CAPÍTULO 6

ENERGIA E TRABALHO

1 AS VÁRIAS FORMAS DE ENERGIA

CID

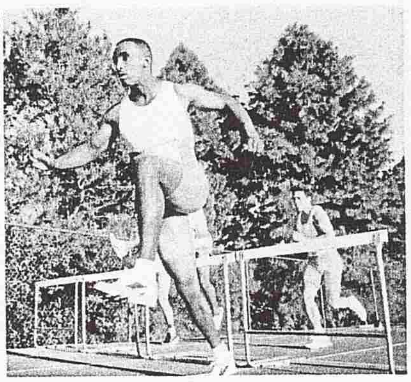


Figura 6.1 Pessoas realizando atividade física consomem energia.

Nossas idéias a respeito de **energia** advêm, muito provavelmente, de experiências pelas quais passamos em nosso dia-a-dia. O assunto é tratado quase diariamente nos jornais, nas revistas, no rádio e na televisão. Todo dia ouvimos falar de energia ou do custo da energia e da necessidade de economizá-la.

Antigamente um anúncio publicitário de um fabricante de açúcar dizia: "*Açúcar é energia!*". Quando bem alimentado, você pode correr mais rápido e saltar mais alto. (Fig. 6.1) Para que nossos corpos tenham energia e possamos realizar nossas tarefas diárias, devemos nos alimentar adequadamente.

Assim como as pessoas, os objetos em geral também possuem energia.

Uma mola comprimida armazena energia e, ao ser liberada, pode colocar uma bolinha em movimento. (Fig. 6.2)

Água em movimento pode acionar uma roda-d'água, e esta, por sua vez, moer grãos. (Fig. 6.3)

UNIDADE II

POMPEU / STUDIO 47

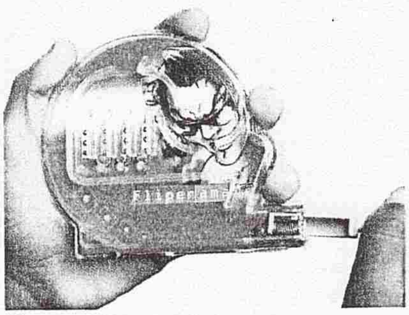


Figura 6.2

CID

Figura 6.3 Roda-d'água.


POMPEU / STUDIO 47

Figura 6.4 Para subir a ladeira, o carro consome energia.

Um carro utiliza a energia do combustível para se mover. Quanto maior a velocidade e mais íngreme o caminho, maior a quantidade de energia necessária. (Fig. 6.4)

A queima de gás de cozinha — ou a de lenha — libera energia para ser utilizada no preparo e aquecimento das nossas refeições.

A energia elétrica permite que eletrodomésticos e outros aparelhos funcionem e auxiliem na realização de nossas tarefas.

A luz solar tem a capacidade de aquecer os corpos e de ajudar as plantas a crescerem. A energia que o Sol fornece à Terra é transmitida sob a forma de energia radiante — ou de radiação. Mais adiante veremos que a luz é uma forma de energia radiante.

Energia é usualmente definida como "**a capacidade de realizar trabalho**", mas essa definição não é completa. Pelos exemplos dados, podemos perceber que um corpo possui energia se for capaz de provocar uma mudança em si mesmo ou em sua vizinhança. Os físicos podem nos ensinar a calcular as várias formas de energia e as transformações que ela pode sofrer, mas não sabem exatamente o que é energia nem como defini-la de forma precisa.

Neste capítulo e nos próximos, vamos analisar as várias formas sob as quais a energia pode se apresentar, aprender a calculá-las e ver como elas se relacionam entre si.

Você sabe por quê?

Durante o inverno é muito comum observarmos pessoas esfregando as mãos geladas. Você sabe explicar por que, ao esfregarmos as mãos, elas se aquecem? Dê um outro exemplo de mesma natureza.

2 TRABALHO DE UMA FORÇA

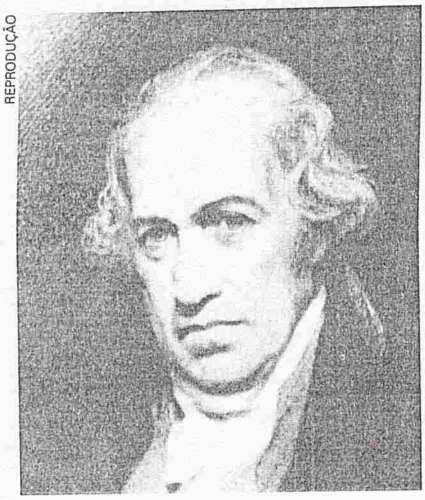

REPRODUÇÃO

Figura 6.5 James Watt (1736-1819).

No século XVIII, a demanda cada vez maior de carvão exigia o aprofundamento das minas. Porém esse aprofundamento levava à infiltração de água, que inundava as minas, dificultando o trabalho de extração e colocando em risco os mineiros. Havia a necessidade premente de encontrar uma maneira de bombear essa água para fora das minas. O problema foi resolvido, em 1765, pelo cientista inglês **James Watt** (Fig. 6.5) ao aperfeiçoar a máquina a vapor.

Ciência, Tecnologia e Sociedade

Com a Revolução Industrial (termo utilizado para descrever a mudança na organização da indústria manufatureira que transformou de rural em urbana a economia da Inglaterra, a partir do século XVIII, e posteriormente a de outros países), a máquina a vapor substituiu a força humana, do vento e da água, e as fábricas passaram a ser projetadas para a produção em massa de produtos manufaturados.

Juntamente com seus colegas, consulte livros de História e enciclopédias para descobrir em que setores a máquina a vapor foi utilizada durante a Revolução Industrial e as conseqüências que tais usos trouxeram para a sociedade da época.

A **máquina a vapor** é um equipamento que queima um combustível para aquecer água. A água se converte em vapor, que é, então, usado para empurrar um pistão. O pistão aciona uma roda, denominada volante ou roda motriz, que está conectada a uma carga. Com o movimento da roda, a carga pode ser deslocada. (Fig. 6.6)

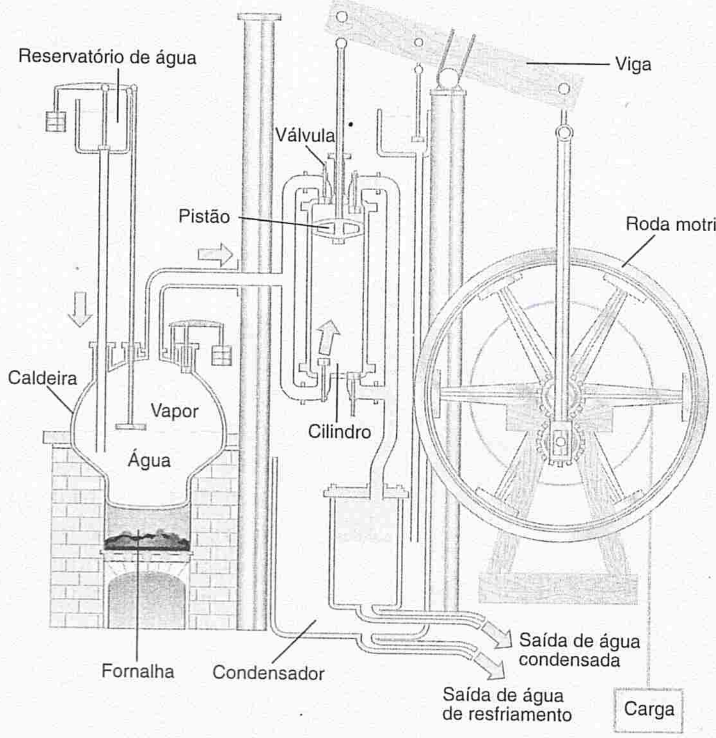


Figura 6.6 A máquina a vapor, aperfeiçoada por Watt.

O "invento" de Watt estimulou o desenvolvimento de máquinas que podiam realizar muitos outros trabalhos. O vapor passou a acionar teares, a impulsionar barcos e locomotivas etc. A máquina a vapor foi um enorme estímulo ao crescimento da indústria na Europa e nas Américas. Ela permitiu também o avanço da Revolução Industrial e das ciências.

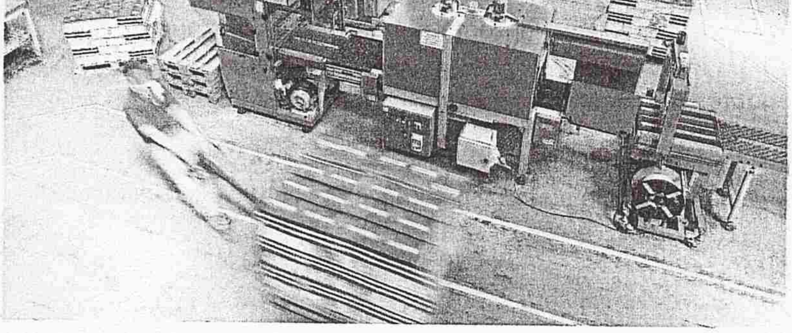


Figura 6.7

Os cientistas passaram a se interessar pela criação de máquinas mais eficientes, que permitissem obter o máximo de trabalho pelo dinheiro gasto. Para comparar a eficiência dessas máquinas, eles precisavam medir a quantidade de trabalho realizado. Em outras palavras, tinham de medir como a energia utilizada por essas máquinas estava sendo aproveitada para realizar trabalho.

Para um cientista, realizar um **trabalho** significa usar uma força para mover um objeto por uma certa distância. Ao puxar um carrinho pesado, o operário está realizando um trabalho. (Fig. 6.7)

Em termos da Física, o **trabalho é uma medida da quantidade de energia que uma força transfere a um determinado sistema**.

Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O trabalho τ realizado por uma força constante $\vec{F}$ aplicada a um corpo é uma **grandeza escalar** obtida pelo produto da intensidade da componente F_x da força na direção do deslocamento pelo deslocamento d que o ponto de aplicação da força sofre. (Fig. 6.8)

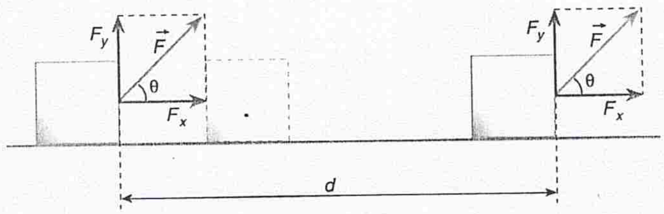


Figura 6.8 A força $\vec{F}$ realiza trabalho.

Analiticamente, temos: $\tau_F = F \cdot \cos\theta \cdot d$ ou, ainda, $\tau_F = F_x \cdot d$.

Se a componente F_x tiver o mesmo sentido do deslocamento, o trabalho será positivo (**trabalho motor**) e ela transferirá energia ao sistema; se F_x tiver sentido oposto ao do deslocamento, o trabalho será negativo (**trabalho resistente**) e ela retirará energia do sistema.

No SI, o trabalho é medido em **joule (J)**, unidade cujo nome é uma homenagem ao cientista inglês James Prescott Joule (1818-1889). Note que 1 joule é o trabalho realizado por uma força de 1 newton atuando por uma distância de 1 metro, isto é:

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

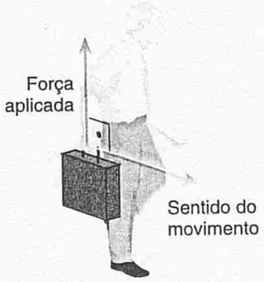


Figura 6.9

De acordo com a definição anterior, o trabalho da força que o homem aplica sobre a maleta (**Fig. 6.9**) é nulo, pois a força é vertical e perpendicular à direção do movimento — em outras palavras, a componente horizontal da força é nula.

A expressão para o cálculo do trabalho é aplicável apenas quando a força $\vec{F}$ é constante, isto é, quando a força tem módulo, direção e sentido constantes.

Para uma força com direção constante e módulo variável, o trabalho deve ser calculado a partir do gráfico da componente F_x da força em função do deslocamento d. No gráfico $F_x \cdot d$, o trabalho τ é dado pela "área" abaixo da curva. (**Fig. 6.10**) Então: $\tau_F \overset{N}{=}$ área sob a curva $F_x \cdot d$

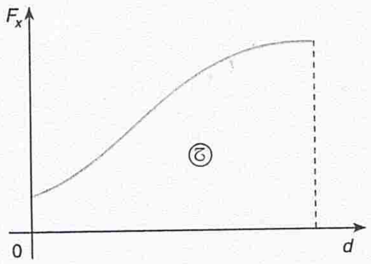


Figura 6.10

Vamos aplicar essa teoria em um exemplo simples, porém fundamental ao prosseguimento de nosso estudo.

Um corpo com massa 10 kg movimenta-se em um plano horizontal sob a ação de uma força resultante horizontal $\vec{F}$, de módulo constante, que lhe imprime uma aceleração de 2 m/s². Determine o trabalho realizado por essa força em um deslocamento de 5 m.

Sabemos que o trabalho realizado pela força constante é dado por: $\tau_F = F_x \cdot d$.

Como conhecemos o deslocamento d, para o cálculo do trabalho τ devemos, antes, calcular a intensidade da força $\vec{F}$.

Pelo princípio fundamental da dinâmica: $F_{res} = m \cdot a \Rightarrow F = 10 \cdot 2 \Rightarrow F = 20$ N.

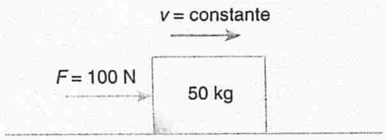
Portanto: $\tau_F = F_x \cdot d \Rightarrow \tau_F = 20 \cdot 5 \Rightarrow \tau_F = 100$ J

Assim, durante o deslocamento $d = 5$ m, a força $F = 20$ N transfere ao corpo 100 J de energia.

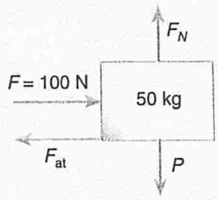
Vamos agora aplicar essa teoria a um exemplo um pouco mais complicado.

Na figura ao lado, um corpo com massa 50 kg é empurrado por uma força de 100 N. O corpo movimenta-se em linha reta com velocidade constante. Considerando que $g = 10\ m/s^2$, determine:

a) a intensidade da força de atrito;
b) o coeficiente de atrito entre o corpo e o apoio;
c) o trabalho da força resultante.



a) O esquema ao lado mostra-nos as forças que atuam no corpo em movimento. Como este se movimenta em linha reta com velocidade constante, sua aceleração deve obrigatoriamente ser nula. Portanto, a força resultante também é nula, ou seja, as forças mostradas na figura devem se equilibrar.



Portanto, na direção vertical:
$F_N = P \Rightarrow F_N = 50 \cdot 10 \quad \Rightarrow \quad F_N = 500\ N$
E, na direção horizontal:
$F_{at} = F \quad \Rightarrow \quad F_{at} = 100\ N$

b) A força de atrito é calculada por: $F_{at} = \mu \cdot F_N$.
Então, temos: $100 = \mu \cdot 500 \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{100}{500} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0{,}2.$

c) O trabalho da força resultante é dado por: $\tau_{F_{res}} = F_{res} \cdot d$.
Mas, como a força resultante é nula, seu trabalho também é nulo: $\tau_{F_{res}} = 0$.

Observe que poderíamos ter calculado o trabalho da força resultante pela soma dos trabalhos de todas as forças que atuam no corpo. Consideremos, por exemplo, um deslocamento igual a x e calculemos o trabalho de todas as forças que atuam no corpo:

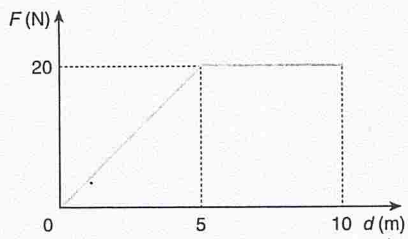
$$\tau_{F_{res}} = \tau_F + \tau_{F_{at}} + \tau_{F_N} + \tau_P \quad \Rightarrow \quad \tau_{F_{res}} = 100 \cdot x - 100 \cdot x + 0 + 0 \quad \Rightarrow \quad \tau_{F_{res}} = 0$$

Note que o trabalho da força de atrito é negativo (trabalho resistente) e que os trabalhos das forças peso e reação normal do apoio são nulos, pois estas são perpendiculares ao deslocamento.

O resultado mostra que a força resultante não transfere energia ao corpo. Isso torna-se evidente quando lembramos que o corpo se movimenta na horizontal e com velocidade constante.

O exemplo seguinte explora o cálculo do trabalho de uma força de intensidade variável.

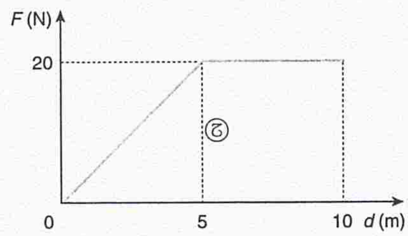
Um corpo movimenta-se em um plano horizontal sob a ação de uma força resultante cuja intensidade varia com o deslocamento, de acordo com o diagrama ao lado. Qual é o trabalho realizado por essa força resultante em um deslocamento de 10 m?



Como a força tem intensidade variável, devemos calcular o trabalho que ela realiza utilizando o gráfico fornecido.

Para uma força variável, o trabalho é dado pela "área" sob a curva no gráfico $F \cdot d$.

O trabalho da força F no deslocamento de 10 m é dado, então, pela área destacada no gráfico ao lado.



Trata-se da área de um trapézio $\left(S = \frac{B + b}{2} \cdot h\right)$.

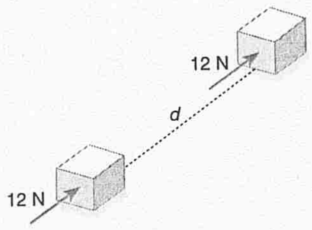
Portanto, temos: $\tau_F = \frac{10 + 5}{2} \cdot 20 \quad \Rightarrow \quad \tau_F = 150\ J$

Esse resultado indica que, durante o deslocamento de 10 m, a força resultante transferiu ao corpo uma quantidade de energia igual a 150 J.

Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

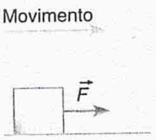
EXERCÍCIOS

1 Uma força horizontal com intensidade 12 N atua em um corpo, movimentando-o por um plano horizontal. Se o trabalho realizado por essa força é de 60 J, determine o deslocamento d sofrido pelo corpo.

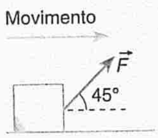


2 A figura abaixo mostra um corpo, apoiado em um plano horizontal liso, submetido à ação da força $\vec{F}$, de intensidade constante e igual a 100 N. Em cada um dos casos representados, calcule o trabalho realizado pela força $\vec{F}$ em um deslocamento horizontal de 10 m.

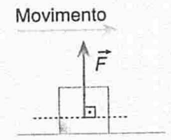
a)



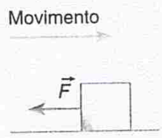
b)



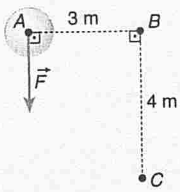
c)



d)



3 Um corpo sofre um deslocamento percorrendo a trajetória ABC, mostrada na figura ao lado, sob a ação de um sistema de forças. Seja $\vec{F}$ uma força constante, com módulo 30 N, uma das forças desse sistema. Considerando as dimensões indicadas na figura, determine:



a) o trabalho realizado pela força $\vec{F}$ no deslocamento de A para B;
b) o trabalho de $\vec{F}$ no deslocamento de B para C;
c) o trabalho total de $\vec{F}$ no deslocamento de A para C.

4 Uma pessoa empurra um carrinho com rodas por um plano horizontal. O carrinho com a carga tem massa de 100 kg e desloca-se com uma velocidade constante de 1 m/s. Se a pessoa exerce uma força de 120 N, na direção horizontal, qual é o trabalho realizado por essa força em 1 minuto?

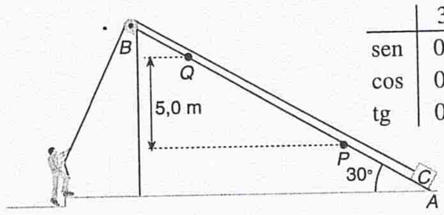
5 Determine o trabalho realizado pela força peso quando uma pedra com massa 2 kg cai de uma altura de 3 m. Adote $g = 10\ m/s^2$.

6 Um corpo com massa 25 kg é erguido, com velocidade constante, por uma força vertical $\vec{F}$. Adote $g = 10\ m/s^2$.
a) Qual é a intensidade da força $\vec{F}$ aplicada ao corpo?
b) Qual é o trabalho realizado pela força $\vec{F}$ se o corpo for erguido por 3 m?

7 (U. Mackenzie-SP) Um homem necessita deslocar a caixa C, de massa 100 kg, desde o ponto A até o ponto B e deseja fazê-lo com velocidade constante. O coeficiente de atrito cinético entre as superfícies em contato é 0,10 e o módulo da aceleração gravitacional local é $10\ m/s^2$.

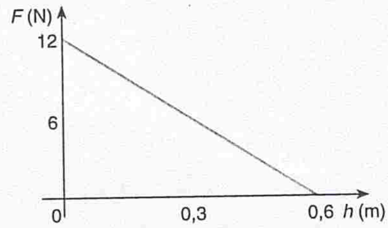
Dados:

	30°	45°	60°
sen	0,50	0,71	0,87
cos	0,87	0,71	0,50
tg	0,58	1	1,73



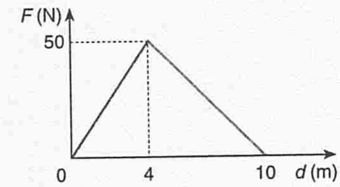
Considerando que a corda e a polia são elementos ideais, o trabalho realizado pela força aplicada pelo homem no deslocamento da caixa de P até Q será:
a) $8{,}70 \cdot 10^2$ J
b) $1{,}74 \cdot 10^3$ J
c) $2{,}935 \cdot 10^3$ J
d) $4{,}13 \cdot 10^3$ J
e) $5{,}87 \cdot 10^3$ J

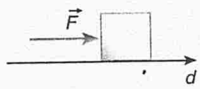
8 (UFAC) Um corpo de massa 0,10 kg está em repouso sobre uma superfície perto do solo. A partir de um certo instante, uma força F, variável com a altura h segundo o gráfico ao lado, passa a atuar no corpo na direção vertical e sentido para cima. Considere $g = 10\ m/s^2$. O módulo do trabalho realizado pela força F é:



a) 12 J b) 0,6 J c) 3,6 J d) 7,2 J e) 14,4 J

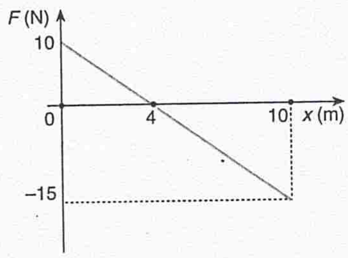
9 Um corpo é submetido à ação de uma força resultante $\vec{F}$ de direção constante e módulo variável, de acordo com o gráfico.





Qual é o trabalho realizado por essa força durante um deslocamento de 10 m?

10 O gráfico a seguir mostra a intensidade F da força resultante horizontal que atua em um corpo.



Determine:
a) o trabalho da força F no deslocamento de $x = 0$ a $x = 4$ m;
b) o trabalho de F no deslocamento de $x = 4$ m a $x = 10$ m;
c) o trabalho total da força F no deslocamento de $x = 0$ a $x = 10$ m.