

- 2 Das energias a seguir, quais podem ser classificadas como energias potenciais?  
 a) gravitacional                      b) cinética                      c) química                      d) nuclear
- 3 Houve uma inovação técnica que foi de grande importância para a Revolução Industrial. Qual foi ela?
- 4 Durante a fotossíntese, que transformação de energia ocorre?
- 5 Que tipo de energia há numa bateria de automóvel?
- 6 Que transformação de energia ocorre no funcionamento de um dínamo?
- 7 A energia elétrica que sai de uma hidrelétrica é o final de uma série de transformações de energia. Procure estabelecer essa seqüência.

## 2. TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA

Nas páginas anteriores apresentamos exemplos de formas de energia e suas transformações. O próximo passo é mostrar como se calculam essas energias. Neste livro veremos como calcular as energias *cinética*, *potencial gravitacional* e *potencial elástica*. No volume 2 estudaremos o *calor* e no volume 3 a energia *elétrica*.

O conceito de energia teve uma gestação lenta. Ele começou a ser esboçado no final do século XVII, mas só apresentou um contorno mais definido em meados do século XIX, quando foi reconhecido o Princípio da Conservação da Energia.

Na formação do conceito de energia, as primeiras máquinas a vapor desempenharam um importante papel. Como já mencionamos, a primeira aplicação dessas máquinas foi a retirada da água que se acumulava no fundo das minas. Portanto, a *tarefa* dessas máquinas era “suspender” a água. Mas, para fazer isso, era necessário aplicar uma *força*, a qual produzia um *deslocamento*. Veio então a idéia de medir a *tarefa* realizada a partir do produto da força pelo deslocamento:

$$\text{tarefa} = (\text{força}) \cdot (\text{deslocamento})$$

Logo se percebeu que essa era uma boa maneira de medir a tarefa, pois a experiência mostrava que a tarefa realizada era proporcional à quantidade de carvão usada: quanto maior a tarefa, maior a quantidade de carvão necessária. Desse modo o valor da tarefa podia servir como medida da energia gasta para suspender a água ou como medida da energia transferida para a água.

Os físicos passaram a utilizar a palavra *trabalho* no lugar da palavra *tarefa*. Assim, quando uma força produz o deslocamento de um corpo, ela realiza trabalho; o valor desse trabalho é igual à energia gasta para realizá-lo, energia essa que foi transferida ao corpo.

### Definição inicial de trabalho

Consideremos um bloco inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal sem atrito. A partir do instante  $t = 0$  aplicamos ao corpo uma força  $\vec{F}$ , constante e horizontal, como mostra a figura. O bloco deverá mover-se para a direita e após um deslocamento  $\vec{d}$  sua velocidade será  $\vec{v}$ . Apenas para fixar idéias, suponhamos que a massa do corpo seja  $m = 4,0 \text{ kg}$  e que:

$$F = 24 \text{ N} \quad \text{e} \quad d = 3,0 \text{ m}$$

A força resultante sobre o bloco é a força  $\vec{F}$ . As forças  $\vec{P}$  e  $\vec{F}_N$ , pelo fato de serem *perpendiculares* ao deslocamento, não contribuem para o movimento, isto é, não têm componente ao longo do movimento e portanto não contribuem para a aceleração.

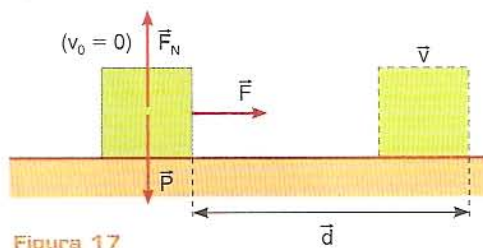


Figura 17

A força  $\vec{F}$  realizou um trabalho, que representaremos por  $\mathcal{Z}_F$ . De acordo com nossas considerações anteriores, esse trabalho será dado por:

$$\mathcal{Z}_F = F \cdot d = (24 \text{ N}) \cdot (3,0 \text{ m}) = 72 \text{ N} \cdot \text{m}$$

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de trabalho chama-se *joule* (cujo símbolo é *J*), em homenagem ao físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) (de quem voltaremos a falar no volume 2), pois sua obra foi muito importante para o estabelecimento do Princípio da Conservação da Energia.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Portanto, temos:

$$\mathcal{Z}_F = 72 \text{ N} \cdot \text{m} = 72 \text{ joules} = 72 \text{ J}$$

Esse trabalho representa a energia transferida ao bloco. Ao fim do deslocamento  $\vec{d}$ , o bloco tem uma energia cinética  $E_C$ , cujo valor é exatamente 72 J:

$$E_C = 72 \text{ J}$$

Suponhamos agora que, no final do deslocamento  $\vec{d}$ , a força  $\vec{F}$  seja retirada e no seu lugar seja colocada uma força  $\vec{F}'$ , de sentido oposto ao do movimento (fig. 18), e cujo módulo é  $F = 12 \text{ N}$ . Suponhamos que essa força atue até o bloco atingir o repouso, depois de um deslocamento  $\vec{d}'$ . Nesse caso a força  $\vec{F}'$  fez com que o bloco *perdesse* energia cinética, e expressamos isso dizendo que a força  $\vec{F}'$  realizou um trabalho *negativo*:

$$\mathcal{Z}_{F'} = -F' \cdot d'$$

Se você fizer os cálculos (aplicando a Segunda Lei de Newton e a equação de Torricelli), verificará que:

$$d' = 6,0 \text{ m}$$

Assim:

$$\mathcal{Z}_{F'} = -F' \cdot d' = -(12 \text{ N}) (6,0 \text{ m}) = -72 \text{ J}$$

Portanto, durante o deslocamento  $\vec{d}'$ , a força  $\vec{F}'$  fez com que o bloco perdesse os 72 J de energia cinética que possuía, levando-o ao repouso.

### Resumindo:

- Um corpo com velocidade  $v$  possui energia cinética. Essa energia cinética é igual ao trabalho total que esse corpo é capaz de realizar até atingir o repouso.
- Quando uma força realiza trabalho positivo sobre um corpo, esse trabalho é transformado em energia cinética.
- Quando uma força realiza trabalho negativo sobre um corpo, o efeito é uma diminuição da energia cinética do corpo.
- Consideremos uma força constante  $\vec{F}$  atuando num corpo durante um deslocamento retilíneo  $\vec{d}$ .
  - I. Se a força tiver o mesmo sentido do deslocamento, realiza um trabalho dado por:

$$\mathcal{Z}_F = +F \cdot d$$

Algumas pessoas pronunciam o nome *Joule* do seguinte modo: *jáule*. No entanto, como esse nome é de origem francesa, os próprios ingleses o pronunciam do seguinte modo: *jul*.

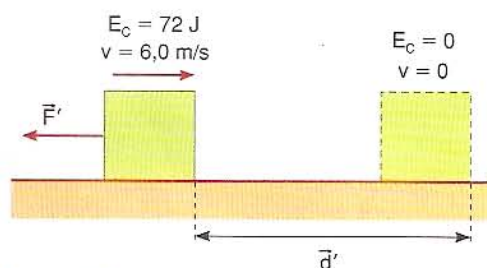


Figura 18

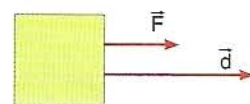


Figura 19

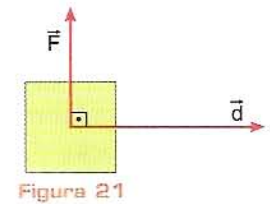
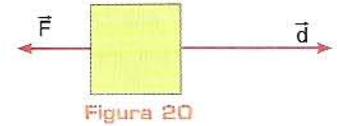
II. Se a força tiver sentido oposto ao do deslocamento, realiza um trabalho negativo dado por:

$$\mathcal{C}_F = - F \cdot d$$

III. Se a força for perpendicular ao deslocamento, seu trabalho é nulo, pois ela não contribui para a aceleração e assim não contribui para a variação de velocidade:

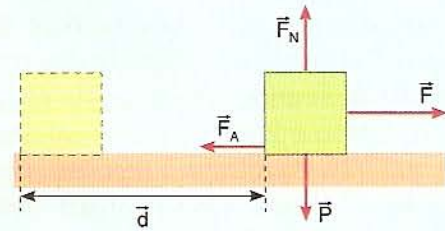
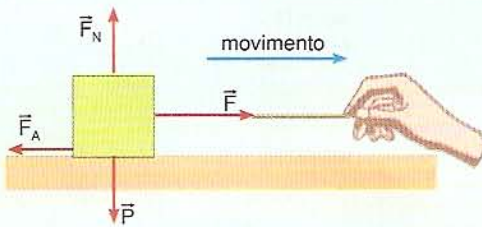
$$\mathcal{C}_F = 0$$

▪ No SI a unidade de trabalho e energia é o *joule*, cujo símbolo é J.



### Exemplo 1

Um bloco apoiado em uma superfície horizontal é puxado para a direita pela aplicação de uma força  $\vec{F}$  de intensidade  $F = 30 \text{ N}$ . Além dessa força, o bloco está sob a ação de outras três forças: o peso  $\vec{P}$ , a força normal  $\vec{F}_N$  e a força de atrito  $\vec{F}_A$ , cuja intensidade é  $F_A = 10 \text{ N}$ . Calcule o trabalho de cada uma dessas forças num deslocamento  $\vec{d}$  de módulo  $d = 5 \text{ m}$ .



#### Resolução

Como a força  $\vec{F}$  tem o mesmo sentido do deslocamento, seu trabalho é positivo:

$$\mathcal{C}_F = + F \cdot d = (30 \text{ N}) (5 \text{ m}) = 150 \text{ N} \cdot \text{m} = 150 \text{ joules} = 150 \text{ J}$$

A força de atrito  $\vec{F}_A$  tem sentido oposto ao do deslocamento e, assim, seu trabalho é negativo:

$$\mathcal{C}_F = - F_A \cdot d = -(10 \text{ N}) (5 \text{ m}) = -50 \text{ J}$$

O peso e a força normal são perpendiculares ao deslocamento e, assim, não realizam trabalho:

$$\mathcal{C}_P = \mathcal{C}_{F_N} = 0$$

#### Discussão

Se quisermos obter o trabalho total ( $\mathcal{C}_{\text{Total}}$ ), podemos proceder de dois modos. Um deles é simplesmente adicionar os trabalhos de todas as forças:

$$\mathcal{C}_{\text{Total}} = \mathcal{C}_F + \mathcal{C}_{F_A} + \mathcal{C}_P + \mathcal{C}_{F_N} = (150 \text{ J}) + (-50 \text{ J}) + (0) + (0) = 100 \text{ J}$$

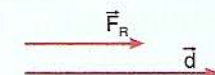
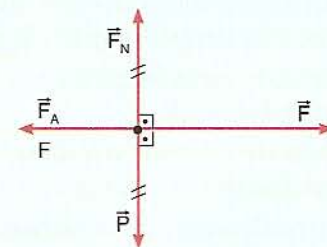
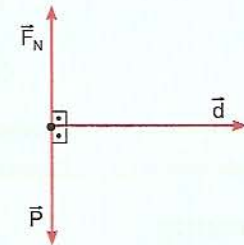
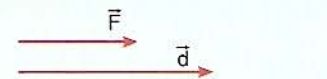
Outro modo é primeiramente determinar a força resultante  $\vec{F}_R$ . O peso e a força normal se cancelam e, assim, o módulo da força resultante  $\vec{F}_R$  é dado por:

$$F_R = F - F_A = (30 \text{ N}) - (10 \text{ N}) = 20 \text{ N}$$

A força  $\vec{F}_R$  tem o mesmo sentido do deslocamento e, assim, seu trabalho é positivo:

$$\mathcal{C}_{F_R} = F_R \cdot d = +(20 \text{ N}) \cdot (5 \text{ m}) = 100 \text{ J}$$

Como podemos observar, o trabalho total é igual ao trabalho da força resultante.



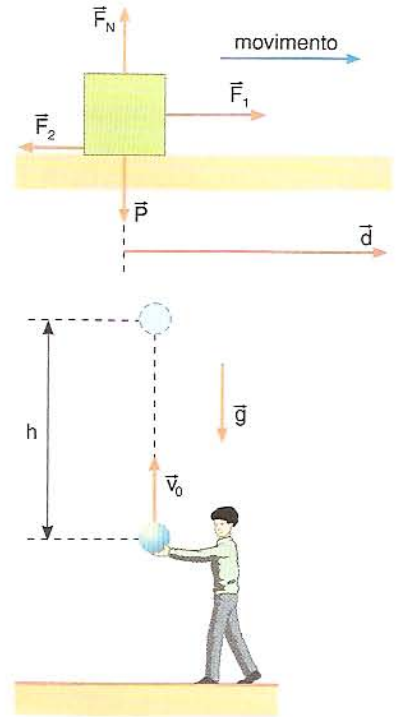
## Aplicação

8 Um bloco de massa 4 kg é arrastado para a direita como mostra a figura, sob a ação de apenas quatro forças:  $\vec{F}_1$ , a força de atrito  $\vec{F}_2$ , o peso  $\vec{P}$  e a força normal  $\vec{F}_N$ . São dados:  $F_1 = 18 \text{ N}$  e  $F_2 = 6 \text{ N}$ . Considerando que o bloco efetuou um deslocamento  $\vec{d}$ , de módulo  $d = 10$  metros, calcule:

- o trabalho de cada uma das quatro forças;
- o trabalho total;
- o trabalho da força resultante.

9 Numa região em que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , um garoto lança verticalmente para cima, com velocidade inicial  $v_0 = 10 \text{ m/s}$ , uma bola de massa 0,20 kg. Desprezando a resistência do ar, calcule:

- a altura máxima atingida ( $h$ );
- o trabalho do peso desde o ponto de lançamento até o ponto mais alto atingido;
- o trabalho do peso desde o ponto mais alto até voltar às mãos do garoto.



## 3. TRABALHO DE UMA FORÇA CONSTANTE EM TRAJETÓRIA RETILÍNEA

Consideremos um corpo que se move em trajetória retilínea, efetuando um deslocamento  $\vec{d}$  (fig. 22a). Seja  $\vec{F}$  uma das forças que atuam no corpo e suponhamos que essa força seja constante (em módulo, direção e sentido). Observe agora que essa força forma um ângulo  $\theta$  qualquer com o deslocamento. Como calcular o seu trabalho?

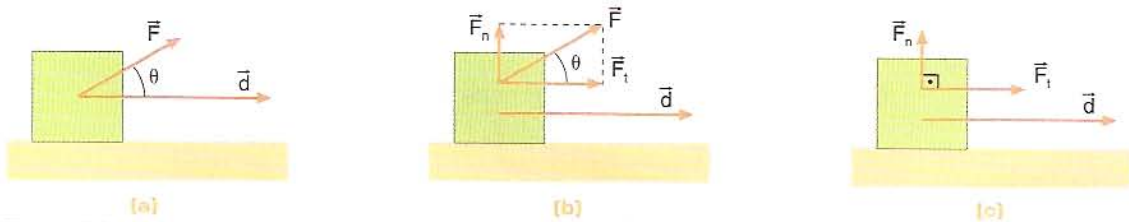


Figura 22

Vamos decompor a força  $\vec{F}$  em duas componentes: a componente tangencial  $\vec{F}_t$  e a componente normal  $\vec{F}_n$  (fig. 22b):


$$F_t = F \cdot \cos \theta \quad \text{e} \quad F_n = F \cdot \sin \theta$$

Dessas duas componentes, apenas a componente tangencial  $\vec{F}_t$  contribui para a aceleração e, portanto, para a variação de velocidade, isto é, apenas a componente tangencial contribui para a variação da energia cinética. A componente normal  $\vec{F}_n$ , pelo fato de ser perpendicular ao deslocamento, não contribui para a aceleração e, portanto, não produz variação de velocidade nem variação de energia cinética.

Em resumo, o trabalho da força  $\vec{F}$  é igual ao trabalho realizado pela sua componente tangencial  $\vec{F}_t$ :

$$\mathcal{C}_F = \mathcal{C}_{F_t} \quad \text{I}$$

Mas, como a componente tangencial tem o mesmo sentido do deslocamento, temos:

$$\mathcal{Z}_{F_t} = F_t \cdot d = (F \cdot \cos \theta) \cdot d \quad \text{(II)}$$


De (I) e (II), tiramos:

$$\mathcal{Z}_F = \mathcal{Z}_{F_t} = (F \cdot \cos \theta) \cdot d \quad \text{ou} \quad \mathcal{Z}_F = F \cdot d \cdot \cos \theta \quad \text{(III)}$$

Consideremos agora a situação da figura 23a, na qual novamente iremos supor que  $\vec{F}$  é constante.

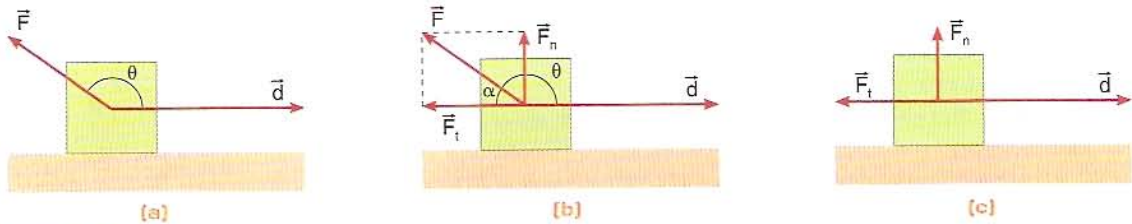


Figura 23

Façamos novamente a decomposição de  $\vec{F}$  em uma componente tangencial  $\vec{F}_t$  e uma componente normal  $\vec{F}_n$ :

$$F_t = F \cdot \cos \alpha \quad \text{e} \quad F_n = F \cdot \sin \alpha$$

Mas os ângulos  $\alpha$  e  $\theta$  são suplementares (sua soma é igual a  $180^\circ$ ). Portanto, temos:  $\cos \alpha = -\cos \theta$ .


Assim:

$$F_t = F \cdot \cos \alpha = F \cdot (-\cos \theta) = -F \cdot \cos \theta \quad \text{(IV)}$$

Das duas componentes de  $\vec{F}$ , a única que realiza trabalho é a componente tangencial  $\vec{F}_t$ , a qual tem sentido oposto ao do deslocamento (fig. 23c). Portanto:

$$\mathcal{Z}_F = \mathcal{Z}_{F_t} = -F_t \cdot d \quad \text{(V)}$$

De (IV) e (V), tiramos:

$$\mathcal{Z}_F = \mathcal{Z}_{F_t} = -(\underbrace{F_t}_{-F \cdot \cos \theta}) \cdot d = -(-F \cdot \cos \theta) \cdot d = F \cdot d \cdot \cos \theta$$


$$\mathcal{Z}_F = F \cdot d \cdot \cos \theta \quad \text{(VI)}$$

Podemos observar que as fórmulas (III) e (IV) são iguais, isto é, elas servem para calcular o trabalho tanto no caso em que  $\theta$  é agudo (fig. 22a) como no caso em que  $\theta$  é obtuso (fig. 23a).

No caso em que  $\theta$  é agudo, temos  $\cos \theta > 0$  e o trabalho é positivo. No caso em que  $\theta$  é obtuso, temos  $\cos \theta < 0$  e, assim, o trabalho é negativo.

Podemos observar que a fórmula (VI) serve também para os casos particulares vistos anteriormente (fig. 24).

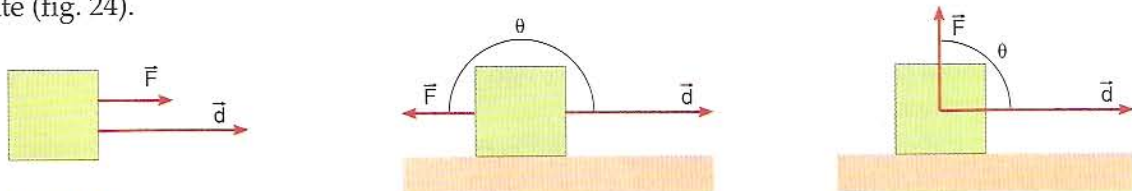


Figura 24

## O trabalho total

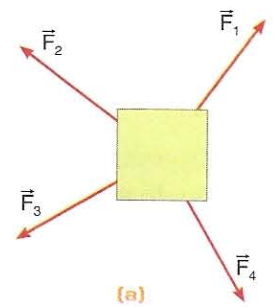
Como vimos nos capítulos anteriores, freqüentemente encontramos situações em que um corpo está sob a ação de várias forças, como ilustra a figura 25a. O trabalho total realizado durante um deslocamento é simplesmente a soma dos trabalhos realizados por cada força:

$$\mathcal{C}_{\text{total}} = \mathcal{C}_{F_1} + \mathcal{C}_{F_2} + \mathcal{C}_{F_3} + \mathcal{C}_{F_4} + \dots$$

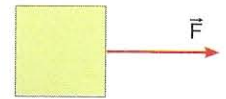
Sendo  $\vec{F}$  a resultante das forças que atuam no corpo (fig. 25b), é possível demonstrar que o trabalho total é igual ao trabalho de  $\vec{F}$ :

$$\mathcal{C}_F = \mathcal{C}_{\text{total}} = \mathcal{C}_{F_1} + \mathcal{C}_{F_2} + \mathcal{C}_{F_3} + \dots$$

Temos, como já vimos no exemplo 1, dois modos de calcular o trabalho total. Em cada caso escolheremos o modo mais fácil.



(a)

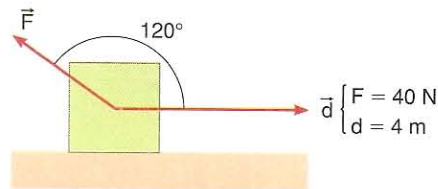
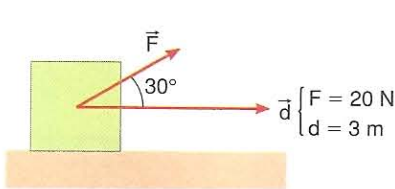


(b)

Figura 25

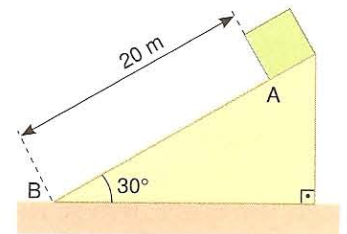
### Aplicação →

10 Em cada caso representado abaixo calcule o trabalho realizado pela força  $\vec{F}$  durante o deslocamento  $\vec{d}$ .



11 Numa região em que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , um bloco de massa 20 kg é abandonado no alto de um plano inclinado de comprimento 20 m, como mostra a figura. Durante a descida atuam no bloco três forças: o peso, a força normal e uma força de atrito de intensidade 40 N. Durante o deslocamento AB, calcule:

- o trabalho de cada força;
- o trabalho total.



## 4. TRABALHO DE FORÇA VARIÁVEL OU TRAJETÓRIA CURVA

Há muitas situações em que a força não se mantém constante durante o deslocamento, ou então a trajetória não é retilínea (ou ambos). Nessas situações, o cálculo do trabalho em geral exige a aplicação do Cálculo Integral, que está além do nível do nosso curso. No entanto, vale a pena dar uma idéia do procedimento nesses casos e apresentar alguns resultados obtidos por meio do Cálculo Integral.

Tanto no caso em que a força é variável como no caso em que a trajetória é curva, o procedimento é o seguinte:

Dividimos a trajetória em um número “muito grande” de “pequenos” pedaços (fig. 26), de modo que cada pedaço possa ser considerado aproximadamente retilíneo e que possamos admitir que em cada pedaço a força se mantenha constante. A seguir, aplicamos em cada pedaço a fórmula:

$$\mathcal{C} = F \cdot d \cdot \cos \theta$$

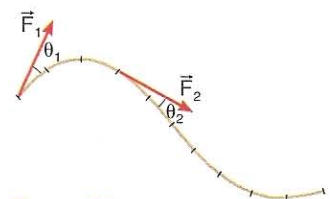


Figura 26

obtendo o trabalho em cada pedaço. O trabalho total ao longo da trajetória é obtido adicionando-se esses “pequenos” trabalhos:

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \dots$$

### Trabalho de força variável

Suponhamos que consigamos esboçar o gráfico da *componente tangencial* de uma força  $\vec{F}$  em função do espaço ao longo de uma trajetória qualquer (fig. 27).

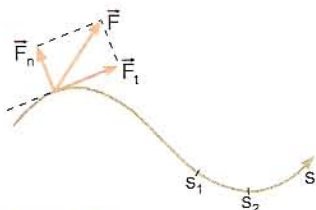
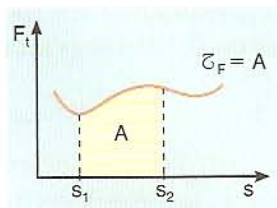


Figura 27



Usando o Cálculo Integral, é possível demonstrar que o trabalho de  $\vec{F}$  entre os pontos de espaços  $s_1$  e  $s_2$  é dado pela área sombreada no gráfico:

$$\zeta_F = \text{área (numericamente)}$$

Essa propriedade é óbvia no caso em que  $\vec{F}_t$  é constante (fig. 28).

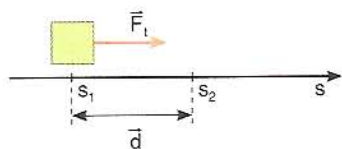
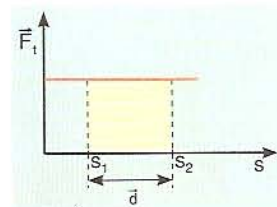


Figura 28



$$\zeta_F = F_t \cdot d = \text{área da figura sombreada}$$

Nos gráficos de  $F_t$  em função de  $s$  usamos a convenção (fig. 29): gráfico acima do eixo  $s$  significa que  $\vec{F}_t$  tem o mesmo sentido do movimento e, portanto, o trabalho é positivo; gráfico abaixo do eixo  $s$  significa que  $\vec{F}_t$  tem sentido oposto ao do movimento e, assim, o trabalho é negativo.

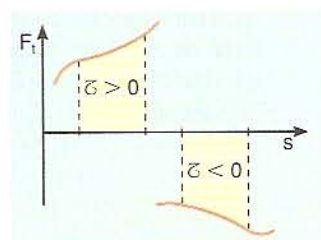


Figura 29

### Trabalho da força peso

Consideremos uma região próxima da superfície da Terra, de modo que a aceleração da gravidade possa ser considerada constante. Suponhamos que uma partícula vá de um ponto  $A$  a um ponto  $B$ , como ilustra a figura 30. Usando-se o Cálculo Integral é possível demonstrar que o trabalho realizado pelo peso ( $\vec{P}$ ) da partícula é dado por:

$$\zeta_{AB} = P \cdot h$$

onde  $h$  é o desnível entre os pontos  $A$  e  $B$ , independentemente da trajetória seguida. Na figura 30, exemplificamos três caminhos ligando  $A$  a  $B$ . O trabalho do peso é o mesmo em qualquer desses caminhos.

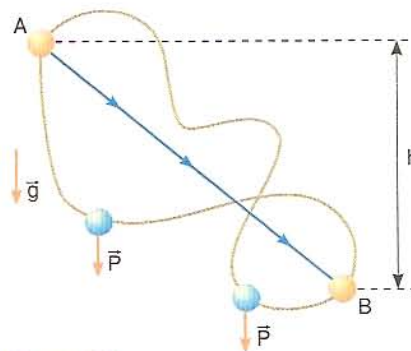


Figura 30

Indo de  $A$  para  $B$ , a partícula moveu-se a favor do peso e, assim, o trabalho é positivo. Se a partícula fosse de  $B$  para  $A$ , subindo, portanto, estaria se movendo contra o peso e nesse caso o trabalho do peso seria negativo:

$$\mathcal{Z}_{BA} = -P \cdot h$$

Quando o trabalho de uma força depende apenas do ponto inicial e do ponto final e não da trajetória seguida, a força é chamada de *conservativa* (a razão desse nome será dada mais tarde). Assim, o peso é uma força conservativa.

### Trabalho de uma força centrípeta

Consideremos uma partícula em movimento circular. Se quisermos calcular o trabalho da força centrípeta, devemos dividir a circunferência em pequenos pedaços e calcular o trabalho em cada pedaço. Acontece que, em cada pequeno pedaço, a força centrípeta é perpendicular ao deslocamento e portanto o trabalho em cada pedaço é nulo. Portanto, o trabalho de uma força centrípeta é sempre nulo:

$$\mathcal{Z}_{Fc} = 0$$

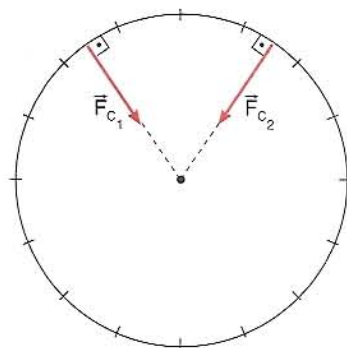


Figura 31

### Trabalho da força normal sobre corpo que desliza em contato com superfície fixa

A figura 32 ilustra um corpo que desliza sobre uma superfície fixa. Nos trechos retos a força normal  $\vec{F}_N$  é perpendicular ao deslocamento e seu trabalho é nulo. E no trecho curvo? Para calcular o trabalho nesse trecho, devemos dividi-lo em pequenos pedaços e calcular o trabalho em cada pedaço. Acontece que, em cada um desses pequenos pedaços, a força normal é perpendicular ao deslocamento e, assim, em cada pedaço o trabalho é nulo. Portanto, o trabalho da força normal é nulo:

$$\mathcal{Z}_{FN} = 0$$

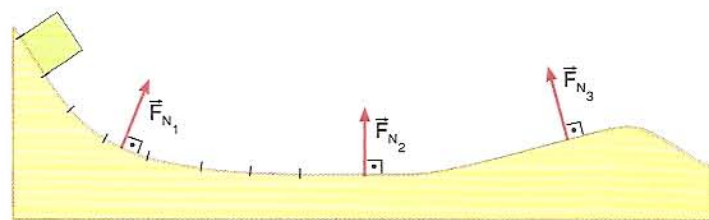


Figura 32

É importante observar que esse resultado só é válido se a superfície de contato é fixa. Se a superfície de contato for móvel, o trabalho da força normal poderá ser diferente de zero. Por exemplo, na figura 33 representamos uma pessoa dentro de um elevador que está subindo. Nesse caso, a força normal que atua na pessoa realiza trabalho que não é nulo:

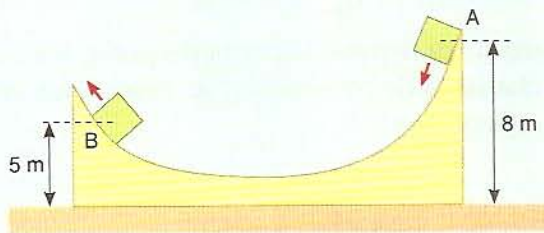
$$\mathcal{Z}_{FN} = F_N \cdot d$$



Figura 33

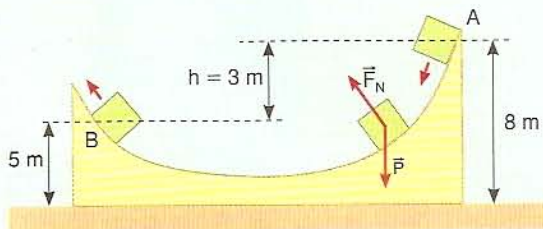
**Exemplo 2**

Um bloco de massa  $m = 4,0 \text{ kg}$  é abandonado num tobogã na posição  $A$  da figura. Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , calcule os trabalhos do peso e da força normal para o trajeto de  $A$  até  $B$ .

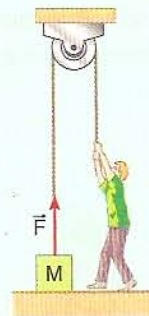
**Resolução**

Como vimos, o trabalho da força normal  $\vec{F}_N$  é nulo. Para calcular o trabalho do peso precisamos do desnível  $h$  entre o ponto inicial e o ponto final. Da figura tiramos  $h = 3 \text{ m}$ . O trabalho do peso é dado, então, por:

$$\mathcal{C}_p = + P h = + m g h = (4,0 \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2) (3 \text{ m}) = 120 \text{ J}$$

**Exemplo 3**

Numa região em que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , um indivíduo pretende suspender um bloco de massa  $M = 20 \text{ kg}$  a uma altura de  $1,5 \text{ m}$ . Supondo fio e polias ideais, qual é o trabalho executado pela força  $\vec{F}$  que o indivíduo exerce?

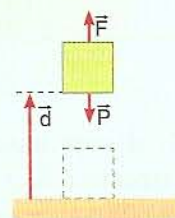
**Resolução**

O valor de  $|\vec{F}|$  não foi dado. Porém, em situação como esta, em que objetos são elevados, se nada for dito em contrário, admite-se que a elevação foi feita com velocidade constante e, assim, iremos supor  $F = P$  (apenas para iniciar o movimento, durante um curto intervalo de tempo foi necessário que  $F > P$ ). Portanto:

$$F = P = m \cdot g = (20 \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2) = 200 \text{ N}$$

Como a força  $\vec{F}$  tem o mesmo sentido do deslocamento, seu trabalho é positivo.

$$\mathcal{C}_F = F \cdot d = (200 \text{ N}) (1,5) \Rightarrow \mathcal{C}_F = 300 \text{ J}$$



## Trabalho da força elástica

Na figura 34 temos um bloco preso a uma mola ideal. O eixo  $x$  mede a deformação da mola; assim, na figura 34a a deformação é nula. Suponhamos que alguém puxe o bloco fazendo com que saia da posição de equilíbrio. A mola exercerá no bloco uma força  $\vec{F}_E$  (força elástica) cujo sentido aponta para a posição de equilíbrio  $x = 0$ . Se quisermos calcular o trabalho da força elástica entre duas posições quaisquer, devemos nos lembrar que a força elástica não se mantém constante; ela varia com a deformação ( $F = kx$ ). Assim, o trabalho deve ser calculado graficamente. Quanto ao sinal, devemos comparar o sentido da força com o sentido do deslocamento ( $\vec{d}$ ). Se o deslocamento for de  $x_1$  para  $x_2$ , teremos  $\vec{F}_E$  oposta a  $\vec{d}$  e, assim, o trabalho será negativo. Se o deslocamento for de  $x_2$  para  $x_1$ , o deslocamento terá o mesmo sentido de  $\vec{F}_E$  e o trabalho será positivo.

Um fato importante sobre a força elástica é que ela é *conservativa*. Suponhamos a situação da figura 36, em que uma extremidade da mola está fixa num ponto  $O$  de uma mesa e o bloco é levado de uma posição em que a deformação é  $x_1$  para uma posição em que a deformação é  $x_2$ , ao longo da trajetória  $t$ . É possível demonstrar que o trabalho da força elástica *não depende da trajetória*. Para calcular esse trabalho podemos usar o gráfico da figura 35 como se o deslocamento tivesse sido efetuado em linha reta.

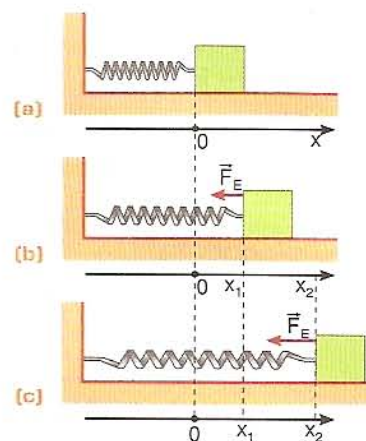


Figura 34

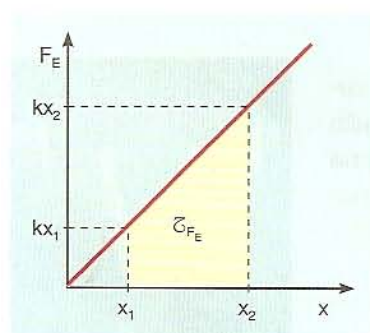


Figura 35

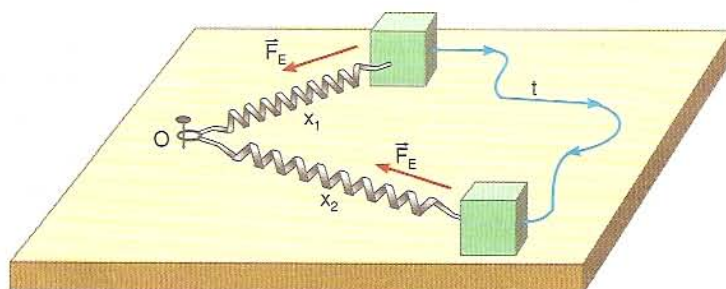
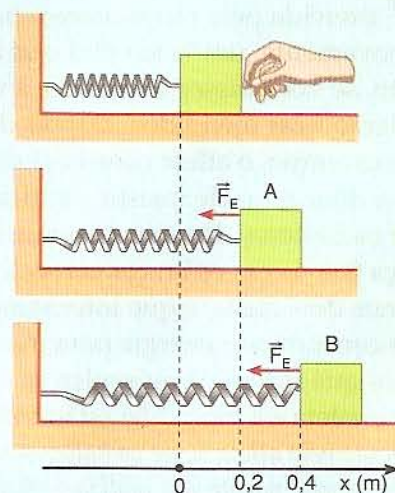


Figura 36

### Exemplo 4

No sistema esquematizado ao lado, a mola é ideal e tem constante elástica  $k = 500 \text{ N/m}$ .

Uma pessoa puxa o bloco preso à mola, provocando sua deformação. Calcule o trabalho da força elástica ( $\vec{F}_E$ ) para os deslocamentos de A para B e de B para A.



## Resolução

Primeiramente fazemos o gráfico de  $F_E$  em função de  $x$ .

Como  $F = kx$ , temos:

$$\begin{cases} x = 0,2 \text{ m} \Rightarrow F_E = (500)(0,2) \Rightarrow F_E = 100 \text{ N} \\ x = 0,4 \text{ m} \Rightarrow F_E = (500)(0,4) \Rightarrow F_E = 200 \text{ N} \end{cases}$$

A área da figura sombreada na página seguinte nos dá o módulo do trabalho de  $F_E$ :

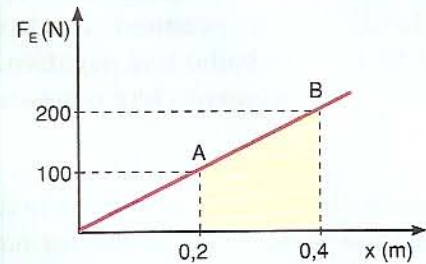
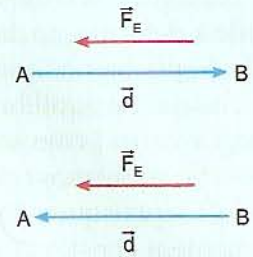
$$|\mathcal{C}| = \frac{(100 + 200)(0,2)}{2} = 30 \Rightarrow |\mathcal{C}| = 30 \text{ J}$$

No deslocamento de  $A$  para  $B$ , a força teve sentido oposto ao do deslocamento e portanto o trabalho foi negativo:

$$\mathcal{C}_{AB} = -30 \text{ J}$$

No deslocamento de  $B$  para  $A$ , a força teve o mesmo sentido do deslocamento e assim o trabalho foi positivo:

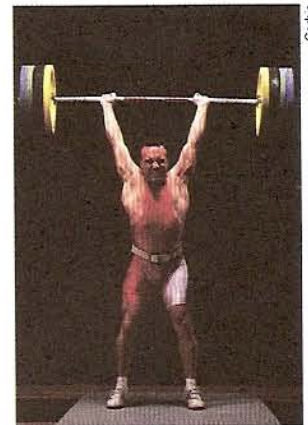
$$\mathcal{C}_{BA} = +30 \text{ J}$$



## Linguagem física e linguagem comum

Freqüentemente a Física se apropria de palavras da linguagem comum para dar nomes a seus conceitos. Porém, devemos tomar cuidado com isso, pois em geral os significados não são os mesmos na Física e na linguagem cotidiana. É o caso, por exemplo, do conceito de trabalho, que na linguagem comum freqüentemente aparece com um significado diferente do significado físico.

Consideremos, por exemplo, a situação da figura 37a, na qual um atleta mantém os halteres fixos durante algum tempo. Sendo  $\vec{F}$  a força total exercida pelo atleta sobre os halteres, um físico dirá que  $\vec{F}$  não realiza trabalho, pois não há deslocamento. No caso da figura 37b, a moça carrega um pacote, andando com velocidade constante. Desse modo, a força  $\vec{F}$  exercida pela moça sobre o pacote é perpendicular ao deslocamento  $\vec{d}$ ; novamente, um físico dirá que a força  $\vec{F}$  não realiza trabalho. No entanto, se você disser ao atleta e à moça que eles não estão trabalhando, poderão ficar ofendidos. Depois de ficar segurando os halteres durante algum tempo, o atleta começará a ficar cansado, seus músculos começarão a doer e, se ele insistir em ficar naquela posição, acabará deixando cair os halteres. Da mesma maneira, depois de andar algum tempo, a moça ficará com os braços cansados, por segurar o pacote. O que acontece, nos dois casos, é que internamente o organismo do atleta e da moça está consumindo energia para manter os nervos enviando impulsos elétricos que fazem os músculos se contraírem. Portanto, em vez de dizer que o atleta e a moça não estão trabalhando, é mais adequado dizer: a força exercida pelo atleta sobre os halteres não realiza trabalho e a força exercida pela moça sobre o pacote não realiza trabalho.



(a)

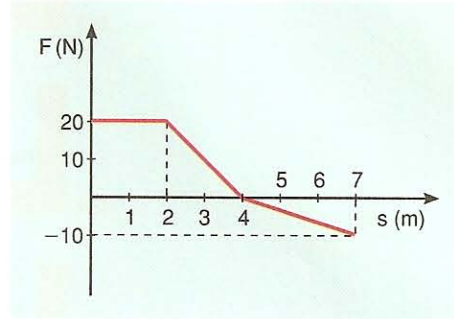
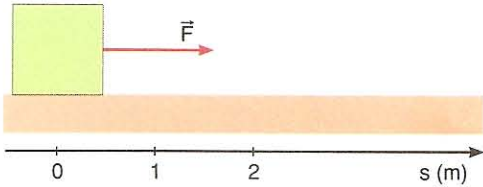


(b)

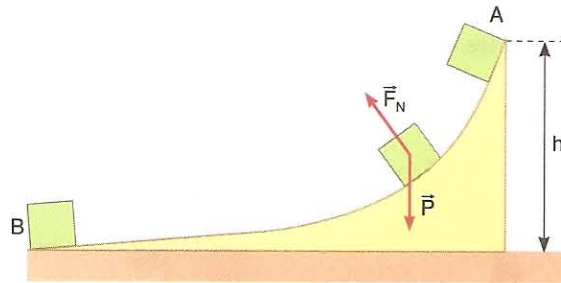
Figura 37

## Aplicação

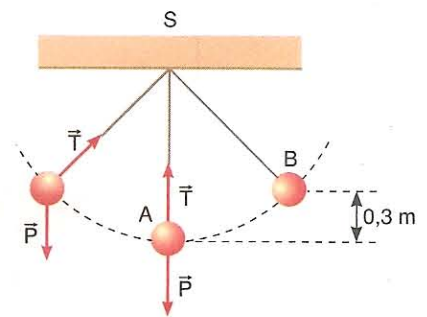
- 12** Um bloco está inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal. A partir de certo instante passa a atuar sobre ele uma força  $\vec{F}$  de direção constante (horizontal), cuja intensidade em função do espaço  $s$  é dada ao lado. Calcule:
- o trabalho de  $\vec{F}$  desde  $s = 0$  até  $s = 4$  m;
  - o trabalho de  $\vec{F}$  de  $s = 4$  m a  $s = 7$  m;
  - o trabalho de  $\vec{F}$  de  $s = 0$  a  $s = 7$  m.



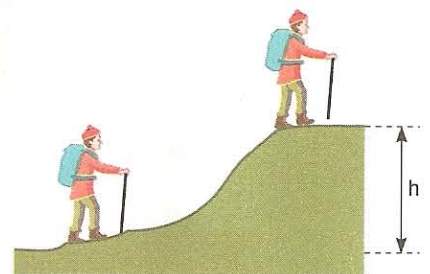
- 13** Um bloco de massa 2,0 kg é abandonado no alto de um tobogã de altura  $h = 6,0$  m. O bloco então escorrega de modo que durante o movimento só há duas forças atuando sobre ele: o peso e a força normal (não há atrito). Sendo  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, calcule, para o trajeto de A até B:
- o trabalho do peso;
  - o trabalho da força normal;
  - o trabalho total.



- 14** Um pêndulo simples está oscilando num plano vertical. As forças que atuam na bolinha, de massa 0,2 kg, são o peso  $\vec{P}$  e a tração  $\vec{T}$  do fio. Sendo  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, calcule, para o trajeto que vai da posição A até a posição B:
- o trabalho de  $\vec{P}$ ;
  - o trabalho de  $\vec{T}$ ;
  - o trabalho total.



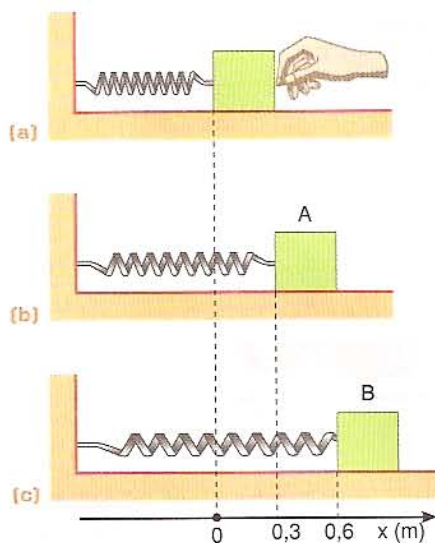
- 15** Um garoto sobe uma elevação de altura  $h = 15$  m, transportando nas costas uma mochila de massa 8,0 kg, numa região em que  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>. Supondo que a subida tenha sido efetuada com velocidade constante, qual foi o trabalho realizado pelo garoto sobre a mochila?



**16** Na situação da figura *a* o sistema está em equilíbrio. Um operador puxa o bloco, deformando a mola. Sabendo que a constante elástica da mola é  $600 \text{ N/m}$ , calcule o trabalho da força elástica nos seguintes deslocamentos:

a) de *A* para *B*;

b) de *B* para *A*.

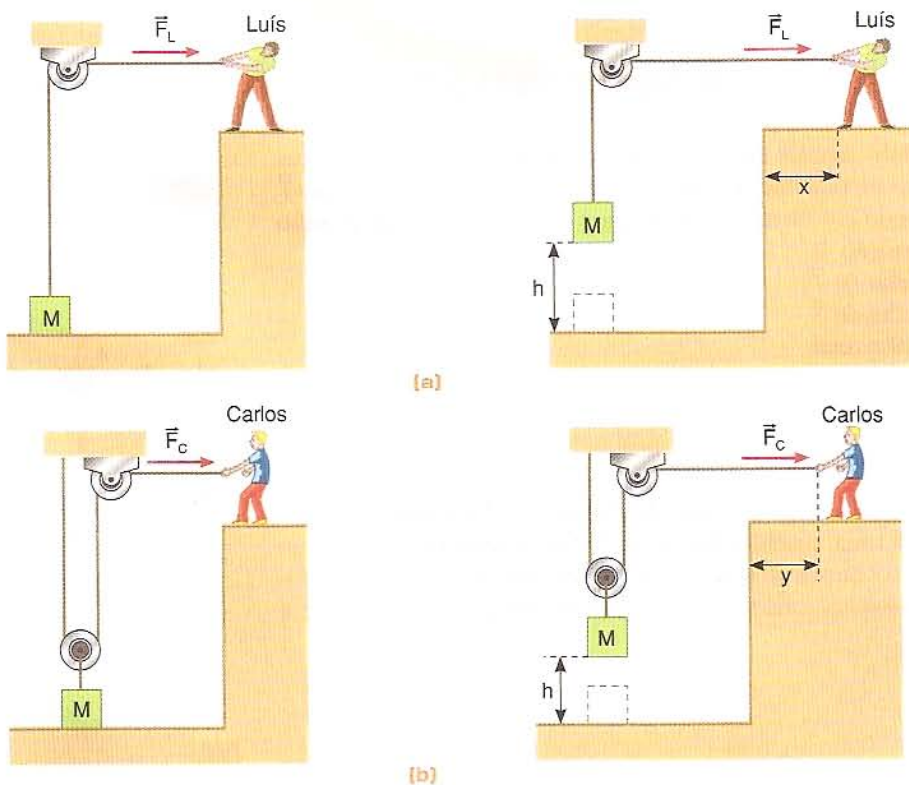


**17** Luís e Carlos receberam a tarefa de levantar um bloco de massa  $M = 40 \text{ kg}$  a uma altura  $h = 1 \text{ m}$ , numa região em que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Luís escolheu o sistema da figura *a* e Carlos escolheu o sistema da figura *b*. Suponha que os levantamentos tenham sido feitos com velocidades constantes, sendo  $F_L$  a força exercida por Luís e  $F_C$  a força exercida por Carlos. Calcule:

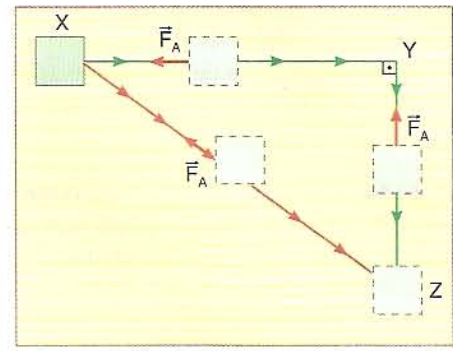
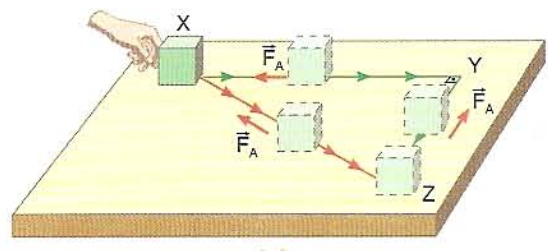
a) as intensidades de  $\vec{F}_L$  e  $\vec{F}_C$ ;

b) os deslocamentos  $x$  e  $y$  efetuados por Luís e Carlos;

c) os trabalhos realizados por  $\vec{F}_L$  e  $\vec{F}_C$ .

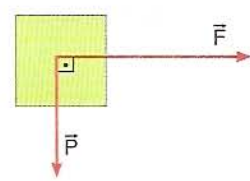


- 18 Sobre uma mesa com atrito, um bloco é arrastado de dois modos. Numa primeira experiência, o bloco é levado de X para Z ao longo da trajetória verde, fazendo o trajeto XYZ. Numa segunda experiência, o bloco é levado diretamente de X para Z, ao longo da trajetória vermelha. Na figura b temos uma visão “de cima”.  
 a) O trabalho da força de atrito ( $\vec{F}_A$ ) foi o mesmo nas duas experiências? Se não, em qual delas foi maior?  
 b) Na teoria definimos força conservativa como sendo aquela cujo trabalho entre dois pontos não depende da trajetória seguida. A força de atrito é conservativa?

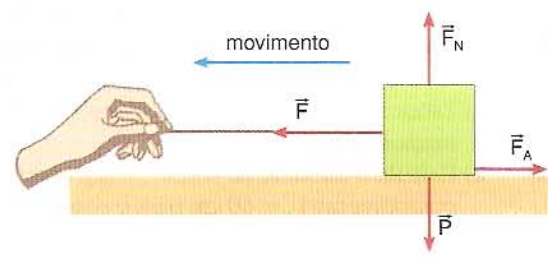


**Reforço**

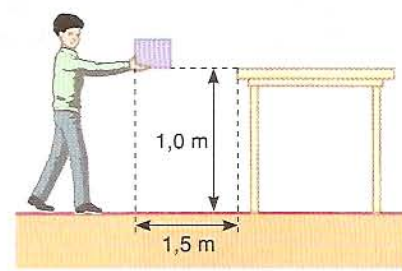
- 19 (PUC-SP) O corpo representado no esquema tem peso  $P = 20 \text{ N}$ . Sob ação da força horizontal  $\vec{F}$ , de intensidade  $10 \text{ N}$ , o corpo é deslocado horizontalmente  $5 \text{ metros}$  para a direita. Nesse deslocamento, os trabalhos realizados pelas forças  $\vec{F}$  e  $\vec{P}$  têm valores respectivamente iguais a:  
 a)  $50 \text{ J}$  e  $0$ .      c)  $0$  e  $100 \text{ J}$ .      e)  $50 \text{ J}$  e  $50 \text{ J}$ .  
 b)  $50 \text{ J}$  e  $-100 \text{ J}$ .      d)  $50 \text{ J}$  e  $100 \text{ J}$ .



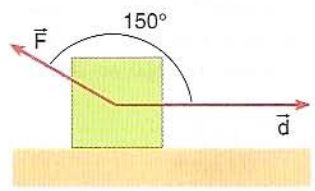
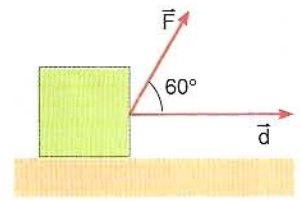
- 20 Um bloco de massa  $4,0 \text{ kg}$  é puxado por uma força  $\vec{F}$  de intensidade  $20 \text{ N}$  sobre uma superfície horizontal com atrito cujo coeficiente é  $0,20$ . Sabe-se que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Além de  $\vec{F}$ , as outras forças que atuam no bloco são o peso  $\vec{P}$ , a força normal  $\vec{F}_N$  e a força de atrito  $\vec{F}_A$ . Calcule:  
 a) o módulo de  $\vec{F}_N$ ;  
 b) o módulo de  $\vec{F}_A$ ;  
 c) o trabalho de cada força num deslocamento  $d = 5 \text{ m}$ ;  
 d) o trabalho total num deslocamento de  $5 \text{ m}$ .



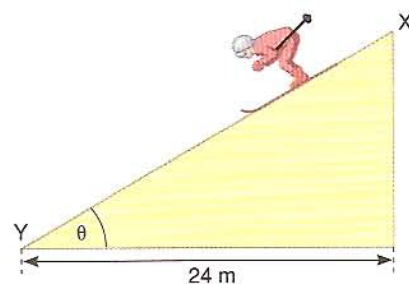
- 21 (Fatec-SP) Um homem ergue uma caixa de massa  $8 \text{ kg}$ , a uma altura de  $1 \text{ m}$ , para colocá-la sobre uma mesa distante  $1,5 \text{ m}$  do local, conforme mostra a figura. Adotando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , é correto afirmar que o trabalho realizado pela força peso, até a superfície superior da mesa, é:  
 a)  $-80 \text{ J}$       c)  $120 \text{ J}$       e)  $-120 \text{ J}$   
 b)  $80 \text{ J}$       d)  $200 \text{ J}$



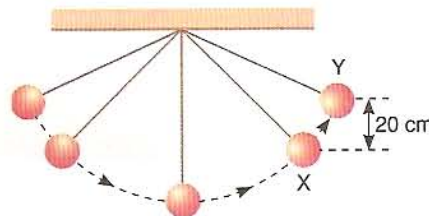
- 22 Nos dois casos da figura abaixo a força  $\vec{F}$  tem intensidade  $40 \text{ N}$  e o deslocamento tem módulo  $d = 2 \text{ m}$ . Calcule o trabalho de  $\vec{F}$  em cada caso.



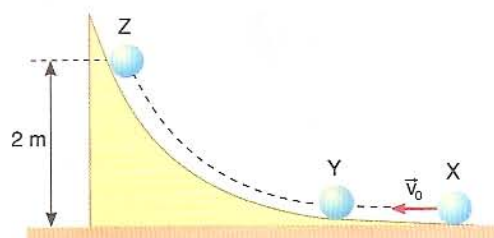
- 23 O esquiador da figura ao lado desce uma pista, com velocidade constante, sob a ação de forças: o seu peso ( $\vec{P}$ ), a força normal ( $\vec{F}_N$ ), a força de atrito com a pista ( $\vec{F}_A$ ) e uma força de resistência do ar ( $\vec{F}_R$ ). São dados:  $P = 800 \text{ N}$ ;  $\text{sen } \theta = 0,60$ ;  $\text{cos } \theta = 0,80$ ;  $\mu = 1/8$ , onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito entre o esqui e a pista. Calcule:
- os módulos de  $\vec{F}_N$ ,  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_R$ ;
  - os trabalhos de  $\vec{P}$ ,  $\vec{F}_N$ ,  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_R$  entre os pontos X e Y;
  - o trabalho total entre X e Y.



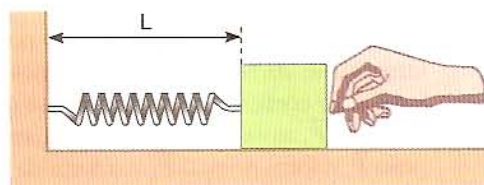
- 24 Um pêndulo simples, cuja bolinha no extremo tem peso  $P = 3,0 \text{ N}$ , oscila num plano vertical como indica a figura. Para o trajeto XY, calcule o trabalho do peso e da tração no fio.



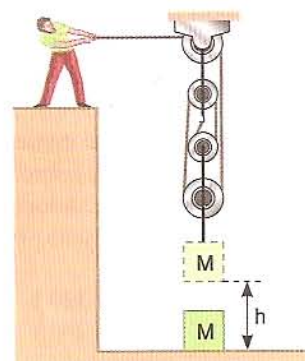
- 25 Uma bolinha de peso  $4,0 \text{ N}$  é lançada com velocidade inicial  $v_0$  do ponto X da figura, subindo a rampa. Para o trecho YZ, calcule o trabalho do peso e da força normal.



- 26 Uma mola de constante elástica  $k = 100 \text{ N/m}$  tem comprimento natural  $L = 50 \text{ cm}$ . Uma pessoa começa então a puxar o bloco (ver figura) de modo que a mola vai esticando.
- Esboce um gráfico da força elástica em função da deformação da mola.
  - Calcule o trabalho da força elástica quando a mola vai do comprimento  $L_1 = 60 \text{ cm}$  para o comprimento  $L_2 = 70 \text{ cm}$ .

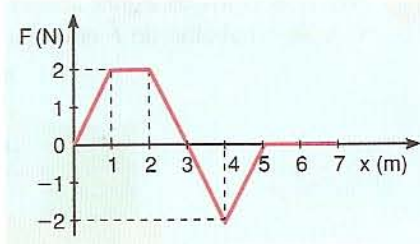


- 27 (UF-PE) Em uma oficina, um operário utiliza o sistema esquematizado ao lado para levantar um bloco de massa  $M = 40 \text{ kg}$ , a uma altura  $h = 2,0 \text{ m}$ . Supondo que o levantamento tenha sido efetuado com velocidade constante, calcule o trabalho executado pelo operário.



- 28 (U. F. São Carlos-SP) Um bloco de  $10 \text{ kg}$  movimentava-se em linha reta sobre uma mesa lisa em posição horizontal, sob a ação de uma força variável que atua na mesma direção do movimento, conforme o gráfico ao lado. O trabalho realizado pela força quando o bloco se desloca da origem até o ponto  $x = 6 \text{ m}$  é:

- $1 \text{ J}$
- $6 \text{ J}$
- $4 \text{ J}$
- $2 \text{ J}$
- $2 \text{ J}$
- $2 \text{ J}$



## 5. TEOREMA DA ENERGIA CINÉTICA

Quando um corpo de massa  $m$  tem velocidade escalar  $v$ , dizemos que ele possui energia cinética ( $E_C$ ). Também admitimos que essa energia cinética corresponde ao *trabalho realizado sobre o corpo*. Mas como poderíamos representar essa energia cinética em termos de  $m$  e  $v$ ?

Consideremos uma partícula de massa  $m$ , que passa por um ponto  $A$  com velocidade  $\vec{v}_A$  e por um ponto  $B$  com velocidade  $\vec{v}_B$ , ao longo de uma trajetória *qualquer*, sob a ação de um número *qualquer* de forças, constantes ou variáveis. Usando o Cálculo Integral é possível demonstrar que o trabalho *total* realizado por essas forças, entre os pontos  $A$  e  $B$  ( $\mathcal{Z}_{AB}$ ), é dado por:

$$\mathcal{Z}_{AB} = \frac{m \cdot v_B^2}{2} - \frac{m \cdot v_A^2}{2} \quad \text{(I)}$$

Final
Inicial

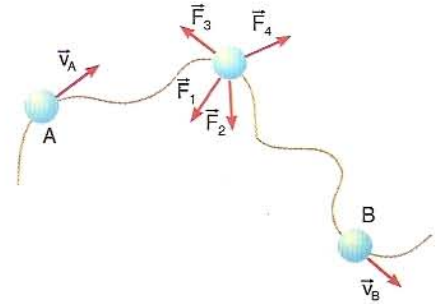


Figura 38

Com base nesse resultado, é razoável admitir que a energia cinética ( $E_C$ ) de um corpo de massa  $m$  e velocidade  $v$  seja dada por:

$$E_C = \frac{m v^2}{2} \quad \text{(II)}$$

Desse modo, na equação (I),  $\frac{m v_B^2}{2}$  é a energia cinética no ponto  $B$  ( $E_{C_B}$ ) e  $\frac{m v_A^2}{2}$  é a energia cinética no ponto  $A$  ( $E_{C_A}$ ). Podemos, então, dar outra forma à equação (I):

$$\mathcal{Z}_{AB} = E_{C_B} - E_{C_A} = \Delta E_C = \text{variação da energia cinética} \quad \text{(III)}$$

As equações (I) e (III) são os modos matemáticos de enunciar o *Teorema da Energia Cinética* (TEC):

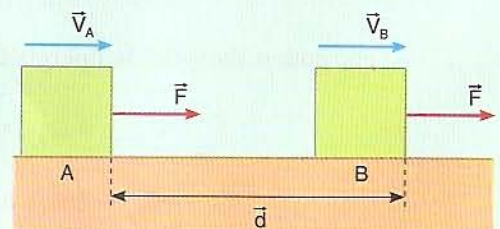
O trabalho total das forças atuantes numa partícula é igual à variação da energia cinética dessa partícula.

Se esse trabalho total for positivo, haverá um aumento de energia cinética; se ele for negativo, haverá uma diminuição de energia cinética.

Não temos condição de demonstrar esse teorema no caso geral, mas podemos fazê-lo num caso particular: o da força resultante *constante* em *trajetória retilínea*. É o que faremos no próximo exemplo.

### Exemplo 5

Um bloco de massa  $m$  tem movimento retilíneo sobre uma superfície horizontal plana, de modo que a força resultante  $\vec{F}$  tem o mesmo sentido do movimento, como ilustra a figura. Sendo  $\vec{v}_A$  a velocidade do bloco no ponto  $A$  e  $\vec{v}_B$  a velocidade no ponto  $B$ , demonstre o Teorema da Energia Cinética (TEC) para esse caso.



**Resolução**

Como a força resultante  $\vec{F}$  é constante, o movimento é uniformemente variado de aceleração escalar  $a$  dada por  $a = \frac{F}{m}$ . Usando a equação de Torricelli, temos:

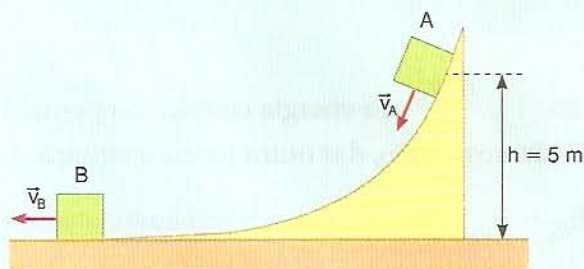
$$v_B^2 = v_A^2 + 2 a d \Rightarrow v_B^2 = v_A^2 + 2 \frac{F}{m} d \Rightarrow F \cdot d = \frac{m v_B^2}{2} - \frac{m v_A^2}{2}$$

Mas o produto  $F \cdot d$  é o trabalho da força resultante  $\vec{F}$  entre os pontos  $A$  e  $B$ . Portanto:

$$\mathcal{C}_{AB} = \frac{m v_B^2}{2} - \frac{m v_A^2}{2} = \text{variação da energia cinética}$$

**Exemplo 6**

Um bloco de massa  $m = 4,0 \text{ kg}$  é abandonado no alto de um tobogã, passando pelo ponto  $A$  com velocidade  $v_A = 3,0 \text{ m/s}$  e pelo ponto  $B$  com velocidade  $v_B = 8,0 \text{ m/s}$ . Durante o movimento, o bloco esteve sob a ação de apenas três forças: o peso, a normal e a força de atrito. Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , calcule o trabalho da força de atrito no trecho  $AB$ .

**Discussão**

Durante o movimento, a força normal não se mantém constante, pois a trajetória é curva. Assim, mesmo que conhecêssemos o coeficiente de atrito  $\mu$ , não teríamos um valor constante para a força de atrito e, assim, não poderíamos calcular o seu trabalho pela fórmula  $\mathcal{C} = F \cdot d \cdot \cos \theta$ . Vamos, então, utilizar o Teorema da Energia Cinética.

**Resolução**

As energias cinéticas do bloco nos pontos  $A$  e  $B$  são:

$$E_{C_A} = \frac{m v_A^2}{2} = \frac{(4,0)(3,0)^2}{2} = 18 \Rightarrow E_{C_A} = 18 \text{ J}$$

$$E_{C_B} = \frac{m v_B^2}{2} = \frac{(4,0)(8,0)^2}{2} = 128 \Rightarrow E_{C_B} = 128 \text{ J}$$

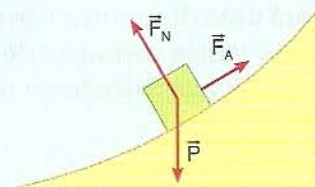
O trabalho de  $\vec{F}_N$  é nulo e o trabalho do peso é:

$$\mathcal{C}_p = +P \cdot h = +m g h = (4,0)(10)(5,0) = 200 \Rightarrow \mathcal{C}_p = 200 \text{ J}$$

De acordo com o Teorema da Energia Cinética:

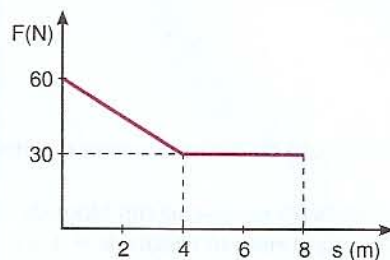
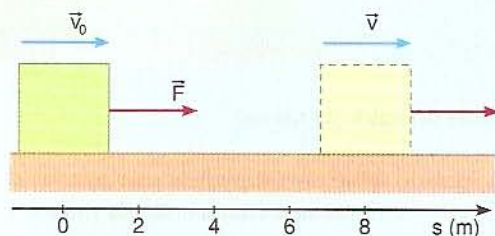
$$\mathcal{C}_{\text{Total}} = \mathcal{C}_{F_A} + \mathcal{C}_p + \mathcal{C}_{F_N} = \frac{m v_B^2}{2} - \frac{m v_A^2}{2}$$

$$\mathcal{C}_{F_A} + 200 + 0 = 128 - 18 \Rightarrow \mathcal{C}_{F_A} = -90 \text{ J}$$



## Exemplo 7

Um bloco de massa  $m = 6,0 \text{ kg}$  tem movimento retilíneo sobre uma superfície horizontal, sendo  $\vec{F}$  a resultante de todas as forças que atuam no bloco. A força  $\vec{F}$  tem direção constante, mas intensidade variável, e, de acordo com o gráfico, o bloco passa pelo ponto  $s = 0$  com velocidade  $v_0 = 5 \text{ m/s}$ .



a) Qual é a velocidade do bloco ao passar pelo ponto  $s = 8 \text{ m}$ ?

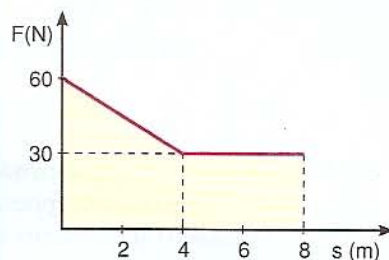
### Resolução

O trabalho de  $\vec{F}$  é dado pela área da região sombreada na figura. Podemos calcular essa área dividindo a região em um retângulo e um triângulo.

$$\tau_F = (8)(30) + \frac{4(30)}{2} = 300 \Rightarrow \tau_F = 300 \text{ J}$$

Aplicando o Teorema da Energia Cinética:

$$\tau_F = \frac{m v^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2} \Rightarrow 300 = \frac{(6,0) v^2}{2} - \frac{(6,0) (5)^2}{2} \Rightarrow v = 5\sqrt{5} \text{ m/s}$$



b) Qual é o valor médio da força  $\vec{F}$  entre  $s = 0$  e  $s = 8 \text{ m}$ ?

### Resolução

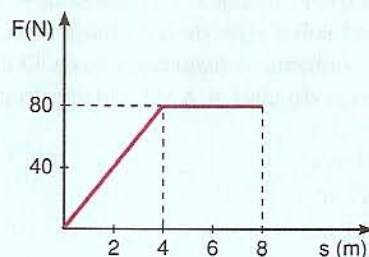
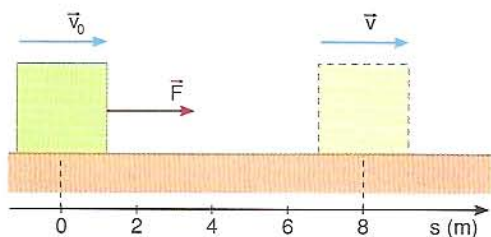
No capítulo 11, já vimos alguns exemplos de cálculo de forças médias. Agora temos um outro modo para o caso em que conhecemos a força em função da posição. Podemos dizer, neste caso, que a força média  $\vec{F}_m$  é uma força constante que realiza o mesmo trabalho de  $\vec{F}$  no mesmo deslocamento:

$$F_m \cdot d = \tau_F \Rightarrow F_m \cdot (8,0) = 300 \Rightarrow F_m = 37,5 \text{ N}$$

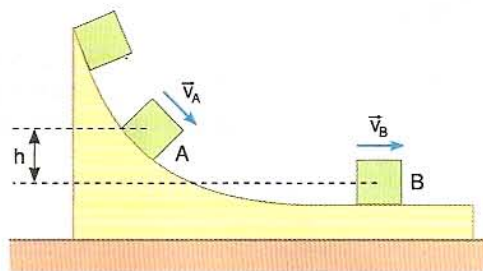
## Aplicação

29

Um bloco de massa  $8,0 \text{ kg}$  tem movimento retilíneo sobre uma superfície horizontal, como ilustra a figura. A força resultante tem direção horizontal constante, mas sua intensidade varia de acordo com o gráfico. Sabendo que o bloco passa pelo ponto  $s = 0$  com velocidade  $v_0 = 2,0 \text{ m/s}$ , calcule sua velocidade ao passar pela posição  $s = 8 \text{ m}$ .

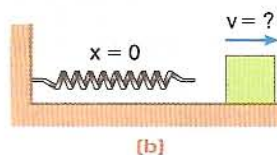
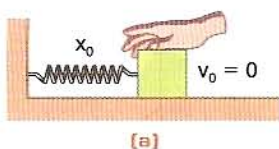


- 30 Um bloco de massa  $m = 6,0 \text{ kg}$  é abandonado em um tobogã sem atrito, numa região em que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . O bloco passa pelo ponto  $A$  com velocidade  $v_A = 4,0 \text{ m/s}$ . Sabendo que  $h = 0,60 \text{ m}$ , calcule a velocidade do bloco no ponto  $B$ .

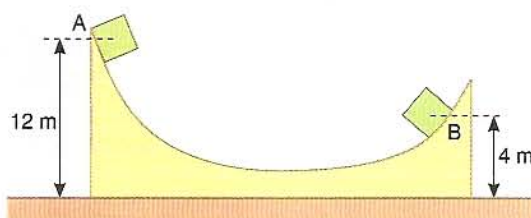


- 31 Volte à situação da questão anterior. A resposta depende do valor da massa?

- 32 A figura *a* abaixo representa um bloco de massa  $4,0 \text{ kg}$  apoiado sobre uma superfície sem atrito e comprimindo uma mola de constante elástica  $k = 3\,600 \text{ N/m}$ . Na situação da figura *a*, a compressão da mola é  $x_0 = 40 \text{ cm}$ . Soltando-se o bloco, qual será sua velocidade  $v$  ao perder o contato com a mola?



- 33 Um bloco de massa  $6,0 \text{ kg}$  é abandonado no ponto  $A$  de um tobogã, passando pelo ponto  $B$  com velocidade  $8,0 \text{ m/s}$ . Durante o movimento as únicas forças que atuam no bloco são o peso, a normal e a força de atrito. Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , calcule o trabalho da força de atrito no trajeto de  $A$  a  $B$ .

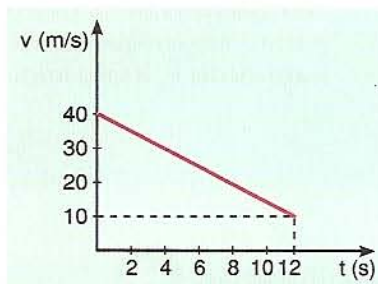


## Reforço



- 34 (UnB-DF) O gráfico ao lado representa a variação da velocidade escalar causada em um corpo de massa  $2,0 \text{ kg}$ , por uma força  $\vec{F}$ , em função do tempo. O valor do trabalho realizado pela força  $\vec{F}$  sobre o corpo entre os instantes  $0$  e  $12$  segundos foi de:

- a)  $1,6 \cdot 10^3 \text{ J}$   
 b)  $-3,0 \cdot 10^3 \text{ J}$   
 c)  $-1,5 \cdot 10^3 \text{ J}$   
 d)  $2,0 \cdot 10^3 \text{ J}$

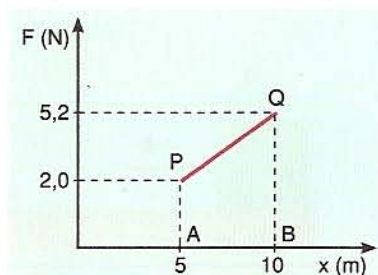


- 35 (ITA-SP) Uma partícula, sujeita a uma força constante de módulo  $2,0 \text{ N}$ , move-se sobre uma reta. A variação da energia cinética da partícula entre dois pontos  $A$  e  $B$  é  $3,0 \text{ J}$ . A distância entre  $A$  e  $B$  vale:

- a)  $1,0 \text{ m}$       b)  $1,5 \text{ m}$       c)  $2,0 \text{ m}$       d)  $2,5 \text{ m}$       e)  $3,0 \text{ m}$

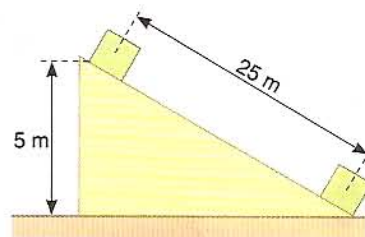
- 36 (Vunesp-SP) Um bloco de massa  $m = 4,0 \text{ kg}$ , inicialmente em repouso, está sob a ação de uma força  $F(x)$ , que é a única força atuante e varia conforme o diagrama anexo. O corpo é deslocado de  $A$  para  $B$  ao longo do eixo  $x$ . A velocidade do corpo em  $B$  é:

- a)  $3,0 \text{ m/s}$   
 b)  $9,0 \text{ m/s}$   
 c)  $2\sqrt{2} \text{ m/s}$   
 d)  $\sqrt{13} \text{ m/s}$   
 e)  $2,0 \text{ m/s}$

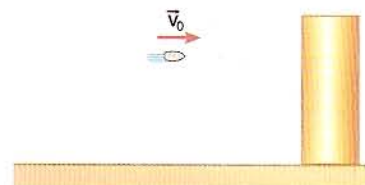


- 57 (U. F. Uberlândia-MG) Do topo de uma rampa de 8,0 m de altura e inclinação de  $30^\circ$  em relação à horizontal, abandona-se um corpo de massa 0,50 kg. Se a força de atrito entre o bloco e a rampa é de 2,0 N e se  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , a velocidade do bloco, ao atingir a base da rampa, será:
- a)  $2\sqrt{2} \text{ m/s}$       b)  $4\sqrt{2} \text{ m/s}$       c)  $4\sqrt{10} \text{ m/s}$       d) 8,0 m/s      e)  $8\sqrt{2} \text{ m/s}$

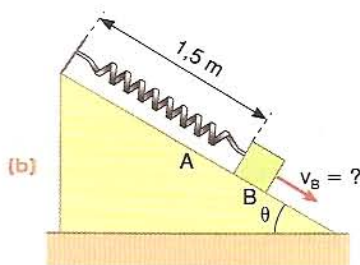
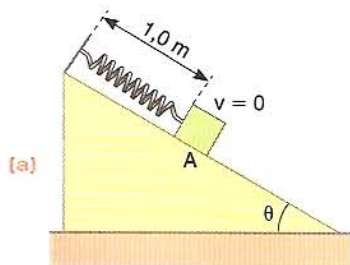
- 58 (Fuvest-SP) O bloco de 2 kg é solto do alto de um plano inclinado, atingindo o plano horizontal com velocidade 5 m/s. Sabendo que  $g = 10 \text{ m/s}^2$  podemos afirmar que a força de atrito entre o bloco e o plano, suposta constante, tem intensidade:
- a) 1 N      c) 3 N      e) 5 N  
b) 2 N      d) 4 N



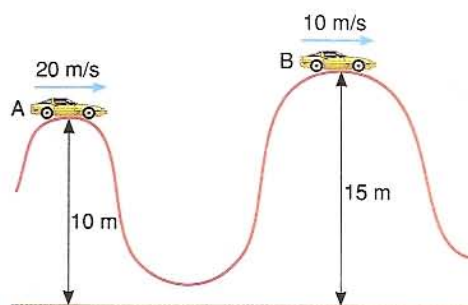
- 59 Uma bala de massa 30 gramas é disparada com velocidade  $v_0 = 200 \text{ m/s}$ , contra uma parede. A bala penetra 4 cm na parede até parar. Calcule a intensidade da força média exercida pela parede sobre a bala.



- 40 O sistema esquematizado na figura a foi abandonado em repouso, com o bloco comprimindo a mola, sendo a deformação  $x = 0,50 \text{ m}$ . A massa de A é 10 kg;  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ;  $\text{sen } \theta = 0,60$  e  $\text{cos } \theta = 0,80$ . Ao abandonarmos o sistema, o bloco começa a descer, havendo uma força de atrito atuando nele, de intensidade  $F_A = 20 \text{ N}$ . Na posição da figura b, a mola está com seu comprimento natural. Calcule a velocidade do bloco na posição B, sabendo que a constante elástica da mola é  $k = 1\,200 \text{ N/m}$ .



- 41 (Fuvest-SP) Um carrinho de massa 20 kg percorre uma montanha-russa passando pelo ponto A com velocidade 20 m/s e pelo ponto B com velocidade 10 m/s. No trecho AB a força de atrito realiza um trabalho cujo módulo vale:
- a) 0 J  
b) 2 000 J  
c) 1 000 J  
d) 1 500 J  
e) 5 000 J



## Desafios

- a Consideremos a situação em que uma pessoa está parada segurando um pacote. Em relação a essa situação é comum ouvirmos a seguinte frase: "Nesse caso não ocorre realização de trabalho". Essa frase está correta?
- b Nas proximidades da superfície da Terra um corpo de peso  $\vec{P}$  descreve uma trajetória fechada, isto é, o ponto final coincide com o ponto inicial. Qual é o trabalho do peso?
- c É possível a força de atrito realizar trabalho positivo?
- d Usando um sistema de polias conseguimos levantar um corpo exercendo uma força menor que levantando-o diretamente. E quanto ao trabalho: ele também é menor?

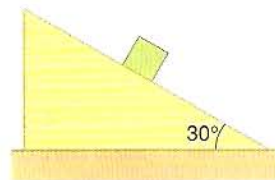
## Aprofundamento



- 42 (Puccamp-SP) Um bloco de massa 2,0 kg escorrega, com velocidade constante, por um plano inclinado de  $30^\circ$  com a horizontal, descendo 10 m ao longo do plano.

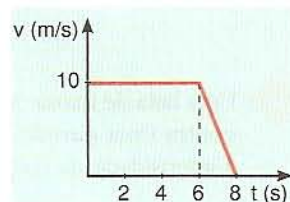
Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e  $\sin 30^\circ = 0,50$ , pode-se afirmar que, nesse deslocamento, os trabalhos realizados pelas forças peso e atrito são, respectivamente, em joules:

- a) 20 e 10.                      c) 100 e  $-100$ .                      e) 200 e  $-200$ .  
b) 20 e  $-20$ .                      d) 100 e  $-200$ .



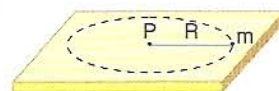
- 43 (Fuvest-SP) O gráfico velocidade contra tempo, mostrado ao lado, representa o movimento retilíneo de um carro de massa  $m = 600 \text{ kg}$  numa estrada molhada. No instante  $t = 6 \text{ s}$  o motorista vê um engarrafamento à sua frente e pisa no freio. O carro então, com as rodas travadas, desliza na pista até parar completamente. Despreze a resistência do ar.

- a) Qual é o coeficiente de atrito entre os pneus do carro e da pista?  
b) Qual o trabalho, em módulo, realizado pela força de atrito entre os instantes  $t = 6 \text{ s}$  e  $t = 8 \text{ s}$ ? É dado  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



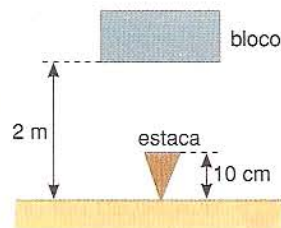
- 44 (Fuvest-SP) Um corpo de massa  $m$  está em movimento circular sobre um plano horizontal, preso por uma haste rígida de massa desprezível e comprimento  $R$ . A outra extremidade da haste está presa a um ponto fixo  $P$ , como mostra a figura (em perspectiva). O coeficiente de atrito entre o corpo e o plano é  $\mu$ , constante. Num dado instante, o corpo tem velocidade de módulo  $V$  e direção paralela ao plano e perpendicular à haste.

- a) Qual deve ser o valor de  $V$  para que o corpo pare após duas voltas completas?  
b) Qual o tempo gasto pelo corpo para percorrer a última volta antes de parar?  
c) Qual o trabalho realizado pela força de atrito durante a última volta?



- 45 (FEB-SP) Um bloco de 500 kg é solto de uma altura de 2 m sobre uma estaca de 10 cm de altura, enterrando-a no solo. Assinale a alternativa que indica, em newtons, a força média exercida pelo bloco sobre a estaca, considerando que a aceleração da gravidade é  $10 \text{ m/s}^2$ .

- a) 500                      c) 10 000                      e) 1 000 000  
b) 1 000                      d) 100 000



- 46 (Unesp-BA) Um corpo cai livremente a partir do repouso, durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ , e adquire energia cinética  $E$ . Caindo durante um intervalo de tempo igual à metade de  $\Delta t$ , deverá adquirir energia cinética:

- a)  $\frac{E}{8}$                       b)  $\frac{E}{4}$                       c)  $\frac{E}{2}$                       d)  $2E$                       e)  $4E$

## Sugestões de leitura

*Oppenheimer e a bomba atômica em 90 minutos*, de Paul Strathern (Rio de Janeiro, ed. Zahar, 1999).

*Energia nuclear: vale a pena?*, de José Goldemberg (São Paulo, ed. Scipione, 1994).

*Usos de energia*, de H. S. F. Tundisi (São Paulo, ed. Atual, 1995).

*A Revolução Industrial*, de R. A. Iannone (São Paulo, ed. Moderna, 1995).

*Fábricas e homens*, de Edgar S. de Decca e Cristina Meneguello (São Paulo, ed. Atual, 1999).