

# Física: Mecânica

## TÓPICO 7: Estática

Já pensou qual é o princípio físico utilizado por um abridor de garrafa? Sabe quais as condições que um engenheiro civil deve respeitar para construir uma ponte? Sabe qual é a principal função do bíceps? Todas essas perguntas serão respondidas nesta aula através dos princípios que estabelecem o repouso de um corpo rígido.

### 1 Torque

Um corpo pode apresentar dois tipos de movimento: translação e rotação. Translação é o movimento entre dois pontos do espaço. No sistema cartesiano, por exemplo, isso representa uma mudança das coordenadas  $x, y$  e  $z$  de um objeto devido a aplicação de uma força externa. Rotação é o movimento em torno de um eixo, sendo caracterizado pelo deslocamento angular  $\Delta\theta$  do corpo, conforme estudamos na Aula 2. O agente responsável pela execução da rotação é o torque  $\tau$ :

$$\tau = rF \sin \phi \quad (1)$$

em que  $F$  é a força aplicada no corpo,  $r$  a distância entre o ponto em que a força é aplicada e o eixo de rotação do corpo, também chamado de “braço da alavanca”, e  $\phi$  é o ângulo formado entre o braço da alavanca e a força  $F$ . Isso é ilustrado na figura 1. Torque (ou também chamado de *momento de uma força*) é uma palavra derivada do latim *torquere*, que significa “torcer”. No SI é dado em N·m.

#### FIQUE LIGADO

Quando mais de uma força realiza torque sobre um objeto, é possível calcular separadamente o torque de cada uma das forças utilizando a equação 1. O cálculo do torque para uma força específica é feito utilizando em  $F$  a força a qual você deseja obter o torque e em  $r$  a distância desta força até o eixo de rotação.



Figura 1: Torque realizado em uma haste.

#### Exercício 1

(UDESC) Ao se fechar uma porta, aplica-se uma força na maçaneta para ela rotacionar em torno de um eixo fixo onde estão as dobradiças. Com relação ao movimento dessa porta, analise as proposições.

- I. Quanto maior a distância perpendicular entre a maçaneta e as dobradiças, menos efetivo é o torque da força.
- II. A unidade do torque da força no SI é o N.m, podendo também ser medida em Joule (J).
- III. O torque da força depende da distância perpendicular entre a maçaneta e as dobradiças.
- IV. Qualquer que seja a direção da força, o seu torque será não nulo, consequentemente, a porta rotacionará sempre.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.

- c) Somente a afirmativa IV é verdadeira.  
 d) Somente a afirmativa III é verdadeira.  
 e) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.

**RESOLUÇÃO:**

I. Incorreta. Quanto maior a distância entre a maçaneta e as dobradiças, maior é o torque.

II. Incorreta. A unidade de torque é N·m. Embora Joule também seja definido por N·m, torque não pode ser representado em Joule por se tratar de uma unidade para representar energia.

III. Correta. Note na figura abaixo que a força  $\vec{F}$  tem duas componentes: (i)  $F_{\parallel} = F \cos \phi$ , que tem a mesma direção do braço da alavanca e (ii)  $F_{\perp} = F \sin \phi$ , que é perpendicular ao braço da alavanca. Usando as componentes paralelas e perpendiculares da força  $\vec{F}$ , a equação 1

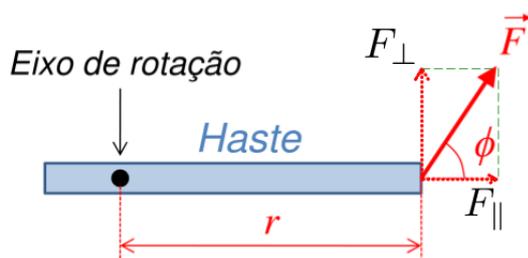
$$\tau = rF \sin \phi$$

pode ser escrita como

$$\tau = r(F \sin \phi) = rF_{\perp}$$

Isso nos mostra que quem produz torque é a componente perpendicular da força em relação ao “braço da alavanca”.

Portanto, o torque da força depende da distância perpendicular entre a maçaneta e as dobradiças (lembre-se que é na maçaneta que se encontra aplicada a força  $F_{\perp}$  que realiza o torque).



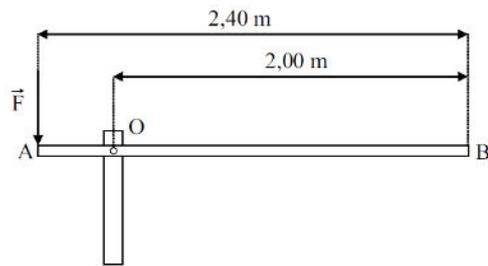
Torque realizado em uma haste por uma força  $\vec{F}$ , juntamente com as componentes paralela ( $F_{\parallel}$ ) e perpendicular ( $F_{\perp}$ ) da força em relação ao braço da alavanca.

IV. Incorreta. Na equação 1 é possível verificar que se  $\phi = 0$  ou  $\phi = 180^\circ$  (a força é paralela à porta), o torque é nulo.

Portanto, a alternativa correta é o item (d).

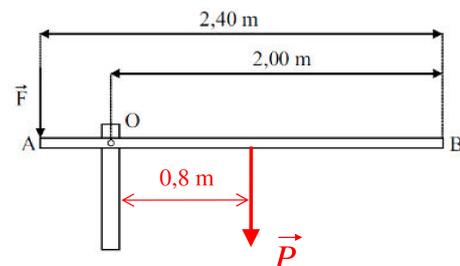
**Problema 1**

(MACKENZIE) Uma cancela manual é constituída de uma barra homogênea AB de comprimento  $L = 2,40$  m e massa  $M = 10,0$  kg e está articulada no ponto O, onde o atrito é desprezível. A força  $F$  tem direção vertical e sentido descendente, como mostra a figura acima. Considerando a aceleração da gravidade  $g = 10,0$  m/s<sup>2</sup>, a intensidade da força mínima que se deve aplicar em A para iniciar o movimento de subida da cancela é:



- a) 150 N  
 b) 175 N  
 c) 200 N  
 d) 125 N  
 e) 100 N

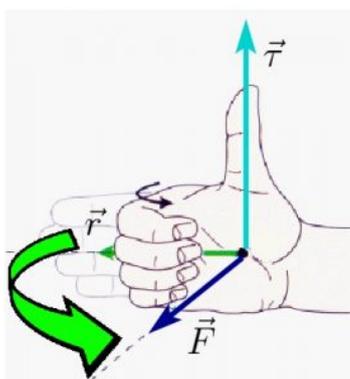
**RESOLUÇÃO:** Nos problemas que estudamos até o momento, não houve a preocupação imediata com as dimensões do corpo. Por isso, tratávamos os problemas como partículas pontuais. Isso acontece por dois motivos: (i) as dimensões do corpo são desprezíveis quando comparadas com as dimensões do problema (ii) ou as análises foram feitas em relação ao centro de massa. Centro de massa é um ponto médio do corpo onde representamos a sua força peso; ou seja, é como se toda a massa e, consequentemente, a força peso estivesse naquele ponto. Na haste deste problema, considerando que a distribuição de massa é homogênea, o centro de massa está posicionado no meio, conforme ilustrado na figura a seguir.



Note que neste diagrama, portanto, existem duas forças. A força  $F$  está 0,40 m do ponto O (eixo de rotação) e a força peso está 0,80

m deste mesmo ponto; logo, as duas forças realizam torque.

O torque é uma grandeza vetorial e sua direção e sentido são dadas pela regra da mão direita, como mostrado na figura a seguir. Os dedos, com exceção do polegar, apontados a partir eixo de rotação até o ponto de aplicação da força, representam a direção e o sentido do braço da alavanca. Ao fechá-los na direção e sentido do vetor de força, o polegar indicará a direção e o sentido do vetor torque, que tem a mesma direção do eixo de rotação. Neste problema, é perpendicular ao plano do papel. Se o vetor sai do plano, o torque, por convenção, é positivo. Caso contrário, é negativo.



Ao aplicarmos a regra da mão direita, concluímos que a força peso realiza um torque que entra no plano, forçando a rotação da haste no sentido horário, enquanto a força  $F$  realiza um torque que sai do plano do papel, forçando a rotação da haste no sentido anti-horário. Como os torques estão na mesma direção, mas possuem sentidos opostos, temos três situações possíveis: (i) se o torque da força peso é maior, a cancela rotaciona no sentido horário; (ii) se o torque da força  $F$  é maior, a cancela sobe e (iii) se os torques forem iguais, a cancela permanece parada na horizontal (estática). Para resolver este exercício, vamos aplicar a última condição:

$$\tau_F = \tau_P$$

O cálculo tanto de  $\tau_F$  quanto de  $\tau_P$  será feito por meio da equação 1. Iniciamos com  $\tau_F$ :

$$\tau = rF \sen \phi$$

Para o caso de  $F$ ,

$$\begin{aligned} r &= 0,40 \text{ m} \\ F &= ? \\ \phi &= 90^\circ \end{aligned}$$

Para  $\tau_P$ :

$$\begin{aligned} \tau &= rF \sen \phi \\ r &= 0,80 \text{ m} \\ F &= P = mg = 10,0 \cdot 10 = 100 \text{ N} \\ \phi &= 90^\circ \end{aligned}$$

Substituindo os valores

$$\begin{aligned} \tau_F &= (0,40)F \sen 90^\circ = (0,40)F \\ \tau_P &= (0,80)(100) \sen 90^\circ = (0,80)(100) \end{aligned}$$

pois  $\sen 90^\circ = 1$ . Logo, para que a cancela permaneça em repouso, a força  $F$  deve ser:

$$\begin{aligned} (0,40)F &= (0,80)(100) \\ F &= \frac{(0,80)(100)}{0,40} = 200 \text{ N} \end{aligned}$$

Acima deste valor, a cancela sobe. Assim, a alternativa correta é o item (c).

(Obs.: A figura que apresenta a regra da mão direita foi retirada da página *Mestrado Nacional em Ensino de Física da UFABC 2019.*)

## 2 Estática

Para um corpo ser considerado em repouso, a soma das forças que atuam sobre ele deve ser zero:

$$\sum F = 0 \quad (2)$$

e a soma dos torques também deve ser zero:

$$\sum \tau = 0 \quad (3)$$

As equações 2 e 3 estabelecem, respectivamente, que um corpo parado (estático) não apresenta translação e rotação.

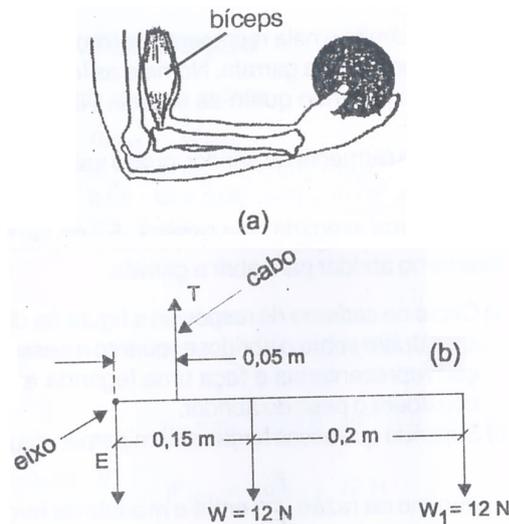
### FIQUE LIGADO

Na hora de fazer a soma dos torques deve-se tomar cuidado com o sinal do torque de cada força. O sinal do torque é obtido pela regra da mão direita, conforme descrito no Problema 1.

### Problema 2

(UDESC) A figura (a) mostra o braço de uma pessoa, com a mão segurando uma bola. Vê-se que o antebraço é suportado pelo músculo bíceps, podendo girar ao redor do cotovelo. O antebraço pode, portanto, ser considerado como uma barra que consegue girar ao redor de um

eixo e que é suportada por um cabo, conforme se vê na figura (b). O eixo representa a junta do cotovelo e o cabo representa o bíceps.  $W$  e  $W_1$  são os pesos do antebraço e da bola, respectivamente.



(a) Calcule a força  $T$  exercida pelo músculo bíceps.

(b) Calcule a força  $E$  exercida pela junta do cotovelo.

**RESOLUÇÃO:**

(a) Como o sistema está em repouso, podemos calcular a tração  $T$  com a equação 3 para os torques calculados em relação ao eixo de rotação do antebraço:

$$\sum \tau = (0,05)T - (0,15)W - (0,35)W_1 = 0$$

$$T = \frac{(0,15)(12) + (0,35)(12)}{0,05} = 120 \text{ N}$$

Foi utilizado a equação 1 para calcular o torque de cada força:  $T$ ,  $W$  e  $W_1$ . Em todas elas  $\phi = 90^\circ$ . Perceba que as forças  $W$  e  $W_1$  entram na soma dos torques (equação 3) com o sinal negativo (torque entrando no plano do papel), enquanto o torque de  $T$  entrou com o sinal positivo (torque saindo do plano do papel). O sinal do torque produzido pelas forças foi obtido pela regra da mão direita, conforme descrito no problema 1. O torque da força  $E$  não aparece nos cálculos porque distância do ponto onde ela é aplicada ao eixo de rotação é zero.

(b)  $E$  é uma força de reação que surge na junta do cotovelo. Quando o bíceps contrai, o úmero (osso do braço) aplica a força  $E$  na extremidade direita do rádio e da ulna (ossos do antebraço),

forçando a rotação do antebraço em torno do eixo. Para calcular a sua intensidade, usamos a equação 2:

$$\sum F = T - E - W - W_1 = 0$$

Logo,

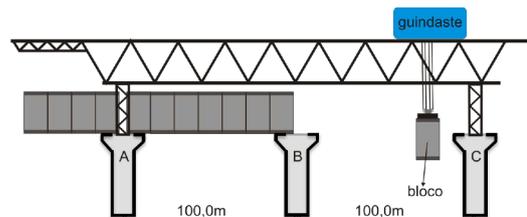
$$E = T - W - W_1 = 120 - 24 = 96 \text{ N}$$

Aqui você também deve tomar cuidado com o sinal das forças na hora de aplicar a equação 2. Observe que algumas forças entraram com sinal positivo, enquanto outras com sinal negativo.

**Problema 3**

(UFSC) A BR-101, também conhecida como Rodovia Translitorânea, faz a ligação do Brasil de norte a sul. Sua duplicação, portanto, é uma obra de grande importância. A construção da nova ponte de Laguna, batizada em homenagem à lagunense Anita Garibaldi, a heroína de dois mundos (América Latina e Europa), faz parte da obra de duplicação dessa rodovia e substituirá a atual ponte de Laguna, a Ponte Henrique Lage, inaugurada em 1º de setembro de 1934. A construção da nova ponte de Laguna e a conclusão da duplicação da rodovia BR-101 darão um grande impulso ao desenvolvimento econômico desta região e, também, ao turismo (Ponte de Laguna 2014).

O desenho abaixo ilustra o sistema de guindaste usado para suspender os blocos de concreto que darão a base para a pista de rolamento dos veículos. Uma estrutura metálica fica apoiada sobre dois pilares (A e C), dando suporte ao guindaste que suspende os blocos de concreto, para que sejam fixados aos demais. Vamos admitir que a estrutura metálica possua uma massa de 200 toneladas ( $200 \times 10^3 \text{ kg}$ ) cujo centro de massa esteja a 80,0 m do pilar A, que cada bloco possua uma massa de 10 toneladas e que o guindaste tenha uma massa de 5 toneladas. Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



Com base nos dados acima, é **CORRETO** afirmar que:

01. Para que todo o sistema (estrutura, guindaste e bloco) esteja em equilíbrio, é necessário que a soma dos momentos seja zero,  $\sum M = 0$ , assim como a soma das forças,  $\sum F = 0$ .

02. A altura do bloco suspenso pelo guindaste influencia o seu torque em relação ao pilar A ou ao pilar C.

04. À medida que o guindaste se desloca em direção ao pilar B, a força de reação dos pilares A e C aumenta e diminui, respectivamente.

08. Supondo que o bloco suspenso esteja a 20,0 m do pilar C, as forças de reação nos pilares A e C são, respectivamente,  $121,5 \times 10^4$  N e  $93,5 \times 10^4$  N.

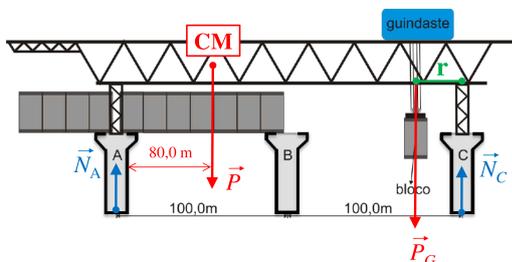
16. Inserir um novo ponto de sustentação da estrutura no pilar B não altera as forças de reação nos pilares A e C.

32. As forças de reação nos pilares A e C se alteram durante a subida do bloco, em velocidade constante, pelo guindaste.

#### RESOLUÇÃO:

01. Correta. Estes dois critérios são os apresentados na seção 2 desta aula. Lembre-se que o torque  $\tau$  também é chamado momento  $M$ .

02. Incorreta. Conforme discutido anteriormente, o termo  $F \sin \phi$  representa a componente de força perpendicular ao braço da alavanca. Como a força peso é vertical ( $\vec{P}_G$ ), a direção do braço da alavanca é horizontal (representado por  $r$ ), conforme mostra o diagrama de forças. Logo, a altura do bloco não tem influência sobre o torque realizado por ele em relação ao pilar A ou C.



04. Correta. Neste problema, apenas os pilares A e C sustentam o guindaste. O pilar B não possui relação com a sustentação da estrutura metálica; assim, excluimos a análise deste

componente nas equações que seguem. Em relação ao pilar C, a soma torques deve ser zero:

$$\sum \tau = rP_G + 120P - 200N_A = 0$$

em que 120 m é a distância da força peso  $P$  da ponte (estrutura metálica + blocos montados) até o pilar C. Note que o enunciado comenta 80 m desta força até o pilar A. Logo,

$$N_A = \frac{(15.000)(10)r + (120)(200.000)(10)}{200}$$

$$N_A = 750r + (120 \times 10^4) \quad (4)$$

Para encontrar uma relação para a normal  $N_C$ , realizamos o somatório das forças:

$$\sum F = N_A + N_C - P - P_G = 0 \quad (5)$$

Substituindo 4 em 5, temos:

$$N_C = (95 \times 10^4) - 750r \quad (6)$$

Comparando as equações 4 e 6 é possível mostrar que as forças de reação  $N_A$  e  $N_C$  aumentam e diminuem, respectivamente, com o aumento de  $r$ .

08. Correta. Substituindo  $r = 20$  m nas equações 4 e 6, obtemos:

$$N_A = 121,5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$N_C = 93,5 \times 10^4 \text{ N}$$

16. Incorreta. Altera, pois haverá um torque da reação  $N_B$  sobre a estrutura metálica.

32. Incorreta. Veja o item 02.

Portanto, a soma dos itens corretos é 13.

#### COLABORADORES DESTA AULA

- **Texto:**  
Diego Alexandre Duarte
- **Diagramação:**  
Diego Alexandre Duarte
- **Revisão:**  
João Carlos Xavier  
Caroline Ruella Paiva Torres

## Referências Bibliográficas

Chaban, E., M. A. Jerry e Ananias M. Neto (2005). *Resumo e Exercícios de Física*. Vol. Único. Florianópolis: JC Gráfica e Editora.

Mestrado Nacional em Ensino de Física da UFABC (2019). URL: <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/leis-de-conservacao/cinematica-e-dinamica-de-rotacoes/> (acesso em 23/02/2019).

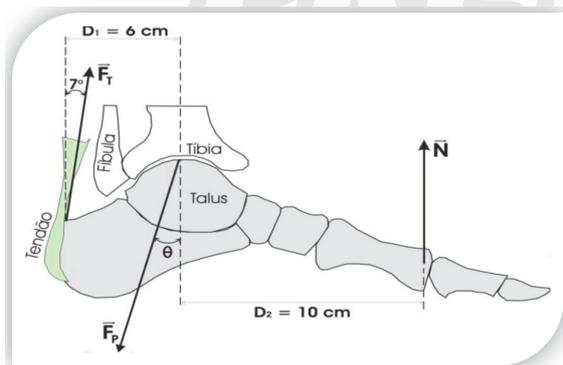
Máximo, A. e B. Alvarenga (2012). *Caderno de revisão e exercícios de física*. Vol. Único. São Paulo: Scipione.

Ponte de Laguna (2014). URL: [www.pontedelaguna.com.br](http://www.pontedelaguna.com.br) (acesso em 17/08/2014).

## 3 Lista de Problemas

Alguns dos exercícios apresentados na lista abaixo, bem como alguns resolvidos nesta aula, foram retirados de Chaban, Jerry e Neto, 2005 e Máximo e Alvarenga, 2012. Outros problemas foram retirados diretamente dos cardenos de prova dos referidos vestibulares.

- (UFSC) As condições de equilíbrio de um objeto podem ajudar na compreensão de muitos problemas em ortopedia, como as lesões no tendão de Aquiles. O tendão de Aquiles conecta os músculos da panturrilha ao calcâneo na parte de trás do calcanhar. Na figura abaixo, são apresentadas a força do tendão sobre o pé ( $F_T$ ), a força dos ossos da perna (tíbia e fíbula) sobre o pé ( $F_P$ ) e a força do solo sobre o pé ( $N$ ) para uma pessoa que está na vertical sobre a ponta de um pé. O peso do pé foi desconsiderado.



Dados:  $\sin 7^\circ = 0,10$  ;  $\cos 7^\circ = 0,9$  .

Com base na figura e no exposto acima, é correto afirmar que:

- O módulo da força  $N$  é igual ao módulo do peso da pessoa.
- A força  $N$  forma um par ação e reação com a força peso.

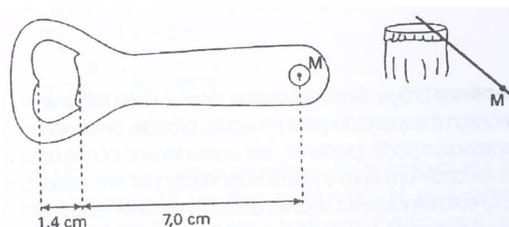
04. A força  $F_T$  é aproximadamente 1,85 vezes a força  $N$ .

08. A tangente do ângulo  $\theta$  é aproximadamente 0,07.

16. A força  $F_P$  é aproximadamente 2,67 vezes a força  $N$ .

32. Quando um objeto está em equilíbrio, a sua aceleração é constante.

- (FUVEST) As figuras a seguir representam esquematicamente, à esquerda, um abridor de garrafas e, à direita, esse abridor abrindo uma garrafa.

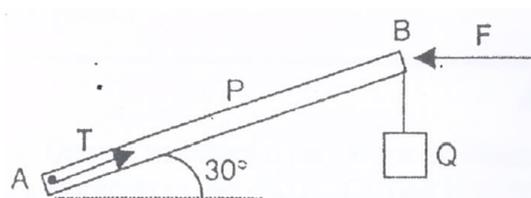


Em ambas as figuras,  $M$  é o ponto de aplicação da força que uma pessoa exerce no abridor para abrir a garrafa.

(a) Copie a figura da direita e nela represente as forças que atuam sobre o abridor enquanto a pessoa abre a garrafa. Nomeie as forças representadas e faça uma legenda explicando quem as exerce. Não considere o peso do abridor.

(b) Supondo que essas forças atuem perpendicularmente ao abridor, qual o valor mínimo da razão  $F_p/F_a$  entre o módulo da força exercida pela pessoa,  $F_p$ , e o módulo da força  $F_a$  que retira a tampa e abre a garrafa?

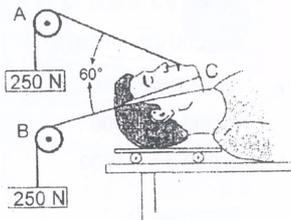
- (ACAFE) Uma barra homogênea,  $P$ , de peso igual a 100 N, pode girar em torno de  $A$ . Um bloco  $Q$ , de peso igual a 900 N, está suspenso por um fio de peso desprezível em  $B$ . Uma força horizontal  $F$  mantém a barra em equilíbrio, formando um ângulo de  $30^\circ$  com a horizontal, conforme mostra a figura. Os valores, em newtons, dos componentes horizontal e vertical da força  $T$  que atua em  $A$ , respectivamente, são:



- $950\sqrt{3}$  e 900
- $1000\sqrt{3}$  e 1000

- (c)  $1000\sqrt{3}$  e 100
- (d)  $900\sqrt{3}$  e 900
- (e)  $950\sqrt{3}$  e 1000

4. (UDESC) Um paciente com indicação fisioterápica de tração encontra-se na situação da figura abaixo. Admita que as roldanas A, B e o ponto de apoio C estão no mesmo plano horizontal, conforme está demonstrado.



Nessa situação, determine a intensidade da força resultante  $F_C$  aplicada no queixo do paciente, em newtons.

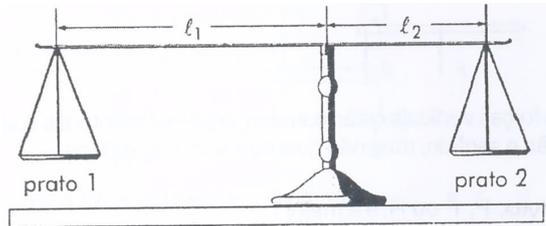
5. (UFPB) Um vendedor de peixes percorre a cidade carregando seus peixes presos nas extremidades de uma barra de madeira, rígida e uniforme, com 1,5 kg de massa e 1 m de comprimento. Ele leva a barra apoiada em seu ombro. Em determinado instante de sua caminhada, restam-lhe apenas 3 peixes, dois deles com 1,5 kg de massa e um terceiro peixe de massa desconhecida. O vendedor pensa em duas maneiras diferentes de distribuir os peixes: a primeira, com os dois peixes com 1,5 kg de massa de um lado e o de massa desconhecida de outro, e a segunda, com um peixe de 1,5 kg de massa de um lado e de outro o peixe de massa desconhecida junto com o segundo peixe de 1,5 kg de massa. O vendedor distribuiu os peixes e coloca a barra no ombro, ficando esta equilibrada quando o ponto de apoio está a uma distância de 0,75 m do peixe de massa desconhecida (ver figura abaixo).



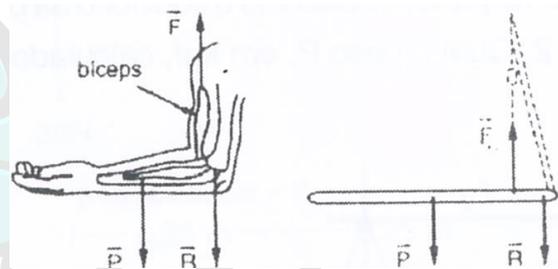
- (a) De que maneira o vendedor distribuiu os peixes?
- (b) Reproduza a figura acima indicando todas as forças presentes.
- (c) Determine a massa do terceiro peixe.

6. (UFSC) A figura mostra uma balança defeituosa, que possui braços de tamanhos  $l_1$  e  $l_2$  desiguais. Desejando utilizar-se da mesma, uma pessoa de posse de dois pesos-padrões conhecidos, 9,0 kgf e 4,0 kgf, realizou os seguintes procedimentos para determinar o peso  $P$  desconhecido de um

determinado bloco: colocando o peso  $P$  no prato 2, observou o equilíbrio da balança com o peso de 9,0 kgf no prato 1; colocando o peso  $P$  no prato 1, observou o equilíbrio da balança com o peso de 4,0 kgf no prato 2. Qual o peso, em kgf, calculado pela pessoa?

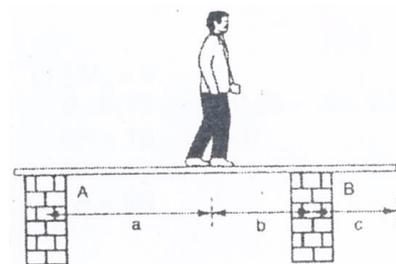


7. (VUNESP) A figura da esquerda representa um braço humano em repouso, com a mão e o antebraço na horizontal. O equilíbrio da parte horizontal deve-se à composição das forças verticais  $\vec{P}$  (peso do conjunto mão-antebraço),  $\vec{F}$  (exercida pelo músculo bíceps) e  $\vec{R}$  (reação no cotovelo). A figura da direita é um diagrama mecânico dessa situação.



Nas figuras, as três forças verticais estão corretamente representadas quanto a sua posição, direção e sentido, mas não quanto a sua intensidade.

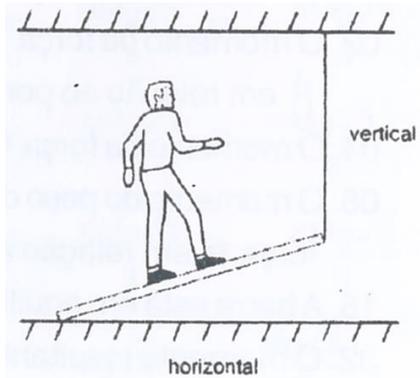
- (a) Qual das três forças,  $\vec{P}$ ,  $\vec{F}$  ou  $\vec{R}$  é maior?
  - (b) Justifique sua resposta.
8. (FUVEST) Uma tábua de madeira, homogênea, prismática, de massa  $m = 50$  kg está apoiada sobre dois muros, como mostra a figura. Uma pessoa, de massa  $M = 70$  kg, está na posição indicada. São dados:  $a = 2$  m;  $b = 1$  m;  $c = 1$  m;  $g = 9,80$  m/s<sup>2</sup>.



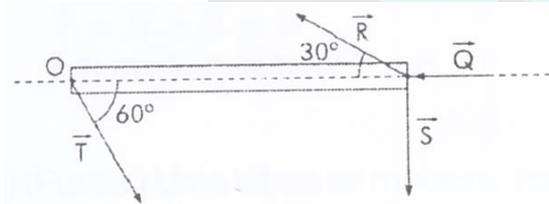
Calcule as forças que estão sendo exercidas pelo

conjunto homem-tábua sobre os muros.

9. (ITA) Uma barra rígida e homogênea com comprimento de 2,40 m e peso de 600 N, tem um extremo apoiado num piso horizontal com atrito desprezível e o outro suspenso por um fio vertical, conforme mostra a figura. A tração máxima que o fio pode suportar é 600 N. Um homem com peso de 800 N pode postar-se, sem que o fio se rompa, até  $x$  metros do fio. Determine  $x$ .



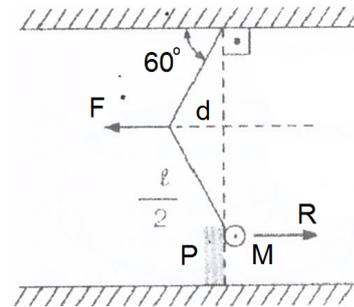
10. (UFSC) A figura mostra as forças de módulos  $Q = 10$  N,  $R = 70$  N,  $S = 20$  N e  $T = 40$  N que atuam sobre uma barra homogênea, com peso de módulo de 30 N e com 2 m de comprimento, que tende a girar em torno do ponto O.



Assinale a(s) proposição(ões) verdadeira(s).

01. O momento da força  $\vec{T}$  em relação ao ponto O é igual a zero.
02. O momento da força  $\vec{S}$  em relação ao ponto O é igual o momento da força  $\vec{R}$  em relação ao ponto O.
04. O momento da força  $\vec{Q}$  em relação ao ponto O tem módulo igual a 20 N·m.
08. O momento do peso da barra em relação ao ponto O é igual ao momento da força  $\vec{R}$  em relação ao ponto O.
16. A barra está em equilíbrio de rotação.
32. O momento resultante em relação ao ponto O é nulo.

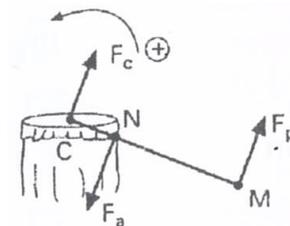
11. (ITA) Na figura abaixo, a massa esférica  $M$  pende de um fio de comprimento  $l$  mas está solicitada para a esquerda por uma força  $F$  que mantém a massa apoiada contra uma parede vertical  $P$ , sem atrito. Determine os valores de  $F$  e de  $R$  (reação da parede). (Raio da esfera  $< l$ ).



- (a)  $F = \frac{2Mg\sqrt{3}}{3}$  e  $R = \frac{Mg\sqrt{3}}{3}$
- (b)  $F = \frac{8Mg\sqrt{3}}{3}$  e  $R = \frac{8Mg\sqrt{3}}{3}$
- (c)  $F = \frac{4Mg\sqrt{3}}{3}$  e  $R = \frac{Mg\sqrt{3}}{3}$
- (d)  $F = \frac{8Mg\sqrt{3}}{3}$  e  $R = \frac{4Mg\sqrt{3}}{3}$
- (e)  $F = Mg\sqrt{3}$  e  $R = \frac{Mg\sqrt{3}}{2}$

## 4 Gabarito

1. Soma dos itens corretos: 29. Item 01: Correta. Item 02: Incorreta. Item 04: Correta. Item 08: Correta. Item 16: Correta. Item 32: Incorreta.
2. (a)  $F_p$  é a força exercida pela pessoa sobre o abridor;  $F_a$  é a força exercida pela borda da tampa no abridor;  $F_c$  é a força exercida pelo centro da tampa no abridor.



- (b)  $F_p/F_a = 0,2$ .
3. Item (b):  $1000\sqrt{3}$  e 1000.
4.  $250\sqrt{3}$ .
5. (c) 0,5 kg.
6. 6 kgf (1 kgf = 10 N).
7. (a)  $\vec{F}$ .

8.  $N_A = 392 \text{ N}$  e  $N_B = 784 \text{ N}$ .
9.  $x = 1,5 \text{ m}$ .
10. Soma dos itens corretos: 49. Item 01: Correta.  
Item 02: Incorreta. Item 04: Incorreta. Item  
08: Incorreta. Item 16: Correta. Item 32: Correta.
11. Item (a):  $F = \frac{2Mg\sqrt{3}}{3}$  e  $R = \frac{Mg\sqrt{3}}{3}$ .

