

## 25-3 Energia em circuitos elétricos

Quando há um campo elétrico em um condutor, os elétrons livres ganham energia cinética devido ao trabalho realizado sobre eles pelo campo.

Entretanto, o estado estacionário é rapidamente atingido quando o ganho em energia cinética é completamente dissipado em energia térmica no condutor.

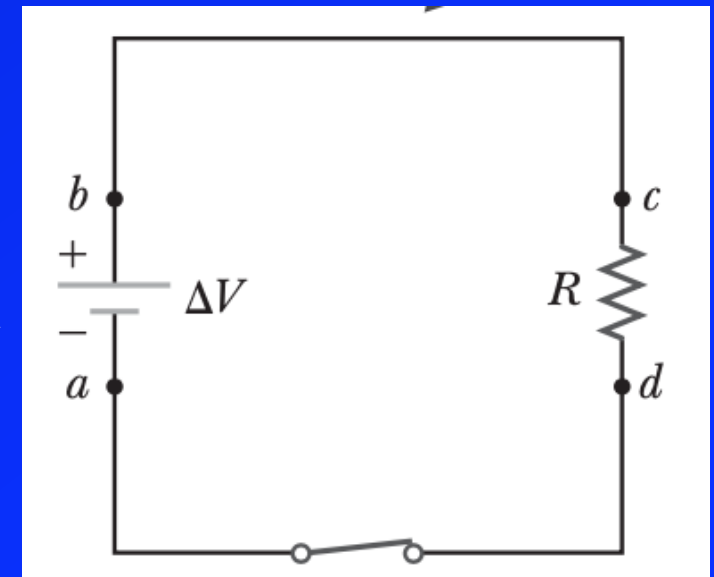
Este mecanismo para aumento da energia térmica de um condutor é chamado de **aquecimento Joule**.

Considere o circuito simples na figura, onde a energia de uma bateria é transferida a um resistor.

Imagine uma quantidade de carga positiva  $Q$  deslocando-se em torno do circuito de um ponto  $a$  através da bateria e do resistor  $R$  e voltando ao mesmo ponto  $a$ .

Conforme a carga  $Q$  passa do ponto  $a$  para o ponto  $b$  através da bateria com diferença de potencial  $\Delta V$ , a energia potencial elétrica do sistema aumenta uma quantidade  $Q\Delta V$ , enquanto a energia potencial química na bateria diminui a mesma quantidade.

No entanto, conforme a carga passa do ponto  $c$  para o  $d$  através do resistor, a energia potencial elétrica do sistema diminui por causa das colisões dos elétrons contra os átomos no resistor.



A taxa de perda de energia potencial elétrica do sistema conforme a carga  $Q$  passa pelo resistor é

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(Q \Delta V) = \frac{dQ}{dt} \Delta V = I \Delta V$$

onde  $I$  é a corrente no circuito.

O sistema recupera essa energia potencial quando a carga passa pela bateria, onde há diminuição de sua energia química.

Portanto, a potência  $P$ , que corresponde à taxa de transferência de energia da bateria para o resistor, é igual a

$$P = I \Delta V$$

Estando  $\Delta V$  em volts e  $I$  em ampères,  $P$  estará em watts (W).

Usando  $\Delta V = IR$ , ou  $I = \Delta V/R$ , também podemos escrever  $P$  como

$$P = I \Delta V = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

## Exemplo 25-5 Potência entregue a um resistor

Um resistor de  $12,0 \Omega$  tem uma corrente igual a  $3,00 \text{ A}$ .  
Determine a potência entregue a este resistor.

Como temos a corrente e a resistência, mas não a queda de potencial,

$P = I^2 R$  é a equação mais conveniente para usar.

De maneira alternativa, poderíamos determinar a queda de potencial usando  $\Delta V = IR$  e usar  $P = I \Delta V$ .

Dessa forma

$$P = I^2 R = (3,00 \text{ A})^2 (12,0 \Omega) = \boxed{108 \text{ W}}$$

## Fem e baterias

Para manter uma corrente estacionária em um condutor, precisamos de um fornecimento constante de energia elétrica.

Um dispositivo que fornece energia elétrica para um circuito é chamado de uma fonte de fem (força eletromotriz).

Exemplos de fontes de fem são

uma bateria, que converte energia química em energia elétrica, e um gerador, que converte energia mecânica em energia elétrica.

Uma fonte de fem realiza trabalho não-conservativo na carga que passa através dela, alterando sua energia potencial.

A unidade de fem é o volt, a mesma da diferença de potencial.

Uma bateria ideal é uma fonte de fem que mantém uma diferença de potencial constante entre seus dois terminais, independentemente da corrente através da bateria.

A diferença de potencial entre os terminais de uma bateria ideal é igual à magnitude da fem da bateria.

Retomemos o circuito simples, mencionado em slides anteriores.

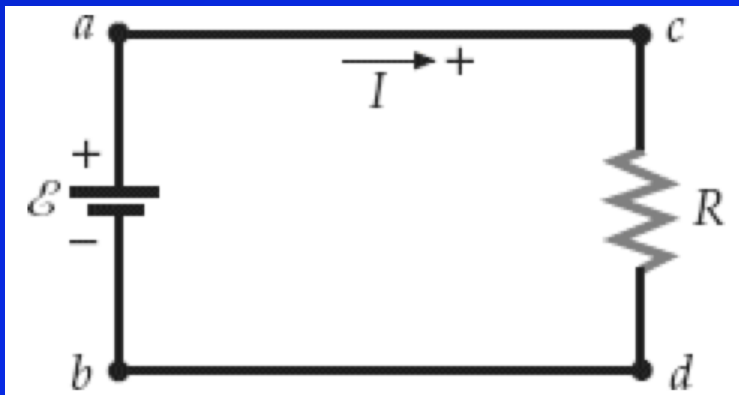
A fonte de fem (a bateria, neste caso) mantém, idealmente, uma diferença de potencial constante igual à fem  $\mathcal{E}$  entre os pontos  $a$  e  $b$ , estando o ponto  $a$  em um potencial maior.

A queda de potencial entre os pontos  $c$  e  $d$  é igual à magnitude da fem  $\mathcal{E}$  e a corrente  $I$  através do resistor é dada por  $I = \mathcal{E}/R$ .

Observe que no interior da fonte de fem, a carga flui da região onde sua energia potencial é baixa para uma região onde seu potencial é alto, ganhando energia potencial elétrica.

Quando uma carga  $\Delta Q$  flui através de uma fonte ideal de fem sua energia potencial aumenta pela quantidade  $\Delta Q\mathcal{E}$ .

A carga, então, flui através do resistor, onde sua energia potencial é dissipada como energia térmica.



A taxa na qual a energia é fornecida pela fonte de fem é a potência da fonte

$$P = \frac{(\Delta Q)\mathcal{E}}{\Delta t} = I\mathcal{E}$$

Em uma **bateria real**, a diferença de potencial nos terminais da bateria, não é simplesmente igual à fem da bateria.

Considere um circuito formado por uma bateria real e um resistor variável. Se variarmos a corrente que flui no circuito, através da variação da resistência  $R$ ,

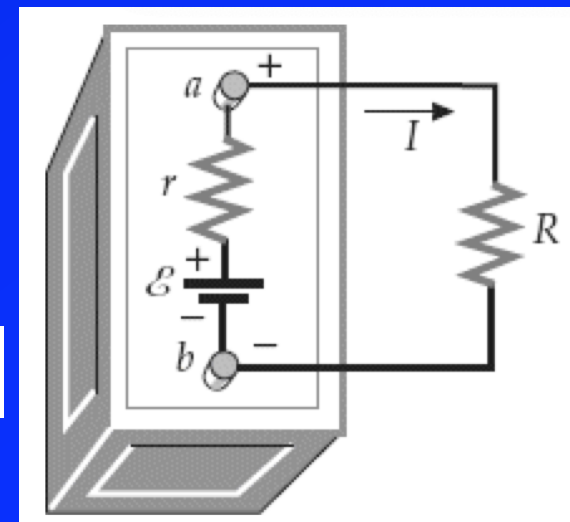
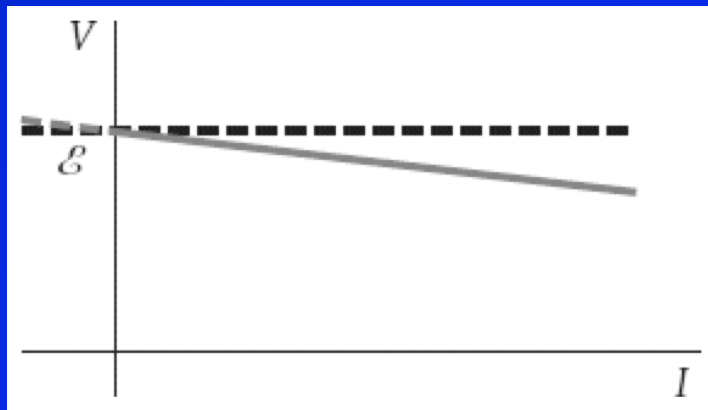
podemos observar que a diferença de potencial dos terminais da bateria  $\Delta V$  diminui com o aumento da corrente, como se houvesse um resistor no interior da bateria.

Portanto, podemos considerar que uma bateria real consiste em uma fonte ideal de fem e um resistor com resistência  $r$ , chamado de resistência interna da bateria.

Se a corrente no circuito é  $I$ , o potencial no ponto  $a$  está relacionado ao potencial no ponto  $b$  por

$$V_a = V_b + \varepsilon - Ir$$

A tensão nos terminais é, portanto,  $V_a - V_b = \varepsilon - Ir$



Baterias reais, tais como uma boa bateria de carro, deve ter uma resistência interna da ordem de centésimos de ohm e, portanto, a tensão dos terminais é praticamente igual à fem.

Um sinal de que a bateria não está boa é quando ela apresenta uma resistência interna muito elevada.

Se você suspeita que a bateria de seu carro não esteja boa, verifique a tensão nos terminais quando você tenta ligar o carro, pois nesse caso a corrente gerada pela bateria é alta.

Se a tensão nos terminais cair consideravelmente, indica uma alta resistência interna e que o estado da bateria é ruim.

As baterias são classificadas em ampère-hora (A·h), que é a carga máxima que ela pode fornecer:

$$1 \text{ A}\cdot\text{h} = (1 \text{ C/s})(3600 \text{ s}) = 3600 \text{ C}$$

A energia armazenada na bateria é o produto da fem  $\mathcal{E}$  pela carga total  $Q$  que ela pode fornecer:

$$E_{\text{armazenada}} = Q\mathcal{E}$$

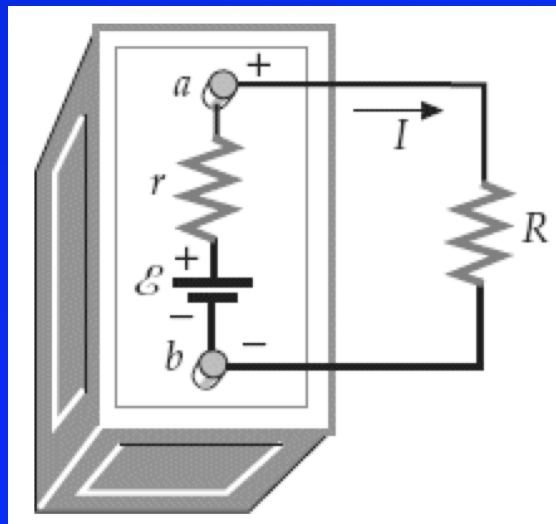
A energia armazenada é a quantidade de trabalho que a bateria pode realizar.



## Exemplo 25-6 Tensão dos terminais, potência e energia armazenada

Um resistor  $R = 11,0 \, \Omega$  é conectado a uma bateria de fem  $\mathcal{E} = 6,00 \, \text{V}$  e resistência interna  $r = 1,00 \, \Omega$ . Determine

- (a) a corrente  $I$ ,
- (b) a tensão dos terminais da bateria  $V_A - V_B$ ,
- (c) a potência fornecida pelas reações químicas na bateria,
- (d) a potência  $P$  entregue ao resistor externo  $R$  e
- (e) a potência entregue à resistência interna  $r$  da bateria.
- (f) Se a bateria é classificada como  $150 \, \text{A} \cdot \text{h}$ ,  
quanta energia ela armazena?



(a) Determine a corrente  $I$  para  $R = 11,0 \Omega$ ,  $\mathcal{E} = 6,00 \text{ V}$  e  $r = 1,00 \Omega$ .

Vimos que

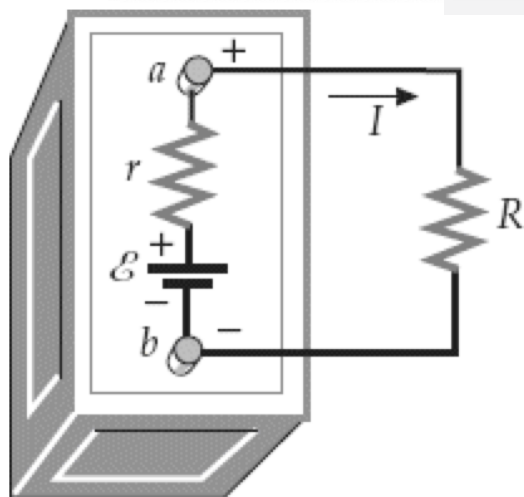
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{6,00 \text{ V}}{11,0 \Omega + 1,00 \Omega} = \boxed{0,500 \text{ A}}$$

(b) Determine a tensão dos terminais da bateria  $V_A - V_B$ .

$$V_a - V_b = \mathcal{E} - Ir = 6,00 \text{ V} - (0,500 \text{ A})(1,00 \Omega) = \boxed{5,50 \text{ V}}$$

(c) Determine a potência  $P$  fornecida pelas reações químicas na bateria.

$$P = \mathcal{E}I = (6,00 \text{ V})(0,500 \text{ A}) = \boxed{3,00 \text{ W}}$$



(d) Determine a potência entregue ao resistor externo  $R$

$$I^2R = (0,500 \text{ A})^2(11,0 \Omega) = \boxed{2,75 \text{ W}}$$

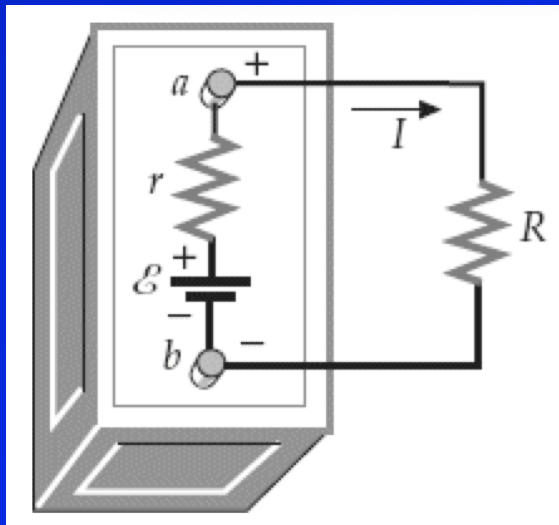
**(e) Determine a potência entregue à resistência interna  $r$  da bateria.**

$$I^2 r = (0,500 \text{ A})^2 (1,00 \text{ } \Omega) = \boxed{0,250 \text{ W}}$$

**8,3% da potência fornecida pela  
pelas reações químicas na bateria**

**(f) Se a bateria é classificada como 150 A·h,  
quanta energia ela armazena?**

$$W = Q\varepsilon = (150 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s}) \cdot 6,00 \text{ V} = 3,24 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,24 \text{ MJ}$$



**O valor da resistência interna da  
bateria neste exemplo é maior que o da  
maioria das baterias.**

**Este valor foi escolhido para  
simplificar os cálculos.**

**Em outros exemplos, podemos  
considerar que a resistência interna da  
bateria é desprezível.**

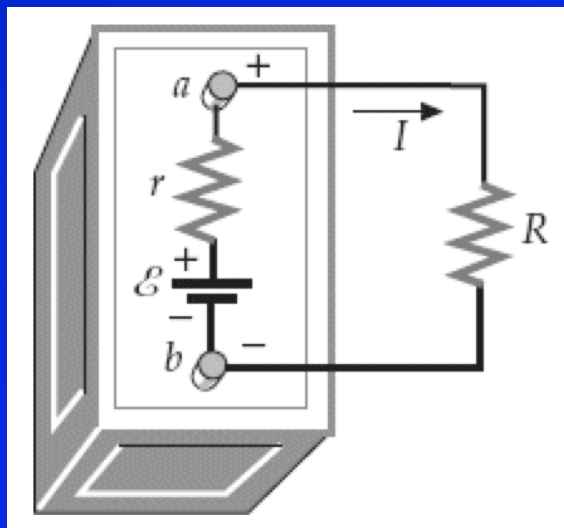
## Exemplo 25-7 Máxima potência fornecida

Para uma bateria com fem  $\mathcal{E}$  e resistência interna  $r$ , que valor de resistência externa  $R$  deve ser colocado nos terminais para obter a potência máxima fornecida ao resistor?

A potência entregue ao resistor é  $P = I^2 R$ , onde  $I = \mathcal{E} / (R + r)$ , assim

$$P = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}$$

Para determinar o valor de  $R$  para obter a máxima potência entregue ao próprio resistor  $R$ , igualamos  $dP/dR$  a zero.



$$\frac{dP}{dR} = \frac{(R + r)^2 \mathcal{E}^2 - 2\mathcal{E}^2 R(R + r)}{(R + r)^4} = \frac{\mathcal{E}^2 (r - R)}{(R + r)^3} = 0$$

Assim,  $R = r$

