

## 1: A corrente elétrica

Nos fenômenos estudados até agora supusemos a carga elétrica em equilíbrio nos condutores. Mas são muito importantes os fenômenos em que a carga elétrica se desloca no interior do condutor. Chama-se corrente elétrica à carga elétrica em movimento.

Para que a carga elétrica se desloque entre dois pontos de um condutor é necessário que exista entre esses dois pontos uma diferença de potencial. Existem muitos dispositivos que produzem essa diferença de potencial. Esses dispositivos são chamados geradores.

Como exemplo de geradores veremos os seguintes.

1º) Suponhamos que dois pedaços de metal de naturezas diferentes, a e b, sejam mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico em água (fig.112). Unindo-se os dois pedaços de metal por um condutor c, circulará carga elétrica através desse condutor e da solução. O conjunto dos dois pedaços de metal com a solução é um gerador, porque produz diferença de potencial entre os extremos do condutor c. Esse gerador é chamado pilha hidroelétrica, ou simplesmente pilha.

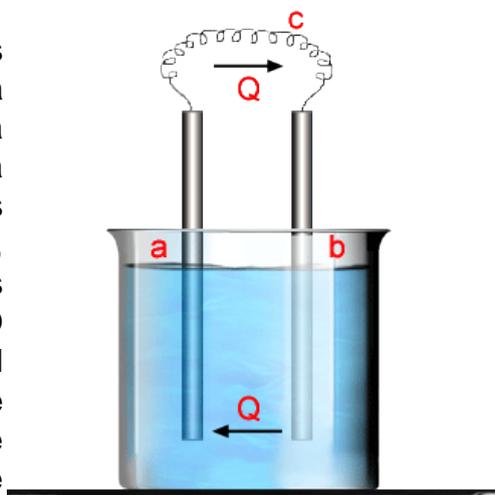


Figura 112

2º) Suponhamos um ímã com a forma de ferradura. Se entre os polos do ímã fizermos girar um condutor fechado c, por esse condutor circulará carga elétrica. Este é um outro tipo de gerador, chamado gerador mecânico ou dínamo. Na figura 113 supomos que o condutor c gire ao redor do eixo AB contido no plano do papel.

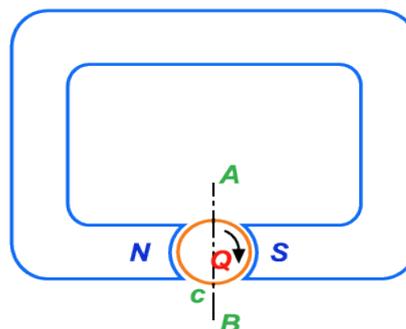


Figura 113

3º) Consideremos dois pedaços de cobre AB e CD, ligados a um pedaço de ferro BC, com as uniões B e C mantidas a temperaturas diferentes,  $t_1$  e  $t_2$  (fig.114). Ligando-se um condutor c entre A e D, circulará uma carga elétrica por todos esses condutores. As três peças metálicas com as uniões B e C à temperaturas diferentes são, portanto, um gerador chamado pilha termoelétrica.

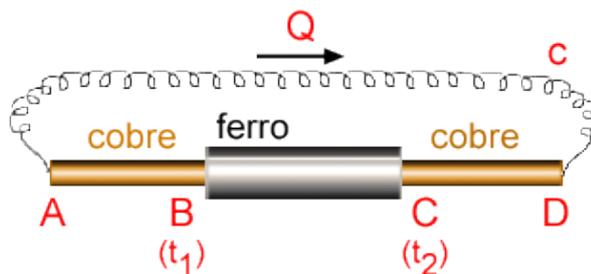


Figura 114

No decorrer do curso daremos noções gerais a respeito desses tipos de geradores.

## 2: Efeitos principais da corrente elétrica

A carga elétrica em movimento, isto é, a corrente elétrica, possui certas propriedades que a carga elétrica em repouso não possui. As mais importantes são:

### 1. Efeito térmico

Quando a corrente elétrica passa em um condutor, produz-se calor: o condutor se aquece. Este fenômeno, também chamado efeito Joule, será estudado no [Capítulo 7](#).

### 2. Campo magnético produzido pela corrente elétrica

Quando a corrente elétrica passa em um condutor, ao redor do condutor se produz um campo magnético. A corrente elétrica se comporta como um ímã, tendo a propriedade de exercer ações sobre ímãs e, sobre o ferro. Este fenômeno será estudado no [Capítulo 14](#).

### 3. Efeito químico

Fazendo-se passar uma corrente elétrica por uma solução de ácido sulfúrico em água, por exemplo, observa-se que da solução se desprende hidrogênio e oxigênio. A corrente elétrica produz, então, uma ação química nos elementos

que constituem a solução. Esta ação, que se chama eletrólise, será estudada no [Capítulo X](#).

#### 4. Efeitos fisiológicos

A corrente elétrica tem ação, de modo geral, sobre todos os tecidos vivos, porque os tecidos são formados de substâncias coloidais e os colóides sofrem ação da eletricidade. Mas é particularmente importante a ação da corrente elétrica sobre os nervos e os músculos.

Na ação sobre os nervos devemos distinguir a ação sobre os nervos sensitivos e sobre os nervos motores. A ação sobre os nervos sensitivos dá sensação de dor. A ação sobre os nervos motores dá uma comoção (choque).

A corrente elétrica passando pelo músculo produz nele uma contração.

**Choque elétrico** – Quando uma corrente elétrica passa pelo nosso corpo, a ação sobre os nervos e os músculos produz uma reação do nosso corpo a que chamamos choque. A intensidade do choque depende da intensidade da corrente. Quanto maior a intensidade da corrente, mais forte será o choque. Quando uma pessoa está com o corpo molhado, a resistência oferecida à passagem da corrente diminui; então a intensidade da corrente aumenta e o choque é mais intenso.

Nas instalações elétricas residenciais, a corrente elétrica é fornecida com diferença de potencial de 110 e 220 volts. Com essas diferenças de potencial os choques não oferecem nenhum perigo de vida. Há casos de pessoas que morrem com um choque desses, mas, nesses casos as pessoas são doentes, em geral cardíacas. Nesses casos a morte não é produzida pela eletricidade, mas, pelo abalo físico que a pessoa sofre; e esse abalo poderia ter sido provocado por uma outra causa qualquer, como um susto, uma queda, etc..

### 3: O mecanismo da corrente elétrica

#### a. Ícone

Chama-se íon a qualquer agregado isolado de partículas eletrizadas que não estejam se neutralizando.

#### Exemplo

1º) Já vimos que nos átomos existem elétrons, prótons e nêutrons. Os prótons e os nêutrons estão numa região do átomo chamada núcleo; os elétrons ficam girando ao redor do núcleo em várias órbitas: a mais próxima do núcleo é chamada órbita K, a seguinte, órbita L, e assim por diante. A carga elétrica do próton é positiva, a do elétron é negativa, mas de mesmo valor absoluto que a do próton. E como o número de prótons é igual ao número de elétrons, o átomo normalmente é neutro.

Os elétrons podem escapar do átomo, se for comunicada a eles energia suficiente para vencer a força que os prende junto ao núcleo. Os que estão mais próximos do núcleo são mais difíceis de serem extraídos. Com a saída de elétrons, o que sobra do átomo é um agregado de partículas com carga resultante positiva: é, portanto, um íon positivo.

Como a maioria dos condutores é feita de cobre, vejamos como se apresenta um íon desse elemento. O átomo de cobre tem 34 nêutrons, 29 prótons e 29 elétrons. Esses elétrons estão dispostos em 4 órbitas, como mostra a figura 115. Se o átomo perder o elétron da órbita N, forma-se um íon positivo de cobre constituído de 34 nêutrons, 29 prótons e 28 elétrons. Se perder o elétron da órbita N e um da órbita M, o conjunto que sobra é um íon positivo de cobre, com carga positiva igual à carga de dois prótons.

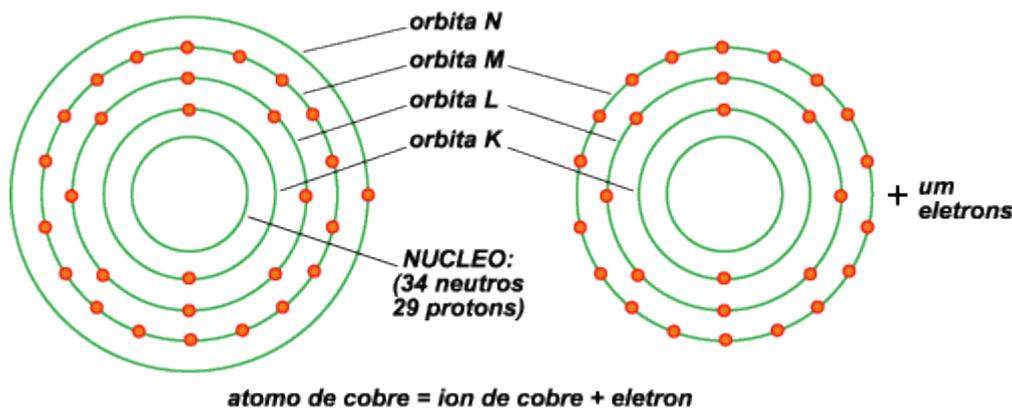


Figura 115

**Autor: Roberto A. Salmeron**

Esse fenômeno de perda de elétrons e conseqüente formação de íons é chamado ionização do átomo.

2º) Quando o cloreto de sódio é dissolvido em água, muitas moléculas do cloreto ficam divididas em duas partes: uma parte constituída por um átomo de sódio com falta de um elétron; outra constituída por um átomo de cloro com excesso de um elétron (que é exatamente o elétron que falta ao átomo de sódio), isto é:



Os radicais  $Cl^{-}$  e  $Na^{+}$  são agregados de partículas eletrizadas que não estão se neutralizando. São, portanto, íons.

Vemos por esses exemplos que os íons podem resultar, ou da perda de elétrons pelos átomos, ou da dissociação de moléculas.

Vimos acima que a corrente elétrica é carga elétrica em movimento. Pois bem, podemos acrescentar agora que a corrente elétrica sempre consiste no movimento de íons, ou de elétrons que escapam dos átomos e vão passando de um átomo a outro.

### **b. Função do gerador**

Para que haja corrente elétrica em um condutor, isto é, para que haja movimento de íons ou de elétrons nesse condutor, é necessário que os íons ou elétrons fiquem sujeitos à forças. E, para que fiquem sujeitos à forças é necessário que haja um campo elétrico. Ora, apesar de os corpos serem formados de um número muito grande de partículas eletrizadas, a distribuição dessas partículas nos átomos faz com que o campo resultante seja nulo no condutor. Por exemplo, em um fio metálico o campo elétrico é nulo. Então, um condutor, por si só, não produz campo elétrico no seu interior, e, portanto, não produz movimento de íons (seja condutor sólido, líquido ou gasoso). Para que apareça um campo no interior de um condutor, precisamos ligá-lo a um dispositivo chamado gerador.

O gerador faz com que apareça no interior do condutor um campo elétrico  $\vec{E}$ . Os íons positivos ficam sujeitos à força de mesmo sentido que o campo  $\vec{E}$ ; os íons negativos ficam sujeitos à força que tem sentido oposto ao do campo  $\vec{E}$  (fig. acima). Assim, pode haver movimento de íons positivos num sentido e de íons negativos em sentido oposto.

## 4: Diferentes tipos de condução

Toda corrente elétrica é constituída pelo movimento de íons ou de elétrons. Mas, por uma questão didática, costuma-se considerar três casos de condução.

### 1. Condução eletrônica ou condução metálica

Nos metais a corrente elétrica é constituída pelo movimento de elétrons que vão passando de um átomo a outro com grande facilidade. Quando se produz o campo  $\vec{E}$ , os elétrons ficam sujeitos à forças que tem sentido oposto ao desse campo, e se deslocam no sentido dessas forças. Os íons positivos, que resultam dos átomos que perdem elétrons, também ficam sujeitos a forças que tem o mesmo sentido que o campo  $\vec{E}$  (fig.116). Mas, nos metais o deslocamento desses íons é desprezível em relação ao dos elétrons. Foram realizadas experiências para se verificar se esses íons positivos se deslocam ou não, nos metais. Não se constatou nenhum deslocamento que pudesse ser medido. Podemos então dizer que, nos metais, a corrente elétrica é constituída pelo movimento de elétrons (que se deslocam em sentido oposto ao do campo).

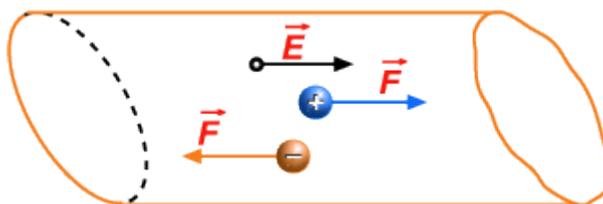


Figura 116

Os metais são chamados condutores de primeira classe.

### 2. Condução eletrolítica

É aquela que se verifica nas soluções de ácidos, bases ou sais em água, e nos sais fundidos. Nestes condutores, a corrente é constituída pelo deslocamento de íons que resultam da dissociação de moléculas. Os íons positivos, chamados cátions se deslocam no sentido do campo  $\vec{E}$ ; e os negativos, chamados ânions se deslocam em sentido oposto. A corrente elétrica é constituída pelo movimento de íons nos dois sentidos. Estes condutores são chamados eletrólitos, ou condutores de segunda classe.

### 3. Condução gasosa

Nos gases, a corrente elétrica é constituída pelo movimento de cátions num sentido e de ânions em sentido oposto. Esses cátions e ânions provêm da ionização das moléculas do gás. Essas moléculas, porém, não se ionizam sozinhas, como no caso dos eletrólitos. A corrente começa, em geral, com o movimento de elétrons livres. Esses elétrons, chocando-se com as moléculas do gás, arrancam elétrons dessas moléculas, e as ionizam. Os íons formados por sua vez encontram novas moléculas, que são ionizadas por choque. Estes novos íons participam da corrente, e assim por diante.

Os gases também são chamados condutores de terceira classe.

### 5: Diferença de potencial

Se em cada ponto A do condutor há um campo  $\vec{E}$ , também há um potencial V (fig.117). Relativamente aos potenciais, fazemos em Eletrodinâmica a seguinte hipótese simplificadora: admitimos que todos os pontos de uma mesma secção transversal do condutor tenham o mesmo potencial. Assim, admitimos que na secção  $S_1$  todos os pontos tenham o mesmo potencial que o ponto B.

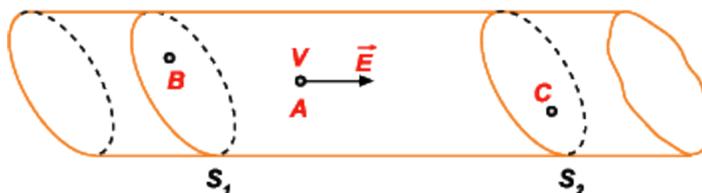


Figura 117

Com essa hipótese, para medirmos a diferença de potencial entre duas secções transversais  $S_1$  e  $S_2$  basta medirmos a diferença de potencial entre um ponto qualquer B de  $S_1$  e um ponto qualquer C de  $S_2$ . É por isso que na prática podemos dizer indiferentemente diferença de potencial entre dois pontos do condutor ou entre duas secções transversais do condutor.

É evidente que em Eletrodinâmica também vale a seguinte relação, que deduzimos em Eletrostática, para o trabalho realizado no deslocamento de uma carga q do potencial  $V_A$  ao potencial  $V_B$ :

$$\tau = q(V_A - V_B)$$

## 6: Intensidade de corrente elétrica

Suponhamos um condutor pelo qual esteja circulando corrente elétrica. Seja  $S$  uma secção transversal do condutor e  $\Delta q$  a carga elétrica que passa por essa secção durante o intervalo de tempo  $\Delta t$ . Por definição, chama-se intensidade média de corrente elétrica durante o intervalo de tempo  $\Delta t$  ao quociente, por  $\Delta t$ , da carga elétrica que passa pela secção durante esse intervalo de tempo. Representaremos por  $i_m$ . Então,

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

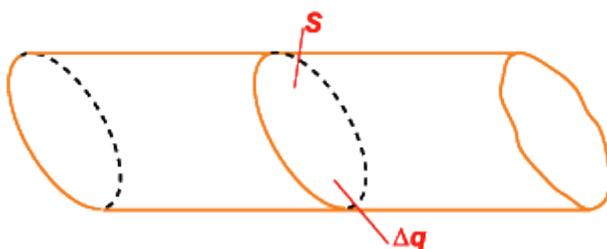


Figura 118

A intensidade média da corrente elétrica não é sempre a mesma, em geral. Exemplo: durante 5 segundos pode passar, por uma secção transversal uma carga elétrica igual a 10 (avaliada com certa unidade); a intensidade média de corrente será então 2 (avaliada com certa unidade). Mas, durante os 5 segundos seguintes, pela mesma secção transversal pode passar uma carga elétrica diferente de 10, por exemplo, 30; a intensidade média de corrente, nesses outros 5 segundos será então 6, e não mais 2.

Se a intensidade média é constante para qualquer valor do intervalo de tempo  $\Delta t$ , significa que a carga  $\Delta q$  que passa por uma secção transversal do condutor é diretamente proporcional ao tempo de passagem. (Veja o primeiro tópico do capítulo 1). Neste caso chamamos simplesmente intensidade de corrente, em vez de intensidade média. Sendo  $t$  o tempo necessário à passagem da carga  $q$ , e  $i$  a intensidade de corrente, temos:

$$i = \frac{q}{t}$$

Em nosso curso suporemos a intensidade de corrente sempre constante, salvo nos casos em que for feita alguma observação a respeito.

Na última fórmula, considerando-se  $t = 1$ , resulta  $i = q$  numericamente. Isto é, a intensidade de corrente elétrica, constante numa secção transversal do

condutor, é numericamente igual à carga elétrica que passa pela seção durante a unidade de tempo.

## 7: Unidade de intensidade de corrente do sistema CGSES

No sistema CGSES a unidade de intensidade de corrente é obtida considerando-se, na equação de definição,  $q = 1$  ues CGSq e  $t = 1$  seg .

Resulta:

$$i = \frac{1 \text{ ues CGS } q}{1 \text{ seg}} = 1 \text{ ues CGSi ou } 1 \text{ statampère}$$

Um statampère ou unidade de intensidade de corrente elétrica do sistema CGSES é a intensidade constante de uma corrente elétrica tal que, durante um segundo, passa por uma seção transversal do condutor à carga elétrica de uma unidade CGSES de carga. Indica-se por

ues CGSi ou u CGSESi ou stat A .

## 8: A formação do sistema MKS em eletricidade

### **a. Introdução**

Vimos no tópico "[Unidade de Carga Elétrica](#)", que não é possível formular-se um sistema de unidades elétricas partindo-se exclusivamente das três unidades fundamentais da Mecânica. Que um sistema de unidades elétricas deve ter, além das três unidades fundamentais da Mecânica, mais uma quarta unidade fundamental, tipicamente elétrica. Vimos que no sistema CGSES a unidade elétrica fundamental é a de constante dielétrica, que nesse sistema é arbitrariamente considerada igual a um para o vácuo.

O sistema CGSES é bastante antigo. Mas, até ele ser formulado como é hoje, passou por várias modificações. O sistema MKS, que é bem mais novo que o CGSES, também tem sofrido diversas modificações. Essas modificações têm consistido sempre na mudança da unidade tipicamente elétrica que deve ser adicionada às três unidades mecânicas (metro, quilograma, segundo) para com as quatro se constituir o sistema de unidades elétricas. Nesta edição deste livro apresentaremos o sistema MKS de acordo com uma decisão tomada pela Associação Eletrotécnica Internacional em 1950. Essa Associação escolheu como unidade elétrica fundamental do sistema MKS a unidade de intensidade

Autor: Roberto A. Salmeron

de corrente, que se chama ampère.

### b. O ampère

Em Eletromagnetismo estudaremos com detalhe o seguinte fenômeno: quando dois fios conduzindo corrente elétrica são colocados próximos, cada um exerce uma força sobre o outro. A intensidade dessa força depende de quatro fatores: a forma geométrica dos condutores, as intensidades das correntes que passam por eles, a distância que os separa e o meio em que estão colocados. O ampère é definido a partir desse fenômeno, do seguinte modo: ampère é a intensidade de uma corrente invariável que, passando em dois condutores paralelos e de comprimento infinito e distantes entre si de um metro, em cada condutor, a força de  $2 \cdot 10^{-7}$  Newton por cada metro de condutor (fig.119). O símbolo do ampère é a letra A.

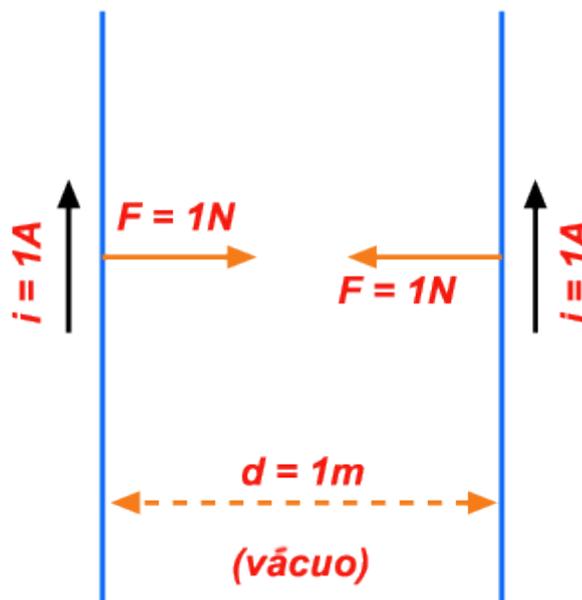


Figura 119

### c. Relação entre o ampère e o statampère

Pode-se demonstrar que:

$$1A = 3 \cdot 10^9 \text{ stat A}$$

(A demonstração está acima do nível deste curso).

### d. Submúltiplos do ampère

O ampère tem dois submúltiplos muito usados:

1º) miliampère (símbolo mA) – igual a um milésimo do ampère;

2º) microampère (símbolo  $\mu A$ ) – igual a um milionésimo do ampère.

Verifique o leitor as duas seguintes relações:

$$1mA = 3.10^6 \text{ stat A}$$

$$1\mu A = 3.10^3 \text{ stat A}$$

### e. Definição de Coulomb

Quando estudamos unidades de carga elétrica, no tópico "[Unidade de Carga Elétrica](#)" **dissemos** que a unidade de carga elétrica do sistema MKS se chama Coulomb, mas não demos a definição do Coulomb. Ele é definido a partir da expressão que define intensidade de corrente:  $i = \frac{q}{t}$ . Daí tiramos:  $q = it$ .

$$\text{Considerando-se } \begin{cases} i = 1 \text{ ampère} \\ t = 1 \text{ segundo} \end{cases}$$

resulta:  $q = 1 \text{ ampère} \times 1 \text{ segundo} = 1 \text{ coulomb}$  (símbolo C ou c)

Logo, um Coulomb é a carga elétrica que, durante um segundo, passa pela secção transversal de um condutor percorrido por corrente elétrica de intensidade constante igual a um ampère.

### f. Relação entre o Coulomb e o statcoulomb

Temos:

$$1c = 1A.1seg$$

Mas,

$$1A = 3.10^9 \text{ stat A}$$

Logo,

$$1c = 3.10^9 \text{ stat A.1seg}$$

$$1c = 3.10^9 (\text{stat A. seg})$$

ou

$$1c = 3.10^9 \text{ stat c}$$

**g. Definição de volt**

f) Definição do volt – O volt é definido a partir da fórmula do [capítulo 3](#):

$$\tau = q(V_A - V_B)$$

No sistema MKS a unidade de trabalho é o joule. Considerando-se:

$$\tau = 1 \text{ joule}$$

$$q = 1 \text{ coulomb}$$

resulta:

$$V_A - V_B = \frac{\tau}{q} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}} = 1 \text{ volt (símbolo } V \text{ ou } v)$$

Logo, um volt é a diferença de potencial entre dois pontos quando, para deslocar a carga elétrica de um Coulomb de um ponto a outro o trabalho realizado é de um joule.

**h. relação entre volt e statvolt**

Temos:

$$1v = \frac{1j}{1c}$$

Mas,

$$1j = 10^7 \text{ ergs}$$

$$1c = 3.10^9 \text{ stat c}$$

Logo,

$$1v = \frac{10^7 \text{ ergs}}{3.10^9 \text{ stat c}} = \frac{1 \text{ erg}}{3.10^2 \text{ stat c}}$$

ou

$$1v = \frac{1}{300} \text{ stat v}$$

### i. Múltiplos e submúltiplos do volt

O volt tem um múltiplo muito usado, que é o: quilovolt – (símbolo KV ou Kv) –.

igual a mil volts; e dois submúltiplos muito usados:

1º) milivolt (símbolo mV ou mv) – Igual a um milésimo de volt;

2º) microvolt (símbolo  $\mu V$  ou  $\mu v$ ) – igual a um milionésimo do volt.

Verifique o leitor as igualdades:

$$1Kv = \frac{10}{3} stat v$$

$$1mv = \frac{1}{3 \cdot 10^5} stat v$$

$$1\mu v = \frac{1}{3 \cdot 10^8} stat v$$

## 9: Lei de OHM - resistência elétrica

Consideremos dois pontos, A e B (na verdade, duas secções transversais), em um condutor, por exemplo, metálico. Sejam respectivamente,  $V_A$  e  $V_B$  os seus potenciais e  $I$  a intensidade da corrente (fig.120). Suponhamos que entre A e B não exista nenhum gerador. Se, por um processo qualquer, que não nos interessa no momento, variarmos o potencial de A para  $V'_A$  e o de B para  $V'_B$ , a corrente mudará e tomará um valor  $I'$ . Se mudarmos novamente o potencial de A para  $V''_A$  e o de B para  $V''_B$ , a corrente mudará para  $I''$ , e assim por diante: sempre que mudarmos a diferença de potencial, também mudará a intensidade de corrente. Em 1827, o físico Ohm demonstrou a seguinte lei, que leva o seu nome:

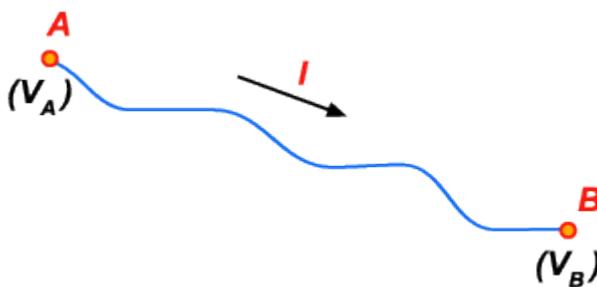


Figura 120

**Autor: Roberto A. Salmeron**

“para o mesmo trecho

do condutor, mantido à temperatura constante, é constante o quociente da diferença de potencial entre os extremos pela intensidade da corrente correspondente”.

Significa que:

$$\frac{V_A - V_B}{I} = \frac{V'_A - V'_B}{I'} = \frac{V''_A - V''_B}{I''} = \dots = R \text{ constante desde que a temperatura}$$

permaneça constante

Essa constante  $R$  é chamada resistência elétrica ou resistência ôhmica do trecho  $AB$ . Em particular, se os pontos  $A$  e  $B$  são os extremos do condutor,  $R$  é chamada resistência elétrica do condutor. Representando por  $V$  a diferença de potencial entre  $A$  e  $B$  e por  $I$  a intensidade de corrente correspondente, podemos escrever:

$$\frac{V}{I} = R \text{ ou } V = R.I$$

A lei de Ohm é válida para os condutores de primeira e de segunda classe. Mas, no estudo que faremos a seguir sobre resistência suporemos que os condutores sejam metálicos, exclusivamente por comodidade.

A lei de Ohm é a LEI FUNDAMENTAL da Eletrodinâmica. Todas as outras leis serão deduzidas a partir dela.

### **Definição de resistência elétrica**

Por definição chama-se resistência elétrica de um condutor ao quociente da diferença de potencial entre seus extremos pela intensidade de corrente elétrica correspondente.

## 10: Relação entre a resistência elétrica e as dimensões do condutor

Entre as resistências de um condutor e suas dimensões existem as duas relações seguintes:

### **1ª Lei: A resistência elétrica de um condutor homogêneo é diretamente proporcional ao seu comprimento**

A resistência elétrica de um condutor homogêneo é diretamente proporcional ao seu comprimento.

Para demonstrá-la tomamos diversos condutores, todos de mesmo material, mesma área de secção transversal e à mesma temperatura, mas de comprimentos diferentes. Sendo  $l_1, l_2, \dots, l_n$  os seus comprimentos e  $R_1, R_2, \dots, R_n$  as suas resistências, encontramos as seguintes relações:

$$\frac{R_1}{l_1} = \frac{R_2}{l_2} = \dots = \frac{R_n}{l_n}$$

o que demonstra a lei.

### **2ª Lei: A resistência elétrica de um condutor homogêneo é inversamente proporcional à área de sua secção transversal**

A resistência elétrica de um condutor homogêneo é inversamente proporcional à área de sua secção transversal.

Para demonstrá-la consideramos diversos condutores todos de mesmo material, mesmo comprimento e à mesma temperatura, mas com áreas de secções transversais diferentes. Medindo as áreas  $S_1, S_2, \dots, S_n$  dessas secções e  $R_1, R_2, \dots, R_n$  as resistências dos condutores, encontramos as seguintes relações:

$$\frac{R_1}{S_1} = \frac{R_2}{S_2} = \dots = \frac{R_n}{S_n}$$

ou

**Autor: Roberto A. Salmeron**

$$R_1 S_1 = R_2 S_2 = \dots = R_n S_n$$

o que demonstra a lei.

Essas duas leis podem ser expressas por uma única fórmula. Representando por  $R, l, S$  respectivamente a resistência, o comprimento e a área da secção transversal de um condutor, temos:

pela 1ª lei,  $R$  é diretamente proporcional a  $l$  .;

pela 2ª lei,  $R$  é diretamente proporcional a  $\frac{1}{S}$  ;

logo,  $R$  é diretamente proporcional a  $l \cdot \frac{1}{S} = \frac{l}{S}$  ;

isto é,

$$\frac{R}{\frac{l}{S}} = \rho(\text{constante})$$

ou

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

A quantidade  $\rho$  varia de um material para outro, e, para um mesmo material, varia com a temperatura. É chamada resistividade, ou resistência específica do material.

### Definição de resistividade

Para definirmos resistividade de um material a certa temperatura consideramos um fio feito com esse material e tendo comprimento  $l$ , área de secção transversal  $S$  e resistência  $R$ . Por definição, chama-se resistividade do material, à temperatura em que se encontra o fio, ao quociente

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

A importância desse conceito está no fato de que, para uma dada temperatura, o quociente indicado é constante para um dado material, e não depende do fio particular usado para calculá-lo.

**Observação**

Se na expressão anterior considerarmos  $l = 1$  e  $S = 1$ , teremos:

$$\rho = R \text{ numericamente}$$

o que significa que: a resistividade de um material é numericamente igual à resistência de um fio feito com esse material e tendo unidade de comprimento, e unidade de área em secção transversal.

**11: Unidade de resistência elétrica****a. Sistema CGSES**

A unidade é obtida da definição de resistência. Na expressão  $R = \frac{V}{I}$ , considerando-se  $V = 1$  ues CGS V, e  $I = 1$  ues CGS i, resulta:

$$R = \frac{1 \text{ ues CGS V}}{1 \text{ ues CGS i}} = 1 \text{ ues CGS R ou } 1 \text{ statohm}$$

Statohm, ou unidade de resistência elétrica do sistema CGSES é a resistência de um condutor que, sujeito à diferença de potencial de uma  $1 \text{ ues CGS V}$  é percorrido pela corrente de intensidade de uma  $1 \text{ ues CGS i}$ . Símbolo, *stat*  $\Omega$ .

**b. Sistema MKS**

Se, na lei de Ohm, considerarmos:

$$V = 1 \text{ volt}$$

$$I = 1 \text{ ampere}$$

resultará:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}} = 1 \text{ ohm}$$

**Autor: Roberto A. Salmeron**

Ohm é a resistência elétrica de um condutor que, sujeito à diferença de potencial de um volt é percorrido pela corrente de um ampère. O símbolo é a letra grega Omega maiúscula,  $\Omega$ .

### Relação entre ohm e statohm

Temos:

$$1\Omega = \frac{1v}{1A}$$

Mas,

$$1v = \frac{1}{3 \cdot 10^2} \text{ statv}$$

$$1A = \frac{1}{3 \cdot 10^9} \text{ statA}$$

Logo,

$$1\Omega = \frac{\frac{1}{3 \cdot 10^2} \text{ statv}}{\frac{1}{3 \cdot 10^9} \text{ statA}} = \frac{1}{9 \cdot 10^{11}} = \text{stat}\Omega$$

ou

$$1\text{stat}\Omega = 9 \cdot 10^{11} \Omega$$

### Múltiplos e submúltiplos do ohm

O ohm tem dois múltiplos muito usados: quilohm – (símbolo  $k\Omega$ ) – igual a mil ohm; megohm – (símbolo  $M\Omega$ ) – igual a um milhão de ohms. E dois submúltiplos também muito usados: miliohm – (símbolo  $m\Omega$ ) – igual a um milésimo do ohm; microhm – (símbolo  $\mu\Omega$ ) – igual a um milionésimo do ohm.

## 12: O ampère absoluto e o ampère internacional - o ohm absoluto e o ohm internacional

O ampère que definimos acima, no tópico "[A Formação do Sistema MKS em Eletricidade](#)", é chamado ampère absoluto. Já há muitos anos foi feito um padrão para o ampère, que se chama ampère internacional.

Um ampère internacional é a intensidade de uma corrente elétrica constante que deposita 1,118 miligramas de prata por segundo quando passa em uma solução de nitrato de prata. Foi chamado ampère internacional porque se verificou posteriormente que ele não coincide exatamente com o ampère absoluto. A relação entre eles é:

$$1 \text{ ampere internacional} = 0,99985 \text{ a } 0,99994 \text{ ampere absoluto}$$

O ohm que definimos acima, no tópico "[Unidade de Resistência Elétrica](#)", é chamado ohm absoluto. Foi feito também um padrão para o ohm, padrão esse chamado ohm internacional.

Um ohm internacional é a resistência, a 0°C, de uma coluna de mercúrio de 106,300 centímetros de comprimento e massa 14,4521 gramas.

A relação entre os dois ohms é:

$$1 \text{ ohm internacional} = 1,00051 \text{ a } 1,00053 \text{ ohms absolutos}$$

## 13: Unidades de resistividade

São deduzidas a partir da equação de definição,  $\rho = \frac{RS}{l}$ .

### **a. Sistema CGSES**

É necessário considerar:

$$l = 1\text{cm}; S = 1\text{cm}^2; R = 1 \text{ ues CGSR}$$

Resulta:

$$\rho = \frac{1 \text{ ues CGSR} \cdot 1\text{cm}}{1\text{cm}} = 1(\text{ues CGR.cm}) \text{ ou ues CGS}\rho$$

A unidade CGSES de resistividade, ou  $\text{ues CGR} \cdot \text{cm}$  seria a resistividade de um material tal que um fio feito com esse material, se tivesse 1 cm de comprimento e  $1\text{cm}^2$  de área de secção transversal, teria resistência de  $1 \text{ ues CGR}$ .

### b. Sistema MKS

É necessário considerar:

$$l = 1\text{m}; S = 1\text{m}^2; R = 1\Omega$$

Resulta:

$$\rho = \frac{1\Omega \cdot 1\text{m}^2}{\text{m}} = 1(\Omega \cdot \text{m}) \text{ ou uMKS } \rho$$

A unidade de resistividade no sistema MKS é  $\Omega \cdot \text{m}$ ; seria a resistividade de um material tal que um fio feito com esse material, se tivesse 1m de comprimento e S de área transversal teria resistência de  $1\Omega$ .

**Além dessas duas unidades**, usamos na prática uma terceira unidade, que é estabelecida considerando-se:

$$l = 1\text{m}; S = 1\text{mm}^2; R = 1\Omega$$

Resulta:

$$\rho = \frac{1\Omega \cdot 1\text{mm}^2}{1\text{m}}$$

ou

$$\rho = 1 \left( \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$$

$1\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  seria a resistividade de um material, tal que, um fio feito com esse material se tivesse 1m de comprimento e  $1\text{mm}^2$  de área de secção transversal, teria resistência de  $1\Omega$ .

Quando se aplica a fórmula  $R = \frac{\rho l}{S}$  deve-se tomar muito cuidado com as unidades: é necessário que  $R$ ,  $l$  e  $S$  tenham unidades coerentes com a unidade de  $\rho$ .

## 14: Condutância e condutividade

Chamamos condutância de um condutor ao inverso de sua resistência elétrica. Representando-a por  $C$ , temos:

$$C = \frac{1}{R}$$

A resistência do condutor em função das dimensões é dada por  $R = \frac{\rho l}{S}$ . A condutância será então dada por:

$$C = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{S}{l}$$

O inverso da resistividade,  $\frac{1}{\rho}$ , é chamada condutividade ou condutância específica do material. Representamos por  $\gamma$ . Fica então:

$$C = \gamma \frac{S}{l}$$

### Unidade de Condutância

#### a. Sistema CGSES

A unidade de condutância é a condutância de um condutor cuja resistência é 1 ues CGSR. É também chamada statmho.

$$1 \text{ statmho, ou } 1 \text{ ues CGS } C = \frac{1}{1 \text{ ues CGS } R}$$

**b. Sistema MKS**

A unidade de condutância é a condutância de um condutor cuja resistência é um ohm. Chama-se mho. Escrevemos:

$$1mho = \frac{1}{1ohm}$$

**Unidades de Condutividade****a. Sistema CGSES**

A unidade de resistividade é 1 ues CGS  $\rho$ . A unidade de condutividade será:

$$\gamma = \frac{1}{1ues\ CGS\ \rho} = 1ues\ CGS\ \gamma$$

1ues CGS  $\gamma$  é a condutividade de um material cuja resistividade é 1ues CGS  $\rho$ .

**b. Sistema MKS**

A unidade de resistividade é  $\Omega m$ . A unidade de condutividade é:

$$\gamma = \frac{1}{\Omega.m} = 1(\Omega.m)^{-1} = 1mho.m^{-1}$$

ou  $1uMKS\gamma$ .

$1(\Omega.m)^{-1}$ , ou  $u\ m\ MKS\ \gamma$  é a condutância de um material cuja resistividade é  $1\Omega.m$ .

## 15: Variação da resistência com a temperatura

A resistência de um condutor varia com a temperatura. No caso dos metais a resistência aumenta quando a temperatura aumentar. Mas, há certas substâncias cuja resistência diminui à medida que a temperatura aumenta; as principais são o carbono e o telúrio. Um gráfico de resistência em função da temperatura tem o aspecto indicado na figura 121: são curvas de pequenas curvaturas, tanto que em trechos relativamente grandes podem confundir-se com retas. Esse estudo é feito experimentalmente: varia-se a temperatura do condutor e mede-se a resistência. Assim se chega a uma relação algébrica entre a resistência e a temperatura, que é a seguinte:

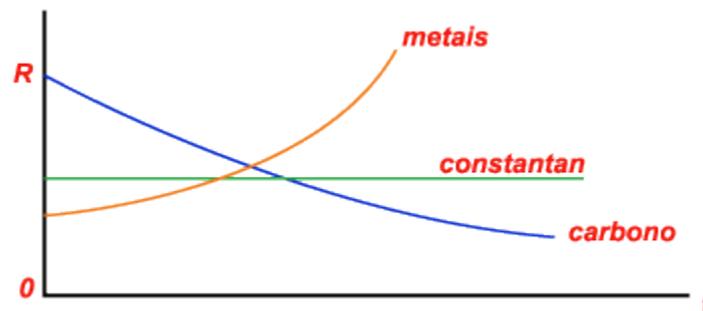


Figura 121

Sendo

$R_0$  a resistência do condutor à temperatura  $t_0$  ;

$R$  a resistência do condutor à temperatura  $t$ , então

$$R = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

O coeficiente  $\alpha$  depende do material. E, para um mesmo material, ele não é constante. Varia com a temperatura  $t_0$  considerada. Mas, como a variação é pequena, ele é considerado constante dentro de um intervalo de temperatura  $t - t_0$  de algumas dezenas de graus. Por exemplo, é considerado com um valor constante entre  $0^\circ$  e  $50^\circ\text{C}$ , entre  $50^\circ$  e  $80^\circ\text{C}$ , etc.. Esse coeficiente é chamado coeficiente de temperatura.

A unidade do coeficiente de temperatura é o inverso de uma unidade de temperatura. É mais comum avaliar-se a temperatura em graus centígrados ( $^\circ\text{C}$ ); então  $\alpha$  é avaliado em  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ , ou  $(^\circ\text{C})^{-1}$ .

**Autor: Roberto A. Salmeron**

Existem ligas metálicas cuja resistência não varia com a temperatura, isto é, que tem  $\alpha$  praticamente igual a zero. As mais importantes são:

constantan – composta de níquel, cobre e zinco;

manganina – composta de cobre e manganês;

niquelina – composta de cobre, manganês e níquel.

Quando se quer obter com grande precisão a variação da resistência em função da temperatura, deve-se acrescentar na fórmula anterior um termo do segundo grau em  $t - t_0$ , isto é, usar-se a expressão:

$$R = R_0 \left[ 1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2 \right]$$

em que  $\beta$  é também um coeficiente que depende do material. Mas essa expressão é usada excepcionalmente.

### Caso Particular

No caso particular em que  $t_0 = 0$ , isto é, em que  $R_0$  é a resistência a  $0^\circ$  as fórmulas ficam:

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

e

$$R = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$

### Variação da resistividade com a temperatura

Em vez de exprimirmos a variação da resistência podemos exprimir a variação de resistividade em função da temperatura. As expressões são análogas:

$$\rho = \rho_0 \left[ 1 + \alpha(t - t_0) \right]$$

e

$$\rho = \rho_0 \left[ 1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2 \right]$$

Quando  $t_0 = 0$ , essas expressões ficam:

Autor: Roberto A. Salmeron

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$

e

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$

Alguns exemplos de valores da resistividade e do coeficiente de temperatura são dados na tabela abaixo.

Substância	$\rho_0 \left( \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$ a 0°C	$\alpha \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$
Alumínio	$32 \cdot 10^{-7}$	0,0036
Cobre	$17 \cdot 10^{-7}$	0,0040
Níquel	$100 \cdot 10^{-7}$	0,0050
Prata	$16 \cdot 10^{-7}$	0,0040
Constantan	$500 \cdot 10^{-7}$	0,00000
Manganina	$420 \cdot 10^{-7}$	0,00003
Niquelina	$420 \cdot 10^{-7}$	0,00023
Carbono	$-60.000 \cdot 10^{-7}$	

Vê-se que a prata e o cobre tem pequena resistividade. O carbono tem grande.

### Supercondutividade

Baixando-se a temperatura dos metais a sua resistividade vai diminuindo. Mas, à temperaturas muito baixas, próximas do zero absoluto, os metais não se comportam todos do mesmo modo. Eles podem ser divididos em dois grupos.

Em um primeiro grupo estão os metais cuja resistividade vai diminuindo com a temperatura, mas não se anula por mais que se baixe a temperatura, mesmo próximo do zero absoluto.

Em um segundo grupo estão os metais cuja resistividade vai diminuindo com a temperatura, mas atingida uma certa temperatura ela cai bruscamente a zero. Chama-se supercondutividade a esse fenômeno pelo qual a resistividade de certos metais se anula à temperaturas muito baixas. Chama-se supercondutor ao condutor que está com resistividade nula.

A temperatura em que o metal se torna supercondutor é próxima do zero absoluto e varia de metal para metal. Até o presente, poucos são os metais que revelaram o fenômeno. Exemplos: mercúrio, que se torna supercondutor a  $4,19^{\circ}\text{K}$ ; o tório, a  $1,4^{\circ}\text{K}$ ; o chumbo, a  $7,2^{\circ}\text{K}$ . Quanto aos metais que não apresentaram supercondutividade, não sabemos ainda se não se tornam supercondutores por causa de sua constituição íntima, ou por causa das dificuldades experimentais para se obter temperaturas suficientemente baixas.

A supercondutividade é um fenômeno importante. Nestes últimos anos tem chamado a atenção de muitos físicos. Pois um supercondutor, tendo resistência nula, é percorrido por correntes elevadíssimas. Por exemplo: [vimos que](#), quando um condutor fechado gira entre os polos de um ímã aparece no condutor uma corrente elétrica. Quando se trata de um condutor comum, se for retirado o ímã, a corrente elétrica desaparecerá em uma fração de segundo, pois a presença do ímã é necessária para que a corrente se produza. Mas se se trata de um supercondutor, por exemplo, um anel de chumbo mantido a  $1,8^{\circ}\text{K}$ , mesmo depois de retirado o ímã, a corrente continua a circular por vários dias: são necessários quatro dias para que a corrente caia à metade do seu valor inicial.

## 16: Energia absorvida para passagem de corrente elétrica através de um condutor

Suponhamos um condutor de resistência  $R$ , que tenha entre os extremos uma diferença de potencial  $V$ , e pelo qual circule uma corrente de intensidade  $I$ .

Durante o tempo  $t$ , a quantidade de eletricidade que passa por esse condutor é:  $Q = It$ .

O trabalho realizado para passagem de uma carga  $Q$  entre dois pontos de potenciais  $V_A$  e  $V_B$  vale:

$$\tau = Q(V_A - V_B) \text{ (em que } V_A - V_B = V \text{)}$$

Substituindo  $Q$  por  $It$ , fica:  $\tau = VIt$ . Mas esse trabalho representa a energia  $W$  consumida no transporte de carga  $Q$ . Logo:

$$W = VIt$$

Sendo  $V = RI$ , podemos escrever:

$$W = R.I.I.t \text{ ou } W = R.I^2.t$$

As igualdades  $W = VIt = RI^2t$  representam a energia  $W$  absorvida pelo condutor de resistência  $R$ , durante o tempo  $t$ , quando circula por ele a corrente elétrica de intensidade  $I$ .

### Unidades de $W$

Quando  $V$ ,  $I$ ,  $R$  e  $t$  são medidos em unidades CGSES, a energia  $W$  é avaliada em ergs, porque, nesse sistema o erg é a unidade de trabalho. Quando  $V$ ,  $I$ ,  $R$  e  $t$  são medidas no sistema Giorgi, a energia  $W$  deve ser avaliada em joules, porque o joule é a unidade de trabalho do sistema Giorgi. E é sabido que  $1 \text{ joule} = 10^7 \text{ ergs}$ .

### 17: Potência absorvida para passagem de corrente elétrica através de um condutor

Sendo  $W$  a energia absorvida na passagem da corrente durante o tempo  $t$ . Por definição, a potência absorvida é o quociente:

$$P = \frac{W}{t}$$

Sendo

$$W = RI^2t = VIt$$

temos:

$$P = \frac{RI^2t}{t} = \frac{VIt}{t} \text{ ou } P = RI^2 = VI$$

Concluimos que a potência consumida por um condutor é diretamente proporcional à resistência do condutor e ao quadrado da intensidade da corrente.

## Unidade de P

No sistema CGSES, o trabalho é avaliado em ergs. A potência é então avaliada em erg/seg.

No sistema MKS o trabalho é avaliado em joules. A potência é avaliada em joule/seg, ou watt (w). É sabido que  $1w = 10^7 \text{ ergs/seg}$ .

## 18: Associação de condutores

Um condutor é representado por um dos dois modos indicados na figura 122.



Figura 122

Os condutores podem ser associados de dois modos: em série, e em paralelo (ou em derivação).

### a. Associação em série

É aquela na qual os condutores são ligados de maneira que o fim de cada um coincida com o início do seguinte (fig.123).

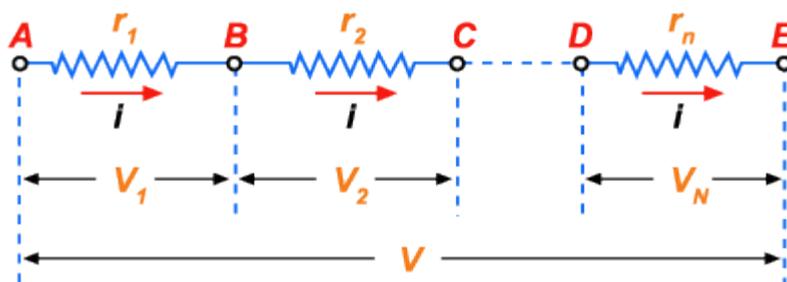


Figura 123

Sejam  $r_1, r_2, \dots, r_n$  as resistências dos condutores;  $v_1, v_2, \dots, v_n$  as diferenças de potencial entre seus extremos e  $V$  a diferença de potencial entre os extremos da associação. As características da associação em série são as seguintes:

**1ª Intensidade de corrente**

A intensidade de corrente que passa por todos os condutores num dado instante é a mesma. Não pode haver aumento nem diminuição da intensidade ao passar do condutor AB para BC, por exemplo, por causa do princípio da conservação da energia.

**2ª Diferença de potencial**

Seja  $v_1$  a diferença de potencial entre os extremos do primeiro condutor e  $i$  a intensidade de corrente, a potência dissipada nesse primeiro condutor é:

$$P_1 = v_1 \cdot i$$

Analogamente, a potência dissipada no segundo condutor é:

$$P_2 = v_2 \cdot i$$

A potência dissipada no  $n$ ésimo é:

$$P_n = v_n \cdot i$$

A potência dissipada pela associação inteira é a soma das potências dissipadas pelos condutores:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

ou

$$P = v_1 \cdot i + v_2 \cdot i + \dots + v_n \cdot i$$

$$P = (v_1 + v_2 + \dots + v_n) i$$

Mas, sendo  $V$  a diferença de potencial entre os extremos da associação, podemos escrever que a potência dissipada pela associação é:

$$P = V \cdot i$$

Comparando  $P = (v_1 + v_2 + \dots + v_n) i$  e  $P = V \cdot i$ , temos:

$$Vi = (v_1 + v_2 + \dots + v_n) i$$

ou

$$V = v_1 + v_2 + \dots + v_n$$

## Conclusão

Numa associação em série de condutores, a diferença de potencial entre os extremos da associação é igual à soma das diferenças de potencial entre os extremos dos condutores.

### 3ª Resistência condutor equivalente

Chama-se condutor equivalente à associação a um condutor capaz de substituir a associação, isto é, que suportando a diferença de potencial  $V$  que a associação suporta é percorrido pela mesma corrente  $i$  que a associação (fig.124).

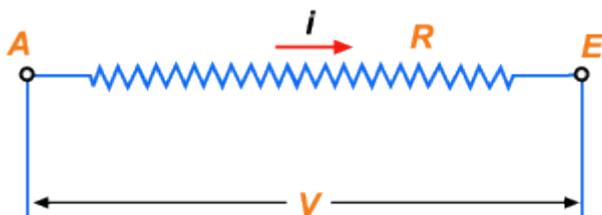


Figura 124

Sendo  $R$  a resistência do condutor equivalente, pela lei de Ohm temos:

$$V = R.i$$

A lei de Ohm, aplicada ao primeiro condutor, dá:  $v_1 = r_1.i$

A lei de Ohm, aplicada ao segundo condutor, dá:  $v_2 = r_2.i$

A lei de Ohm, aplicada ao  $n$ ésimo condutor, dá:  $v_n = r_n.i$

Somando-se membro a membro:

$$v_1 + v_2 + \dots + v_n = r_1.i + r_2.i + \dots + r_n.i$$

$$V = (r_1 + r_2 + \dots + r_n).i$$

Comparando  $V = R.i$  e  $V = (r_1 + r_2 + \dots + r_n).i$ , resulta:

$$R = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

## Conclusão

Condutores associados em série equivalem a um condutor único cuja resistência é igual à soma das suas resistências.

## Caso Particular

Os condutores têm resistências iguais, isto é,  $r_1 = r_2 = \dots = r_n$ . É fácil provar que neste caso resulta também  $v_1 = v_2 = \dots = v_n$ . Chamando respectivamente,  $r$  e  $v$  à resistência e à diferença de potencial entre os extremos de cada condutor, temos:

$$R = n.r$$

$$V = n.v$$

### b. Associação em paralelo ou em derivação

É aquela na qual todos os condutores são ligados entre dois pontos, A e B (fig.125). Cada condutor é chamado uma derivação.

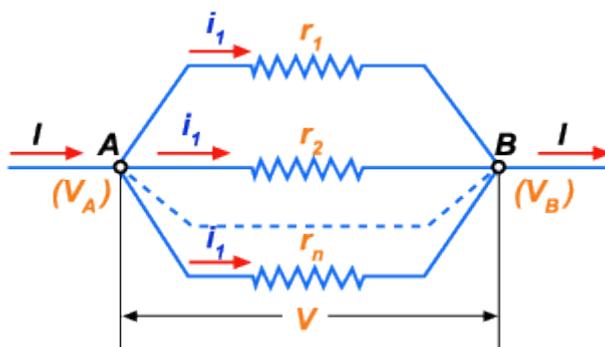


Figura 125

Sejam  $r_1, r_2, \dots, r_n$  as resistências dos condutores,  $i_1, i_2, \dots, i_n$  as intensidades de corrente nas derivações;  $I$  a corrente fora da associação (corrente total);  $V_A$  o potencial do ponto A,  $V_B$  o do ponto B, de maneira que a diferença de potencial entre A e B é  $V_A - V_B$ , que chamaremos simplesmente  $V$ . As características da associação são as seguintes.

Autor: Roberto A. Salmeron

**1ª Diferença de potencial**

Todas as extremidades ligadas ao ponto A tem potencial  $V_A$ . Todas as ligadas ao ponto B tem o potencial  $V_B$ . Logo, todos os condutores suportam a mesma diferença de potencial  $V$ .

**2ª Intensidade de corrente**

**1ª lei de Kirchhoff** – As intensidades de corrente obedecem a uma lei chamada 1ª lei de Kirchhoff, que é: “a intensidade de corrente antes e depois da associação é a mesma e vale a soma das intensidades nas derivações”.

A intensidade antes e depois da associação é a mesma, porque se não fosse, haveria ganho ou perda de corrente enquanto a corrente atravessa a associação. Mas, ganho ou perda de corrente elétrica significa ganho ou perda de energia. Isso é contra o princípio da conservação de energia. Pelo mesmo motivo a intensidade fora da associação é a soma das intensidades nas derivações, isto é:

$$i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

**3ª Resistência - 2ª lei de Kirchhoff**

A lei de Ohm, aplicada ao 1º condutor dá:  $i_1 = \frac{V}{r_1}$

A lei de Ohm, aplicada ao 2º condutor dá:  $i_2 = \frac{V}{r_2}$

A lei de Ohm, aplicada ao nº condutor dá:  $i_n = \frac{V}{r_n}$

Somando membro a membro essas expressões, temos:

$$i_1 + i_2 + \dots + i_n = \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2} + \dots + \frac{V}{r_n}$$

Ou

Autor: Roberto A. Salmeron

$$I = V \left( \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2} + \dots + \frac{V}{r_n} \right)$$

Chama-se condutor equivalente à associação a um condutor que, colocado entre os pontos A e B permite a passagem da corrente com a mesma intensidade  $I$  que ela tem fora da associação. Sendo  $R$  a resistência do condutor equivalente, temos, de acordo com a sua própria definição:

$$R = \frac{V}{I}, \text{ ou } I = \frac{V}{R}$$

Comparando  $I = V \left( \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2} + \dots + \frac{V}{r_n} \right)$  e  $R = \frac{V}{I}$ , temos:

$$\frac{1}{R} = \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right)$$

ou

$$\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}}$$

É a 2ª lei de Kirchhoff: “o inverso da resistência do condutor equivalente é igual à soma dos inversos das resistências das derivações”.

### Caso particular

Os condutores têm resistências iguais, isto é,  $r_1 = r_2 = \dots = r_n$  (que chamaremos  $r$ ). Neste caso as intensidades de corrente nas derivações também são iguais:  $i_1 = i_2 = \dots = i_n$  (que chamaremos  $i$ ).

A 1ª lei de Kirchhoff fica:

$$I = i_1 + i_2 + \dots + i_n \text{ (n parcelas)}$$

ou

$$I = ni$$

A 2ª lei de Kirchhoff fica:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \dots + \frac{1}{r} \text{ (n parcelas)}$$

Ou

Autor: Roberto A. Salmeron

$$\frac{1}{R} = \frac{r}{n}$$

Neste caso particular a resistência da associação é igual a  $\frac{1}{n}$  da resistência de cada condutor. E a intensidade da corrente total é  $n$  vezes maior que a corrente de cada condutor.

### 19: O círculo elétrico

á vimos que, para que haja corrente elétrica, é condição indispensável que exista um gerador. Os condutores por onde a corrente vai passar devem ser ligados a um gerador de modo tal a formar um caminho fechado para os íons ou os elétrons. A esse caminho fechado chamamos circuito elétrico. Na figura 126 está representado um circuito formado pelo gerador G e pelos condutores AB, BC, CD, DE, EF.

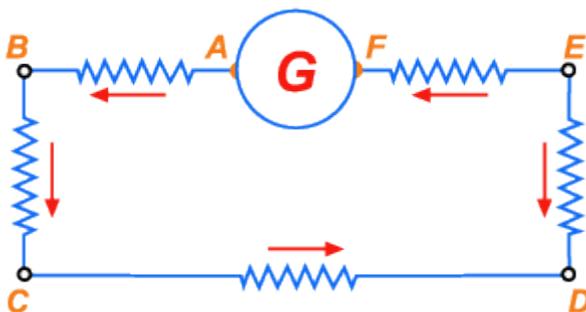


Figura 126

Autor: Roberto A. Salmeron

Para se interromper a passagem da corrente elétrica deve-se interromper o circuito elétrico em algum ponto. Para realizarmos comodamente essa operação usamos dispositivos chamados chaves, ou interruptores. Uma chave é uma peça metálica AB que tem uma extremidade, A, constantemente ligada ao circuito, isto é, fixa; e uma extremidade B móvel, com a qual se pode abrir ou fechar o circuito. Assim, na posição 1 da figura 127, a chave AB “abre” o circuito; na posição 2 ela “fecha” o circuito. São esses interruptores que existem nas residências, e com os quais “acendemos” ou “apagamos” a luz em uma sala, por exemplo. Examine o leitor um desses interruptores de sua residência.

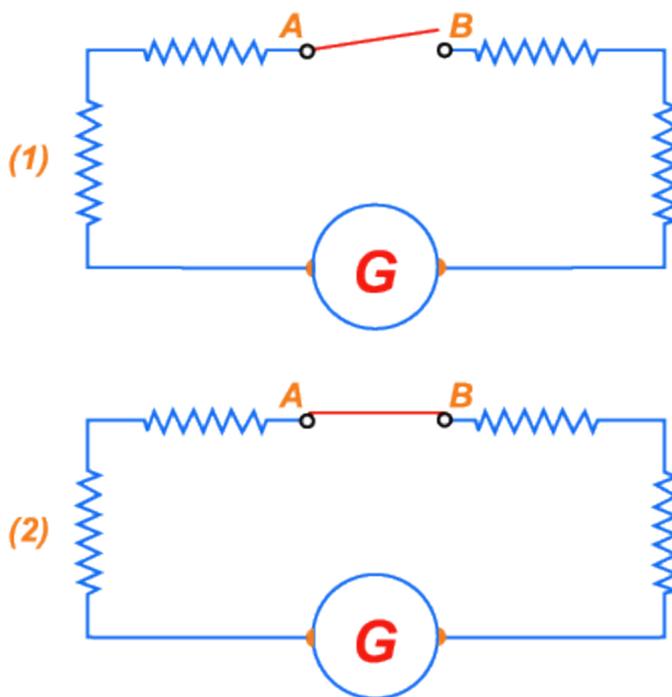


Figura 127

## 20: Reostatos

Reostatos são resistências variáveis. Podem ser de dois tipos: de resistência variável continuamente e de resistência variável descontinuamente.

O reostato de resistência variável continuamente baseia-se no fato de a resistência de um condutor ser diretamente proporcional ao seu comprimento. O reostato é um simples fio metálico AB tal que se pode colocar no circuito o fio todo, ou uma parte dele.

Para realizarmos comodamente essa operação, o reostato possui um cursor C (fig.128). O circuito é ligado a uma extremidade fixa A do condutor e ao cursor C. Desse modo a corrente percorre sempre a parte AC do reostato. A resistência dessa parte AC varia com o comprimento AC. Mudando-se o cursor para uma posição C' tal que AC' seja maior que AC, coloca-se no circuito uma resistência maior. Mudando-se o cursor para C" tal que AC" seja menor que AC, coloca-se no circuito uma resistência menor. Em particular, quando o cursor está em B, a resistência de todo o reostato está no circuito; quando ele está em A, o reostato está fora de circuito.

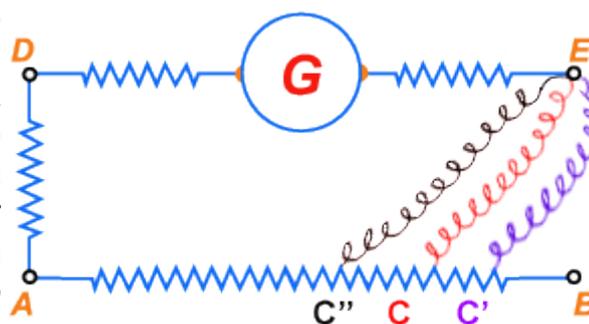


Figura 128

Como esses fios tem vários metros de comprimento, eles são enrolados ao redor de um tubo isolante, para economia de espaço (fig.129).

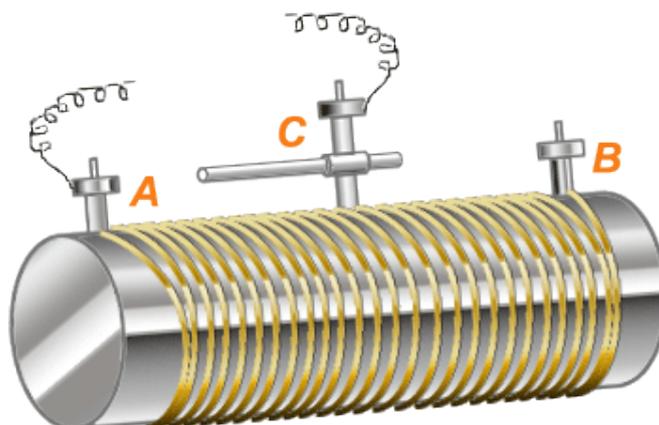


Figura 129

Quando se usa um reostato, não se sabe exatamente qual a resistência que está sendo colocada no circuito. Só se sabe o máximo que se pode colocar, por exemplo,  $10\Omega$ ,  $50\Omega$ ,  $100\Omega$ , *etc...* A figura 130 é a fotografia de um reostato.

### Reostato de variação contínua

É constituído de várias resistências,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , ligados em série, e mais uma haste metálica *a*, como indica a figura 131. Uma extremidade do circuito é ligada ao ponto A, a outra ao ponto E. Colocando-se a haste *a* na posição AR a corrente não passa pelo reostato. Na posição BE, a corrente passa só pela resistência  $R_1$ ; na posição CE a corrente passa pelas resistências  $R_1$  e  $R_2$  que estão em série; então fica intercalada no circuito a resistência  $R_1 + R_2$ . Na posição DE é intercalada no circuito a

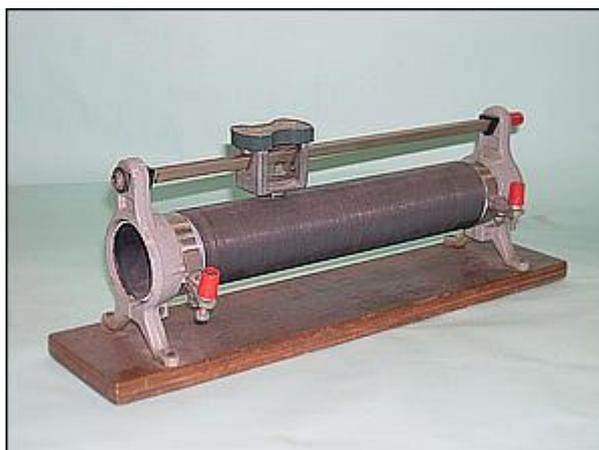


Figura 130

Autor: Roberto A. Salmeron

resistência  $R_1 + R_2 + R_3$ .

Esse reostato é de variação descontínua porque a resistência só pode variar de um dos valores  $R_1, R_2$  ou  $R_3$ .

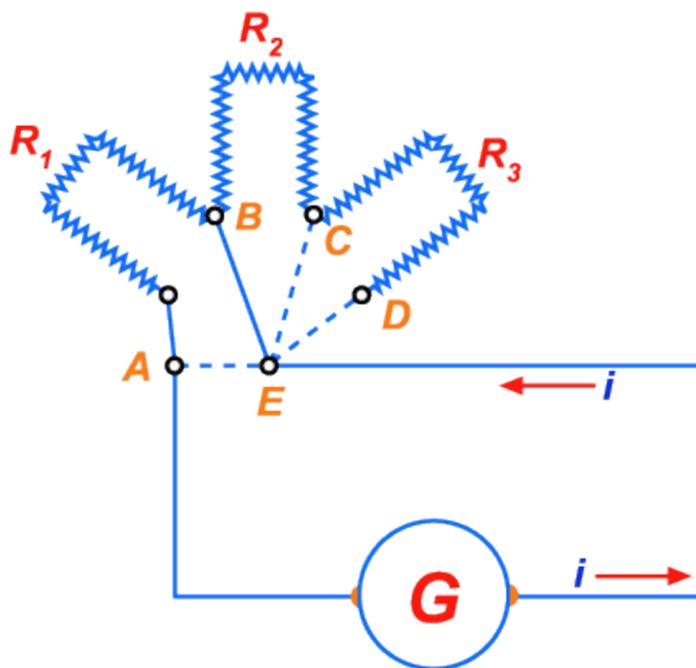


Figura 131

(Os reostatos são representados esquematicamente como indica a figura 132 a) ou b).

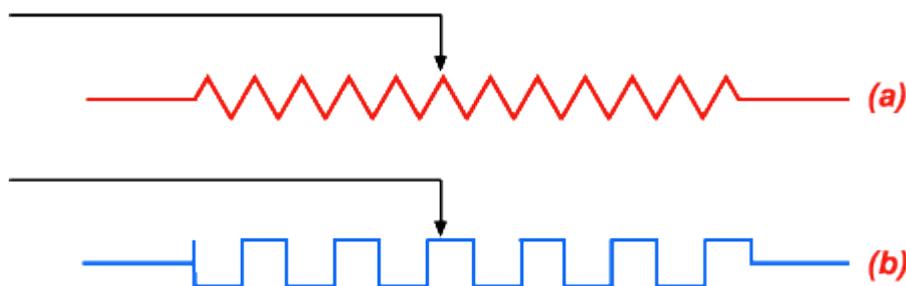


Figura 132

## 21: Caixa de resistências

A caixa de resistência é um conjunto de resistências de valores determinados, que podem ser colocadas ou retiradas do circuito pela maneira que explicaremos. Elas têm esse nome porque as suas resistências são sempre colocadas no interior de uma caixa, para que fiquem protegidas.

A caixa de resistências consta de:

1º) um conjunto de peças metálicas a, b, c, d, e, f, curtas e largas, de maneira que suas resistências são desprezíveis;

Autor: Roberto A. Salmeron

2º) um conjunto de resistências de valores conhecidos, por exemplo,  $0,1\Omega$ ,  $1\Omega$ ,  $10\Omega$ ,  $100\Omega$ ,  $1000\Omega$ , etc... As peças metálicas são separadas umas das outras, e cada resistência tem as suas extremidades ligadas a duas placas contíguas (fig.133) por exemplo, a resistência de  $0,1\Omega$  tem uma extremidade ligada à peça a, outra ligada à peça b, etc..  
 3º) um conjunto de cavilhas que podem ser encaixadas com exatidão entre duas peças metálicas. Essas cavilhas são metálicas, mas tem um pequeno cabo de madeira por onde nós as seguramos.

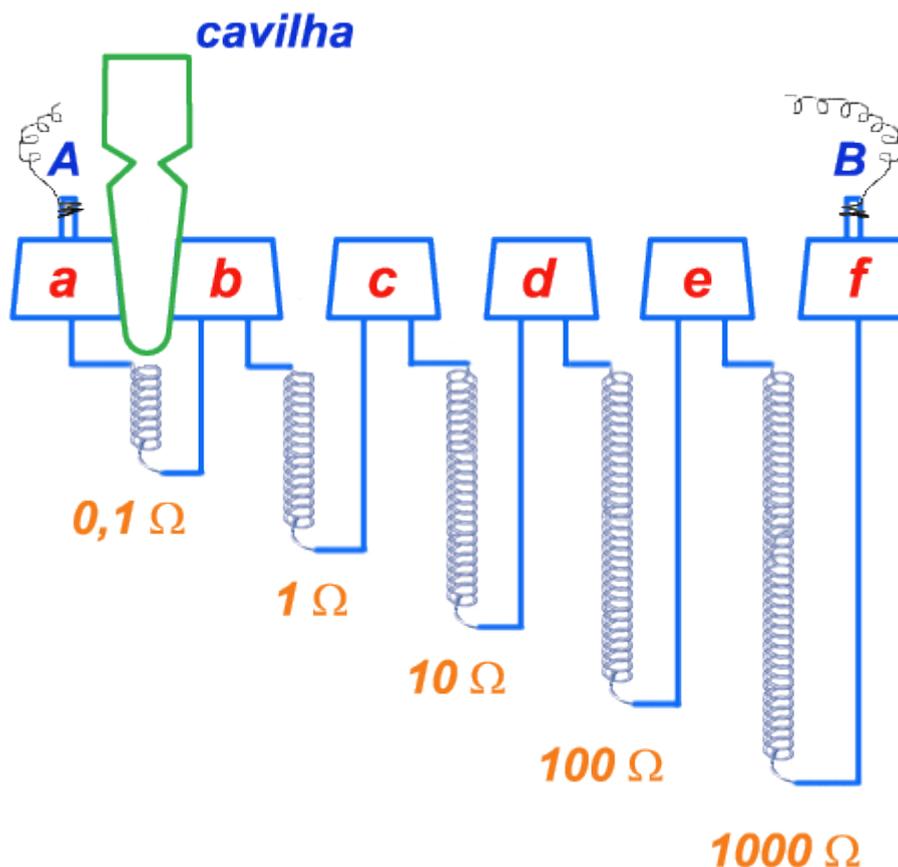


Figura 133

O circuito é ligado à primeira peça metálica, em A, e à última, em B. Retirando-se da caixa a primeira cavilha interrompe-se a ligação entre a e b; e a corrente só pode passar de a a b através da resistência de  $0,1\Omega$ . Se a primeira cavilha permanecer entre a e b, a ligação entre a e b será direta, isto é, a ligação através da cavilha oferece uma resistência desprezível mesmo em relação à resistência de  $0,1\Omega$ . Então praticamente a totalidade da corrente passa de a e b através da cavilha, e não pela resistência de  $0,1\Omega$ ; esta resistência fica fora de circuito. O mesmo acontece em relação às demais resistências e cavilhas correspondentes. Portanto, para se colocar uma resistência no circuito deve-se retirar a cavilha correspondente. Por exemplo; retirando-se as três primeiras

**Autor: Roberto A. Salmeron**

coloca-se no circuito a resistência de  $0,1\Omega$ ,  $1\Omega$ ,  $10\Omega = 11,1\Omega$ ; retirando-se as cavilhas 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> somente, coloca-se no circuito a resistência de  $10\Omega$ ,  $100\Omega$ ,  $1000\Omega = 1110\Omega$ ; retirando-se todas as cavilhas, coloca-se a resistência de  $1111,1\Omega$ ; e não se retirando nenhuma, não se coloca nenhuma resistência no circuito. A figura 134 é a fotografia de uma caixa de resistências.

## 22: Resistências padrões

Nos laboratórios há resistências padrões, que são resistências cujos valores são conhecidos com grande precisão. Antigamente havia padrões constituídos com mercúrio. Mas esses estão praticamente abandonados. Atualmente se usam padrões de fios metálicos. Um padrão de resistência deve possuir duas qualidades fundamentais:

1<sup>a</sup>) sua resistência deve ser invariável com o tempo;

2<sup>a</sup>) sua resistência deve ser invariável com a temperatura. Os materiais que melhor obedecem a essas qualidades são as ligas chamadas constantan, manganina, niquelina e maillechort. A figura 135 é um padrão de um ohm.

Existem padrões de diferentes valores: desde padrões de resistência de  $0,1\Omega$  até padrões de  $10000\Omega$ . As caixas de resistências podem ser tomadas como padrões de resistência; mas, consideradas como padrões, são de pequena precisão, a não ser casos excepcionais.

**Autor: Roberto A. Salmeron**

## 23: Nota Histórica

Jorge Simon Ohm (1787 – 1854), alemão, era filho de um serralheiro, a quem ajudou na profissão durante todo o tempo de estudante. Iniciou a carreira como professor de Matemática, chegando a publicar um tratado de Geometria. Mas, a partir de 1822 dedicou-se muito ao estudo da eletricidade, entusiasmado pelas descobertas da época. Foi fácil para ele colocar-se ao par das últimas conquistas nesse ramo, porque, além da boa cultura matemática, tinha boa habilidade como experimentador, habilidade essa que sem dúvida se desenvolveu quando trabalhava na oficina do pai. Embora sua tendência maior fosse de encarar a parte matemática dos problemas físicos, a habilidade de experimentador lhe foi muito útil, porque uma pessoa que também trabalhe com as mãos e veja como os fenômenos acontecem, adquire muito mais recursos de imaginação do que aquela que se limita a trabalhar com lápis e papel.



Jorge Simon Ohm

Ohm estabeleceu teoricamente a lei que leva seu nome em 1827. Ele assemelhava a corrente elétrica ao movimento de um líquido num canal, comparando a diferença de potencial na corrente à diferença de nível no líquido. Um aspecto interessante da lei de Ohm é que, trabalhando numa época em que os fenômenos elétricos eram ainda muito obscuros, ao enunciar sua lei ele definiu com clareza a resistência elétrica de um condutor, exatamente como a concebemos hoje. Foi ele mesmo quem demonstrou que a resistência de um condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à área de sua seção transversal.

Dedicou-se também à Ótica e à Acústica, mas nesses ramos não realizou trabalhos da mesma importância que seus trabalhos em eletricidade.