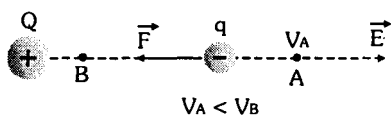
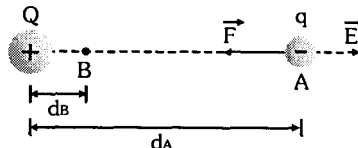


**Diferença de Potencial - ddp**

Seja uma região submetida a um campo elétrico  $\vec{E}$  criado por uma carga  $Q$  positiva.

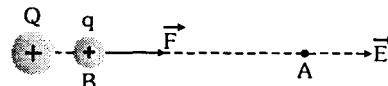
Colocando um elétron  $-q$  no ponto  $A$ , situado a uma distância  $d_A$  da carga  $Q$ , ele se movimentará no sentido contrário do campo, devido à força  $\vec{F}$  que surge no elétron, indo em direção ao ponto  $B$ , situado a uma distância  $d_B$  da carga  $Q$ .



Como  $d_A > d_B$ , o potencial do ponto  $A$  é menor que o do ponto  $B$ , isto é,  $V_A < V_B$ .

Conclui-se, então, que uma carga *negativa* move-se do *potencial menor para o maior*.

Se uma carga *positiva*  $+q$  fosse colocada no ponto  $B$ , ela se movimentaria na mesma direção do campo elétrico, indo do *potencial maior para o menor*.



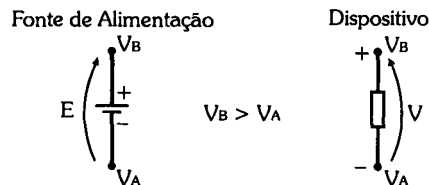
Assim, para que uma carga se movimente, isto é, para que haja condução de eletricidade, é necessário que ela esteja submetida a uma *diferença de potencial* ou *ddp*.

**Tensão Elétrica**

A diferença de potencial elétrico entre dois pontos é denominada *tensão elétrica*, podendo ser simbolizada pelas letras  $V$ ,  $U$  ou  $E$ , cuja unidade de medida é também o *volt [V]*.

Matematicamente, tem-se:

$$E = V_B - V_A \quad \text{ou} \quad V = V_B - V_A$$



Num circuito, indica-se uma tensão por uma seta voltada para o ponto de maior potencial.

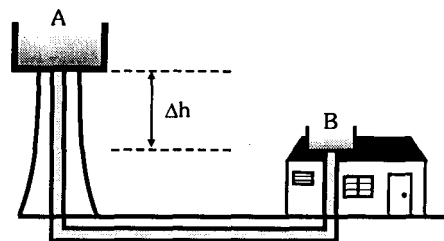
**Obs.:** Neste livro, usaremos o símbolo  $E$  para identificar fontes de alimentação contínuas (pilha, bateria e fonte de tensão eletrônica) e o símbolo  $V$  para identificar a tensão contínua entre terminais de outros dispositivos (resistores, indutores e capacitores).

**Analogia entre Eletricidade e Hidráulica**

No sistema hidráulico ao lado, a água se desloca da caixa d'água  $A$  para a  $B$  por causa da diferença de altura  $\Delta h$ .

Cada ponto do espaço possui um potencial gravitacional que é proporcional à sua altura.

Portanto, a *corrente* de água existe por causa da *diferença de potencial* gravitacional entre as caixas d'água.



**Nota:** Consulte no Apêndice 1, o tópico III.

### Alessandro G. Volta (1745 – 1827)

Físico e professor italiano, tinha 24 anos quando publicou seu primeiro trabalho científico: “Da Força Magnética do Fogo e dos Fenômenos daí Dependentes”.

Por meio de experimentos, provou que a eletricidade do corpo de um animal é idêntica à eletricidade gerada por materiais inanimados.

Foi o inventor da pilha elétrica.

A unidade de medida de potencial e tensão elétrica é volt, em sua homenagem.



### A Perna da Rã e a Célula Voltaica

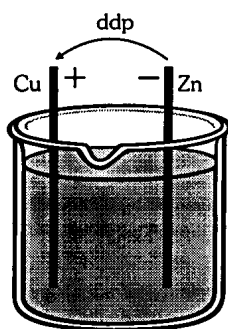
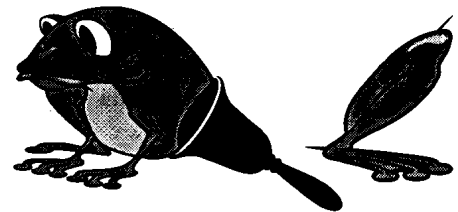
Enquanto a eletricidade estava restrita à eletrostática, era difícil achar uma utilização prática para ela, já que cargas paradas não realizam trabalho, nem é possível realizar a conversão de energia elétrica em outra forma útil de energia. Isso só seria possível se as cargas se movimentassem.

Já, de um corpo carregado eletricamente, utilizando um condutor, o máximo que se consegue é um fluxo quase instantâneo de cargas e, eventualmente, alguma faísca.

Era preciso, portanto, criar um processo para manter o fluxo contínuo das cargas, possibilitando a conversão dessa energia elétrica em outra forma, como o calor.

Em 1870, o físico e anatomista Luigi Galvani (1737 – 1798) amputou a perna de uma rã para estudar os seus nervos e a possível existência de eletricidade animal.

Mexendo num dos nervos da perna da rã com duas peças de metais diferentes, Galvani notou que quando as extremidades superiores dos instrumentos se tocavam, a perna da rã reagia, como se estivesse viva. Dessa observação, ele concluiu que os nervos eram capazes de produzir eletricidade.



Alessandro Volta, aproveitando-se dessa descoberta quase acidental, constatou, por meio de diversos experimentos, que a eletricidade não era propriedade dos nervos, mas dos metais diferentes imersos em uma solução de ácido ou de sal. Nesses casos, os metais se eletrizam com polaridades contrárias.

Ligando as extremidades externas dos metais com um condutor, a diferença de potencial entre eles garante o fluxo constante de cargas, isto é, uma corrente elétrica estável.

Uma célula voltaica simples pode ser obtida mergulhando uma barra de zinco (Zn) e outra de cobre (Cu) em uma solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Nesse caso, a barra de zinco torna-se negativa e a de cobre positiva, por meio da ionização de seus átomos.

O conceito de diferença de potencial elétrico e movimento de carga elétrica leva-nos à *eletrodinâmica*, isto é, ao estudo das *cargas elétricas em movimento*.

Aplicando uma diferença de potencial num condutor metálico, os seus elétrons livres movimentam-se de forma ordenada no sentido contrário ao do campo elétrico.

Essa movimentação de elétrons denomina-se *corrente elétrica*, que pode ser simbolizada por  $i$  ou  $I$ , sendo que sua unidade de medida é o *ampère [A]*.

### Intensidade da Corrente Elétrica

A intensidade instantânea  $i$  da corrente elétrica é a medida da variação da carga  $dQ$ , em *coulomb [C]*, por meio da seção transversal de um condutor durante um intervalo de tempo  $dt$ , em *segundo [s]*.

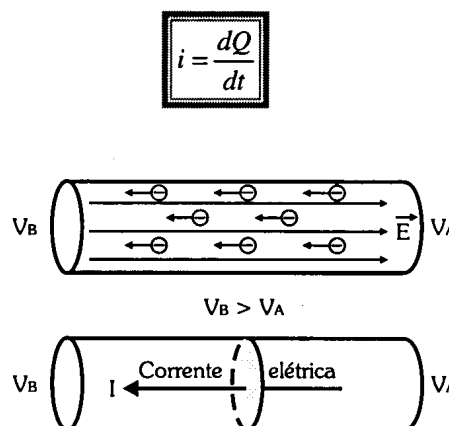
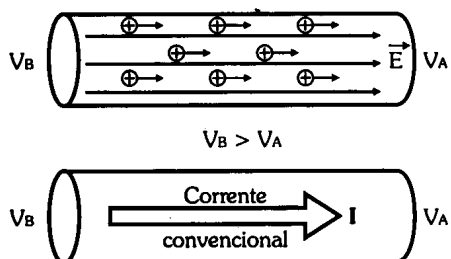
Matematicamente, o valor instantâneo da corrente  $i$  é dado por:

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

Se a variação da carga for linear, a corrente será contínua e constante. Nesse caso, ela será simbolizada por  $I$  e poderá ser calculada por:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

**Obs.:** Pelas expressões apresentadas, vemos que o *ampère [A]* é a denominação usual para a unidade de medida de corrente, que é *coulomb/segundo [C/s]*.

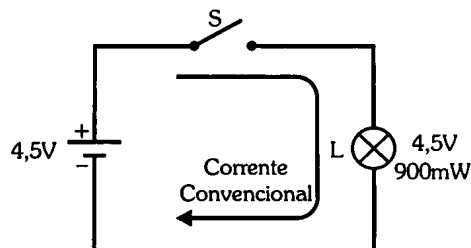


### Corrente Elétrica Convencional

Nos condutores metálicos, a corrente elétrica é formada apenas por *cargas negativas* (elétrons) que se deslocam do potencial menor para o maior.

Assim, para evitar o uso freqüente de valor negativo para corrente, utiliza-se um *sentido convencional* para ela, isto é, considera-se que a corrente elétrica num condutor metálico seja formada por cargas positivas, indo, porém, do *potencial maior para o menor*.

Num circuito, indica-se a corrente convencional por uma seta, no sentido do potencial maior para o menor, como no circuito da lanterna, em que a corrente sai do pólo positivo da bateria (maior potencial) e retorna ao seu pólo negativo (menor potencial).





**André-Marie Ampère (1775 – 1836)**

Físico francês, desenvolveu diversos trabalhos sobre a aplicação da matemática na física e realizou diversos experimentos e descobertas no campo do eletromagnetismo.

Analisou profundamente os fenômenos eletrodinâmicos e descobriu o princípio da telegrafia elétrica.

Em 1826, publicou a teoria dos fenômenos eletrodinâmicos. Segundo ele, todos os fenômenos elétricos, do magnetismo terrestre ao eletromagnetismo, derivam de um princípio único: a ação mútua de suas correntes elétricas. Essa descoberta é uma das mais importantes da física moderna.

A unidade de medida de corrente elétrica é ampère, em sua homenagem.

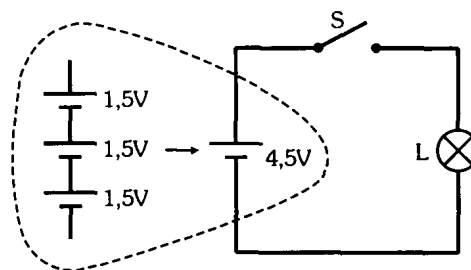
**3.3 Fontes de Alimentação**

O dispositivo que fornece tensão a um circuito é chamado genericamente de fonte de tensão ou fonte de alimentação.

**Pilhas e Baterias**

Voltando ao circuito da lanterna, nele identificamos a bateria, que nada mais é do que um conjunto de pilhas.

A pilha comum, quando nova, possui tensão de 1,5V. Associadas em série, elas podem aumentar essa tensão, como no caso da lanterna, cuja bateria é formada por três pilhas de 1,5V, resultando numa tensão de 4,5V.



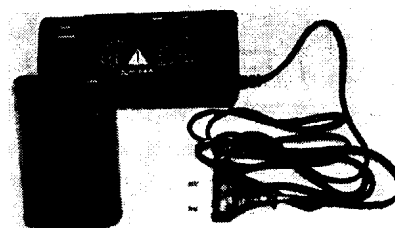
Existem, ainda, outros tipos de bateria como, por exemplo, a de 9V e a minibateria de 3V.

Todas essas baterias produzem energia elétrica a partir de energia liberada por reações químicas.

Com o tempo de uso, as reações químicas dessas baterias liberam cada vez menos energia, fazendo com que a tensão disponível seja cada vez menor.

Uma alternativa são as baterias que podem ser recarregadas por aparelhos apropriados, inclusive as pilhas comuns, o que é importante, sobretudo no que se refere ao meio ambiente.

As baterias recarregáveis mais difundidas são aquelas utilizadas em equipamentos de uso constante, como os telefones celulares, ou de equipamentos que demandam maiores correntes elétricas, como as das filmadoras de videocassete.

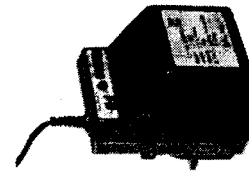


**NÓS CUIDAMOS DO MEIO AMBIENTE?**  
As pilhas e baterias recarregáveis e não recarregáveis não devem ser jogadas em lixos comuns, pois são fabricadas com materiais altamente tóxicos, podendo causar danos à saúde e ao meio ambiente. Infelizmente, somente nesse final de século nós passamos a nos preocupar com o meio ambiente, embora ainda não tenhamos uma solução concreta para o problema da destinação desse tipo de lixo.

## Fontes de Alimentação Eletrônicas

No lugar das pilhas e baterias, é comum a utilização de circuitos eletrônicos que convertem a tensão alternada da rede elétrica em tensão contínua.

Esses circuitos são conhecidos por eliminadores de bateria, e são fartamente utilizados em equipamentos portáteis como *videogames* e aparelhos de som.

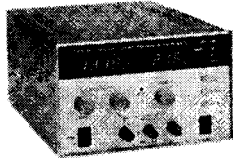


Porém, em laboratórios e oficinas de eletrônica, é mais utilizada a fonte de alimentação variável (ou ajustável).

Essa fonte tem a vantagem de fornecer tensão contínua e constante, cujo valor pode ser ajustado manualmente, conforme a necessidade.

Nas fontes variáveis mais simples, o único tipo de controle é o de ajuste de tensão. Nas mais sofisticadas, existem ainda os controles de ajuste fino de tensão e de limite de corrente.

Símbolo da Fonte de Alimentação Variável

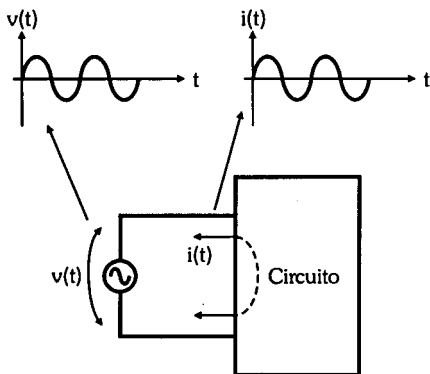
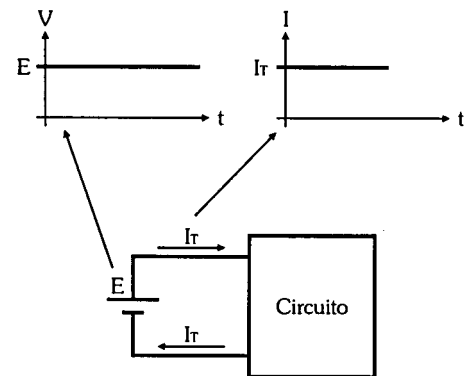


## Corrente Contínua

As pilhas e baterias analisadas têm em comum a característica de fornecerem corrente contínua ao circuito.

**Obs.:** Abrevia-se corrente contínua por *CC* (ou, em inglês, *DC - Direct Current*).

Isso significa que a fonte de alimentação *CC* mantém sempre a *mesma polaridade*, de forma que a corrente no circuito tem sempre o *mesmo sentido*.



## Corrente Alternada

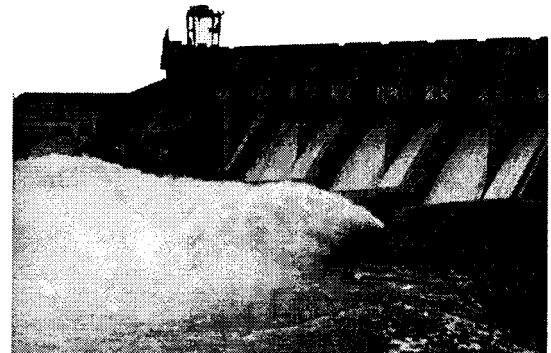
Já, a rede elétrica fornece às residências e indústrias a corrente alternada.

**Obs.:** Abrevia-se corrente alternada por *CA* (ou, em inglês, *AC - Alternate Current*).

Nesse caso, a tensão *muda de polaridade* em períodos bem-definidos, de forma que a corrente no circuito circula *ora num sentido, ora no outro*.

A corrente alternada pode ser gerada em diferentes tipos de usina de energia elétrica, como, por exemplo, as hidrelétricas, termoeletricas e nucleares.

O Brasil é um dos países que possuem mais usinas hidrelétricas no mundo, devido ao seu enorme potencial hídrico.

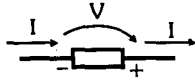


### 3.4

## Bipolos Gerador e Receptor

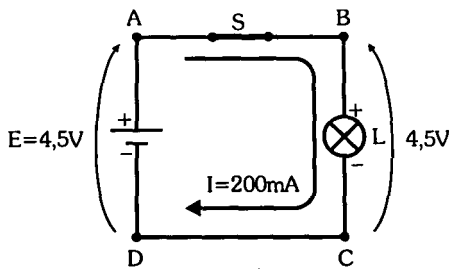
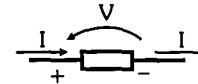
Denomina-se *bipolo* qualquer dispositivo formado por dois terminais, podendo ser representado genericamente pelo símbolo mostrado ao lado.

Bipolo Genérico



Se o bipolo *eleva* o potencial elétrico do circuito, ou seja, se a corrente entra no dispositivo pelo pólo de menor potencial e sai pelo pólo de maior potencial, o dispositivo é chamado de *gerador* ou *bipolo ativo*, como a fonte de alimentação.

Se o bipolo provoca *queda* de potencial elétrico no circuito, ou seja, se a corrente entra no dispositivo pelo pólo de maior potencial e sai pelo pólo de menor potencial, o dispositivo é chamado de *receptor* ou *bipolo passivo*, como a lâmpada.



No circuito da lanterna, a bateria de  $4,5V$  fornece uma corrente de  $200mA$  à lâmpada (no Capítulo 4, mostraremos como se calcula esse valor de corrente).

A corrente sai do ponto  $A$  (pólo positivo da bateria) indo em direção ao ponto  $B$ , atravessa a lâmpada até o ponto  $C$  e retorna pelo ponto  $D$  (pólo negativo da bateria).

Acompanhando o sentido da corrente elétrica, verificamos que a bateria eleva o potencial do circuito, fornecendo energia, e a lâmpada provoca queda de potencial no circuito, consumindo energia, isto é, transformando-a em luz (e em calor).

### 3.5

## Terra (GND) ou Potencial de Referência

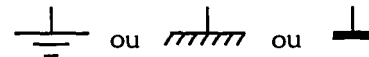
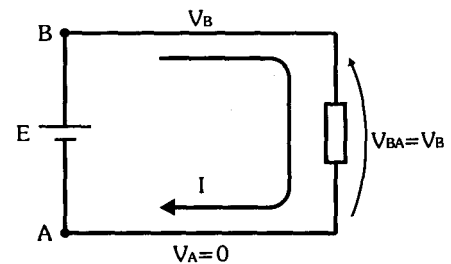
Num circuito, deve-se sempre estabelecer um ponto cujo potencial elétrico servirá de *referência* para a medida das tensões.

Em geral, a referência é o *pólo negativo* da fonte de alimentação, que pode ser considerado um ponto de *potencial zero*, fazendo com que a tensão entre qualquer outro ponto do circuito e essa referência seja o próprio potencial elétrico do ponto considerado.

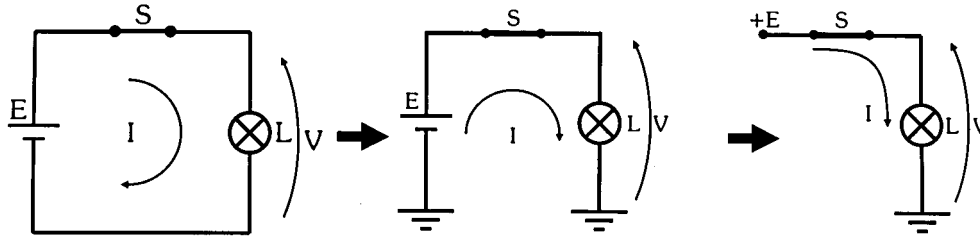
Assim, se  $V_A$  é a referência, a tensão  $V_{BA}$  entre os pontos  $B$  e  $A$  é dada por:

$$V_{BA} = V_B - V_A = V_B - 0 = V_B$$

A essa referência damos o nome de *terra* ou *GND* (do inglês, *ground*), cujos símbolos mais usuais são mostrados ao lado.



No caso da lanterna, podemos substituir a linha do potencial de referência por símbolos de terra, simplificando o seu circuito para um dos seguintes diagramas:



Em muitos equipamentos, esse potencial de referência do circuito é ligado à sua carcaça (quando esta é metálica) e a um terceiro pino do plugue que vai ligado à tomada da rede elétrica.

Esse terceiro pino serve para conectar o terra do circuito à malha de aterramento da instalação elétrica, com o objetivo de proteger o equipamento e o usuário de qualquer acúmulo de carga elétrica.

### ATERRAMENTO JÁ!

*No Brasil, é muito comum as malhas de aterramento existirem apenas em instalações industriais, e não em instalações residenciais, o que é um grave erro.*

*A “norma técnica popular” recomenda a ligação do fio terra à torneira para que o encanamento sirva de aterramento. Grande bobagem! Qualquer descarga elétrica estaria sendo espalhada para diversos pontos do encanamento residencial, sem contar que há vários anos os canos de ferro estão sendo substituídos por canos de PVC, que é um isolante.*

*Nos computadores, simplesmente corta-se o pino terra do plugue, já que a maioria das tomadas residenciais têm apenas dois pontos de conexão (fase e neutro). Já inventaram até o “adaptador” de plugue de três para dois pinos.*

*Temos de mudar isso!*



## 3.6

## Instrumentos de Medidas Elétricas

Os instrumentos de medidas servem para mensurar grandezas físicas. Os valores medidos podem ser obtidos de forma analógica ou digital.

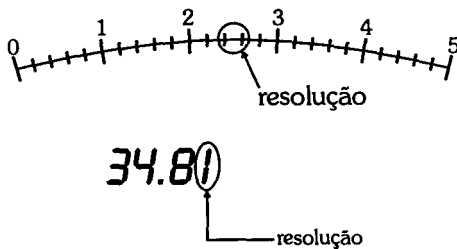
No instrumento *analógico*, o resultado é mostrado por um *ponteiro* que deflete sobre uma escala graduada, sendo que a leitura é feita por meio da analogia entre o valor indicado e o valor de fundo de escala selecionado.

No instrumento *digital*, o resultado é mostrado diretamente num *display*, conforme o valor de fundo de escala selecionado.

Instrumento Analógico	Instrumento Digital
	

## Resolução

Resolução é a menor medida que o instrumento pode distinguir com certeza.

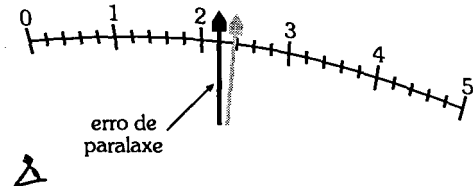


Se o instrumento for *analógico*, a sua resolução é dada pelo valor da *menor divisão* da escala graduada, conforme o fundo de escala selecionado.

Se o instrumento for *digital*, a sua resolução é dada pela unidade do *dígito menos significativo* em relação ao ponto decimal, conforme o fundo de escala selecionado.

## Erro de Paralaxe

Um cuidado importante a ser tomado com o instrumento *analógico* é que a leitura da medida deve ser feita olhando o ponteiro de frente, evitando o *erro de paralaxe*.



## Tolerância e Erro

Nenhum instrumento de medida é perfeito, da mesma forma que nenhum dispositivo fabricado é perfeito. Por isso, os fabricantes fornecem a margem de erro prevista para o seu produto, que é denominada *tolerância*.

### Análise do Erro

A tolerância pode ser dada *percentualmente* ( $\pm e\%$ ) ou em *valores absolutos* ( $\pm e$ ), informando a *precisão* do produto.

Para analisar uma medida realizada por um instrumento, tendo como referência um *valor nominal* (ou *teórico*), pode-se utilizar a seguinte expressão:

$$e\% = \frac{\text{valor medido} - \text{valor nominal}}{\text{valor nominal}} \times 100$$

## Multímetro

São vários os instrumentos utilizados em laboratórios e oficinas de eletrônica que medem grandezas elétricas, sendo que os principais são o *multímetro* e o *osciloscópio*.

Num primeiro momento, o instrumento que nos interessa é o *multímetro*, já que ele tem a finalidade de medir as grandezas elétricas que são objetos deste estudo, a saber: tensão, corrente e resistência. Mais adiante, analisaremos a utilização do *osciloscópio*.

O *multímetro*, seja *analógico* ou *digital*, possui dois terminais nos quais são ligadas as pontas de prova ou pontas de teste. A ponta de prova *vermelha* deve ser ligada ao terminal *positivo* do *multímetro* (vermelho ou marcado com sinal +) e a ponta de prova *preta* deve ser ligada ao terminal *negativo* do *multímetro* (preto ou marcado com sinal -).

Os *multímetros* possuem alguns controles, sendo que o principal é a chave rotativa ou conjunto de teclas para a seleção da grandeza a ser medida (tensão, corrente ou resistência) com os respectivos valores de fundo de escala.

Multímetro Analógico



Multímetro Digital





Nos multímetros digitais mais modernos, os controles possuem multifunções, tornando-os mais versáteis, menores e leves.

Embora existam instrumentos de medida que funcionam apenas como voltímetros, amperímetros ou ohmímetros, eles são mais utilizados por profissionais que trabalham nas áreas de instalações elétricas prediais e industriais e instalações de redes telefônicas.

Nos laboratórios e oficinas de eletrônica e na maioria dos trabalhos técnicos de campo, o multímetro é o melhor instrumento devido a sua versatilidade e multiplicidade de funções.

**Obs.:** Daqui em diante, as referências ao voltímetro, amperímetro e ohmímetro corresponderão ao multímetro operando, respectivamente, nas escalas de tensão, corrente e resistência.

## Interferência do Multímetro no Circuito

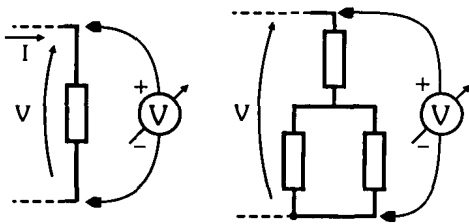
Quando um multímetro operando como voltímetro ou amperímetro é ligado a um circuito para realizar uma medida, ele interfere em seu comportamento, causando um erro.

Porém, esse erro pode ser desprezado na maioria dos casos, pois geralmente é menor que as tolerâncias dos componentes do circuito, principalmente quando o multímetro for digital.

## Voltímetro

O voltímetro é o instrumento utilizado para medir a *tensão elétrica* (diferença de potencial) entre dois pontos de um circuito elétrico.

Para que o multímetro funcione como um voltímetro, basta selecionar uma das escalas para medida de tensão (CC ou CA).

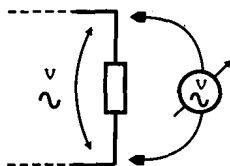
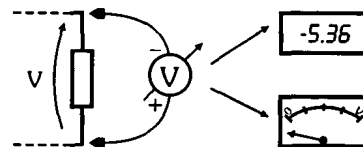


Para medir uma tensão, os terminais do voltímetro devem ser ligados aos dois pontos do circuito em que se deseja conhecer a diferença de potencial, isto é, em *paralelo*, podendo envolver um ou mais dispositivos.

Se a tensão a ser medida for *contínua* (CC), o pólo positivo do voltímetro deve ser ligado ao ponto de maior potencial e o pólo negativo, ao ponto de menor potencial.

Assim, o voltímetro, seja analógico ou digital, indicará um valor positivo de tensão.

Estando a ligação dos terminais do voltímetro invertida, sendo digital, o *display* indicará valor negativo; sendo analógico, o ponteiro tentará defletir no sentido contrário, podendo danificá-lo.



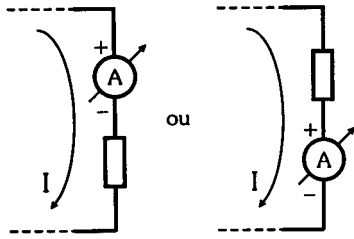
Se a tensão a ser medida for *alternada* (CA), os pólos positivo e negativo do voltímetro podem ser ligados ao circuito sem se levar em conta a polaridade, resultando numa medida sempre positiva.

Normalmente, tanto os multímetros analógicos quanto os digitais possuem escalas específicas para a medida de tensão CA.

## Amperímetro

O amperímetro é o instrumento utilizado para medir a *corrente elétrica* que atravessa um condutor ou um dispositivo.

Para que o multímetro funcione como um amperímetro, basta selecionar uma das escalas para medida de corrente (*CC* ou *CA*).



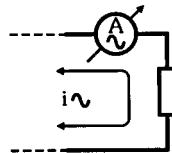
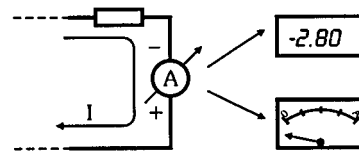
Para medir uma corrente, o circuito deve ser aberto no ponto desejado, ligando o amperímetro em *série*, para que a corrente passe por ele.

A corrente que passa por um dispositivo pode ser medida antes ou depois dele, já que a corrente que entra num bipolo é a mesma que sai.

Se a corrente a ser medida for *contínua* (*CC*), o pólo positivo do amperímetro deve ser ligado ao ponto pelo qual a corrente convencional entra, e o pólo negativo, ao ponto pelo qual ela sai.

Assim, o amperímetro, seja analógico ou digital, indicará um valor positivo de corrente.

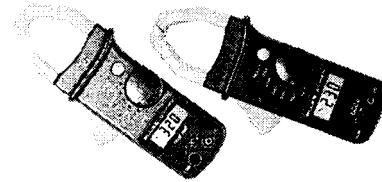
Estando a ligação dos terminais do amperímetro invertida, sendo digital, o *display* indicará valor negativo; sendo analógico, o ponteiro tentará defletir no sentido contrário, podendo danificá-lo.



Se a corrente a ser medida for *alternada* (*CA*), os pólos positivo e negativo do amperímetro podem ser ligados ao circuito sem se levar em conta a polaridade, resultando numa medida sempre positiva.

Um amperímetro *CA* muito comum para aplicação em instalações elétricas residenciais e industriais é o amperímetro de alicate.

Nele, a corrente é medida de forma indireta, a partir do campo magnético que surge em torno do condutor.



A vantagem desse amperímetro é que, além de não necessitar abrir o condutor para realizar a medida, ele oferece maior proteção para o operador, principalmente quando a corrente a ser medida é de alta intensidade.

Em geral, os multímetros analógicos e digitais não possuem escalas específicas para a medida de corrente *CA*. Na prática, o que se faz é medir a tensão *CA* e, por meio da Primeira Lei de Ohm, obter a corrente *CA*.

**Obs.:** A Primeira Lei de Ohm será apresentada no Capítulo 4.

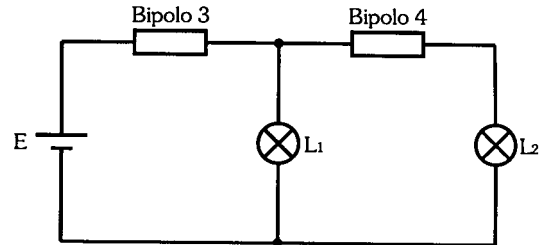
## Exercícios Propostos

### Corrente Elétrica

- 3.1) Qual é a intensidade da corrente elétrica em um fio condutor, sabendo que durante  $12s$  a variação da carga através da sua seção transversal é linear e igual a  $3600\mu C$ ?
- 3.2) Pela seção transversal de um fio condutor passou uma corrente de  $2mA$  durante  $45s$ . Quantos elétrons atravessaram essa seção nesse intervalo de tempo?

### Terra (GND) ou Potencial de Referência

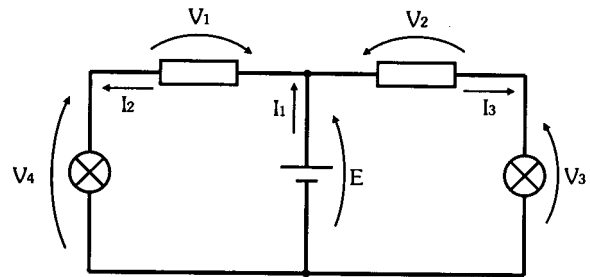
- 3.3) Dado o circuito ao lado, represente seus dois diagramas elétricos equivalentes utilizando o símbolo de terra.



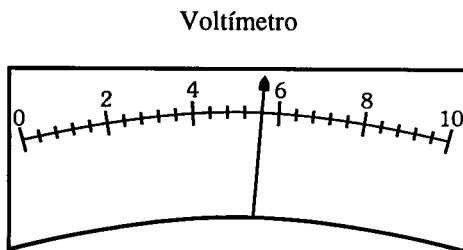
### Instrumentos de Medidas Elétricas

- 3.4) Considere o circuito ao lado:

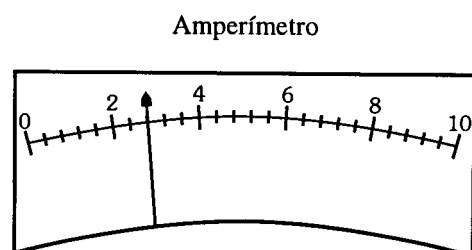
- a) Refaça o seu diagrama elétrico, inserindo dois voltímetros para indicarem os valores positivos das tensões  $E$  e  $V_4$ :
- b) Refaça o seu diagrama elétrico, inserindo dois amperímetros para indicarem os valores positivos das correntes  $I_1$  e  $I_3$ :



- 3.5) Um voltímetro e um amperímetro, ambos analógicos, são ligados num circuito. Qual é o valor das medidas, conforme as marcações dos ponteiros dos instrumentos e das respectivas escalas selecionadas?



Escala: 200VDC



Escala: 100mA

- 3.6) Relacione as colunas de forma que as escalas do multímetro estejam adequadas para as medidas sugeridas:

#### Medidas

- (I) Tensão da rede elétrica residencial  
 (II) Corrente de um rádio portátil a pilha  
 (III) Tensão da bateria de um automóvel  
 (IV) Corrente de uma máquina de lavar roupas  
 (V) Tensão de uma pilha comum de lanterna

#### Escalas

- (a) 200 mADC  
 (b) 10 AAC  
 (c) 2 VDC  
 (d) 700 VAC  
 (e) 20 VDC