

# O trabalho cansa?



**R**oberto já não subia mais as escadas, só usava o elevador. Afinal ele não comia mais chocolate, não tinha mais energia sobrando para subir centenas de andares. Mas uma coisa ainda o intrigava. Como Maristela tinha feito aqueles cálculos? Como alguém pode achar resultados numéricos tão precisos a partir de um conceito que, segundo falou a própria Maristela, nem os físicos sabiam direito o que era?

A resposta a essas perguntas começa a ser dada nesta aula. Já vimos que as grandezas fundamentais da Física podem ser medidas diretamente por meio da criação de padrões adequados. É o caso do comprimento, da massa e do tempo. Outras grandezas derivadas não têm padrões próprios, mas podem ser medidas com auxílio dos padrões criados para as grandezas fundamentais. É o caso da área, do volume, da velocidade, da aceleração, da força etc. É o caso também da energia, mas com uma característica a mais: a medida da energia tem, como ponto de partida, uma outra grandeza física, o **trabalho**. Se energia é a capacidade de realizar trabalho, mede-se a energia de um corpo pelo **trabalho que ele realiza**. Mas o que é trabalho? Como se mede o trabalho realizado por um corpo?



## Conceito de trabalho

O avô de Roberto, um sitiante, ficou alguns dias no apartamento do neto e estranhou que aquela vizinha passasse a noite toda com a luz acesa.

“Ela não dorme?”, quis saber o desconfiado lavrador.

“É que ela fica até tarde trabalhando sentada na frente do computador”, explicou Roberto.

“Trabalhar sentado é novidade, pra mim isso não é trabalho, não cansa!”, sentenciou o lavrador.

De fato, segundo a Física, Maristela não trabalhava, ou melhor, não **realizava trabalho**. O conceito de trabalho, em Física, é parecido com o do lavrador: sem força não há trabalho. Mas só a existência de força ainda não basta; é preciso que ela produza ou atue ao longo de um deslocamento. O trabalho poderá então ser medido pelo produto da força pelo deslocamento:

$$\text{Trabalho} = \text{força} \cdot \text{deslocamento}$$

Mas por que essa relação? Por que produto e não soma, por exemplo? Porque são grandezas que se compensam, isto é, se nós aumentamos uma, podemos diminuir a outra, na mesma proporção. Veja a Figura 1.

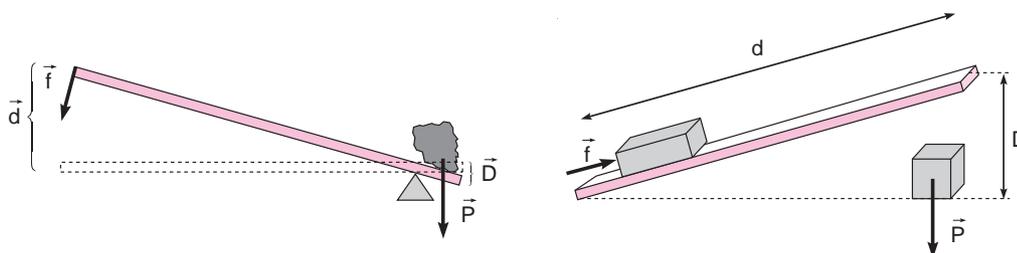


Figura 1

Na alavanca, uma força **menor** ( $f$ ) pode mover um peso **maior** ( $P$ ) porque o deslocamento ( $d$ ) da força menor é maior que o deslocamento ( $D$ ) do peso. O mesmo ocorre no plano inclinado. É possível elevar por uma altura ( $D$ ) o caixote de peso ( $P$ ) fazendo uma força ( $f$ ) menor que ( $P$ ) porque, por intermédio do plano inclinado, a força ( $f$ ) atua ao longo de um deslocamento ( $d$ ) maior que ( $D$ ). Em ambos os casos é válida a relação:

$$F \cdot d = P \cdot D$$

Em outras palavras, **é possível fazer uma força menor desde que se compense com um deslocamento maior**. A energia consumida é a mesma em ambos os casos, pois o trabalho realizado é o mesmo. Essa definição de trabalho, no entanto, não prevê todas as situações possíveis. Veja a situação ilustrada na Figura 2: o bloco está se movendo ao longo do deslocamento ( $d$ ) sob a ação simultânea de várias forças. Será que todas realizam o mesmo trabalho? Como calcular o trabalho de cada uma das forças?

### Trabalho de uma força constante

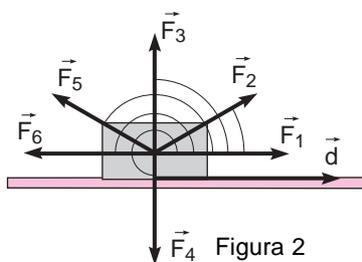


Figura 2

Como você pode ver na Figura 2, há forças que favorecem o deslocamento  $d$  ( $F_1$  e  $F_2$ ), outras que não influem diretamente ( $F_3$  e  $F_4$ ) e outras que se opõem ( $F_5$  e  $F_6$ ). Essas relações estão ligadas ao ângulo formado entre a força e o deslocamento. Se esse ângulo está compreendido entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , a força favorece o deslocamento, realiza um trabalho **positivo**.

Se for igual a  $90^\circ$ , ela não influirá no deslocamento, e seu trabalho será **nulo**. Se o ângulo estiver compreendido entre  $90^\circ$  e  $180^\circ$ , ela dificultará ou se oporá ao deslocamento, isto é, realizará um trabalho **negativo**. Além disso, apenas nos casos em que o ângulo é  $0^\circ$  ou  $180^\circ$ , a força atua **integralmente** a favor ou contra o deslocamento; nos demais casos, só uma parcela da força influi. Essa parcela é **a componente da força na direção do deslocamento**. Todas essas características devem aparecer na definição de trabalho de uma força. Por isso, além do produto **força  $\times$  deslocamento**, aparece a grandeza trigonométrica  $\cos \alpha$  (cosseno de  $\alpha$ , ângulo entre a força e o deslocamento). A definição do trabalho de uma força  $F$ , que representamos por  $\tau_F$  é, portanto,

$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

No SI, como a força é dada em newtons (N) e o deslocamento em metros (m), o trabalho será dado em  $\text{N} \cdot \text{m}$ , unidade que recebe o nome de joule (J), em homenagem a James Prescott Joule, físico inglês do século XIX. Assim:

**1 joule é o trabalho realizado por uma força de 1 newton que atua na mesma direção e sentido de um deslocamento de 1 metro.**

### Passo-a-passo

Como exemplo do cálculo do trabalho de uma força, vamos voltar à Figura 2 e calcular o trabalho das forças  $F_1(\tau_1)$ ,  $F_2(\tau_2)$ ,  $F_3(\tau_3)$ ,  $F_4(\tau_4)$ ,  $F_5(\tau_5)$  e  $F_6(\tau_6)$ , ao longo do deslocamento  $d$ .

Suponha que todas as forças sejam iguais e valham 10 N e o deslocamento seja de 5 m. Em relação aos ângulos, temos:

- O ângulo entre  $F_1$  e  $d$  é  $\alpha_1 = 0^\circ$ ;  $F_1$  tem a **mesma direção e sentido** do deslocamento.
- Vamos supor que o ângulo entre  $F_2$  e  $d$  seja  $\alpha_2 = 37^\circ$ .
- Os ângulos entre  $F_3$  e  $d$  e entre  $F_4$  e  $d$  são  $\alpha_3 = 90^\circ$  e  $\alpha_4 = 90^\circ$ ;  $F_3$  e  $F_4$  são **perpendiculares** ao deslocamento.
- Vamos supor que o ângulo entre  $F_5$  e  $d$  seja  $\alpha_5 = 120^\circ$ .
- O ângulo entre  $F_6$  e  $d$  é  $\alpha_6 = 180^\circ$ , porque  $F_6$  tem a **mesma direção e sentido oposto** ao deslocamento.

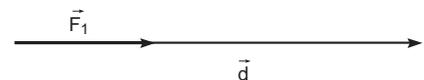
**Observação:** Você pode obter os valores do co-seno desses ângulos com uma calculadora ou consultando uma tabela de senos e co-senos.

Podemos agora calcular o trabalho de cada força:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= F_1 \times d \times \cos \alpha_1 \\ \tau_1 &= 10 \times 5 \times \cos 0^\circ \\ \tau_1 &= 50 \times 1,0 = 50 \text{ J} \end{aligned}$$

Figura 3.

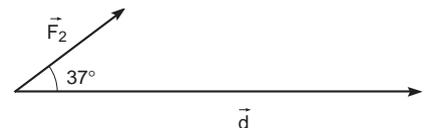
Trabalho de  $F_1$



$$\begin{aligned} \tau_2 &= F_2 \times d \times \cos \alpha_2 \\ \tau_2 &= 10 \times 5 \times \cos 37^\circ \\ \tau_2 &= 50 \times 0,8 = 40 \text{ J} \end{aligned}$$

Figura 4.

Trabalho de  $F_2$



$$\begin{aligned} \tau_3 &= F_3 \times d \times \cos \alpha_3 \\ \tau_3 &= 10 \times 5 \times \cos 90^\circ \\ \tau_3 &= 50 \times 0 = 0 \end{aligned}$$

Figura 5.

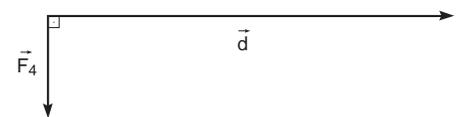
Trabalho de  $F_3$



$$\begin{aligned} \tau_4 &= F_4 \times d \times \cos \alpha_4 \\ \tau_4 &= 10 \times 5 \times \cos 90^\circ \\ \tau_4 &= 50 \times 0 = 0 \end{aligned}$$

Figura 6.

Trabalho de  $F_4$



$$\begin{aligned} \tau_5 &= F_5 \times d \times \cos \alpha_5 \\ \tau_5 &= 10 \times 5 \times \cos 120^\circ \\ \tau_5 &= 50 \times -0,5 = -25 \text{ J} \end{aligned}$$

Figura 7.

Trabalho de  $F_5$



$$\begin{aligned} \tau_6 &= F_6 \times d \times \cos \alpha_6 \\ \tau_6 &= 10 \times 5 \times \cos 180^\circ \\ \tau_6 &= 50 \times -1,0 = -50 \text{ J} \end{aligned}$$

Figura 8.

Trabalho de  $F_6$

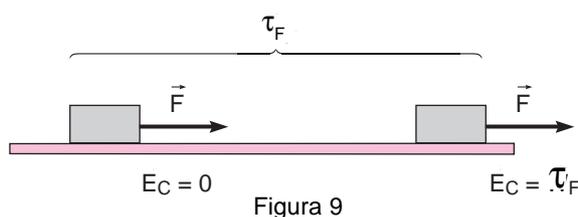


Observe que o valor do co-seno do ângulo corrige o valor do trabalho, em cada caso. Se o trabalho fosse calculado apenas pelo produto  $F \cdot d$ , obteríamos sempre o mesmo valor e o mesmo sinal, o que não corresponderia à realidade. É importante notar ainda que, se todas essas forças atuarem ao mesmo tempo, o trabalho resultante dessas forças,  $\tau_R$ , será a **soma algébrica** do trabalho de cada uma. Assim, teremos:

$$\begin{aligned}\tau_R &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 \\ \tau_R &= 50 + 40 + 0 + 0 + (-25) + (-50) \\ \tau_R &= 15 \text{ J}\end{aligned}$$

## Trabalho e energia cinética

Agora que já sabemos calcular o trabalho de uma força constante, é possível encontrar uma expressão matemática para a energia cinética. O raciocínio é simples. Suponha que um corpo está em repouso sobre um plano horizontal sem atrito (veja a Figura 9).



Como ele está em repouso, não tem energia cinética. Sobre esse corpo passa a atuar uma força constante  $F$ , paralela ao plano, que o desloca na mesma direção e sentido da força. Depois de um deslocamento  $d$ , esse corpo está com uma determinada velocidade  $v$ . Adquire, portanto, uma energia cinética,  $E_C$ . Como só essa força realiza trabalho, essa energia cinética é fruto do trabalho dessa força (há mais duas forças atuando sobre o corpo, o peso e a reação do plano, mas são perpendiculares ao deslocamento e, portanto, não realizam trabalho). Pode-se, então, determinar a energia cinética desse corpo, pelo trabalho realizado por essa força, ou seja:

$$\tau_F = E_C$$

Temos, então:

$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos 0^\circ$$

Mas, pela segunda lei de Newton,  $F = m \cdot a$ . Temos, portanto:

$$\tau_F = m \cdot a \cdot d \cdot 1,0 \quad (\text{I})$$

Usando a equação de Torricelli, que é obtida quando eliminamos o tempo das funções horárias da posição e da velocidade no MRUV.

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot d$$

Podemos determinar a velocidade do bloco ao final do deslocamento  $d$ . Como ele parte do repouso,  $v_0 = 0$ , a expressão se simplifica:

$$v^2 = 2 \cdot a \cdot d$$

Pode-se obter daí o valor do produto  $a \cdot d$ :

$$a \cdot d = \frac{v^2}{2}$$

Substituindo esse valor de  $a \cdot d$  na expressão (I), obtemos:

$$\tau_F = m \cdot \frac{v^2}{2}$$

Essa expressão,  $m \times \frac{v^2}{2}$ , é, portanto, a **energia cinética  $E_{Cfinal}$  adquirida pelo corpo em função do trabalho da força  $F(\tau_F)$** . Escrevendo essa expressão de uma forma mais elegante, define-se energia cinética de um corpo de massa  $m$  com velocidade  $v$  como:

$$E_C = \frac{1}{2} mv^2$$

Como a energia cinética é igual ao trabalho realizado pela força, a sua unidade de medida deve ser a mesma unidade de trabalho. Logo, **a unidade de energia no SI também é o joule**.

Vamos voltar à Figura 3 e supor que o corpo **não estava inicialmente em repouso**, ou seja,  $v_0 \neq 0$ . Isso significa que, quando a força  $F$  foi aplicada, o corpo já tinha uma energia cinética inicial,  $E_{Cinicial}$ . Para saber o trabalho dessa força ao final do deslocamento  $d$ , devemos descontar a energia cinética final,  $E_C$ , dessa energia cinética inicial,  $E_{Cinicial}$ . Nesse caso, o trabalho da força  $F$  é igual ao que o corpo ganha **a mais** de energia cinética, o que pode ser calculado pela variação da energia cinética que ele sofre, ou seja:

$$\tau_F = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$$

Se houver mais forças atuando sobre o corpo, cada uma delas vai realizar um trabalho. Nesse caso, como vimos no exemplo 1, o trabalho resultante,  $\tau_R$ , de todas essas forças é a soma algébrica do trabalho de cada força. Esse trabalho resultante é o responsável pela variação da energia cinética do corpo. Podemos, então, escrever:

$$\tau_R = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$$

Representado por  $\Delta E_C$ , que significa **variação da energia cinética**, a diferença  $E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$  temos:

$$\tau_R = \Delta E_C$$

Essas duas últimas relações expressam matematicamente o **teorema da energia cinética**, uma valiosa ferramenta para a interpretação, compreensão e resolução de problemas de Física, cujo enunciado é:

**O trabalho resultante ( $\tau_R$ ) de todas as forças que atuam sobre um corpo num deslocamento  $d$  é igual à variação da energia cinética desse corpo ( $\Delta E_C$ ) nesse deslocamento.**

### Passo-a-passo

Um automóvel com massa de 800 kg tem velocidade de 36 km/h quando é acelerado e, depois de percorrer um determinado deslocamento, está com velocidade de 108 km/h. Determinar:

**a)** Sua energia cinética inicial,  $E_{Cinicial}$ :

Como a energia é medida em joules, unidade do SI, precisamos transformar a velocidade em metros por segundo. Portanto, como já vimos anteriormente,  $v_0 = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$ . Basta agora determinar o valor de  $E_{Cinicial}$ :

$$E_{Cinicial} = \frac{1}{2} mv_{oinicial}^2$$

$$E_{Cinicial} = \frac{1}{2} \cdot 800 \cdot 10^2 = 40.000 \text{ J}$$

b) A energia cinética final,  $E_{Cfinal}$ . Sabendo-se que  $v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$ , temos:

$$E_{Cfinal} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_{Cfinal} = \frac{1}{2} \cdot 800 \cdot 30^2 = 360.000 \text{ J}$$

c) Qual o trabalho da força resultante que atua sobre o automóvel. Aplicando o teorema da energia cinética, temos:

$$\begin{aligned} \tau_R &= \Delta E_C = E_{Cfinal} - E_{Cinicial} \\ \tau_R &= 360.000 - 40.000 = 320.000 \text{ J} \end{aligned}$$

Observe que esse valor não corresponde ao trabalho do motor. Se a estrada for plana, horizontal, ou predominarem as subidas, o trabalho do motor certamente será maior. Ele deverá vencer também as forças de atrito e resistência do ar e, se houver subida, a componente tangencial do peso do automóvel. Todas essas forças realizam um trabalho negativo. Se houver descida, o trabalho do motor pode ser menor, porque, nesse caso, o peso do automóvel também vai realizar trabalho positivo.

### Passo-a-passo

Uma bala com 20 g de massa atinge uma parede com velocidade de 600 m/s e penetra, horizontalmente, 12 cm. Determine o valor médio da força de resistência exercida pela parede, para frear a bala.

Para determinar o valor médio da força de resistência  $R$  exercida pela parede sobre a bala, é preciso calcular o trabalho que ela realiza,  $\tau_R$ . Isso pode ser feito pelo teorema da energia cinética, que permite calcular o trabalho da parede pela variação da energia cinética da bala:

$$\begin{aligned} \tau_{(parede)} &= \Delta E_{C(bala)} \\ \tau_R &= E_{Cfinal} - E_{Cinicial} \end{aligned}$$

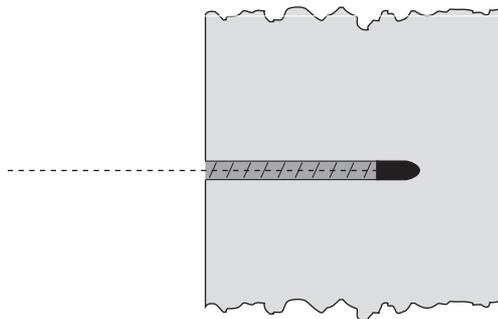


Figura 10

Como a bala pára ao final da penetração,  $E_{Cfinal} = 0$ , basta, portanto, calcular  $E_{Cinicial}$ .

$$E_{Cinicial} = \frac{1}{2} mv_o^2$$

Lembrando que  $m = 20 \text{ g} = 0,02 \text{ kg}$  e  $v_o = 600 \text{ m/s}$ , temos:

$$E_{Cinicial} = \frac{1}{2} \cdot 0,02 \cdot 600^2 = 3.600 \text{ J.}$$

Voltando a expressão do teorema da energia cinética, temos:

$$\tau_R = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$$

$$\tau_R = 0 - 3.600 = -3.600 \text{ J}$$

Para determinar o valor médio da força de resistência, voltemos à definição de trabalho de uma força, lembrando que, aqui  $F_{\text{Resultante}} = R$ :

$$\tau_R = R \cdot d \cdot \cos \alpha$$

Sabendo que o deslocamento da bala dentro da parede é  $d = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$ , e  $\alpha = 180^\circ$ , pois a força exercida pela parede se opõe ao deslocamento, temos:

$$\begin{aligned} -3.600 &= R \cdot 0,12 \cdot \cos 180^\circ \\ -3.600 &= R \cdot 0,12 \cdot (-1,0) \end{aligned}$$

Logo:

$$R = 3.600 \div 0,12 = 30.000 \text{ N}$$

### Observação:

Dizemos que esse é o valor médio da força exercida pela parede sobre a bala porque essa força não é constante, ela varia ao longo do deslocamento.

## Potência

Já vimos que, sob o ponto de vista da Física, sem força não há trabalho, mas ainda não respondemos a pergunta que dá título à nossa aula: o trabalho cansa? A resposta, é claro, só pode ser **“depende”**. Depende do trabalho, da força que se faz e do deslocamento em que ela atua.

Mas há um fator a mais que ainda não entrou na discussão. Suponha que o nosso amigo Roberto, na esperança de compensar o chocolate que comia, resolvesse subir as escadas do seu prédio correndo. Será que desse jeito ele não iria gastar mais calorias?

A resposta agora é mais complicada. Fisicamente, o trabalho que ele realiza é o mesmo: transportar o próprio corpo do térreo ao andar em que mora. Mas nem ele nem seu organismo aceitam essa idéia com facilidade. Seu coração bateu muito mais rápido, sua respiração tornou-se ofegante, ele suou e se cansou muito mais. Internamente, o seu organismo consumiu muito mais energia, embora o trabalho externo tenha sido o mesmo. Isso ocorreu porque o **tempo** para a realização desse trabalho foi menor. Em outras palavras, a **potência** desenvolvida pelo organismo foi maior.

Você notou que estamos apresentando uma nova grandeza física muito importante nos dias de hoje, pois relaciona o trabalho ( $\tau$ ), realizado por uma máquina, com o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) gasto em realizá-lo: a **potência** ( $P$ ). Essa grandeza é definida pela expressão:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

Observe que, para um mesmo trabalho  $\tau$ , quanto **menor** for o intervalo de tempo em que ele é realizado, que é o denominador da fração, **maior** será a potência e vice-versa. A unidade de potência no SI é o watt (W), em homenagem a James Watt, um engenheiro escocês que deu uma notável contribuição ao desenvolvimento das máquinas a vapor no século XVIII. Assim,

**1 watt é a potência desenvolvida por uma máquina que realiza um trabalho de 1 joule em 1 segundo.**

Como a potência é uma das grandezas físicas mais utilizadas na nossa vida diária, é comum encontrá-la expressa em múltiplos ou submúltiplos ou unidades práticas. Veja a seguir uma pequena lista dessas unidades e a relação delas com o watt:

$$\begin{aligned} 1,0 \text{ quilowatt (kW)} &= 1.000 \text{ W} \\ 1,0 \text{ miliwatt (mW)} &= 0,001 \text{ W} \\ 1,0 \text{ cv (cavalo-vapor)} &= 735,5 \text{ W} \\ 1,0 \text{ hp (horse-power)} &= 746 \text{ W} \end{aligned}$$

Além dessas unidades, há ainda uma unidade prática de energia, com a qual temos um desagradável contato mensal, por intermédio da conta de energia elétrica: o **quilowatt-hora**, cujo símbolo é kWh. A definição dessa unidade parte da definição de potência. Se a potência é dada por

$$P = \frac{\tau}{\Delta t},$$

então, o trabalho pode ser calculado pela relação:

$$\tau = P \cdot \Delta t$$

Isso significa que podemos medir o trabalho realizado por uma máquina e, portanto, a energia que ela consome, multiplicando-se a sua potência pelo tempo que ela fica funcionando. Se a potência é dada em watts e o tempo em segundos, o trabalho (ou a energia) será dado em joules. Essa unidade, no entanto, não é muito prática, principalmente para aparelhos elétricos. Por isso, costuma-se utilizar o quilowatt como unidade de potência e a hora como unidade de tempo, obtendo-se o quilowatt-hora como a correspondente unidade de trabalho (ou energia). Como essa é uma unidade prática (não pertence ao SI), é preciso saber a sua relação com o joule que, como vimos, é a unidade de trabalho e energia desse sistema. Teremos então:

$$1,0 \text{ kWh} = 1,0 \text{ kW} \cdot 1,0 \text{ h} = 1.000 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s} = 3.600.000 \text{ W} \cdot \text{s} = 3.600.000 \text{ J}$$

Imagine se o nosso amigo Roberto, ao invés de subir escadas, resolvesse correr numa estrada horizontal, em linha reta, com velocidade constante. Será que ele iria consumir energia? Se a velocidade é constante, a energia cinética não varia. Como o trabalho é igual à variação da energia cinética, ele não realiza trabalho, logo não consome energia, certo? **Errado!**

Na realidade, como vimos, o trabalho da **força resultante** é igual à variação da energia cinética. Quando alguém corre com velocidade constante, em linha reta, a força resultante é nula, mas a pessoa faz força para frente, pelo atrito de seus pés com o solo. Realiza, portanto, um trabalho positivo. No entanto, essa força é equilibrada pela resistência do ar que realiza um trabalho negativo. Por essa razão, a energia cinética não varia – o trabalho da força que a pessoa realiza para correr é consumido integralmente pelo trabalho da resistência do ar.

Nesse caso particular, é fácil calcular o trabalho que a pessoa realiza e, conseqüentemente, a energia que ela consome, por intermédio da potência desenvolvida. Por definição, o trabalho da força exercida é  $\tau_F = Fd \cos \alpha$ . Como a força atua na direção e sentido do deslocamento  $\alpha = 0^\circ$  e  $\cos \alpha = 1,0$ . Então o trabalho da força é apenas  $\tau_F = Fd$ .

Lembrando que a potência é  $P = \frac{\tau}{\Delta t}$ , temos:

$$P = \frac{F \times d}{\Delta t}$$

Mas  $d/\Delta t$  é a velocidade  $v$  da pessoa, logo, a potência pode ser expressa por:

$$P = F \cdot v$$

É bom lembrar que essa expressão é válida para qualquer corpo, mas só quando a **velocidade é constante**, ou seja, quando ele tem movimento retilíneo uniforme.

### Passo-a-passo

Um automóvel desenvolve uma potência de 80 cv quando em trajetória retilínea com velocidade constante de 108 km/h. Qual a intensidade da força de resistência do ar?

Como o movimento é retilíneo uniforme, a força de resistência do ar é igual à força exercida pelo automóvel. Além disso, vale a expressão da potência num MRU ( $P = F \cdot v$ ) Para aplicá-la, basta transformar as unidades dadas em unidades do SI:

$$P = 80 \text{ cv} = 80 \cdot 735,5 = 58.840 \text{ W}$$

$$v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$$

Então, temos:

$$P = F \cdot v \Rightarrow 58.840 = F \cdot 30 \Rightarrow F = 58.840 / 30 = 1.961 \text{ N (aproximadamente)}$$

### Rendimento

Sabemos que há carros que consomem menos combustível do que outros, ou que até o mesmo carro, quando regulado, pode consumir menos. Da mesma forma, uma lâmpada fluorescente ilumina mais que uma lâmpada comum, de mesma potência. Isso vale também para o organismo humano. Há pessoas que engordam, mesmo comendo pouco, e outras que comem muito e não engordam. Em outras palavras, há máquinas que aproveitam melhor o combustível que consomem. Dizemos que essas máquinas têm um **rendimento** maior. Define-se o rendimento ( $r$ ) de uma máquina pela razão entre a **potência útil** ( $P_U$ ), que ela fornece e a **potência total**, ( $P_T$ ), que ela consome, ou seja:

$$r = \frac{P_U}{P_T}$$

Pode-se escrever essa mesma expressão na forma de porcentagem. Teremos então:

$$r = \frac{P_U}{P_T} \times 100\%$$

É fácil ver que, se uma máquina fosse perfeita, o que não existe, ela teria rendimento  $r = 1,0$  ou  $r = 100\%$ , porque a potência útil seria igual à potência total: ela aproveitaria tudo o que consome. Isso não acontece porque toda máquina gasta parte da energia que recebe para seu próprio funcionamento. Além disso, sempre há perdas. É impossível, por exemplo, eliminar completamente o atrito, que acaba se transformando em calor. E o calor gerado por atrito raramente é o objetivo de uma máquina. Ele é, em geral, um efeito indesejável, mas inevitável. Por essa razão, o rendimento de qualquer máquina será sempre um valor menor que 1,0 ou que 100%.

## Passo-a-passo



Vamos voltar ao Exemplo 2. Suponha que o sistema mecânico daquele automóvel, naquela situação, tenha um rendimento de 0,25 ou 25% e que o tempo gasto para acelerar de 36 km/h para 108 km/h tenha sido de 10 s. Qual a potência total que ele consome, em cavalos-vapor?

Lembremos a resposta do segundo Passo-a-passo. O trabalho resultante sobre o carro é:

$$\tau_R = 320.000 \text{ J}$$

Que trabalho é esse? Sendo o trabalho resultante, é o **trabalho útil**, aquele que a gente aproveita. Dele pode-se calcular a **potência útil**, mas não a **potência total**. Como dissemos lá na resolução do Exemplo 2, o **trabalho total** que ele consome (que tira da energia fornecida pelo combustível) é certamente muito maior. Além do trabalho útil, ele esquentar, faz barulho, vence os atritos e a resistência do ar.

Vamos, então, calcular primeiro a potência útil. Como a potência é dada por  $P = \tau / \Delta t$ , a potência útil será calculada por essa expressão, desde que o trabalho, ( $\tau$ ), seja o trabalho útil. O trabalho útil, como comentamos é  $\tau_R = 320.000 \text{ J}$  e o intervalo de tempo é  $\Delta t = 10 \text{ s}$ . Logo:

$$P_U = P_U = \frac{320.000 \text{ J}}{10 \text{ s}} = 3.200 \text{ W}$$

Como o rendimento  $r = 0,25$ , temos:

$$r = \frac{P_U}{P_T} \Rightarrow 0,25 = \frac{3.200 \text{ J}}{P_T} \Rightarrow P_T = \frac{3.200 \text{ J}}{0,25} \Rightarrow P_T = 12.800 \text{ W}$$

Para transformar esse valor em cavalos-vapor, basta dividir por 735,5 W, que equivale à potência de 1 cv. Temos, então:

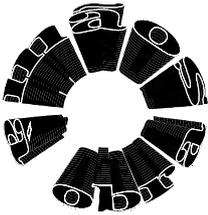
$$P_T = 12.800 \div 735,5 = 17,4 \text{ cv (aproximadamente)}$$

Você pôde ver, nesta aula, que é possível calcular a energia de um corpo pelo trabalho que ele realiza. E que, para os físicos, só existe trabalho quando há força e deslocamento, portanto, o trabalho quase sempre cansa. Chegamos, também, a uma ligação muito importante que relaciona trabalho e energia cinética,  $\tau = \Delta E_C$ . Vimos que a potência de uma máquina pode ser calculada pela razão entre o trabalho que ela realiza e o tempo gasto em realizá-lo. Que a potência útil é sempre menor que a potência total e a razão entre elas, sempre menor que a unidade, é o seu rendimento. Mas ainda ficamos devendo. Não sabemos como Maristela fez aquele cálculo que tirou o sono do nosso amigo Roberto. Mas estamos mais perto. Você lembra que ali o problema estava na altura que ele subia e no chocolate que comia. É preciso relacionar, então, trabalho com subida ou, falando mais bonito, deslocamento vertical. Esse, no entanto, é o assunto da próxima aula.

Nesta aula você aprendeu:

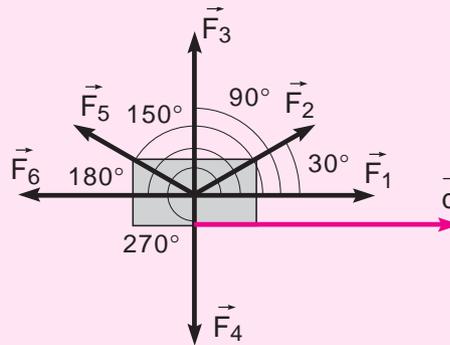
- o que é trabalho e como se acumula;
- o que é energia cinética;
- o que são potência e rendimento.





### Exercício 1

No esquema da figura abaixo, supondo todas as forças iguais com valor de 100 N e o deslocamento ( $d$ ) de 5 m, determine o trabalho de cada força.



### Exercício 2

Um automóvel com massa de 1.200 kg tem velocidade de 144 km/h quando desacelerado e, depois de percorrer um certo trecho, está com velocidade de 36 km/h. Determine:

- a sua energia cinética inicial ( $E_{\text{Cinicial}}$ );
- a sua energia cinética final ( $E_{\text{Cfinal}}$ );
- o trabalho realizado sobre o automóvel;
- se o automóvel percorreu 100 m nesse trecho, qual a intensidade da força resultante que atua sobre ele?

### Exercício 3

Uma bala com 50 g de massa atinge uma parede a uma velocidade de 400 m/s e nela penetra, horizontalmente, 10 cm. Determine o valor médio da força de resistência exercida pela parede, para frear a bala.

### Exercício 4

Suponha que um automóvel de massa 1.000 kg desenvolve uma potência de 60 cv, quando percorre uma trajetória retilínea com velocidade constante. Se a intensidade da resistência do ar que atua sobre o automóvel é de 1.471 N, qual a sua velocidade?

### Exercício 5

Suponha que o conjunto mecânico de um automóvel tem um rendimento de 25%. Se o carro parte do repouso e atinge uma velocidade de 108 km/h em 10 s, qual é a potência total que ele consome, em cavalos-vapor?

