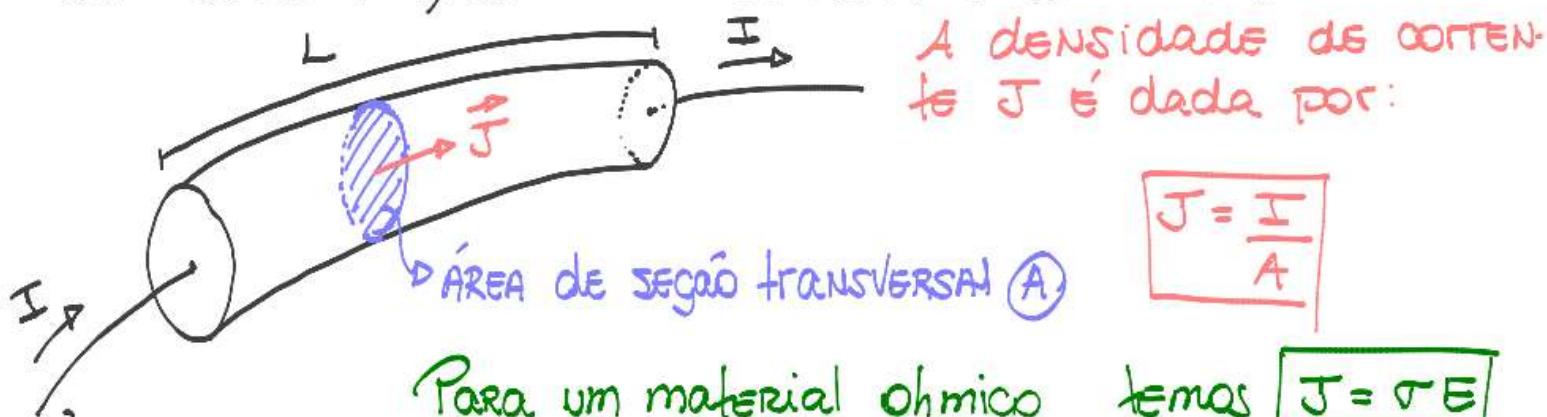


O material ohmico, portanto, responde linearmente à aplicação do campo elétrico \vec{E} . Se dobrarmos a intensidade do campo elétrico, dobrar-se-á a corrente pelo material. E a relação entre queda de potencial e corrente é dada pela lei de Ohm, onde R é chamado de resistência do material.

Lei de Ohm $V = R I \parallel$

4.4.1 → Resistividade (ρ) e Condutividade (σ) de um material condutor.

Tomemos como exemplo o fluxo de corrente elétrica em um condutor, como no condutor cilíndrico abaixo:



A densidade de corrente J é dada por:

$$J = \frac{I}{A}$$

Para um material ohmico temos $J = \sigma E$

→ fio condutor

A diferença de potencial entre as extremidades do condutor é

$$\phi_2 - \phi_1 = - \int_c^L \vec{E} \cdot d\vec{l} = V = E \cdot L \rightarrow V = E L$$

Assim ficamos com a seguinte expressão para lei de Ohm

$$V = RI \rightarrow E L = R J A = R \sigma E A \rightarrow E L = R \sigma E A \rightarrow R = \frac{L}{\sigma A}$$

A resistência é inversamente proporcional à condutividade σ . Essa expressão também é escrita como:

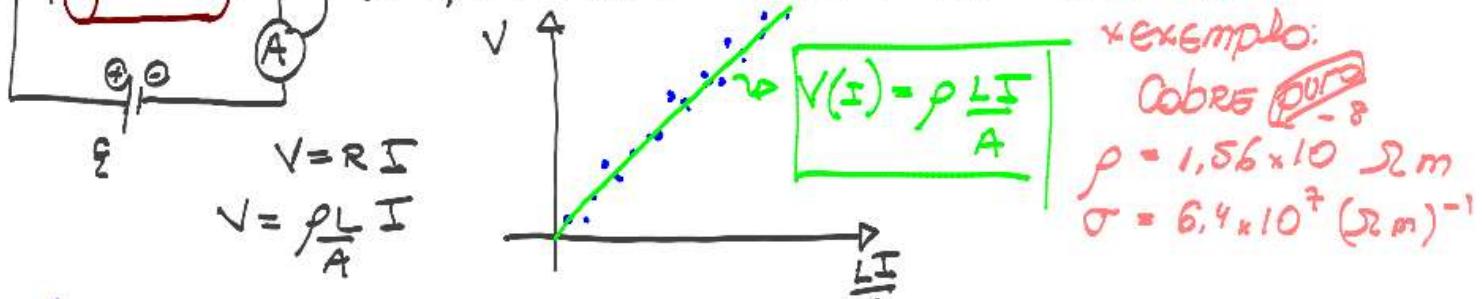
$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad \rho = \frac{1}{\sigma} \Rightarrow \text{resistividade}$$

Notem, portanto, que tanto a condutividade σ como resistividade ρ são propriedades do material condutor e não dependem fundamentalmente da estrutura, geometria, da composição atómica/molecular do material e da temperatura.

Se pudermos fazer um experimento em que medimos pg 79 a corrente e a tensão (V, I) para condutores (e podemos fazer isso) e também sua forma geométrica (L, A) podemos descobrir a resistividade/conduktividade do material (ρ, σ).

galvanômetro / medida de tensão

Amperímetro medida de corrente



⇒ Vamos utilizar o exemplo a seguir para descobrir qual a velocidade média do portador de carga no condutor (drift velocity). Condutância $G = \frac{1}{R}$, [G] = $\Omega^{-1} = S$ (SIEMENS),

Exemplo: Consideremos um fio de cobre de 1000 m, conectado nos polos de uma bateria de 6V, a resistividade do fio de cobre vale $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (diferente do cobre puro). A densidade dos portadores de carga no cobre é o mesmo que a densidade de átomos de cobre na estrutura, já que cada átomo contribui com 1 elétron, formando o mar (ou gás) de elétrons. Essa densidade vale $N = 8 \times 10^{28} m^{-3}$. Qual a velocidade dos elétrons de condução? E quanto tempo demora φ que ele percorra o fio todo?

Vimos que $\vec{J} = -Ne\vec{v}$ → em módulo $J = Ne\bar{v}$
onde \bar{v} = velocidade média dos portadores de carga.

Para o material ohmico temos $J = \sigma E$, $V = EL$, ficamos então:

$$J = \sigma E = \frac{\sigma V}{L} = \frac{1}{\rho L} V = Ne\bar{v} \rightarrow \bar{v} = \frac{V}{\rho L N e}$$

Velocidade de drift

$$\bar{v} = \frac{6V}{1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m (1000m) (8 \times 10^{28}) (1,602 \times 10^{-19} C)} = 2,75 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$$

$$\bar{v} = 2,75 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$$

ou ainda que $\bar{v} = 2,75 \times 10^{-5} \frac{cm}{s}$ → ou seja, uma velocidade efetiva muito baixa do portador.

ESSA É A VELOCIDADE MÉDIA DE UM ELÉTRON NUM FIO DE COBRE, NOTE QUE É BAIXA, OU SEJA, SE UM ELÉTRON ESTIVER EM UMA DAS EXTREMIDADES DO FIO ELE VAI DEMORAR UM TEMPO AT PRA CHEGÁ-LÔ.

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{1000 \text{ m}}{2,75 \times 10^{-5} \text{ m}} \approx 3,64 \times 10^7 \text{ SEGUNDOS}$$

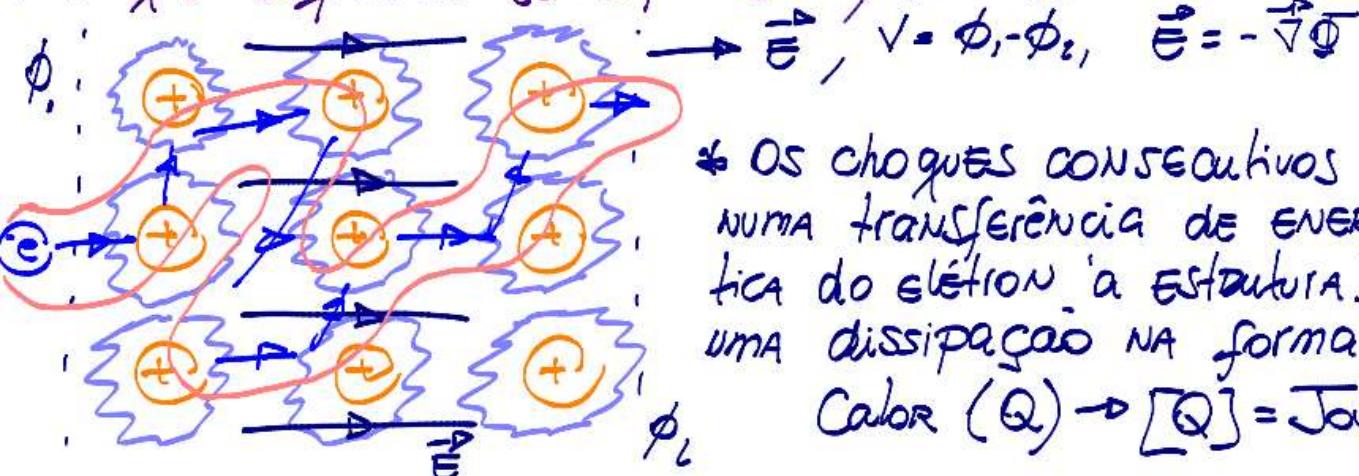
$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \quad x = \frac{3,6 \times 10^7}{3,6 \times 10^3} = 10^4 = 10.000 \text{ HORAS}$$

$$1 \text{ dia } 24 \text{ horas} \quad x = \frac{10.000}{24} \approx 416 \text{ dias}$$

VEJA ENTÃO QUE UM ELÉTRON LEVARIA MAIS DE UM ANO PARA CHEGAR O FIO. PORTANTO, O ELÉTRON QUE ENTRA EM UM LADO DO CONDUTOR NÃO É O MESMO QUE SAI DO OUTRO LADO. Note também que a velocidade média é INDEPENDENTE DA ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL (A). Portanto aumentar o diâmetro do fio não altera o tempo de "cruamento" da carga.

4.5 → DISSIPAÇÃO DE ENERGIA E FLUXO DE CORRENTE

Num condutor sob ação de uma diferença de potencial, ou seja de campo elétrico em seu interior, resultará no aparecimento de uma força na direção NO CAMPO. Porém, o movimento desse elétron na estrutura do condutor se dá por multiplas colisões inelásticas com a estrutura positiva fixa (núcleos massivos) e com outros ELÉTRONS. O resultado dessa "confusão organizada" é o aparecimento de ENERGIA NA FORMA DE CALOR (energia cinética média da estrutura metálica), ou de forma genérica há um "átrito" efetivo das cargas ao mover o condutor que "ESQUENTA" (dissipa calor) o material.



* OS CHOQUES CONSEGUÍVOS RESULTAM NUMA TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA CINÉTICA DO ELÉTRON A ESTRUTURA. GERANDO UMA DISSIPAÇÃO NA FORMA DE CALOR (Q) → [Q] = Joules → SI

Veja também que na presença de campo elétrico é pg 81
 uma carga livre \vec{q} seria acelerada com aceleração constante \vec{a} , segundo a Segunda Lei de Newton $\vec{F} = q\vec{E} = m_q \vec{a}$. Contudo, no condutor as múltiplas colisões fazem com que existe uma velocidade média efetiva constante. Assim, podemos dizer que uma certa quantidade de carga efetiva Δq cruza o condutor num intervalo de tempo Δt , sob ação de um potencial V , dissipando uma energia $Q = \Delta q V$ na forma de calor:

$$Q = \Delta q V = I \Delta t V = I \Delta t R I = R I^2 \Delta t \rightarrow Q = R I^2 \Delta t$$

ESSA É A chamada lei de Joule, que É A CONVERSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA Q EM CALOR Q . Note que a taxa de conversão ou geração de energia térmica por unidade de tempo é:

$$R I^2 = P = \text{Potência} \rightarrow P = R I^2, [P] = \frac{[Q]}{[\Delta t]} = \frac{J}{s} = W (\text{Watt}) \text{ NO SI.}$$

A ENERGIA dissipada num condutor é diretamente proporcional à R , onde R é a RESISTÊNCIA. Assim numa resistência R a ENERGIA dissipada é dada por:

$$Q(t) = \int_0^t P dt = \int_0^t R I^2 dt$$

Onde R é em geral constante sendo uma característica do resistor (material). Mas I pode ou não ser constante, tudo vai depender da fonte que supre o circuito. No próximo tópico vamos estudar uma fonte de CORRENTE CONTÍNUA ou seja, que mantém o fluxo de I constante. Também comumente chamada de fonte d.c. (direct current).

4.6 → Força eletromotriz (f.e.m) e Célula Voltaica.

Um bom exemplo de uma fonte d.c. é uma bateria comum como as de carro compostas de eletrodos de chumbo e um meio eletrólítico aquoso de ácido sulfúrico. É EU SEI parece perigoso, e é mas FUNCIONA E mais, é bastante eficiente e apropriadamente REVERSÍVEL.



A bateria eletrolítica mantém a "polaridade" ou diferença de potencial $\Delta\phi = V$ entre seus terminais por meio de um reação química de oxirredução.

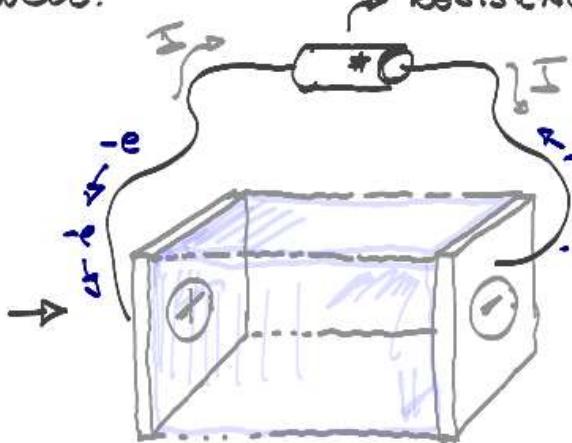
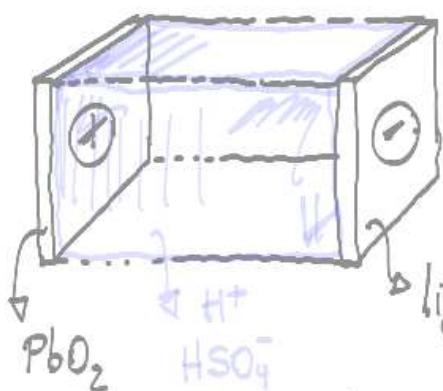
No caso da bateria de carro temos:

H_2O (água), Pb (chumbo), PbO_2 (dióxido de chumbo), $PbSO_4$ (sulfato de chumbo), H_2SO_4 (ácido sulfúrico $\rightarrow H^+$, HSO_4^-).

⇒ A bateria é composta por um eletrodo (potencial positivo) de PbO_2 (poroso), e um eletrodo negativo de uma liga de chumbo Pb também porosa (aumentar a superfície de contato). A solução está em equilíbrio dinâmico quando uma d.d.p de 2.1 V é estabelecida entre os eletrodos. Essa é a chamada célula Voltaica.

→ resistência

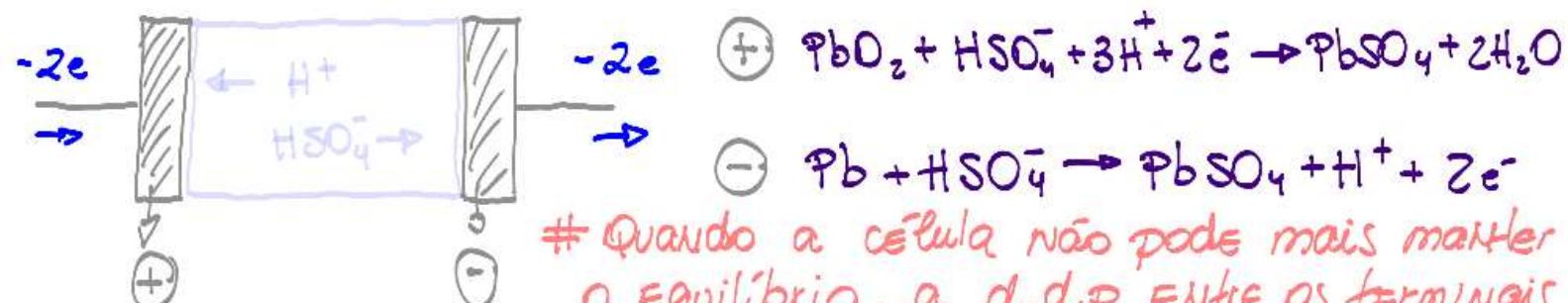
Bateria Carregada



DESCARREGAMENTO da bateria.

⇒ A carga e^- flui pelo circuito da região de menor para maior potencial.

nesse momento a reação química sai do equilíbrio de forma que o potencial seja reestabelecido. A seguir segue a reação de oxirredução.



Quando a célula não pode mais manter o equilíbrio, a d.d.p entre os terminais cai $V < 2.1V$, diz-se que a célula foi depletada. Contudo essa reação é reversível e basta que outra fonte (carregada) seja ligada em paralelo com a mesma p/ que a bateria seja recarregada.

Nas baterias eletrolíticas de 12V, são utilizadas 6

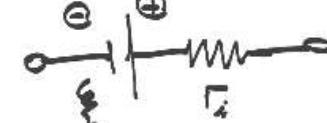
- # Representação gráfica do elemento resistivo
- ↳ Elemento de um circuito
- # Representação gráfica de uma fonte d.c.
- ↳ Fonte do circuito.

Na discussão da célula Voltaica temos que no Estado Estacionário (sem cargas) a bateria mantém entre seus polos sempre a mesma diferença de potencial V . Que neste momento (estacionário) é chamada de força eletromotriz ξ . Note quando um resistor é ligado no circuito uma corrente I de carga se estabelece, os elétrons nos condutores fluem do menor para o maior potencial. Mas na bateria os prótons devem fluir na direção oposta ao campo elétrico estabelecido em seu interior e deve para isso VENCER o potencial ξ (f.e.m). A energia gasta neste processo vem da conversão de $PbO_2 + HSO_4^-$ em $PbHSO_4 + H_2O$, isso ocorre de maneira constante até que a concentração do eletrólito se reduza. Porém, ao se conectar o elemento resistivo ao circuito, a d.d.p em seus terminais não será ξ isso ocorre devido à dissipação (efeito Joule) interna da bateria. Podemos representar esse efeito adotando uma resistência interna da fonte d.c. como a seguir:

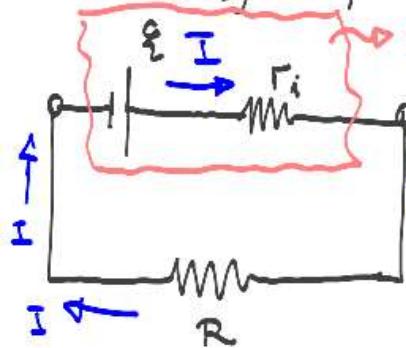
fonte ideal sem dissipação interna



fonte real com dissipação interna



Quando uma resistência (carga resistiva, motor, lâmpada, máquinas) é conectada ao sistema, um circuito é formado e uma corrente flui pelo circuito.

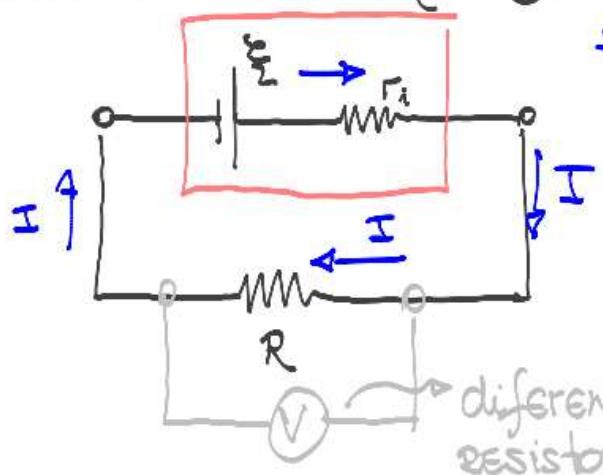


Bateria REAL, a corrente flui por todo o circuito, por conservação de energia, a energia fornecida pela bateria é dissipada nas resistências por Efeito Joule. Considerando V_R a d.d.p nos polos da resistência externa ou de CARGA é:

A energia fornecida pela bateria/fonte d.c. num certo intervalo de tempo Δt é o mesmo dissipado pelas resistências. Ou de forma equivalente a potência fornecida é a mesma dissipada.

Note que: $P = RI^2$, $V = RI \rightarrow P = \frac{V^2}{R} I^2 = VI$, $\boxed{P = VI}$

Portanto, a potência num certo elemento do circuito também pode ser calculada pelo produto entre corrente I e a d.d.p. sob o elemento. Assim no nosso conjunto bateria mais RESISTÊNCIA (carga resistiva) temos:



* Note que o sentido da corrente I marca o descarregamento da fonte d.c. Ou de consumo de energia da bateria, dissipando nos elementos resistentes.

diferença de potencial entre os polos do resistor

Pela CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, o fluxo de corrente pelo circuito nos mostra que:

$$P_f = P_c \quad , \quad P_f \text{ é Potência fornecida pela fonte} \\ I\Sigma = P_{r_i} + P_R = (R + r_i)I \quad P_c \text{ é } " \text{ consumida pelas cargas} \\ \Sigma = (R + r_i)I$$

Então a corrente estacionária que se estabelece pelo circuito é:

$$\boxed{I = \frac{\Sigma}{(R + r_i)}}$$

E a queda de tensão no elemento resistivo, pela Lei de Ohm é:

$$V_R = RI \quad , \quad \text{então}$$

$$\boxed{V_R = \frac{R\Sigma}{(R + r_i)}}$$

Este é a tensão/potencial efetivo da bateria

* ou ainda

$$\Sigma I = RI^2 + r_i I^2$$

$$\Sigma I = V_R I + r_i I^2$$

$$\boxed{V_R = \Sigma - r_i I}$$

//