

# EQUILÍBRIO ESTÁTICO

## Material Utilizado:

(Parte A – Calibração de um Dinamômetro)

- 5 montagens FVE para dinamômetros constituídas de escala milimetrada em haste montada em tripé, com os acessórios: molas diversas, porta-massas, massas de 5g e 10g.
- dinamômetros com fundos de escala de 120 gf.
- massas diversas.

(Parte B – Composição de Forças)

- uma mesa com escala para ângulos.
- três dinamômetros com fundo de escala de 1000 gf.
- três garras de mesa.
- três hastes pequenas.
- um tripé.
- barbante.

(Parte C – Levantamento de Pesos por Roldanas)

- três hastes grandes (~ 1 m).
- dois tripés.
- duas garras de ângulo reto.
- duas escalas milimetradas com cursores, em haste montada em tripé.
- três polias, PHYWE # 2260.
- pesos de 1 kgf e 2 kgf.
- um dinamômetro com fundo de escala de 10 kgf.
- barbante.

**Objetivo do Experimento:** Neste experimento procura-se ilustrar e investigar o conceito de equilíbrio estático em algumas situações físicas diversas como a calibração de um dinamômetro, a composição de forças (demonstrando a natureza vetorial de uma força e a condição de equilíbrio estático para uma partícula) e o uso de roldanas (em montagens para o levantamento de cargas).

---

## Parte A - Calibrando Um Dinamômetro

### INTRODUÇÃO

Genericamente, um dinamômetro é um aparelho capaz de medir forças. Um dinamômetro pode ser construído a partir de uma mola presa a um suporte, e de uma escala (de comprimentos) solidária ao suporte da mola.

Pode-se medir forças aplicadas à extremidade de uma mola através da medição da deformação (compressão ou distensão) desta. Até certo limite de deformação (o *limite elástico*), a deformação de uma mola é diretamente proporcional à força que lhe é aplicada (esta propriedade é conhecida como "lei de Hooke"). Faz-se uso dessa propriedade para se calibrar um dinamômetro.

Isto é feito da seguinte forma. Submete-se a mola a um número de forças de valores  $F$  conhecidos e medem-se as deformações correspondentes  $x$ . Constrói-se então um gráfico  $F$  versus  $x$ . Os dados experimentais observados no gráfico são então ajustados por uma reta, que será a *curva de*

*calibração.* O valor de uma força desconhecida aplicada ao dinamômetro poderá ser determinado, lendo-se no gráfico o valor de  $F$  na curva de calibração correspondente à deformação observada.

## PROCEDIMENTO

1. Escolha um dos dinamômetros disponíveis no laboratório e obtenha um certo número (pelo menos dez) de massas conhecidas.
2. Pendure cada uma das das massas selecionadas na mola e leia na escala associada ao dinamômetro o valor correspondente da deformação observada. Os valores das forças (pesos) e das deformações correspondentes deverão ser anotados em uma tabela como a mostrada abaixo.
3. Construa em uma folha de papel milimetrado um gráfico  $F$  versus  $x$ .
4. Muito provavelmente os pontos do gráfico sugerem uma dependência linear entre  $F$  e  $x$ . Se este é o caso, faça um ajuste qualitativo desses dados encontrando a reta que melhor se aproxima do conjunto de pontos.
5. Você tem agora um dinamômetro calibrado. Escolha um peso de valor desconhecido disponível no laboratório e meça-o com este dinamômetro.
6. Meça este mesmo peso com um dos dinamômetros comerciais disponíveis no laboratório.
7. Compare os valores das duas medidas obtidas.

## QUESTÕES

8. O seu dinamômetro pode medir qualquer valor de força? Por quê?
9. Se o seu dinamômetro fosse usado na lua ele teria de ser calibrado novamente? Por quê?

## Parte B - Composição de Forças

### INTRODUÇÃO

Segundo as leis de Newton, para que uma partícula esteja em equilíbrio estático é necessário que a resultante das forças que sobre ela atuam seja nula. Aqui pretende-se verificar esta condição considerando a composição de três forças atuantes sobre uma tal partícula.

A Figura 1 procura ilustra a montagem a ser utilizada. Três fios unidos em um nó comum têm suas outras extremidades amarradas às molas de três dinamômetros. Fixando-se os dinamômetros em hastes rigidamente posicionadas em uma mesa, procura-se tensionar cada um dos fios, de modo que estes estarão dispostos em um plano horizontal. Abaixo da junção dos três fios coloca-se uma mesa com graduação para ângulos, de forma a possibilitar a medição dos ângulos entre as forças em questão (tensões nos fios). Os valores das forças serão diretamente lidos nas escalas dos dinamômetros.

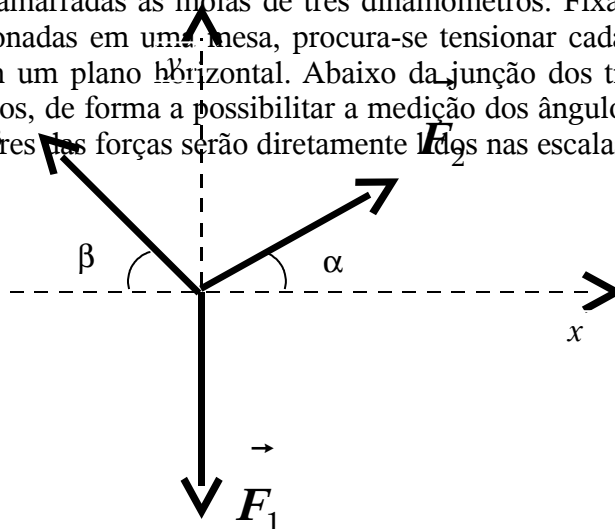


Figura 1 – Composição de Forças Coplanares.

## PROCEDIMENTO

10. Zere cada um dos dinamômetros.
11. Efetue a montagem de forma a obter uma disposição de forças como a representada na figura acima, escolhendo valores arbitrários para os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ . Tome cuidado para não tensionar qualquer dos dinamômetros além de seu limite de medição, geralmente indicado no mesmo.
12. Meça os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ , bem como as forças  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ . Os valores deverão ser inseridos na tabela apropriada da folha de resultados.
13. Obtenha quatro outras séries de medições para os ângulos e forças, modificando a montagem de forma a obter valores diferentes para essas grandezas em cada série. Complete a tabela com os valores encontrados.
14. Obtenha, para cada uma das séries de medidas, os valores dos componentes  $R_x = F_2 \cos \alpha - F_3 \cos \beta$  e  $R_y = F_2 \sin \alpha + F_3 \sin \beta - F_1$  da força resultante. Efetue os cálculos levando em conta as incertezas nas medidas de ângulos e forças.
15. Comente o resultado encontrado.

## PARTE C - Levantamento de pesos utilizando roldanas

### INTRODUÇÃO

Em muitos casos uma máquina é usada para vencer uma força de resistência em um ponto através da aplicação de uma força menor em outro ponto. A razão entre a força de resistência e a força aplicada é denominada "vantagem mecânica".

Considere uma máquina utilizada para levantar um peso  $P$  de uma altura  $h$ , através de uma força  $F$  que desloca o ponto de aplicação de uma distância  $d$ . Na ausência de atrito, e supondo que o corpo tenha sido deslocado em equilíbrio, tem-se:

$$F d - P h = 0$$

ou

$$P / F = d / h$$

A razão  $d / h$  fornece o valor *ideal* da vantagem mecânica da máquina em questão. O valor *real* desta grandeza será dado pela razão entre as medidas de  $P$  e  $F$ .

Neste experimento as máquinas investigadas serão montagens simples constituídas de roldanas. A Figura 2 procura representar três montagens com roldanas que você deverá construir. Um bloco de roldanas suspenso verticalmente constitui parte de cada montagem. Para cada uma das montagens estudadas, um peso  $P$  de valor previamente medido será levantado, puxando-se a corda na mesma. O esforço  $F$  do agente externo (tensão na corda) será medido através de um dinamômetro. Ao mesmo tempo serão medidos o deslocamento  $h$  experimentado pelo peso e o deslocamento  $d$  efetuado pelo agente externo. Esses deslocamentos serão medidos utilizando-se duas escalas de comprimento montadas verticalmente sobre tripés.

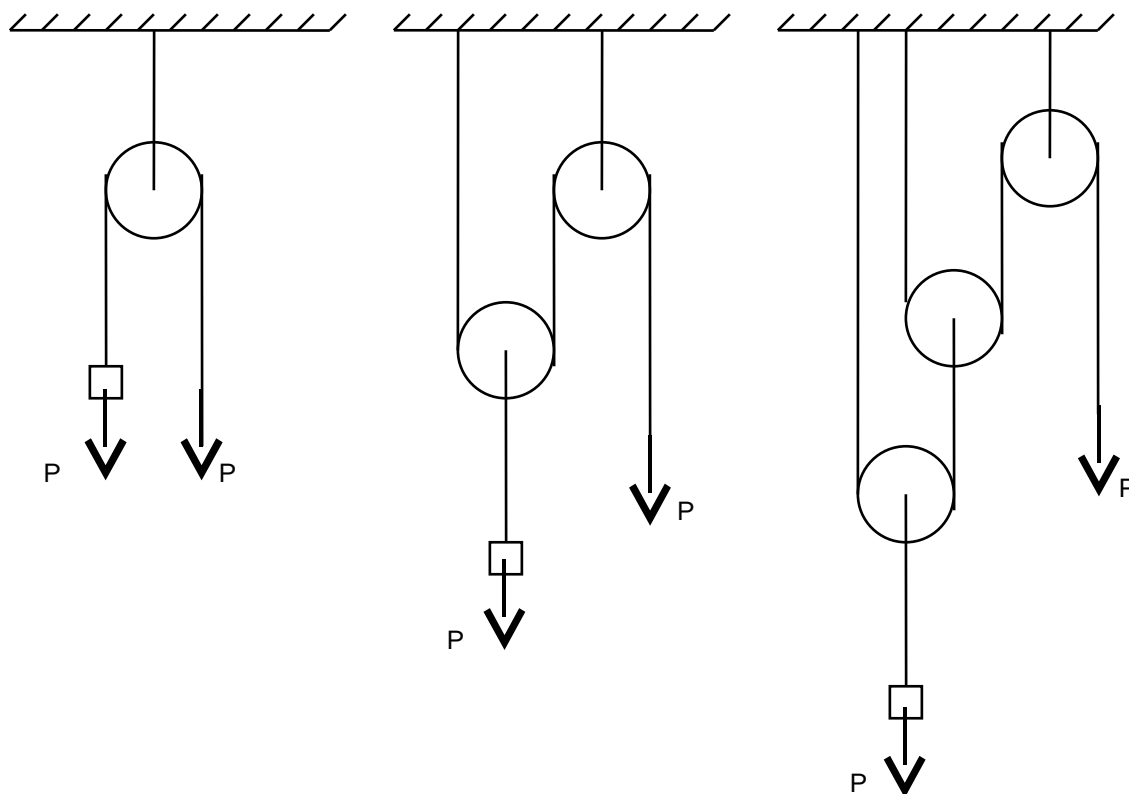


Figura 2

## PROCEDIMENTO

16. Zere o dinamômetro a ser utilizado.
17. Meça com este dinamômetro o peso da carga a ser levantada.
18. Construa a primeira montagem representada na figura
19. Fixe o dinamômetro à extremidade livre da corda e puxe-a verticalmente para baixo. Meça o deslocamento efetuado por você, bem como o deslocamento experimentado pela carga. Meça também o esforço indicado pelo dinamômetro. Anote os valores encontrados.
20. Repita o procedimento do item 19. para quatro outros valores de deslocamento do pesos. Complete a tabela abaixo em função dos resultados obtidos para essas medidas.

21. Repita os procedimentos dos itens 19. e 20. acima para as duas outras montagens.
22. O que se pode concluir face aos resultados obtidos?

## FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

### *Experimento: Equilíbrio Estático*

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### COMPONENTES DO GRUPO

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

#### A – CALIBRAÇÃO DE UM DINAMÔMETRO

Dependência da Força com a Deformação

$F$ (gf)										
$x$ (mm)										

#### B – COMPOSIÇÃO DE FORÇAS

$\alpha$ (°)						
$\beta$ (°)						
$F_1$ (gf)						
$F_2$ (gf)						
$F_3$ (gf)						
$R_x = F_2 \cos \alpha - F_3 \cos \beta$ (gf)						
$R_y = F_2 \sin \alpha + F_3 \sin \beta - F_1$ (gf)						

#### C – LEVANTAMENTO DE PESOS UTILIZANDO ROLDANAS

$P$ (kgf)	$F$ (kgf)	$h$ (mm)	$d$ (mm)	$P / F$	$d / h$