2. Estique a corda 30 cm do topo do equipamento ao centro do objeto colocado à oscilar.
3. Aplique uma pequena força de forma a fazer o sistema massa + corda ter uma oscilação de, aproximadamente, cinco graus a partir do repouso.
4. Ajuste o ângulo a partir da distância em relação a vertical que a massa deve ser movida para que a oscilação tenha este ângulo. Utilize o fato de que um ângulo de cinco graus corresponde a um comprimento de arco de cerca de $0,087 R$, onde R é o raio da circunferência que, neste caso, será o comprimento (L) do fio.
5. Estime o valor da incerteza no comprimento do fio (ΔL).
6. Deixe o pendulo oscilar duas vezes, depois meça o tempo necessário para as próximas 10 oscilações e divida por 10 para obter o período médio de uma oscilação, repita esta medida cinco vezes. Quando possível, realize algumas destas medidas com pessoas diferentes medindo e marcando o tempo.
7. Desenrole mais a corda, de forma a deixar 40 cm a partir do topo e repita o procedimento acima, depois repita para 50, 60, 70, 80 e 90 cm.
8. Complete a tabela abaixo:

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Tabela 6: Período de um Pêndulo

$L \pm \Delta L$ (cm)	Período para 10 oscilações						
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média	Desvio
30 ±							
50 ±							
60 ±							
70 ±							
80 ±							
90 ±							

9. Trace um gráfico de $\sqrt{L} \times T$ onde T é o período de oscilação do pêndulo e L o seu comprimento. Calcule o desvio médio quadrático para esta reta média. Este desvio é razoável?
10. Obtenha o valor da aceleração da gravidade com sua respectiva incerteza a partir do gráfico descrito no procedimento 7. Compare com valores da literatura e analise as diferenças (se houverem).

9.4.4 O que Incluir no Relatório do Experimento.

- Os gráficos pedidos acima.
- A Lei de Hooke é sempre válida?
- Comparações entre os valores da constante de mola obtidos via gráfico, via média e via cálculo. Qual destes é mais preciso?
- Comparação entre o valor obtido para a aceleração da gravidade e o previsto.