

Todos os corpos se compõem de matérias-primas básicas, designadas por elementos químicos. Sua menor porção química é o átomo. Este possui um núcleo, em torno do qual giram elétrons a velocidades elevadas, em camadas concêntricas (figura 1.1). Cada elemento possui um número diferente de elétrons, influenciando este número nas suas características. Cada átomo possui igual número de prótons como de elétrons, que giram em torno dos primeiros. A força de atração entre prótons e elétrons se compõe com a ação da força centrífuga dos elétrons em movimento, estabelecendo assim o equilíbrio das forças internas do átomo. Nos metais, a ligação entre elétrons da camada externa do átomo e o núcleo não é muito forte. Assim, atuando sobre o átomo de metal uma força externa, a trajetória dos elétrons é alterada; nestas condições aparecem os chamados "elétrons livres". No estado de equilíbrio elétrico, os elétrons estão distribuídos uniformemente no corpo; tal equilíbrio, porém, não existe quando o corpo está eletrizado.



Fig. 1.1 Átomo de Hélio

O acúmulo de elétrons num corpo é chamado de carga elétrica.

O deslocamento de elétrons é designado por corrente elétrica.

A força necessária ao deslocamento dos elétrons "livres" — a tensão elétrica — pode ser gerada das seguintes maneiras:

1. PELA AÇÃO QUÍMICA.

Dois metais diferentes, ou um metal e um carvão, são imersos num líquido condutor de corrente elétrica (água com sal, ácidos ou lixívia). Desenvolve-se assim uma diferença de potencial ou tensão elétrica (pilha e acumulador) (figura 1.2).

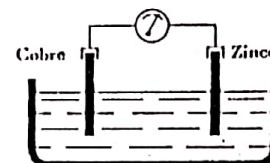


Fig. 1.2

2. POR INDUÇÃO.

Movimentando-se um condutor elétrico através de um campo magnético, aparece no primeiro uma diferença de potencial (máquinas elétricas) (figura 1.3).

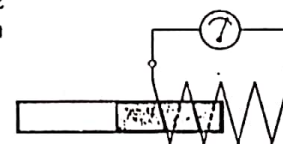


Fig. 1.3

3. POR AQUECIMENTO.

Pelo aquecimento do ponto de solda de dois metais diferentes, resulta uma tensão elétrica (termoelemento, pirômetro) (figura 1.4).

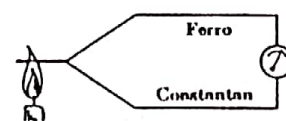


Fig. 1.4

4. PELA LUZ.

Perante a incidência de um fecho luminoso sobre uma camada de selênio ou de telúrio depositada sobre um corpo de ferro, forma-se uma diferença de potencial (células fotoelétricas, medidores de intensidade luminosa) (figura 1.5).

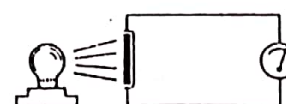


Fig. 1.5

5. POR ATRITO.

Atritando uma haste de vidro com um pedaço de couro, ou uma haste de ebonite com lã, as hastes ficam eletrizadas, ou seja, os elétrons se acumulam ou são atraídos sobre as mesmas (eletricidade estática) (figura 1.6).

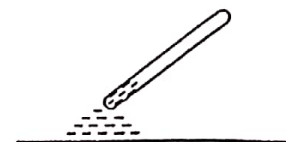


Fig. 1.6

6. POR CRISTAIS PIEZELÉTRICOS.

Alguns cristais, destacando-se o quartzo, têm a propriedade de desenvolver cargas elétricas, quando suas superfícies ficam sob a ação de solicitações mecânicas de tração ou de compressão (cristais de quartzo) (figura 1.7).

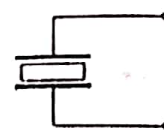
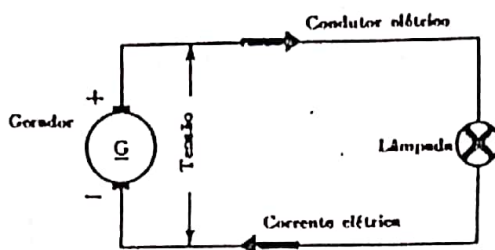
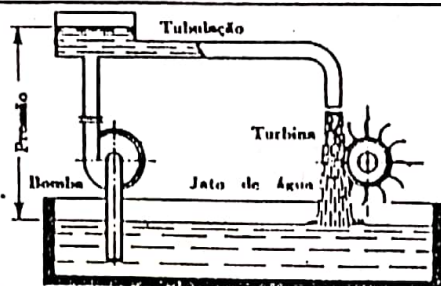


Fig. 1.7

Fig. 2.1 Circuito de corrente



As bombas hidráulicas dão origem à determinada pressão, para fazer com que a água circule num circuito fechado. Por meio de uma máquina elétrica, (o gerador), é desenvolvida também uma certa pressão — a tensão elétrica — que movimenta os elétrons através do condutor elétrico (figura 2.1). Para se obter um deslocamento de elétrons, ou seja, uma corrente elétrica, é necessário:

1. uma diferença de potencial ou tensão elétrica; 2. uma ligação condutora entre o gerador e o consumidor, pois a corrente apenas pode fluir quando o circuito está fechado, e sob a ação de determinada tensão.

O circuito de corrente é formado de: geradores — condutores — consumidores — chaves e dispositivos de proteção (fusíveis) (figura 2.2.).

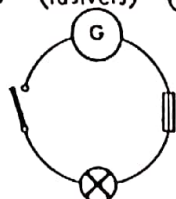


Fig. 2.2 Circuito de corrente

Pilha	Gerador	Condutor com derivação	Fusível	Lâmpada
Bateria	Motor	Chave	Resistor	Instrumentos de medição

Fig. 2.3 Simbologia

CONDUTORES ELÉTRICOS.

São materiais que oferecem pequena resistência ao deslocamento dos elétrons. Todos os metais e carvões assim como ácidos, lixívia e soluções salinas são condutores. Prata, cobre e alumínio são os melhores condutores empregados em grande escala. Os líquidos, quando sob a ação de uma corrente elétrica, se decompõem. A condução nestes é feita pelos íons, que são átomos onde existe deficiência ou excesso de elétrons.

SEMICONDUCTORES ELÉTRICOS.

Como o selênio, o óxido de cobre, o germânio e o silício, mostram uma condutividade que se localiza entre a dos condutores e a dos isolantes, e que se eleva com aumento de temperatura. Semicondutores são empregados como retificadores (págs.87/88) e como transistores (págs.106, 107 e 125).

ISOLANTES ELÉTRICOS.

São materiais que oferecem elevada resistência à corrente elétrica. Suas características elétricas (resistividade, rigidez dielétrica, resistência superficial, estabilidade perante descargas e constante dielétrica) devem estar de acordo com o emprego e com as normas técnicas vigentes no país.

Além das mencionadas, ainda são importantes as seguintes propriedades:

1. Não podem ser higroscópicos, isto é, não devem absorver água ou umidade.
2. Não devem ser comburentes, ou seja, não devem queimar sob a ação de uma chama nem continuar queimando após afastados desta.
3. Precisam ter elevada estabilidade térmica, o que significa que não devem perder sua forma até determinados e elevados limites de temperatura.
4. As propriedades mecânicas devem satisfazer às condições de uso (dureza, elasticidade, deformabilidade).

Segundo sua origem, destacam-se isolantes naturais e artificiais. Do grande número destes, salientam-se:

Isolantes naturais: — ar (quando seco), óleo mineral (livre de água e de ácidos), algodão, cera, goma-laca (para altas tensões), papel, mica (sólido de escamas), amianto (pedra fibrosa), quartzo, betume, asfalto, micanite (mica impregnada com goma-laca), vidro (fundido de areia de quartzo, soda e calcário), fibra de vidro e produtos cerâmicos, como a porcelana (composto de caulim, feldspato e areia de quartzo), a esteatite (obtido de feldspato, silicato de magnésio ou talco e areia de quartzo) e argila refratária.

Isolantes artificiais: — são constituídos sobretudo de carvão (carbono), água, ar e cálcio, por polimerização ou policondensação química. Nestas transformações, determinadas propriedades adquirem características especiais.

Plásticos policondensados: — são resinas sintéticas que, pela separação da água, resultam sobretudo das ligações de creosóis, fenóis e uréias com formaldeídos (plásticos fenólicos, ou aminoplásticos). Secos e triturados, são prensados com massas de enchimento (madeira moída, pedras, fibras, mica) a cerca de 150°C e 400 atmosferas de pressão, dentro de moldes de elevado grau de polimento. Possuem o nome comercial de Baquelite. Quando se emprega como base uma camada de papel ou de tecido em combinação com a resina sintética, resulta a diluição de resinas em solventes apropriados.

Plásticos polimerizados: — são resultantes normalmente de acetilenos e etilenos e se formam pela interligação de moléculas e de cadeias de carbonatos. Os principais plásticos polimerizados são: **cloro de polivinila (PVC)**. Sua forma inicial é rígida. Quando triturado, se transforma em pó branco, o qual é posteriormente misturado com líquidos oleosos, para amolecê-lo. Acrescentam-se ainda corantes. Em seguida, esta mistura sofre a ação flexíveis, como a borracha. **Polistírol** é um isolante aplicado sob pressão em moldes e em fitas elásticas; **Poliéster**, prova de óleo, ozona e intempéries.

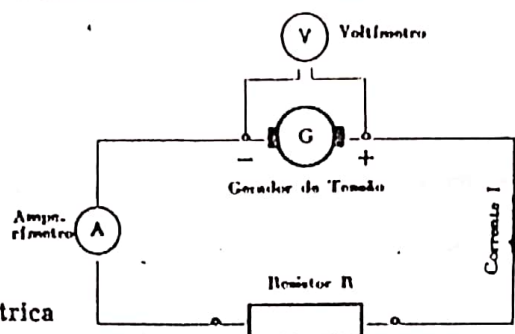


Fig. 3.1 Circuito da corrente elétrica

Tensão U medida em volts (V)

Corrente I medida em ampères (A)

Resistor R medido em ohms (Ω)

TENSÃO.

Uma tensão, genericamente, pode apenas aparecer entre dois pontos (por exemplo, em um cabo tracionado entre dois suportes). A tensão elétrica, ou diferença de potencial elétrico, é a diferença da concentração de elétrons entre dois pontos do circuito de corrente. O ponto de maior concentração de elétrons é dito pólo negativo ($-$), enquanto que o outro ponto, conseqüentemente de menor concentração de elétrons, é dito pólo positivo ($+$). Esta polaridade é convencional, tendo sido, antigamente, designada ao contrário. A tensão U é a força elétrica (pressão) que desloca os elétrons através do circuito fechado (figura 3.1). Esta é a razão por que a tensão elétrica que se desenvolve internamente em um gerador é chamada de **força eletromotriz (f.e.m.)**, designada por E e é medida em volts.

A tensão existente nos terminais de saída do gerador é designada por U .

A unidade de tensão é 1 volt (V).

1 volt é a tensão necessária para fazer com que 1 ampère circule por um resistor de 1 ohm.*1

A medida da tensão é feita por intermédio de um voltímetro, que sempre é ligado entre duas partes condutoras do gerador ou do consumidor (figura 3.2).

1 kV (quilovolt) = 1 000V; 1mV (milivolt) = 0,001V; 1 μ V (microvolt) = 0,000 001V.

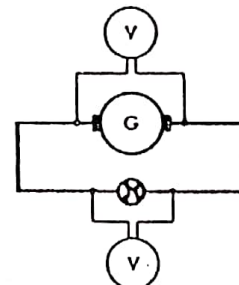


Fig. 3.2 Ligação de Voltímetros

INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA.

A corrente elétrica ou intensidade de corrente é o deslocamento dos elétrons livres no circuito. A hipótese anterior foi mantida, segundo a qual a corrente circula fora do gerador, do pólo positivo para o negativo, e dentro deste, do pólo negativo para o positivo.

A unidade de corrente é 1 ampère (A), sendo 1mA (miliampère) = $\frac{1}{1000}$ A e 1 μ A (microampère) = 0,000 001A.

Quando a corrente é de 1 ampère, pelo condutor passam 6,25 trilhões ($6,25 \cdot 10^{18}$) de elétrons num segundo. A corrente elétrica tem influência térmica, magnética e química. A corrente de 1 ampère é estabelecida segundo seu efeito químico.

1 ampère é a intensidade de corrente que separa em 1 segundo, 1,118mg de prata de uma solução de nitrato de prata.*2

A corrente elétrica é medida com um amperímetro, cujo funcionamento se baseia nos efeitos desta corrente (atualmente em geral magnéticos). O amperímetro é ligado em série com o gerador e o consumidor.

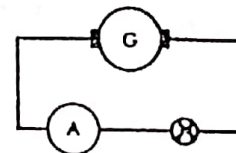


Fig. 3.3 Ligação de Amperímetros

RESISTÊNCIA.

A resistência R resulta das forças de ligação dos elétrons com os respectivos núcleos atômicos, e depende da matéria-prima, das dimensões e da temperatura do condutor.

A unidade de resistência é 1 ohm (Ω).

Pelas leis da eletricidade se estabelece que:

1 ohm é a resistência de um fio de mercúrio, a 0° C, que tem um comprimento de 1,063m e uma seção de 1mm².*3

A determinação da resistência é feita normalmente por cálculo, e, mais raramente, por medição com um ohmímetro.
1k Ω (quilohm) = 1 000 Ω ; 1M Ω (Megohm) = 1 000 000 Ω

O condutor elétrico é o caminho por onde circula a corrente; simultaneamente, entretanto, este oferece uma determinada resistência à circulação. Estas propriedades contraditórias do condutor são expressas em unidades de condutividade e de resistividade. Seu valor depende do material.

RESISTIVIDADE.

A resistividade de um condutor é expressa pela resistência do mesmo num comprimento de 1 metro e numa seção de 1mm^2 , à temperatura de 20°C .¹

A resistividade é simbolizada por ρ (ro) e expressa em $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ (ou $\Omega \cdot \text{cm}$).

CONDUTIVIDADE.

A condutividade é o valor inverso da resistividade. É simbolizado por κ (capa) e expressa em $\frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}$ ou siemens.

Entende-se por condutividade de um condutor o valor obtido que coincide numericamente com o comprimento deste, sendo a resistência igual à 1 ohm, e a seção de 1mm^2 , a 20°C .²

RESISTÊNCIA DO CONDUTOR.

$$\text{Condutividade} = \frac{1}{\text{Resistividade}} \quad \kappa = \frac{1}{\rho} \quad \rho = \frac{1}{\kappa}$$

O valor da resistência do condutor depende:

1. Da resistividade da matéria-prima condutora (ρ).
2. Do comprimento l do condutor.
3. Da seção A do condutor.
4. Da temperatura do condutor.

A resistência do condutor aumenta com o aumento do comprimento deste, e inversamente se reduz com o aumento da seção. Utilizando o valor da resistividade e desprezando o efeito térmico, podemos estabelecer a seguinte equação:

$$\text{Resistência} = \frac{\text{resistividade} \cdot \text{comprimento do condutor}}{\text{seção transversal}} \quad R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \text{ou} \quad R = \frac{l}{\kappa \cdot A} \quad [\Omega]$$

Onde R =Resistência em ohms, l o comprimento do fio em metros e A a seção condutora em mm^2 .

CONDUTÂNCIA.

A condutância é o inverso da resistência do condutor, R . É designado por G e medido em siemens (S).

$$\text{Condutância} = \frac{1}{\text{resistência}} \quad G = \frac{1}{R} \left[\text{S ou } \frac{1}{\Omega} \right] \quad R = \frac{1}{G} \quad [\Omega]$$

Material	ρ	κ	α	Material	ρ	κ	α
Cobre	0,0178	56	0,004	Prata-liga WM 30	0,30	3,3	0,0007
Alumínio	0,028	35	0,0038	Manganin WM 42	0,42	2,4	Pratic. = 0
Zinco	0,06	16,5	0,0039	Constantan WM 50	0,50	2,0	Pratic. = 0
Ferro WM 13	0,13	8	0,0046	Níquel-cromo WM 100	1,00	1,0	0,0002
Chumbo	0,21	5	0,0038	Carvão	50-100	0,02-0,01	-0,0003

Exemplo 1: Qual o valor da resistência de um fio de alumínio de 4mm^2 de seção, e tendo 30 metros de comprimento?

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,028 \cdot 30}{4} = 0,21 \Omega.$$

Exemplo 2: Qual o comprimento que um fio de constantan de $1,6\text{mm}^2$ de diâmetro deve ter, para que sua resistência seja de 12 ohms?

$$A = d^2 \cdot 0,785 = 1,6 \cdot 1,6 \cdot 0,785 = 2 \text{ mm}^2;$$

$$l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{12 \cdot 2}{0,5} = 48 \text{ m.}$$

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.

Quando um condutor é aquecido, sua resistência se altera. Esta alteração depende do tipo de material, tendo-se constatado que nos metais uma elevação de temperatura eleva a resistência, no carvão e nos líquidos a resistência cai, no constantan (ligas de cobre e níquel) seu valor permanece praticamente inalterado. A variação de resistência de um condutor com resistência de 1 ohm com uma variação de temperatura de 1°C , é o coeficiente de temperatura, e é simbolizado por α (alfa).

Exemplo:

O enrolamento de cobre de uma máquina possui a 20°C um valor de 80Ω . Qual é o valor, da resistência a 70°C ?

Coeficiente de temperatura para o cobre segundo a tabela $\alpha = 0,004$, elevação da resistência para 80Ω com $1^\circ\text{C} = 80 \cdot 0,004 = 0,32\Omega$;

Elevação da resistência perante $70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$, isto é, 50°C $= 50 \cdot 0,32 = 16\Omega$;

Desta forma, a resistência do enrolamento a $70^\circ\text{C} = 80 + 16 = 96\Omega$.

A resistência do condutor aquecido resulta também da seguinte fórmula:

$$R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t^\circ)$$

R_2 = resistência do enrolamento quente.

R_1 = resistência do enrolamento frio.

α = coeficiente de temperatura (ver tabela).

Δt° = Elevação de temperatura $= t_2 - t_1$.

$$R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t^\circ) = 80 \cdot (1 + 0,004 \cdot 50) = 80 \cdot (1 + 0,2) = 80 \cdot 1,2 = 96\Omega.$$