Um dos exemplos mais fáceis de visualizar é a deformação elástica de uma mola helicoidal, cujo esquema é mostrado na figura 1. Nos sólidos em geral e, em especial, nas molas, a deformação está relacionada à força de restauração pela relação conhecida como **Lei de Hooke**:

$$F = -k\,x \qquad (2)$$

onde F é a intensidade da força de restauração da mola, x é o quanto ela é alongada (ou comprimida) e k é a constante elástica da mola, que depende do material e da geometria com que ela é construída. O sinal negativo indica apenas que a direção da força de restauração é oposta à direção em que ocorre o alongamento ou a compressão da mola.

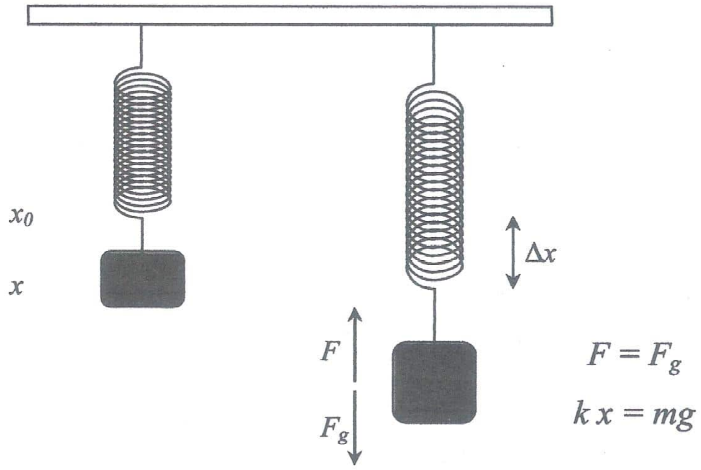


Figura 1. Sistema massa-mola sob a ação da força da gravidade.

Para verificar essa relação, aplicamos uma força bem definida em uma mola, suspendendo-se aí uma massa, como mostrado na figura 1. Quando o sistema massa-mola entra em equilíbrio, o peso da massa pendurada é igual à força de restauração da mola. Note que quanto maior for a constante elástica da mola, *k*, maior é a força de resistência com que a mola se opõe ao deslocamento da massa.

Neste terceiro experimento, utilizando a montagem esquematizada na figura 1, você deverá:

- Determinar a variação do comprimento Δx de duas molas helicoidais como função da força peso F_g exercida pelos pesos suspensos em cada mola.
- Verificar a *Lei de Hooke* e determinar as constantes elásticas k das molas, comparando-as.

Materiais

- Molas helicoidais ou dinamômetros
- Suportes para suspender as molas
- Balança
- Pesos
- Suporte para pesos
- Régua.

Procedimento Experimental

Neste experimento, iremos fazer uma montagem similar à apresentada na figura 1. Temos duas molas (ou dinamômetros) diferentes para medir suas constantes elásticas. Observe que em cada uma existe uma identificação com o valor máximo de força que pode ser aplicada à mesma. **Certifique-se de que em suas medidas a força aplicada NUNCA seja maior que o valor máximo suportado, pois isso causaria uma deformação permanente na mola/dinamômetro.**

1. Monte o sistema conforme o esquema da figura 1, pendurando uma das molas no suporte fornecido. Use uma massa apropriada para causar uma pequena elongação inicial na mola entre 5 mm e 10 mm. **Nota:** Esta massa não-nula na posição inicial é necessária para descomprimir a mola e colocá-la na região de operação onde vale a Lei de Hooke.

2. Meça o valor da massa m_0, que corresponde à soma das massas do peso inicial e do suporte de pesos.

3. Tomando dois pontos de referência, um no suporte e outro no corpo do dinamômetro, meça a posição da extremidade inferior da mola x_0. SEMPRE USE UMA RÉGUA PARA ISSO.

4. Fazendo combinações com os pesos disponíveis, vá aumentando a massa suspensa na mola de modo a obter elongações sucessivas da ordem de 10 mm. <u>Lembre-se de usar sempre o mesmo ponto de referência da primeira medida para obter a posição da extremidade inferior da mola.</u> Para cada aumento, meça a massa suspensa (pesos+suporte) e a respectiva posição x_i da ponta mola.

5. Faça combinações de pesos para obter 4 valores DIFERENTES de força. Anote as massas e as respectivas posições nas tabelas 1 e 2.

Procedimento de análise de dados

1. Tomando como referência a posição x_0, correspondente à elongação obtida pela massa m_0 inicial, e aplicando a condição de equilíbrio $F_R = 0$, obtém-se

$$|F_i| = |(m_i - m_0)\, g| = k(x_i - x_0) = k\, \Delta x_i \tag{3}$$

   onde F_i é a força necessária para esticar a mola de x_0 até x_i.

2. Calcule os valores das forças $F_i = (m_i - m_0)g$ e as respectivas elongações $\Delta x_i = x_i - x_0$. Admita que o valor da aceleração da gravidade seja 9,8 m/s^2 (tomaremos este como valor exato).

3. Com os dados das tabelas 1 e 2, construa NO MESMO PAPEL MILIMETRADO UM ÚNICO GRÁFICO da força F_i (no eixo vertical) em função da elongação Δx_i (no eixo horizontal) para as duas molas. Determine graficamente os coeficientes angulares de cada reta. Considerando a relação do coeficiente angular com a constante elástica, determine esta última para cada mola, expressando o resultado com as unidades apropriadas. <u>Mostre todas as contas</u> (Questão 3).

QUESTÕES

QUESTÃO 1

Compare os resultados obtidos para as constantes k das duas molas (Questão 3). Classifique-as qualitativamente como "rígida" e "flexível" de acordo com o grau de rigidez de cada mola. Para qual das molas você esperaria um valor de k maior e por quê? Nesse sentido, os valores obtidos são coerentes com o que seria esperado? Explique.

Em folha a parte.

QUESTÃO 2

Os dados do gráfico formam linhas retas? O que isso pode dizer sobre o comportamento das molas?

Sim, a partir disto verificamos a Lei de Hooke e que as molas possuem constantes elásticas para as deformações utilizadas.

QUESTÃO 3

Calcule os valores das constantes elásticas k das duas molas pelo método gráfico. Mostre explicitamente os cálculos com os valores utilizados para chegar ao resultado (se necessário, use o verso). Não se esqueça de indicar as unidades das constantes.

Para o cálculo das constantes elásticas, utilizamos pontos conhecidos da reta de aproximação, para o cálculo da constante elástica da mola 1 (K_1), utilizamos o ponto ($2 \cdot 10^{-2}$ m, 1,57 N) e para mola 2 o ponto ($2 \cdot 10^{-2}$ m, 0,76 N).

Cálculos em folha a parte.

QUESTÃO 4 (para casa)

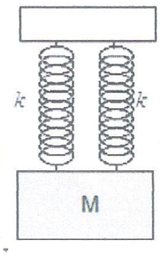
Considere duas molas idênticas, cada uma com constante elástica k, conectadas em paralelo (lado a lado) a uma mesma massa. Qual seria o valor esperado para a constante elástica total do sistema? Mostre os cálculos.

Para uma associação de molas em paralelo temos:

$$K_{eq} = k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n$$

o valor esperado para a constante elástica do sistema é:

$K_{eq} = 2k$; Demonstrações e cálculos em folha a parte.



Fenômenos Mecânicos

Experimento 3

04/11/2016

Questão 1

A mola 1 qualificamos-a como "rígida" e a mola 2 qualificamos-a como "flexível". Como uma mola mais rígida necessita de uma força aplicada de maior intensidade em comparação a uma mola flexível, no experimento constatamos que a mola 1 é mais rígida que a mola 2, pois aplicando a mesma força — de origem gravitacional — a mola 1 deforma menos que a mola 2, portanto $k_1 > k_2$.

Sem embargo, com base em dados experimentais, os resultados obtidos estão coerentes com o esperado.

Questão 3.

Constante elástica da mola 1 (k_1)

$$k_1 = \frac{1,57}{2.10^{-2}} = 78,5\ N.(m)^{-1}$$

Constante elástica da mola 2 (k_2)

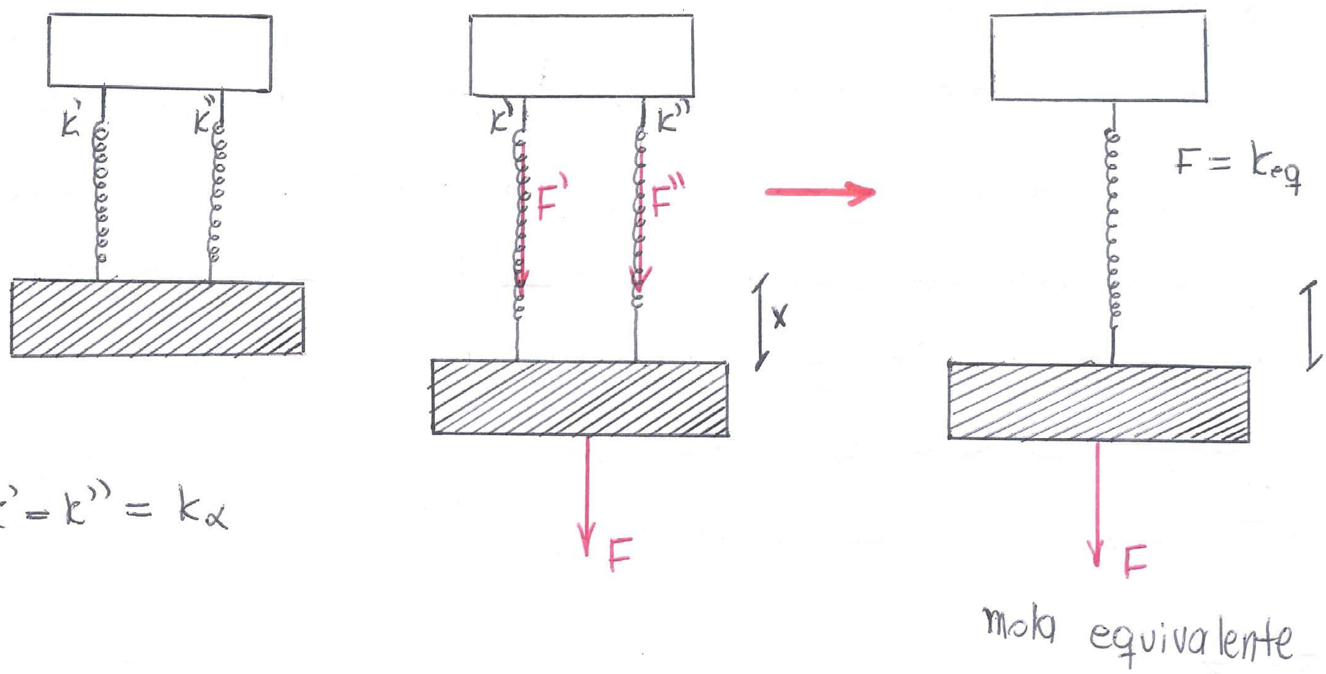
$$k_2 = \frac{0,76}{2.10^{-2}} = 38,0\ N.(m)^{-1}$$

Fenômenos Mecânicos

Experimento 3

04/11/2016

Questão 4.



Quando deformadas de X, a mola k' fica sujeita a uma força $F' = k'.X$ e a mola k'' a uma forca $F'' = k''X$.

A mola equivalente, quando submetida à mesma força F, sofre a mesma deformação X de modo que $F = k_{eq} . X$.

Como $F = F' + F'' \Rightarrow k'.X + k''X \Rightarrow k_{eq} = k' + k''$

Temos que $k' = k'' = k_\alpha$

$\Rightarrow k_{eq} = 2k' = 2k_\alpha$

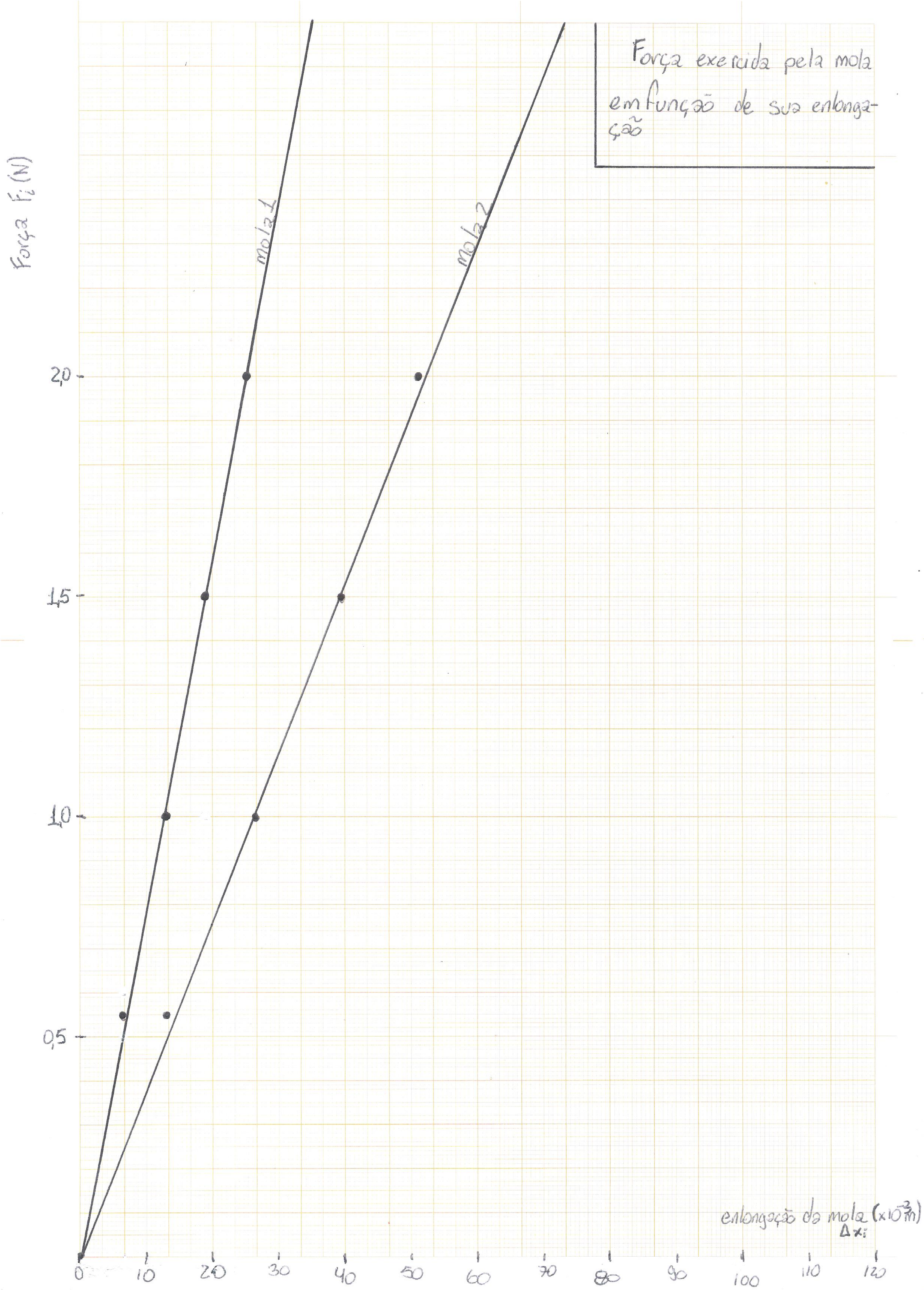
CQD.

Tabela 1. Dados para cálculo da constante elástica da mola 1.

Mola 1: Rígida Flexível				
(i)	x_i (m)	m_i (g)	Δx_i (m)	F_i (N)
0	$1{,}02 \cdot 10^{-2}$ m	205,77 g	0 m	0 N
1	$1{,}65 \cdot 10^{-2}$ m	261,61 g	$6{,}3 \cdot 10^{-3}$ m	0,55 N
2	$2{,}33 \cdot 10^{-2}$ m	311,61 g	$1{,}31 \cdot 10^{-2}$ m	1,0 N
3	$2{,}89 \cdot 10^{-2}$ m	361,53 g	$1{,}87 \cdot 10^{-2}$ m	1,5 N
4	$3{,}51 \cdot 10^{-2}$ m	411,42 g	$2{,}49 \cdot 10^{-2}$ m	2,0 N

Tabela 2. Dados para cálculo da constante elástica da mola 2.

Mola 2: Rígida Flexível				
(i)	x_i (m)	m_i (g)	Δx_i (m)	F_i (N)
0	$3{,}05 \cdot 10^{-2}$ m	205,84 g	0 m	0 N
1	$4{,}36 \cdot 10^{-2}$ m	261,55 g	$1{,}31 \cdot 10^{-2}$ m	0,55 N
2	$5{,}70 \cdot 10^{-2}$ m	311,45 g	$2{,}65 \cdot 10^{-2}$ m	1,0 N
3	$6{,}97 \cdot 10^{-2}$ m	361,32 g	$3{,}92 \cdot 10^{-2}$ m	1,5 N
4	$8{,}15 \cdot 10^{-2}$ m	411,28 g	$5{,}10 \cdot 10^{-2}$ m	2,0 N



Força exercida pela mola em função de sua enlongação
Força F_i (N)
mola 1
mola 2
2,0
1,5
1,0
0,5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
enlongação da mola ($\times 10^{-3}$ m)
Δx_i