
5 Efeitos da corrente elétrica

Na passagem de uma corrente por um condutor observam-se alguns efeitos, que veremos a seguir.

a) Efeito térmico ou efeito Joule

Qualquer condutor sofre um aquecimento ao ser atravessado por uma corrente elétrica.

Esse efeito é a base de funcionamento dos aquecedores elétricos, chuveiros elétricos, secadores de cabelo, lâmpadas térmicas etc.

b) Efeito luminoso

Em determinadas condições, a passagem da corrente elétrica através de um gás rarefeito faz com que ele emita luz.

As lâmpadas fluorescentes e os anúncios luminosos são aplicações desse efeito. Neles há a transformação direta de energia elétrica em energia luminosa.

c) Efeito magnético

Um condutor percorrido por uma corrente elétrica cria, na região próxima a ele, um campo magnético.

Este é um dos efeitos mais importantes, constituindo a base do funcionamento dos motores, transformadores, relés etc.

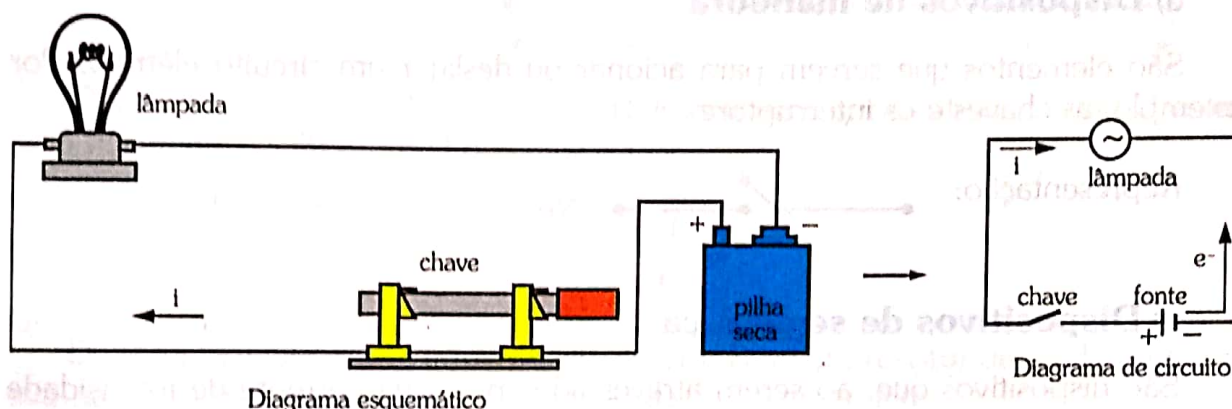
d) Efeito químico

Uma solução eletrolítica sofre decomposição, quando é atravessada por uma corrente elétrica. É a eletrólise. Esse efeito é utilizado, por exemplo, no revestimento de metais: cromagem, niquelação etc.

Além desses efeitos podemos citar o *efeito fisiológico*, que consiste na ação da corrente elétrica sobre o corpo humano, causando sensações dolorosas e contrações musculares.

6 Elementos de um circuito elétrico

Para se estabelecer uma corrente elétrica são necessários, basicamente: um gerador de energia elétrica, um condutor em circuito fechado e um elemento para utilizar a energia produzida pelo gerador. A esse conjunto denominamos *circuito elétrico*.



A seguir, são descritos alguns elementos que compõem um circuito elétrico.

a) Gerador elétrico

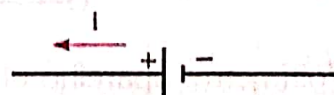
É um dispositivo capaz de transformar em energia elétrica outra modalidade de energia.

O gerador não gera ou cria cargas elétricas. Sua função é fornecer energia às cargas elétricas que o atravessam.

Industrialmente, os geradores mais comuns são os químicos e os mecânicos.

- Químicos: aqueles que transformam energia química em energia elétrica. Exemplos: pilha e bateria.
- Mecânicos: aqueles que transformam energia mecânica em elétrica. Exemplo: dínamo de motor de automóvel.

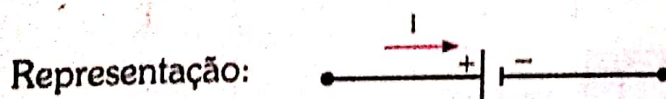
A representação desses geradores no circuito é:



b) Receptor elétrico

É um dispositivo que transforma energia elétrica em outra modalidade de energia, não exclusivamente térmica.

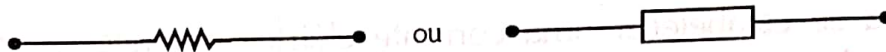
O principal receptor é o motor elétrico, que transforma energia elétrica em mecânica, além da parcela de energia dissipada sob a forma de calor.



c) Resistor elétrico

É um dispositivo que transforma toda a energia elétrica consumida *integralmente* em calor. Como exemplo, podemos citar os aquecedores, o ferro elétrico, o chuveiro elétrico, a lâmpada comum e os fios condutores em geral.

Representação:



d) Dispositivos de manobra

São elementos que servem para acionar ou desligar um circuito elétrico. Por exemplo, as chaves e os interruptores.

Representação:



e) Dispositivos de segurança

São dispositivos que, ao serem atravessados por uma corrente de intensidade maior que a prevista, interrompem a passagem da corrente elétrica, preservando da destruição os demais elementos do circuito. Os mais comuns são os fusíveis e os disjuntores.

Representação:



f) Dispositivos de controle

São utilizados nos circuitos elétricos para medir a intensidade da corrente elétrica e a ddp existentes entre dois pontos, ou, simplesmente, para detectá-las.

Os mais comuns são o amperímetro, o voltímetro e o galvanômetro.

- Amperímetro: aparelho que serve para medir a intensidade da corrente elétrica.

Representação:



- Voltímetro: aparelho utilizado para medir a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito elétrico.

Representação:



- Galvanômetro: aparelho utilizado para indicar a passagem da corrente ou a existência de uma ddp.

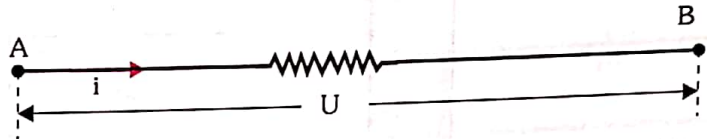
Representação:



Estudo dos resistores

Os resistores são caracterizados por uma grandeza física que mede a oposição, oferecida pelas partículas que os constituem, à passagem da corrente elétrica.

Seja o resistor representado no trecho do circuito AB, onde se aplica uma diferença de potencial U entre seus extremos e se estabelece uma corrente de intensidade i .



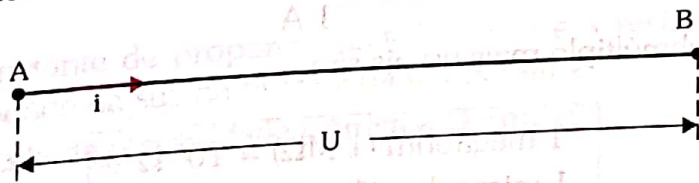
Define-se como *resistência elétrica* R do resistor o quociente da tensão U entre seus terminais pela corrente i que o atravessa.

$$R = \frac{U}{i}$$

De uma maneira geral, a resistência elétrica R de um resistor depende tanto da sua natureza e das suas dimensões como da sua temperatura.

Portanto, em geral, a resistência de um resistor é uma grandeza variável.

Os fios metálicos que fazem parte de um circuito elétrico também funcionam como resistores, ou seja, eles também oferecem uma certa resistência à passagem da corrente. Ocorre, porém, que normalmente sua resistência é muito pequena, quando comparada com a resistência dos demais resistores envolvidos no circuito, podendo ser considerada desprezível. Nesses casos, sua representação é uma linha contínua.



2 Leis de Ohm

a) 1ª lei de Ohm

Estudando a corrente elétrica que percorre um resistor, Georg Simon Ohm determinou, experimentalmente, que a resistência R é constante para determinados tipos de condutores.

Na experiência, Ohm, tendo aplicado sucessivamente as tensões $U_1, U_2, U_3 \dots U_n$ entre os terminais de um mesmo resistor e obtido, respectivamente, as correntes $i_1, i_2, i_3 \dots i_n$, verificou que esses valores guardavam entre si uma relação constante, da seguinte maneira:

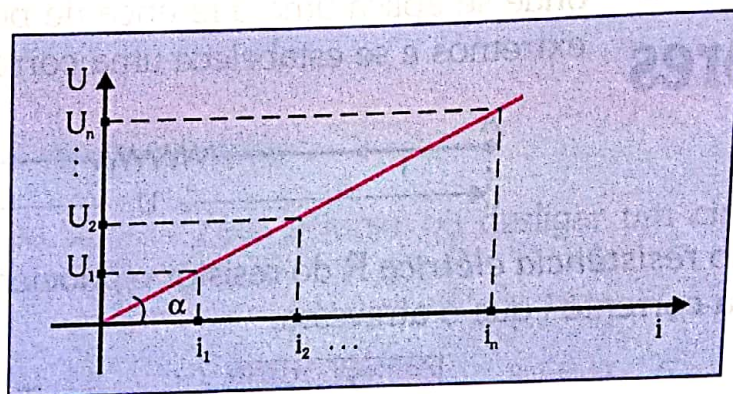
$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_3}{i_3} = \dots = \frac{U_n}{i_n} = \frac{U}{i} = R = \text{constante}$$

ou seja:

$$U = Ri$$

A intensidade da corrente elétrica que percorre um resistor é diretamente proporcional à tensão entre os seus terminais.

Essa lei de Ohm é válida apenas para alguns resistores, que foram denominados resistores ôhmicos. Sua representação gráfica é:



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \dots = \frac{U_n}{i_n} = R = \text{constante}$$

Para os resistores ôhmicos, a resistência permanece constante com a variação de temperatura.

A unidade de resistência elétrica no SI é o ohm (Ω).

$$R = \frac{U}{i} \Rightarrow 1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampère}}$$

$$1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

O múltiplo e submúltiplo mais usuais são:

$$1 \text{ megohm } (1 \text{ M}\Omega) = 10^6 \Omega$$

$$1 \text{ microohm } (1 \mu\Omega) = 10^{-6} \Omega$$

Os resistores para os quais a resistência não se mantém constante são denominados resistores não-ôhmicos.

Problema de Aplicação

Um resistor sob tensão de 80 V é percorrido por uma corrente de 5 A. Calcular a resistência elétrica desse resistor.

Resolução:

$$\text{Dados } \begin{cases} U = 80 \text{ V} \\ i = 5 \text{ A} \end{cases}$$

$$U = Ri \Rightarrow 80 = R \cdot 5 \Rightarrow R = 16 \Omega$$

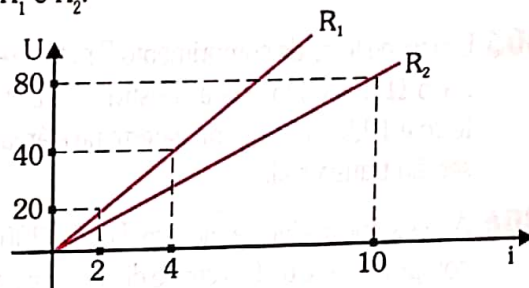
Resposta: 16 Ω

PROBLEMAS PROPOSTOS

801 Sabendo que a intensidade da corrente que passa por um resistor de resistência $4\ \Omega$ é de 8 A , calcule a tensão entre os terminais desse resistor.

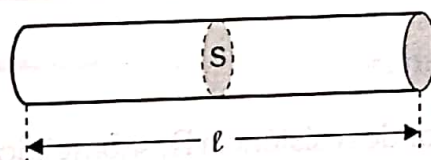
802 Uma serpentina de aquecimento, ligada a uma linha de 110 V , consome 5 A . Determine a resistência dessa serpentina.

803 A corrente elétrica i , em função da diferença de potencial U aplicada aos extremos de dois resistores, R_1 e R_2 , está representada na figura. Calcule R_1 e R_2 .



b) 2ª lei de Ohm

Consideremos um fio condutor de comprimento ℓ e secção transversal de área S .



Através de experiências, Ohm verificou que a resistência elétrica R é diretamente proporcional ao comprimento do fio condutor e inversamente proporcional à área de sua secção transversal.

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Em que a constante de proporcionalidade ρ (rô) é a *resistividade elétrica* do material, que depende da sua natureza e da temperatura.

No SI, a unidade de resistividade elétrica é $\Omega \cdot \text{m}$.

Problema de Aplicação

A resistividade elétrica do cobre é de $1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega\text{m}$. Calcular a resistência de um fio de cobre de $0,5\text{ m}$ de comprimento e $0,85\text{ cm}^2$ de área de secção transversal.

Resolução:

$$\text{Dados} \begin{cases} \rho = 1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega\text{m} \\ \ell = 0,5\text{ m} \\ S = 0,85\text{ cm}^2 = 0,85 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2 \end{cases}$$

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \Rightarrow R = 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,5}{0,85 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow R = 10^{-4}\ \Omega$$

Resposta: $10^{-4}\ \Omega$

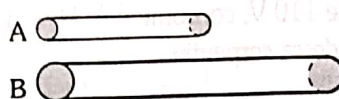
PROBLEMAS PROPOSTOS

804 A resistividade do cobre é $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Ache a resistência de um fio de cobre de 4 m de comprimento e $0,04 \text{ cm}^2$ de área de secção transversal.

805 Um fio de ferro de comprimento 2 m tem resistência 5Ω . Sabendo que a resistividade elétrica do ferro é $10,0 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, determine a área de sua secção transversal.

806 A resistência elétrica de um fio de 300 m de comprimento e de 0,3 cm de diâmetro é de 12Ω . Determine a resistência elétrica de um fio de mesmo material com diâmetro de 0,6 cm e comprimento 150 m.

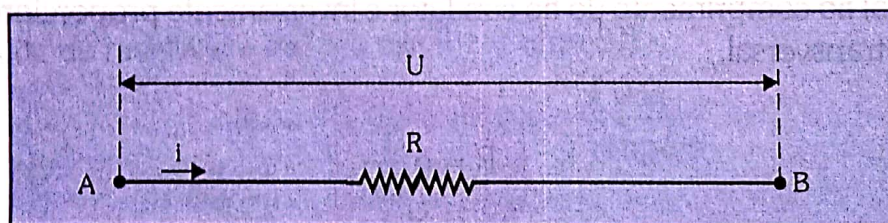
807 Dois fios, A e B, de mesmo material, têm, respectivamente, comprimentos x e $2x$ e área de secção transversal a e $4a$. Sendo R_A e R_B suas resistências elétricas, calcule a relação $\frac{R_A}{R_B}$.



808 O filamento de tungstênio de uma lâmpada tem resistência de 40Ω a 20°C . Sabendo que sua secção transversal mede $0,12 \text{ mm}^2$ e que a resistividade vale $5,51 \mu\Omega \cdot \text{m}$, determine o comprimento do filamento.

3 Potência dissipada

Consideremos um resistor de resistência R , submetido à tensão U e percorrido por uma corrente i .



Sabemos, da Eletrostática, que o trabalho $\mathcal{E}$ para deslocar uma quantidade de carga ΔQ do ponto A para o ponto B é dado por:

$$\mathcal{E} = \Delta Q \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow \mathcal{E} = \Delta Q \cdot U$$

Dividindo-se ambos os membros pelo intervalo de tempo Δt decorrido para a carga ΔQ transferir-se de A para B, vem:

$$\frac{\mathcal{E}}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot U \Rightarrow P = Ui$$

A potência dissipada P num trecho AB de um condutor qualquer é dada pelo produto da ddp U , entre os pontos A e B, pela intensidade da corrente elétrica i entre esses pontos.

Para os resistores ôhmicos, pode-se substituir a tensão U pelo seu valor Ri , dado pela 1ª lei de Ohm.

Então:

$$P = Ri^2$$

ou

$$P = \frac{U^2}{R}$$

O termo dissipar é usado no sentido de consumir; logo, a quantidade de energia elétrica consumida no resistor, durante certo intervalo de tempo Δt , vale:

$$\mathcal{E} = P \Delta t$$

Uma unidade de energia muito utilizada é o quilowatt-hora (kWh). Um kWh é a quantidade de energia com potência de 1 kW, que é transformada no intervalo de 1 h.

Relação entre o kWh e o J

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Problemas de Aplicação

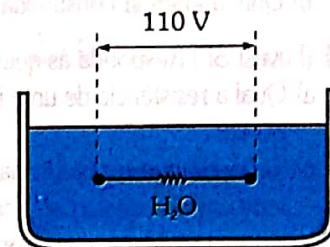
- 1 Uma resistência de imersão de $4 \, \Omega$ foi ligada a uma fonte de tensão de 110 V. Determinar o tempo necessário para que ela aqueça 80 kg de água de 20°C para 70°C .

Dados: calor específico da água = $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

Resolução:

Esquema:

$$\text{Dados} \begin{cases} R = 4 \, \Omega \\ U = 110 \text{ V} \\ m = 80 \text{ kg} = 80\,000 \text{ g} \\ c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \\ t_f = 70^\circ\text{C} \\ t_i = 20^\circ\text{C} \end{cases}$$



- Cálculo da quantidade de calor:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \Rightarrow Q = 80\,000 \cdot 1 \cdot (70 - 20)$$

$$Q = 4 \cdot 10^6 \text{ cal}$$

Passando para joule:

$$Q = 4 \cdot 10^6 \cdot 4,2 = 16,8 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Considerando que toda energia elétrica consumida pelo resistor é transformada em calor, temos:

$$\mathcal{E} = Q \Rightarrow P \cdot \Delta t = Q \Rightarrow \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t = Q$$

$$\frac{110^2}{4} \cdot \Delta t = 16,8 \cdot 10^6$$

$$\Delta t = 5,55 \cdot 10^3 \text{ s}$$

Resposta: $5,55 \cdot 10^3 \text{ s}$

- 2** Um ferro elétrico consome uma potência de 2 200 W quando ligado a uma tensão de 110 V. Calcular:
- a intensidade da corrente elétrica;
 - a resistência elétrica do ferro elétrico;
 - a energia consumida em 2 h, em calorias. (Adotar 1 cal = 4,2 J.)

Resolução:

$$\text{Dados} \begin{cases} P = 2\,200 \text{ W} \\ U = 110 \text{ V} \\ \Delta t = 2 \text{ h} = 7\,200 \text{ s} \end{cases}$$

- $P = Ui \Rightarrow 2\,200 = 110i \Rightarrow i = 20 \text{ A}$
- $U = Ri \Rightarrow 110 = R \cdot 20 \Rightarrow R = 5,5 \, \Omega$
- $\mathcal{E} = P \cdot \Delta t \Rightarrow \mathcal{E} = 2\,200 \cdot 7\,200 \Rightarrow \mathcal{E} = 1\,584 \cdot 10^4 \text{ J}$

Estabelecendo uma regra de três, temos:

cal joule

1 4,2

x $1\,584 \cdot 10^4 \Rightarrow x = 3,77 \cdot 10^6 \text{ cal}$

Resposta: a) 20 A b) 5,5 Ω c) $3,77 \cdot 10^6 \text{ cal}$

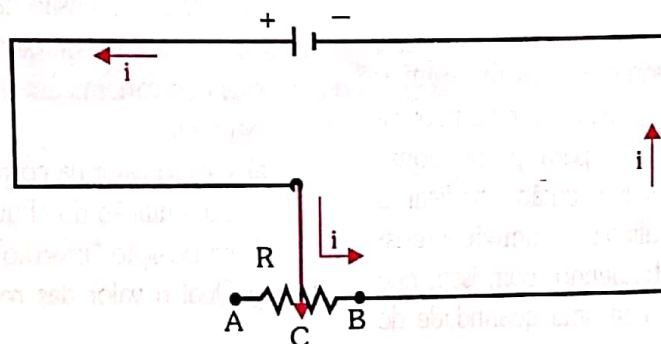
PROBLEMAS PROPOSTOS

- 809** Um resistor de 20 Ω está ligado a uma fonte de tensão 600 V.
- Qual a potência consumida?
 - Qual a energia consumida em 1 h?
- 810** (Fuvest-SP) Responda às questões abaixo.
- Qual a resistência de uma lâmpada de 220 V e 60 W?
 - Supondo que a resistência varia pouco com a temperatura, qual a potência dissipada quando a lâmpada é ligada a uma tomada de 110 V?
- 811** (Unicamp-SP) Um aluno necessita de um resistor que, ligado a uma tomada de 220 V, gere 2 200 W de potência térmica. Ele constrói o resistor usando fio de constantan nº 30 com área de seção transversal de $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$ e resistividade elétrica $5 \cdot 10^{-7} \, \Omega \cdot \text{m}$.
- Que corrente elétrica passará pelo resistor?
 - Qual será a sua resistência elétrica?
 - Quantos metros de fio deverão ser utilizados?
- 812** (Fuvest-SP) Um chuveiro elétrico de 220 V dissipa uma potência de 2,2 kW.
- Qual o custo de um banho com 10 minutos de duração se a tarifa é de R\$ 0,50 por kWh?
- b) Desejando-se duplicar a variação de temperatura da água mantendo-se constante a sua vazão, qual deve ser a nova resistência do chuveiro?
- 813** (Vunesp-SP) Deseja-se projetar um aquecedor elétrico que seja capaz de elevar a temperatura de 100 kg de água de 20°C a 56°C em duas horas.
- Que potência deve ter esse aquecedor?
 - Se o aquecedor for projetado para ser ligado em 220 volts, que valor de resistência deverá ser escolhido? (Considere o calor específico da água 4,2 joules/g $\cdot$ °C e suponha que todo calor desenvolvido no aquecedor seja usado para elevar a temperatura da água.)
- 814** (Fatec-SP) Deseja-se projetar um ebulidor que seja capaz de elevar a temperatura de 1 litro de água de 20°C a 100°C em 2 minutos. Supondo que todo o calor desenvolvido no ebulidor seja usado para aquecer a água, considerando o calor específico da água $4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ e a densidade da água 1 kg/litro, determine:
- a potência do ebulidor;
 - a sua resistência, se for projetado para ser ligado em 120 V.

4 Reostatos

São resistores de resistência elétrica variável, constituídos basicamente do resistor propriamente dito e de um dispositivo que permite variar a intensidade da sua resistência elétrica.

Os interruptores elétricos utilizados nos painéis de carros e nas residências controlam através de um *reostato de cursor* a intensidade da corrente e, portanto, da luz, girando-se ou deslocando-se um botão.

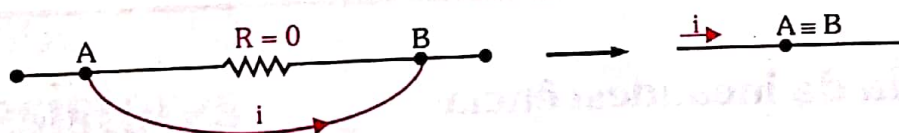


Esquema de um reostato de cursor

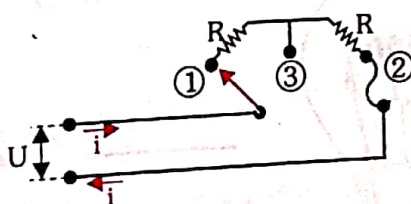
À medida que o cursor C desliza sobre o resistor AB no sentido de A para B, a resistência R vai assumindo valores menores e, conseqüentemente, a intensidade da corrente cresce, pois $U = R \cdot i$.

Quando o cursor atinge o ponto B, a resistência torna-se nula ($R = 0$).

Essa condição de resistência nula caracteriza um fenômeno importante, o *curto-circuito*.



Nos chuveiros elétricos a variação da resistência, através de um *reostato de pontos*, possibilita um maior ou menor aquecimento da água.



Como num chuveiro a ddp é mantida constante, quanto *menor* a resistência *maior* a potência.

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Então

- ① = morno
- ② = frio
- ③ = quente

A representação de um reostato no circuito elétrico é feita através do símbolo:



PROBLEMAS PROPOSTOS

815 Você verifica que o chuveiro elétrico de sua residência não está aquecendo suficientemente a água. Sabendo que a tensão U aplicada ao chuveiro é constante, o que você faria com a resistência do chuveiro para que houvesse maior aquecimento da água? Explique a função da chave seletora “inverno/verão” encontrada nos chuveiros elétricos.

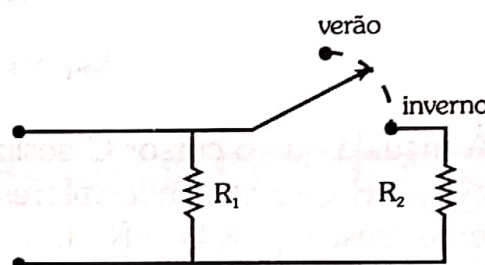
816 (PUC-SP) Durante o inverno, o chuveiro elétrico da residência de um eletricista-aprendiz não esquentava a água o suficiente para proporcionar “aquele” banho. Ele resolve, então, duplicar o comprimento do fio metálico que compõe a resistência do chuveiro, pretendendo, com isso, que ela aqueça mais ainda a mesma quantidade de água.

- O eletricista-aprendiz consegue seu intento? Explique. Se você discorda da idéia dele, dê outra sugestão.
- Se a ddp nos terminais da resistência de $100\ \Omega$ do chuveiro for de 220 V , qual será a corrente que a percorrerá? Nesse caso, se o

kWh custar R\$ 0,50, que importância será gasta por semana, caso o chuveiro seja usado durante 1 hora por dia?

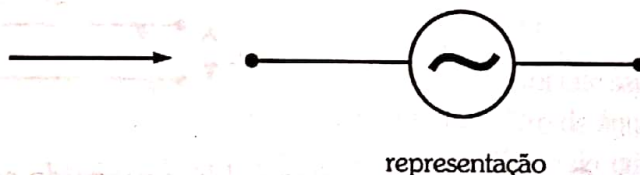
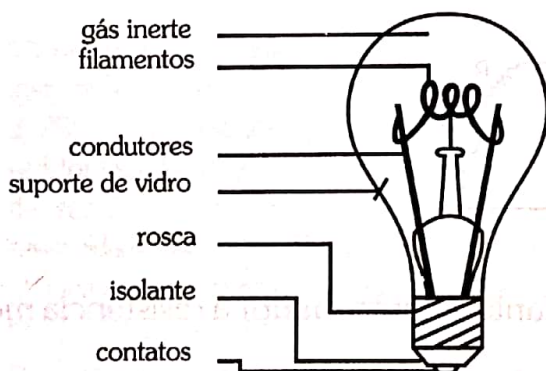
817 (PUC-RJ) O sistema de aquecimento de um chuveiro elétrico está representado na figura. Com a chave na posição “inverno” o chuveiro dissipa $2\ 200\text{ W}$, enquanto na posição “verão” dissipa $1\ 100\text{ W}$. A tensão na rede de alimentação é de 110 V . Admitindo que os valores dessas resistências não variam com a temperatura, responda às perguntas:

- Qual o valor da corrente que passa pelo fio de alimentação do chuveiro quando este é ligado na posição “inverno”?
- Qual o valor das resistências R_1 e R_2 ?



5 Lâmpada de incandescência

Consta de um fio de tungstênio em forma de espiral, chamado *filamento*, colocado dentro de um bulbo de vidro para evitar a oxidação.



Dentro do bulbo coloca-se um gás inerte: criptônio ou argônio, que retarda a sublimação do filamento.

Quando atravessado por uma corrente, o filamento se aquece e, tornando-se incandescente, passa a emitir luz.

Na lâmpada vem gravada uma potência nominal e uma tensão nominal. Por exemplo: $60\text{ W} - 110\text{ V}$.

A luminosidade ou brilho da lâmpada está relacionada com a tensão à qual for ligada.

tensão nominal	⇒	brilho normal
tensão menor que a nominal	⇒	brilho menor que o normal
tensão maior que a nominal	⇒	brilho maior que o normal: a lâmpada pode queimar

PROBLEMA PROPOSTO

818 A dona de uma casa onde as lâmpadas, ligadas a uma tensão de 110 V, queimam com muita frequência pensa em adquirir

lâmpadas de 130 V em vez de 110 V como é habitual, supondo que essas terão maior durabilidade. Este procedimento é válido?