

## NOÇÃO DE MEDIDA

O acto de **medir** está sempre associado ao acto de **comparar**.

Utilizamos como base de comparação uma **unidade de medida**,

**Medir** uma dada grandeza consiste em comparar o seu valor com a respectiva unidade de medida.

*Nota: Grandeza é tudo o que se pode medir.*

## SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (S.I.)

Grandezas	Unidades	Símbolos
<b>UNIDADES FUNDAMENTAIS</b>		
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Temperatura termodinâmica	grau Kelvin	°K
Intensidade de corrente eléctrica	ampere	A
Intensidade luminosa	candela	cd
Quantidade de matéria	mole	mol
<b>UNIDADES SUPLEMENTARES</b>		
Ângulo plano	radiano	rad
Ângulo sólido	estereoradiano	sr
<b>UNIDADES DERIVADAS</b>		
Superfície	metro quadrado	m <sup>2</sup>
Volume	metro cúbico	m <sup>3</sup>
Frequência	hertz	Hz c/s
Densidade	quilograma por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>
Velocidade	metro por segundo	m/s
Velocidade angular	radiano por segundo	rad/s
Aceleração	metro por segundo, por segundo	m/s <sup>2</sup>
Aceleração angular	radiano por segundo, por segundo	rad/s <sup>2</sup>
Força	newton	N kg · m/s <sup>2</sup>
Pressão	pascal	Pa N/m <sup>2</sup>
Viscosidade cinemática	metro quadrado por segundo	m <sup>2</sup> /s
Viscosidade dinâmica	pascal segundo	Pa · s N · s/m <sup>2</sup>
Trabalho, energia, quantidade de calor	joule	J N · m
Potência	watt	W J/s
Quantidade de electricidade	coulomb	C A · s
Tensão eléctrica, diferença de potencial, força electromotriz	volt	V W/A
Intensidade de campo eléctrico	volt por metro	V/m
Resistência eléctrica	ohm	Ω V/A
Conductância	siemens (ou mhos)	S A/V
Capacidade eléctrica	farad	F A · s/V
Fluxo magnético	weber	Wb V · s
Inductância	henry	H V · s/A
Indução magnética	tesla	T Wb/m <sup>2</sup>
Intensidade de campo magnético	ampere por metro	A/m
Força magnetomotriz	ampere	A
Fluxo luminoso	lumen	lm cd · sr
Luminância	candela por metro quadrado	cd/m <sup>2</sup>
Iluminação	lux	lx lm/m <sup>2</sup>

## Múltiplos e Submúltiplos

Sucedem por vezes, que a unidade adoptada é muito maior ou muito menor do que a grandeza a medir. Assim, teremos de usar submúltiplos ou múltiplos dessa unidade.

O quadro seguinte indica as designações de alguns dos prefixos mais usados.

MÚLTIPLOS	deca	da	10
	hecto	h	$100 = 10^2$
	quilo	k	$1000 = 10^3$
	mega	M	$1\ 000\ 000 = 10^6$
	giga	G	$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$
	tera	T	$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$
SUBMÚLTIPLOS	deci	d	$0,1 = 10^{-1}$
	centi	c	$0,01 = 10^{-2}$
	mili	m	$0,001 = 10^{-3}$
	micro	$\mu$	$0,000\ 001 = 10^{-6}$
	nano	n	$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$
	pico	p	$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$

Nota: Outros Sistemas de Unidades: Sistema MKSA ou Giorgi; Sistema métrico; Sistema CGS.

## TIPOS DE MEDIÇÃO

A medida do valor de uma grandeza pode ser obtida por dois processos distintos **método directo** e **método indirecto**.

**Método directo:** Quando o valor da grandeza nos é dado imediatamente pela leitura sobre a escala.

**Método indirecto:** Quando o valor da grandeza a medir é obtido a partir da medição prévia de outras grandezas de espécies diferentes, com as quais está relacionada, estamos na presença de uma medição indirecta. O método indirecto está sempre associado a cálculos e à aplicação de fórmulas.

## ERROS DE UMA MEDIÇÃO

Uma medição implica sempre um erro por mais preciso que seja o aparelho de medida utilizado e o cuidado posto na medição pelo operador.

À diferença entre o valor lido e o valor real chamamos **ERRO ABSOLUTO**.

Porém, sendo desconhecido o valor real, nunca podemos com segurança determinar o erro absoluto. Para ultrapassar este obstáculo, substituímos o termo “erro absoluto” por “**valor máximo do erro absoluto**”

$$\text{classe} = \frac{\text{erro absoluto máximo (em percentagem)}}{\text{valor final do campo de medida}} \quad \text{Nota: O erro absoluto máximo pode ser calculado por :}$$

O erro absoluto máximo calculado significa que a respectiva medida virá afectadas daquele valor para mais ou para menos ( $\pm$ ) do valor lido.

**Dividindo o erro absoluto máximo pelo valor lido, obtemos o ERRO RELATIVO.**

(em percentagem), que por vezes traduz com maior clareza a inexactidão da leitura.

## TIPOS DE ERRO

São vários os factores que nos impedem de realizar medições exactas. Esses factores conduzem-nos a erros que podem ser de dois tipos: **erros sistemáticos** e **erros acidentais**.

**Erros sistemáticos:** Os erros sistemáticos são aqueles cujas causas são quase sempre as mesmas, afectando o resultado das medições sempre no mesmo sentido.

Resultam fundamentalmente de defeitos dos **aparelhos de medida** utilizados (escala mal graduada, fraca qualidade de construção).

Os erros sistemáticos não podem ser eliminados. Para os reduzir, devemos utilizar aparelhos de medida mais rigorosos.

**Erros acidentais.** Os erros acidentais são imprevisíveis e devem-se a causas variáveis ( utilização incorrecta do aparelho de medida, leituras incorrectas, má avaliação da menor divisão da escala, erro de paralaxe) que tanto podem originar valores menores ou maiores que o “verdadeiro”.

Geralmente dependem do operador (pessoa que está a fazer a medição).

Para reduzir os erros acidentais utiliza-se por vezes uma técnica que consiste em realizar várias medidas, nas mesmas condições, por um ou mais operadores. Somando o valor dessas medições e dividindo o resultado pelo número de medições (média aritmética) obtém-se um valor seguramente mais próximo do real.. A este valor médio chamamos **valor mais provável** da medição.

## INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Os instrumentos ou aparelhos de medida têm todos a função de medir em cada instante o valor da grandeza.

**Tipos de aparelhos de medida: Analógicos e Digitais.**

**Analógicos:** efectua a medição através do deslocamento de um **ponteiro** sobre uma **escala** graduada.

**Digitais:** Indica-nos directamente o valor da grandeza a medir através de vários algarismos ou **dígitos**.

Existem também aparelhos de medida **analógico - digitais**.

Podemos por outro lado, classificar os aparelhos de medida em três tipos:

**Aparelhos indicadores:** apenas nos indicam o valor da grandeza medida.

**Aparelhos contadores:** além de medir, totalizam (contam) o valor da grandeza ao fim de um certo tempo (por exemplo os contadores de energia eléctrica).

**Aparelhos registadores:** a grandeza medida é continuamente registada em forma de gráfico. São vulgares este tipo de instrumentos, por exemplo, nas centrais geradoras de electricidade.

## PARTES CONSTITUINTES DE UM APARELHO DE MEDIDA.

**Índice:** o índice de um aparelho de medida é o nome genérico atribuído ao ponteiro cuja posição sobre a escala nos indica o valor da grandeza a medir.

**Escala:** a escala representa o conjunto de marcas sobre a qual se observa a posição tomada pelo índice.

Numa **escala linear**, é constante o comprimento de cada divisão em toda a sua extensão. Quando não se verifica esta característica, a **escala** diz-se **não linear**.

**Divisão da escala:** é a parte da escala definida por duas marcas consecutivas.

**Comprimento da escala:** é o comprimento medido em milímetros, do arco entre as marcas extremas da escala. O comprimento da escala, nos aparelhos correntes, varia entre 100 e 150 mm.

**Campo de medida:** nem sempre o valor máximo indicado na escala corresponde ao valor máximo da grandeza que o aparelho pode medir. Este pode ser maior ou menor e quem o determina é o **campo de medida** do aparelho.

$$m = \frac{\text{valor máximo do campo de media}}{\text{valor máximo da escala}}$$

**Factor de multiplicação:** quando o campo de medida é diferente do valor máximo registado na escala, é evidente que o valor indicado pelo ponteiro não corresponde ao valor real da grandeza que se está a medir. O factor de multiplicação (m) é o número pelo qual teremos de multiplicar o valor lido para obtermos o “verdadeiro” valor da grandeza. Esse factor determina-se:

**Classe de precisão:** alguns aparelhos de medida são mais rigorosos que outros. Esse grau de precisão é determinado pela sua **classe**. Esta indica-nos o erro absoluto máximo que o aparelho pode cometer em qualquer leitura.








Valores mais usuais de classes de precisão:

0,1 0,2 0,3	Instrumentos de alta precisão.
1,0 1,5 2,5	Instrumentos de média precisão
> 2,5	Instrumentos de baixa precisão

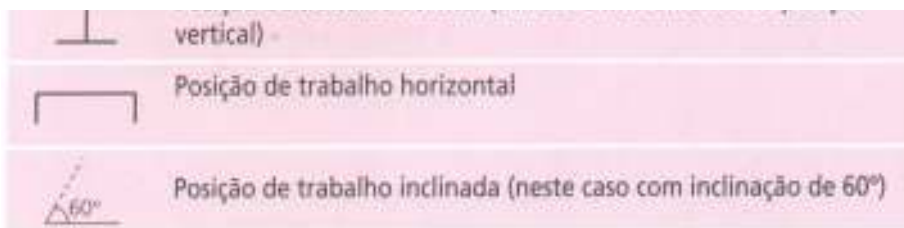
**Sensibilidade:** chama-se sensibilidade à relação entre a deslocação do ponteiro (trajecto que o ponteiro efectua sobre a escala durante a medição) e a variação da grandeza medida.

### APARELHOS DE MEDIDA ELÉCTRICOS

A identificação dos aparelhos de medida bem como algumas informações relativas à sua correcta utilização obedecem a simbologia própria.

APARELHO DE MEDIDA	GRANDEZA QUE MEDEM	SIMBOLOGIA
Voltímetro	d.d.p. ou tensão	
Amperímetro	Intensidade de corrente	
Ohmímetro	Resistência eléctrica	
Multímetro	Resistência, corrente e tensão	(1)
Wattímetro	Potência eléctrica (activa)	
Contador	Energia eléctrica	
Frequencímetro	Frequência	
Fasímetro	Factor de potência	

(1) A mesma simbologia do voltímetro, amperímetro ou ohmímetro, consoante a utilização do aparelho.



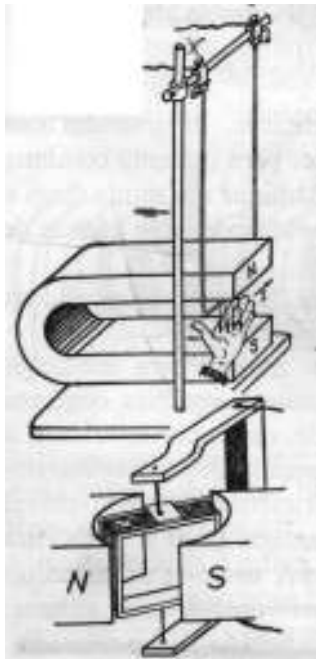
## PRINCIPAIS TIPOS DE APARELHOS DE MEDIDA QUANTO À SUA CONSTITUIÇÃO

### Aparelhos analógicos de ponteiro:

- de quadro móvel ou magnetoeléctricos
- de ferro móvel ou electromagnéticos
- electrodinâmicos
- de indução
- de lâminas vibrantes

### Aparelhos electrónicos e digitais

## APARELHOS DE MEDIDA DE QUADRO MÓVEL OU BOBINA MÓVEL



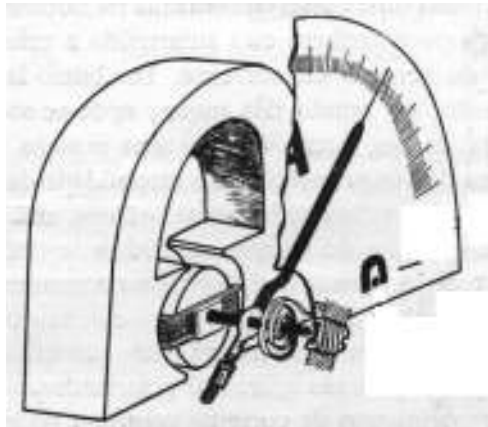
### *ACÇÃO DE UM CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UM CONDUTOR PERCORRIDO POR CORRENTE.*

*Como sabemos, **uma corrente eléctrica produz um campo magnético** à sua volta. Logo, se temos uma corrente junto de um íman, devemos considerar as forças atractivas ou repulsivas entre os pólos dos seus campos magnéticos.*

*Vamos analisar a acção de um íman fixo sobre um condutor percorrido por corrente, que é móvel. Fazendo passar uma corrente contínua pelo condutor suspenso, verificamos que este, quando submetido ao campo magnético, tem um desvio num sentido que depende do sentido da corrente. Podemos fazer a verificação da “regra da mão esquerda”:*

*«colocamos a mão esquerda estendida de forma que o fluxo entre pela palma e a corrente saia pelos dedos e, assim, o polegar indica o sentido do deslocamento».*

*Se, em vez de um só condutor, tivermos um enrolamento, a força que provoca o deslocamento é maior.*



Os instrumentos de quadro móvel também chamados **magnetoeléctricos**, são constituídos por um forte íman permanente fixo e por uma bobina móvel, a cujo eixo está ligado o ponteiro. O núcleo da bobina é um cilindro de ferro. A bobina móvel ou quadro móvel, é chata e de forma rectangular e tem um grande número de espiras, de cobre ou alumínio isoladas a seda ou esmalte, enroladas num caixilho de alumínio que produzirá um amortecimento electromagnético. A bobina tem uma resistência que vai das unidades a alguns milhares de Ohm.

As molas espirais são enroladas em sentido contrário o que evita erros devidos à variação da temperatura e faz regressar ao zero o ponteiro ligado à bobina móvel.

Os instrumentos de quadro móvel são os mais usados em corrente contínua pois são de grande sensibilidade, boa precisão (que atinge 0,1%), simplicidade, robustez, linearidade e utilização directa em corrente contínua. Também consomem pouca energia.

Para garantir a sua precisão, não devem permanecer ligados senão no tempo necessário para a sua leitura e não devem ter outros instrumentos muito perto, pois são aparelhos polarizados.

Os instrumentos de quadro móvel, quando acompanhados com rectificadores, são utilizados também para a corrente alternada.

## APARELHOS DE MEDIDA ELECTRODINÂMICOS

*Os aparelhos electrodinâmicos funcionam segundo o princípio da **acção de uma corrente sobre outra corrente**.*

*Uma corrente provoca à sua volta um campo magnético e, portanto, estando duas correntes próximas, há uma acção mútua entre elas, isto é, há uma atracção ou repulsão entre os pólos dos campos criados.*

*O efeito electrodinâmico entre duas correntes do mesmo sentido provoca atracção enquanto que duas correntes de sentidos contrários provoca repulsão.*

A força electrodinâmica aumenta com a intensidade da corrente, o comprimento dos condutores postos lado a lado e quando diminui a distância entre os condutores.



Os aparelhos electrodinâmicos são constituídos por uma bobina fixa, formada por poucas espiras de fio grosso, dividida em duas partes dispostas simetricamente em relação ao eixo de uma bobina móvel de grande número de espiras de fio fino.

A sua constituição é idêntica à dos aparelhos de bobina móvel, havendo basicamente apenas a diferença de o íman permanente ter sido substituído por uma ou duas bobinas fixas que criam o campo magnético onde roda a bobina móvel.

As **bobinas fixas** são montadas em série ou paralelo e percorridas pela corrente do circuito.

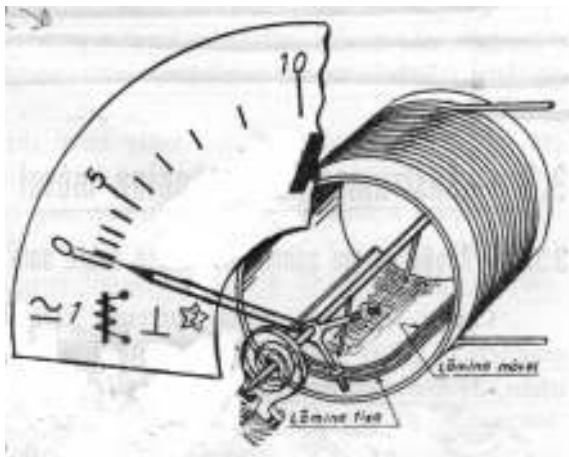
A **bobina móvel**, muito leve, é geralmente formada sobre um quadro de alumínio, sendo percorrida por uma corrente cuja intensidade depende do valor da tensão aplicada ao receptor.

Os aparelhos electrodinâmicos são pouco utilizados como amperímetros ou voltímetros, sendo quase exclusivamente empregados nas medições de potências, isto é, como wattímetro, tanto para corrente contínua como alternada.

Os instrumentos electrodinâmicos sem ferro são mais precisos (classe 0,1 a 0,2).

Para reduzir o consumo de energia e atenuar a influência dos campos magnéticos exteriores, fabricam-se aparelhos electrodinâmicos com ferro. São um pouco menos precisos do que os aparelhos electrodinâmicos sem ferro.

### APARELHOS DE MEDIDA DE FERRO MÓVEL



Estes aparelhos são também chamados **ferromagnéticos**.

São constituídos por uma bobina fixa e duas lâminas de ferro, sendo uma móvel em torno de um eixo e a outra solidária com a bobina fixa. A passagem da corrente (contínua ou alternada) pela bobina provoca a magnetização simultânea dessas duas lâminas por forma que ficam sempre frente a frente pólos do mesmo nome, pelo que se repelem. Então, dá-se o desvio da lâmina móvel à qual está ligado o ponteiro que se desloca sobre uma escala.

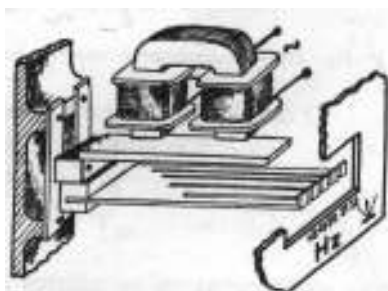
Os aparelhos de ferro móvel são muito utilizados em c.a., como amperímetros e voltímetros, embora possam também ser aplicados a circuitos de c.c..

Uma vantagem essencial dos sistemas de medida de ferro móvel consiste no facto de o sentido de rotação do eixo não depender do sentido da corrente.

A escala destes aparelhos de medida não é linear porque o deslocamento do índice não é proporcional à intensidade da corrente na bobina devido a ser dependente da posição do ferro móvel.

Estes aparelhos são muito simples pelo que, em relação aos de quadro móvel, são mais baratos e robustos. O sistema de ferro móvel consome mais potência eléctrica que o de bobina móvel.

### APARELHOS DE MEDIDA DE LÂMINAS VIBRANTES

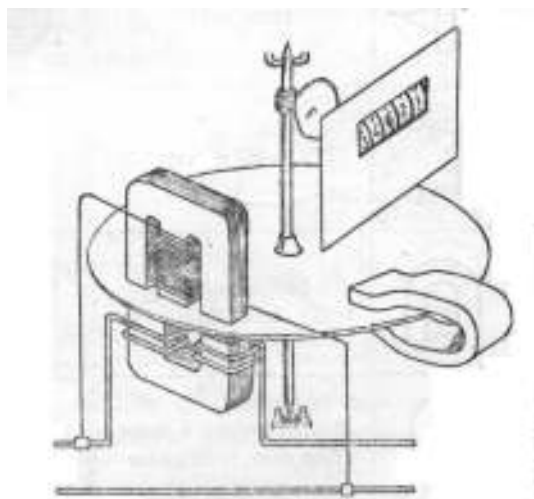


O aparelho de medida para medir a frequência, frequencímetro de lâminas vibrantes é constituído por um conjunto de lâminas dispostas lado a lado, e cada lâmina vibra com maior amplitude para uma determinada frequência.

Estas lâminas estão livres na extremidade que se vê do exterior do aparelho e fixas na outra extremidade a um suporte que tem ligado a armadura de um electroímã. Ligando o frequencímetro à rede, surge uma corrente na bobina do electroímã que produz um campo magnético alternado o qual faz vibrar a armadura e esta as lâminas. A lâmina cuja frequência própria de vibração é igual à frequência da corrente entra em ressonância e as suas vibrações são de maior amplitude.

A leitura da frequência em Hz faz-se observando o número correspondente à lâmina que tem maior vibração.

## APARELHOS DE MEDIDA DE INDUÇÃO



Para a medida da energia eléctrica utiliza-se o contador de indução que é constituído por um disco de alumínio montado sobre um eixo vertical, que acciona um sistema totalizador. Actuam sobre o disco dois electroímans. Num dos electroímans há uma bobina com um grande número de espiras de fio fino (**bobina de tensão**) ligada em paralelo com o circuito receptor. O outro electroímã tem uma bobina formada por um pequeno número de espiras de fio grosso (**bobina de intensidade**) que se coloca em série com esse circuito.

Como temos corrente alternada a excitar estes electroímans, surgem **correntes induzidas no disco**. A disposição dos electroímans é tal que destas correntes induzidas resulta um binário motor que faz rodar o disco com um número de rotações proporcional à energia absorvida pelo circuito.

A regularização do movimento faz-se com um íman permanente que actua sobre o disco de alumínio.

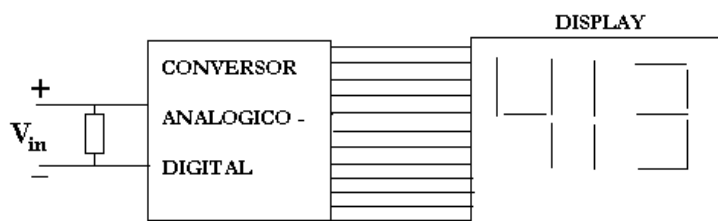
## APARELHOS DE MEDIDA DIGITAIS

Os aparelhos de medida digitais oferecem uma série de **vantagens** sobre os analógicos:

- Leitura mais fácil e rápida.
- Ausência de perigo de deterioração ao serem manejados por pessoal pouco qualificado.
- Precisão na leitura, totalmente objectiva.
- Muitos destes aparelhos são dotados de circuitos comutadores electrónicos que seleccionam o alcance de medida e a polaridade automaticamente, pelo que o processo de medição se reduz a ligar e ler.

A electrónica exige medidas feitas a **frequências elevadas**. Os multímetros digitais mostram-se inadequados devido ao processo de conversão analógico - digital (A/D) usado. Portanto, um dos cuidados a ter na utilização dos multímetros é verificar qual a gama de frequências em que o construtor garante medidas correctas.

É importante notar que os valores medido pelos aparelhos analógicos ou digitais são sempre **eficazes** e referidos sempre a formas de onda **sinusoidal**.



Os aparelhos de medida digitais constam de dois blocos básicos. O primeiro deles é o **conversor analógico - digital**, que transforma um valor de tensão aplicada na sua entrada no mesmo valor codificado em binário. O segundo bloco é o da **visualização**, que converte o código binário procedente do conversor numa série de dígitos sobre um écran (display).

## AMPERÍMETRO

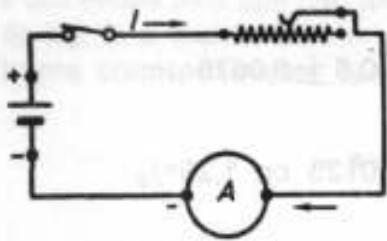
Aparelho de medida que serve para medir a **intensidade da corrente eléctrica ( I )**.

Grandeza	Unidade	Aparelho de medida	Ligação do aparelho de medida no circuito

Intensidade da corrente eléctrica (I)	Ampére (A)	Amperímetro	O amperímetro é <b>ligado em série</b> no circuito.
---------------------------------------	------------	-------------	---



**Ligação de um amperímetro num circuito eléctrico.**

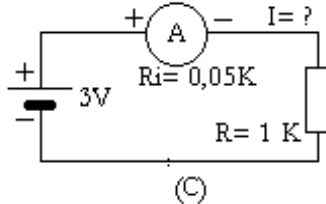
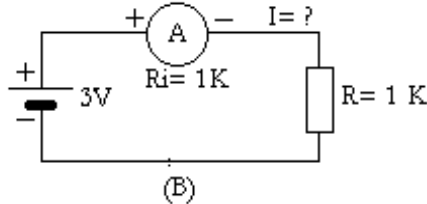
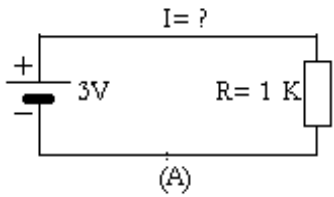


Caso o amperímetro tenha **polaridade** devem-se fazer as ligações respeitando-se a sua polaridade (ou seja, o + do amperímetro deve ser ligado ao + do gerador e o - do amperímetro ao - do gerador).

**Resistência interna de um amperímetro.**

O amperímetro deve possuir uma resistência interna (resistência da bobina) o mais pequena possível (para evitar que a sua ligação no circuito vá alterar as características eléctricas do circuito).

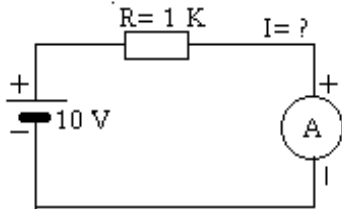
Exemplo: Calcular a Intensidade da corrente eléctrica no circuito A, B e C e tirar conclusões.



**Shunts num amperímetro.**

É possível medir intensidades da corrente eléctrica muito superiores à indicada na última divisão da escala. Para esse efeito basta shuntar, por meio de uma resistência de valor adequado **ligada em paralelo** com os terminais do instrumento de medida.

A finalidade dos shunts é desviar parte da corrente para essas resistências, podendo-se deste modo, **aumentar o campo de medida** destes aparelhos.

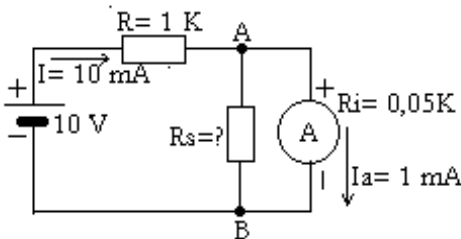


Exemplo: Posso ligar neste circuito um amperímetro cuja intensidade máxima que pode medir é de 1 mA?

Não. Porque 10mA é maior do que a intensidade máxima que o amperímetro pode medir (1mA).

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{1000} = 0,001A = 10mA$$

Calcular a resistência do shunt, a ser ligada em paralelo com o amperímetro, sabendo que este tem uma resistência interna de 50 Ω.



$$U_{AB} = R_i \times I_a$$

$$U_{AB} = 50 \times 0,001$$

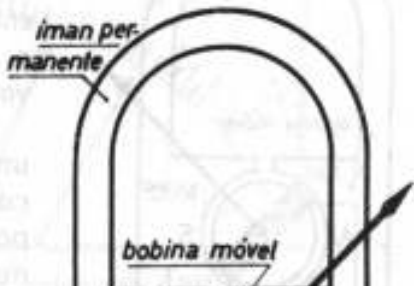
$$U_{AB} = 0,05 \text{ V}$$

$$R_s = U_{AB} / I_s$$

$$R_s = 0,05 / 0,009$$

$$R_s = 5,6 \Omega$$

$$I_s = I - I_a$$



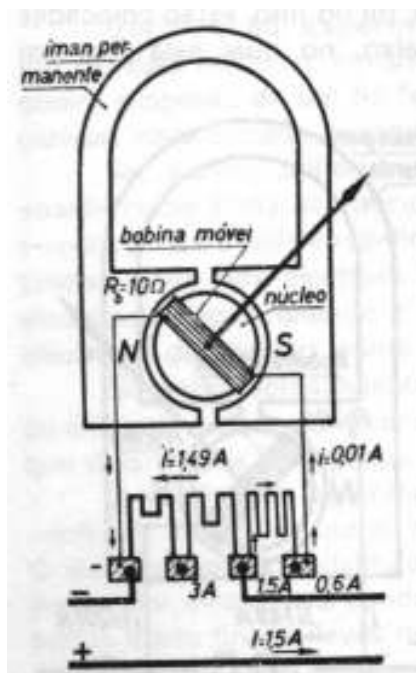
Observe com atenção a seguinte figura.

) Quanto ao funcionamento que tipo de amperímetro está representado na figura?



b) Calcule a resistência do shunt.

*Nota: Com um só shunt o aparelho tem apenas um campo de medida.*



Podemos conseguir com o mesmo aparelho de medida vários campos de medida, desde que se utilize **shunts múltiplos**

Na figura ao lado, como há 3 shunts diferentes haverá 3 campos de medida. Quais são?

Um shunt é uma resistência de **manganina** que se liga em paralelo com o amperímetro.

Os shunts caracterizam-se pela corrente máxima que permitem e pela queda de tensão que provocam.

Os shunts podem ser fornecidos à parte, quando para grandes intensidades da corrente, ou incluídos na própria caixa dos aparelhos de medida.

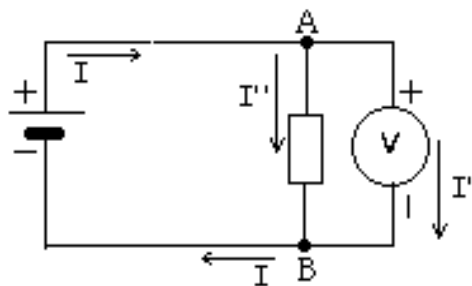
Quando os shunts estão incluídos na própria caixa do aparelho de medida, a escala do aparelho de medida já está graduada para medir directamente a grandeza eléctrica, dentro de um dos campos de medida estabelecidos pelos shunts.

### VOLTÍMETRO

Aparelho de medida que serve para medir a **tensão** ou **diferença de potencial** (d.d.p.).

Grandeza	Unidade	Aparelho de medida	Ligação do aparelho de medida no circuito
Tensão ou diferença de potencial (U)	Volt (V)	Voltímetro (V)	O voltmeter é <b>ligado em paralelo</b> no circuito.

**Ligação de um voltmeter num circuito eléctrico.**



Se pretendermos medir uma tensão U entre dois pontos A e B, o voltmeter é percorrido pela corrente I':

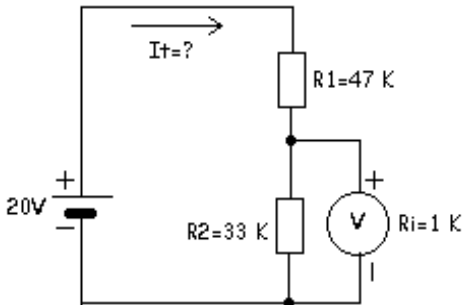
$$I' = U / R_V$$

que é tanto maior quanto maior for a tensão U, pois é constante a resistência interna do voltmeter ( $R_V$ ). Assim, o desvio do ponteiro varia com a tensão que é aplicada ao voltmeter, pelo que este pode graduar-se em milivolt, volt ou quilovolt.

**Influência do valor da resistência interna de um voltmeter num circuito.**

Observe a figura e determine a queda de tensão em R2.

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_1 + R_2 & I_t &= U/R_t & U_{R_2} &= R_2 \times I_t \\
 R_t &= 47 + 33 & I_t &= 20/80000 & U_{R_2} &= 33000 \times 0,00025 \\
 R_t &= 80 \text{ K}\Omega & I_t &= 0,25 \text{ mA} & U_{R_2} &= 8,25 \text{ V}
 \end{aligned}$$



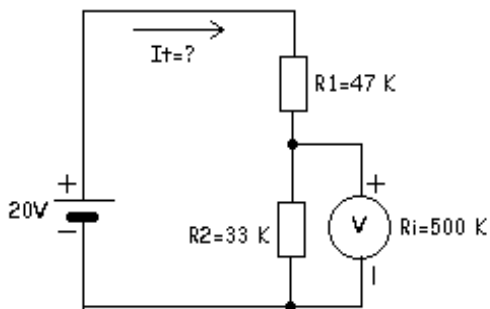
Observe a figura e determine a queda de tensão em R2 que se encontra em paralelo com um voltímetro com uma resistência interna de 1KΩ.

$$\begin{aligned}
 1/R_p &= 1/R_2 + 1/R_i & R_t &= R_1 + R_p & I_t &= U/R_t & 1/R_p &= 1/33 + 1/1 & R_t &= 47 + 0,97 & I_t &= 20/47970 \\
 1/R_p &= 34/33 & R_t &= 47,97 \text{ K}\Omega & I_t &= 0,42 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$U_{R_2} = I_t \times R_p \Rightarrow U_{R_2} = 0,00042 \times 970 \Rightarrow U_{R_2} = 407 \text{ mV}$$

### CONCLUSÃO:

Ao ligar o voltímetro no circuito alterou-se o valor da corrente no circuito, bem como variou a queda de tensão em R2, o que torna a medida efectuada pelo voltímetro totalmente errada.



Observe a figura e determine a queda de tensão em R2 que se encontra em paralelo com um voltímetro com uma resistência interna de 500KΩ.

$$\begin{aligned}
 1/R_p &= 1/R_2 + 1/R_i & R_t &= R_1 + R_p & I &= U/R_t \\
 1/R_p &= 1/33 + 1/500 & R_t &= 47 + 30,96 & I &= 20/77960 \\
 R_p &= 16500/533 & R_t &= 77,96 \text{ K}\Omega & I &= 0,257 \text{ mA} \\
 R_p &= 30,96 \text{ K}\Omega
 \end{aligned}$$

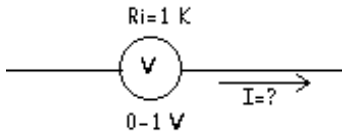
$$U_{R_2} = I \times R_p \Rightarrow U_{R_2} = 0,000257 \times 30960 \Rightarrow U_{R_2} = 7,96 \text{ V}$$

SE UTILIZAR UM VOLTÍMETRO COM ELEVADA RESISTÊNCIA INTERNA (POR EXEMPLO 500 KΩ) AS CONDIÇÕES DO CIRCUITO MAL VARIARÃO.

### CONCLUSÃO

A **resistência interna do voltímetro deverá ser o mais elevada possível**, isto é, pelo voltímetro deve circular uma corrente muito pequena que não influa em nada as características próprias de funcionamento do circuito sobre o qual se efectua a medição.

### Ampliação do campo de medida dos voltímetros.

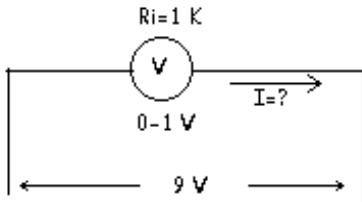


Cálculo da corrente máxima que pode passar no voltímetro.

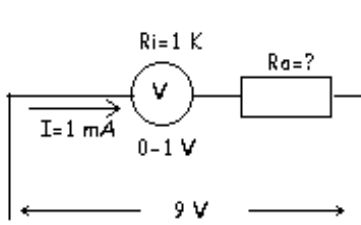
$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{1}{1000} \Rightarrow I = 0,001A \Rightarrow I = 1mA$$

Se excedermos o valor máximo do campo de medida:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{9}{1000} \Rightarrow I = 0,009A \Rightarrow I = 9mA$$



ultrapassamos a corrente máxima que pode passar no voltímetro (1 mA), danificando-o.

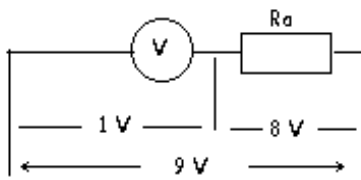


$$R_t = \frac{U}{I} \Rightarrow R_t = \frac{9}{0,001} \Rightarrow R_t = 9000\Omega$$

**Cálculo da resistência adicional** a ser ligada em série com o voltímetro.

$$R_t = R_i + R_a \Rightarrow R_a = R_t - R_i \Rightarrow R_a = 9000 - 1000 \Rightarrow R_a = 8\text{ K}\Omega$$

O conjunto voltímetro - resistência adicional não é mais do que um divisor de tensão de forma que a tensão aos terminais da resistência adicional é de:



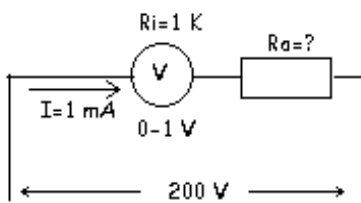
$$U_{R_a} = R_a \times I \Rightarrow U_{R_a} = 8000 \times 0,001 \Rightarrow U_{R_a} = 8\text{ V}$$

E a tensão aos terminais do voltímetro:

$$U_V = R_i \times I \Rightarrow U_V = 1000 \times 0,001 \Rightarrow U_V = 1\text{ V}$$

A resistência adicional, também chamada redutor, liga-se em série com o voltímetro, pelo que este fica somente submetido a uma fracção da tensão da alimentação.

Se pretendemos ampliar o campo de medida que é de 0 - 1V para 0 - 200 V com o mesmo voltímetro do exemplo anterior, qual deverá ser o valor da resistência adicional ?



$$R_a = ?$$

$$R_i = 1\text{ K}\Omega = 1000\ \Omega$$

$$I = 1\text{ mA} = 0,001\text{ A}$$

$$U_t = 200\text{ V}$$

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

$$U_t = U_v + U_{R_a}$$

$$200 = 1 + U_{R_a}$$

$$U_{R_a} = 199\text{ V}$$

$$R_a = \frac{U_{R_a}}{I}$$

$$R_a = 199 / 0,001$$

$$R_a = 199\text{ K}\Omega$$

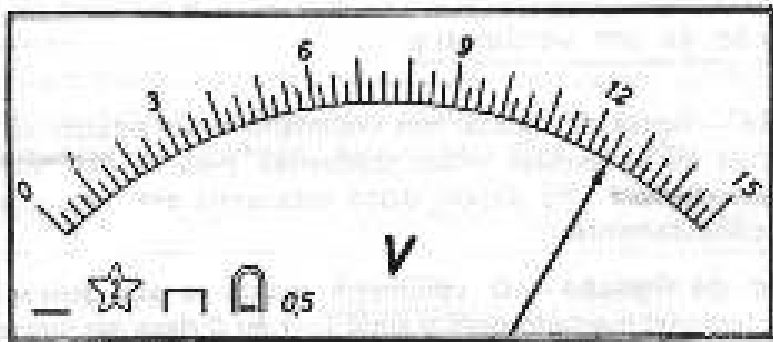
### CONCLUSÃO:

Se ao voltímetro ligarmos uma resistência em série com ele, de forma a reduzir a intensidade de corrente que circula pela sua bobina, poderemos sem dúvida medir tensões superiores ao campo de medida do voltímetro.

Não há qualquer inconveniente em ampliar a escala do voltímetro até valores muito superiores aos indicados. Só se deverá ter em conta o valor máximo de corrente que admite o aparelho de medida.

### Factor de multiplicação da escala.

Quando um voltímetro tem vários campos de medida e dispõe de uma única escala é necessário determinar os factores de multiplicação, isto é, os números pelos quais é necessário multiplicar as leituras para se obterem os valores da tensão.



Se a escala fosse a representada na figura, quais seriam os factores de multiplicação para os campos de medida: 0 - 6V, 0 - 15 V e 0 - 30 V?

Qual o valor da tensão indicado pelo índice para os três campos de medida?

Campo de medida	Factor de multiplicação
0 - 6 V	$6 / 15 = 0,4$
0 - 15 V	$15 / 15 = 1$
0 - 30 V	$30 / 15 = 2$

Valor da menor divisão da escala:  $3 / 12 = 0,25$  V

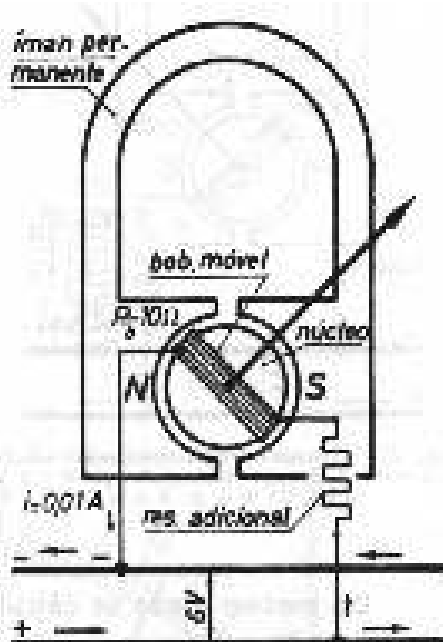
Valor indicado pelo índice:  $12 + (2 \times 0,25) = 12,5$  V

$$0 - 6 \text{ V} \Rightarrow 12,5 \times 0,4 = 5 \text{ V}$$

$$0 - 15 \text{ V} \Rightarrow 12,5 \times 1 = 12,5 \text{ V}$$

$$0 - 30 \text{ V} \Rightarrow 12,5 \times 2 = 25 \text{ V}$$

### Voltímetro de bobina ou quadro móvel.



Como vemos na figura, a constituição e princípio de funcionamento destes aparelhos são idênticos aos amperímetros. Apenas se torna necessário montar em série com a bobina uma **resistência adicional** (que é normalmente de manganina) para que a intensidade de corrente na bobina não ultrapasse o seu valor nominal, quando se liga o voltímetro à tensão máxima que desejamos

medir.

Sabe-se que:

$$U_{\text{máx}} = 6V$$

$$R_b = 10 \Omega$$

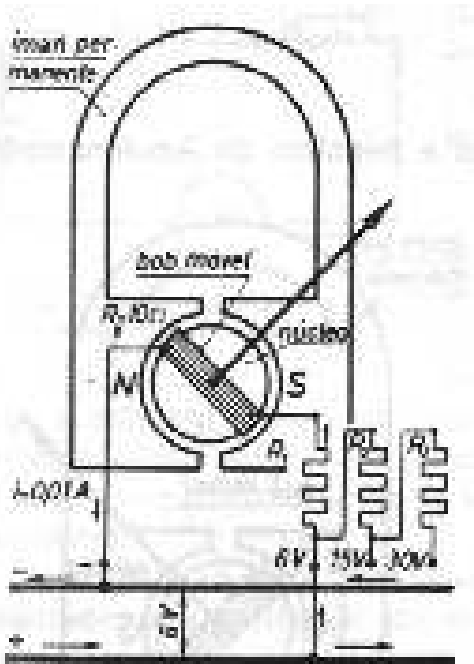
$$I_{\text{máx}} = 0,01A$$

Pretende-se saber o valor da  $R_a$ .

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow R = \frac{6}{0,01} \Rightarrow R = 600\Omega$$

$$R = R_b + R_a \Leftrightarrow R_a = R - R_b \Leftrightarrow R_a = 600 - 10 \Leftrightarrow R_a = 590\Omega$$

Pretendemos que o mesmo aparelho de medida tenha mais do que um campo de medida (0-6 V; 0-15 V; 0-30 V), para esse efeito vamos calcular  $R_2$  e  $R_3$ , sabendo que:



$$U_{\text{máx}} = 6V$$

$$R_b = 10 \Omega$$

$$I_{\text{máx}} = 0,01A$$

$$R_1 = 590 \Omega$$

**Calcular  $R_2$ :**

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow R = \frac{15}{0,01} \Rightarrow R = 1500\Omega$$

$$R = R_b + R_1 + R_2 \Leftrightarrow 1500 = 10 + 590 + R_2$$

$$R_2 = 1500 - 10 - 590 \Leftrightarrow R_2 = 900 \Omega$$

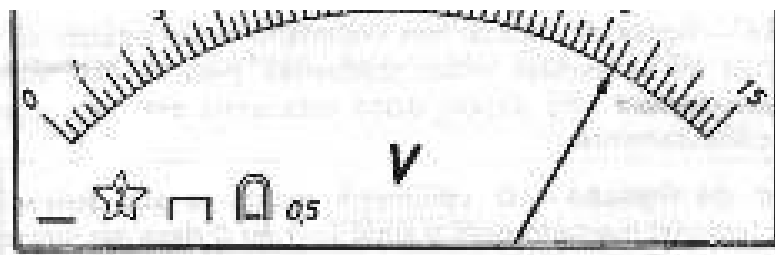
**Calcular  $R_3$ :**

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow R = \frac{30}{0,01} \Rightarrow R = 3000\Omega$$

$$R = R_b + R_1 + R_2 + R_3 \Leftrightarrow 3000 = 10 + 590 + 900 + R_3$$

$$R_3 = 3000 - 10 - 590 - 900 \Leftrightarrow R_3 = 1500 \Omega$$

**Resistência específica.**



Actualmente os voltímetros caracterizam-se pela sua resistência específica, expressa em **ohm/volt ( $\Omega/V$ )**, pelo que para obter a sua resistência basta multiplicar esse valor pelo campo de medida.

Se a resistência específica do voltímetro do exemplo anterior for de  $100 \Omega/V$  virá:

$$\text{Campo de medida: } 0 - 6 \text{ V} \Rightarrow 100 \Omega/V \times 6 \text{ V} = 600 \Omega$$

$$\text{Campo de medida: } 0 - 15 \text{ V} \Rightarrow 100 \Omega/V \times 15 \text{ V} = 1500 \Omega$$

$$\text{Campo de medida: } 0 - 30 \text{ V} \Rightarrow 100 \Omega/V \times 30 \text{ V} = 3000 \Omega$$

**100  $\Omega/V$**

Para se obter a resistência específica do voltímetro divide-se a resistência própria do voltímetro (resistência da bobina + resistência adicional) pela tensão máxima do campo de medida.

Assim, com base no exemplo anterior viria:

$$\frac{590+10}{6} = \frac{600}{6} = 100 \Omega/V \quad \text{Campo de medida: } 0 - 6 \text{ V} \Rightarrow$$

$$\frac{590+900+10}{15} = \frac{1500}{15} = 100 \Omega/V \quad \text{Campo de medida: } 0 - 15 \text{ V} \Rightarrow$$

$$\frac{590+900+1500+10}{30} = \frac{3000}{30} = 100 \Omega/V$$

Campo de medida:  $0 - 30 \text{ V} \Rightarrow$

Quanto maior for o quociente  $\Omega/V$ , isto é, quanto maior for a resistência específica de um voltímetro, mais adequado ele é para ser usado como voltímetro, já que a resistência que oferece o mesmo à passagem da corrente será muito elevada e portanto a intensidade que circula por ele muito pequena, não se alterando senão minimamente as características de funcionamento do circuito.

## MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIAS

Tendo em vista a sua medição é usual agrupar as resistências do seguinte modo:

<b>Pequenas resistências</b>	$\leq 1 \Omega$	Shunts, barramentos, condutores curtos, etc.
<b>Resistências médias</b>	$> 1 \text{ e } < 100\,000 \Omega$	Lâmpadas, placas de aquecimento, ferros eléctricos, etc.
<b>Grandes resistências</b>	$\geq 100\,000 \Omega$	Resistência de isolamento, etc.

**Pequenas resistências:** As resistências inferiores a  $1 \Omega$  só serão medidas com suficiente precisão utilizando métodos em que não tenham influência as resistências dos contactos e dos condutores de ligação, pois são da mesma ordem de grandeza da resistência a medir.

A medição de pequenas resistências pode ser feita por comparação (método pouco rigoroso muito usado na indústria) ou através da ponte dupla (método mais rigoroso).

**Resistências médias:** Para medir resistências de médio valor podem-se utilizar os seguintes métodos:

- Voltímetro - Amperímetro.
- Ohmímetro.
- Ponte de Wheatstone (permite maior rigor).

**Grandes resistências:** Este tipo de resistências podem ser medidas com um Ohmímetro ou com um Megaohmímetro.

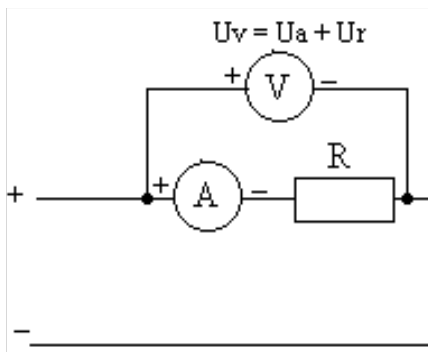
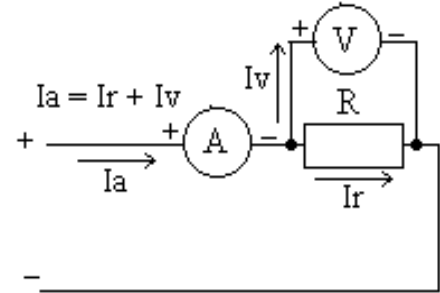
## MÉTODO DO VOLTÍMETRO E DO AMPERÍMETRO

Este **método indirecto** de medição de resistências baseia-se na lei de Ohm ( $R = U / I$ ). Assim, para se determinar o valor da resistência, bastará calcular o quociente do valor da tensão medida nos seus terminais pelo valor da intensidade da corrente que a percorre.

A montagem dos aparelhos (voltímetro e amperímetro) é muito simples mas origina sempre erros sistemáticos, que se procura reduzir montando o voltímetro antes ou depois do amperímetro de acordo com o valor da resistência a medir.

*Para resistências de baixo valor*

*Para resistências de elevado valor.*



O voltímetro inclui apenas a resistência entre os seus terminais; mas o amperímetro mede a soma das correntes que passam pela resistência e pelo voltímetro.

Utiliza-se esta montagem quando a resistência a medir é pequena, pois, praticamente toda a corrente passa pela resistência ( $R \ll R_V$ ).

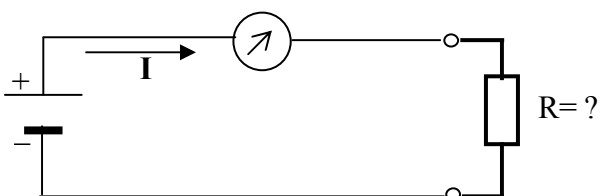
O voltímetro inclui, entre os seus terminais, a resistência e o amperímetro. Utiliza-se esta montagem quando a resistência a medir ( $R$ ) tem um valor de alguns milhares de Ohm, portanto, muito maior do que o valor da resistência do amperímetro e, assim, esta pode desprezar-se ( $R \gg R_a$ ).

## OHMÍMETROS

São aparelhos de medida que por **leitura directa** nos indicam o valor da resistência a medir ligada aos seus terminais. Empregam-se com duas finalidades:

- Verificação de continuidade dos circuitos.
- Medição de resistências.

Esquema de princípio de funcionamento de um ohmímetro.

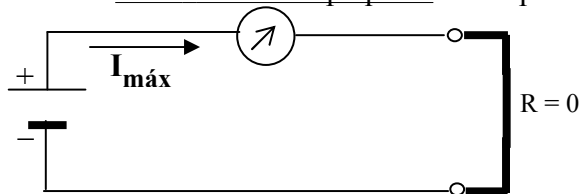


Uma pilha, geralmente incorporada no ohmímetro, envia uma corrente através da resistência a medir. Esta corrente será

indicada por um instrumento de bobina móvel em série com o circuito.

O instrumento mede, naturalmente, a corrente que circula através da resistência R. Dado que, para a mesma tensão (da pilha), a intensidade da corrente através da resistência é inversamente proporcional ao valor ôhmico da referida resistência ( $I = U / R$ ), em vez do valor da corrente anota-se na escala do aparelho de medida o valor ôhmico da resistência. Com a ajuda de uma série de resistências de valores conhecidos pode-se calibrar a escala do ohmímetro.

O valor da resistência mais pequena corresponderá ao curto-circuito ou seja  $R = 0 \Omega$

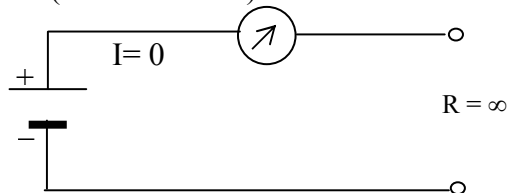


$$I = \frac{U}{R} \rightarrow R = 0$$

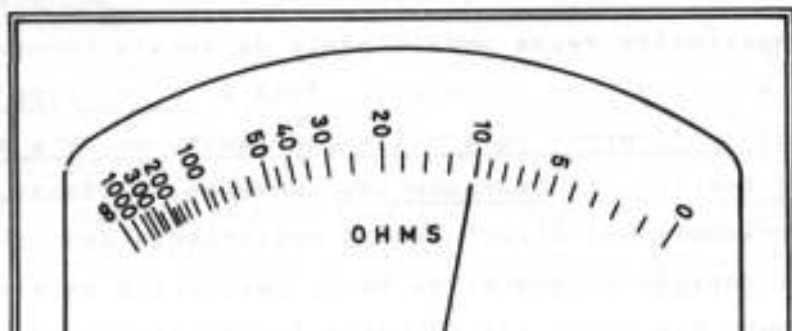
$$I = \frac{U}{0} \Rightarrow I = \infty$$

Logicamente com  $R=0$  produz-se a corrente mais alta

O valor da resistência mais alta tem como indicação  $R = \infty$  (infinito). Naturalmente não passa qualquer corrente pelo circuito (circuito aberto).



A **escala** dos ohmímetros está **invertida** em relação à dos amperímetros ou dos voltímetros.



Além disso, a escala está dividida irregularmente (**escala não linear**), já que a resistência própria do ohmímetro faz com que o desvio da agulha não seja proporcional à resistência cujo valor se deseja medir.

### Ajuste do zero.

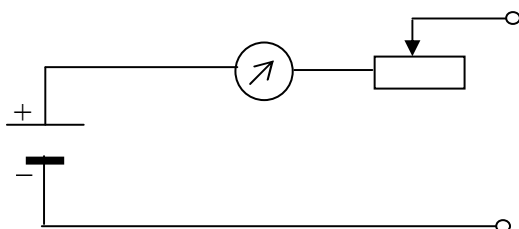
A força electromotriz das **pilhas** que se encontram no ohmímetro não mantém o seu valor constante, uma vez que com o tempo e o uso se vão gastando. Se a f.e.m. baixa, alteram-se as condições de funcionamento e a agulha não desviará correctamente

Assim, se a pilha tem uma f.e.m. de 6 V e o ohmímetro uma resistência de interna de  $2 \text{ K}\Omega$ , o desvio de fim de escala ( $R=0$ ) produzir-se-á com uma corrente de:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{20000} = 300 \mu\text{A}$$

No entanto, se a f.e.m da pilha descer para, por exemplo, 5 V, a corrente que circulará pelo instrumento quando  $R=0$  será de:

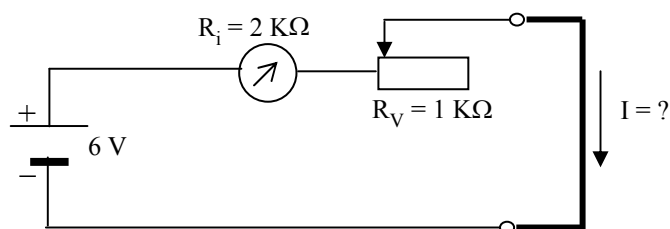
quer dizer, a agulha não se desviará até ao fim da escala, embora estejam curto-circuitadas as pontas de prova ( $R=0$ ), indicando um valor da resistência falso.





Para evitar o exposto idealizou-se o circuito da figura que consiste em acrescentar em série com a bobina móvel do aparelho de medida, uma **resistência variável** que permita o ajuste ou colocação em zero da escala do ohmímetro.

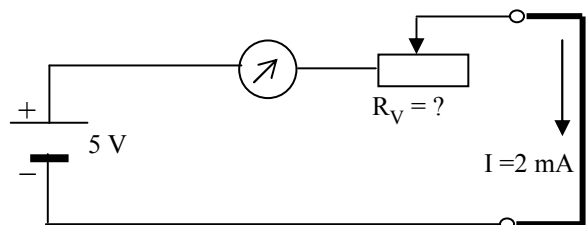
Suponhamos um ohmímetro composto por uma pilha de 6 V, uma bobina móvel de 2 KΩ e uma resistência variável em série com ela, cujo valor se pode ajustar à vontade entre 0 e 1000 Ω.



Quando a f.e.m. da pilha é de 6 Volt, o desvio ao fim da escala ( $R=0$ ) produzir-se-á com uma intensidade de corrente de:

$$I = \frac{U}{R_i + R_v} = \frac{6}{2000 + 1000} = 2 \text{ mA}$$

$$R_v = \frac{U - IR_i}{I} = \frac{5 - 0,002 \times 2000}{0,002} = 1000 \Omega \Rightarrow R_v = U$$



Se a f.e.m. da pilha baixar para 5 V, bastará ajustar o valor da resistência variável de forma que também circulem 2 mA pelo instrumento para que o índice se desvie até ao fim da escala. O valor da resistência variável deverá ser agora de:

Os ohmímetros têm sempre um dispositivo com estas características que pode ser accionado do exterior do aparelho por meio de um botão que tem uma inscrição « **Ω Ajuste de zero** ».

## Ohmímetros de magneto

Os ohmímetros de pilha tem o inconveniente de disporem de uma tensão muito pequena ou serem bastante pesados quando se pretende uma f.e.m. elevada, por utilizarem grande número de pilhas.

Por isso procurou-se fabricar um aparelho que não tenha esses inconvenientes. É o chamado ohmímetro de magneto, em que as pilhas foram substituídas por um gerador rotativo de corrente contínua accionado por manivela. Constroem-se para várias tensões sendo a mais vulgar 500 V.

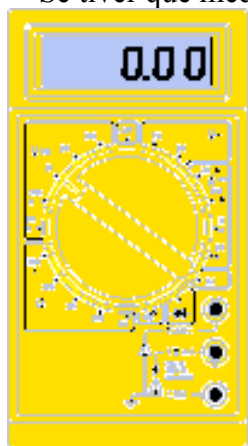
Estes aparelhos empregam-se principalmente para verificação de resistências de isolamento, recebendo o nome de **megaohmímetros**.

Para a medição de resistências com um **multímetro** (a funcionar como ohmímetro) há algumas regras que se devem ter sempre presentes:

Multímetro analógico	Multímetro digital
<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduzir as pontas de prova nas tomadas respectivas.</li> <li>Seleccionar o campo de medida mais adequado.</li> <li><b>Ajustar o zero, sempre que se mudar de campo de medida</b>, curto circuitando para esse efeito as pontas de prova.</li> <li>Fazer a leitura na escala respectiva (Ohm) não esquecendo de multiplicar a leitura pelo factor de multiplicação da escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduzir as pontas de prova nas tomadas respectivas.</li> <li>Seleccionar o campo de medida mais adequado.</li> <li>Ler o valor indicado no display (se a resistência for infinita ou o valor da resistência a medir exceder o campo de medida seleccionado surgirá no display o dígito 1).</li> </ul>

Cuidados a observar:

- ✓ **Não utilizar o ohmímetro** para medir resistências que se encontram inseridas **num circuito sob tensão**.
- ✓ Se tiver que medir resistências que fazem parte de um circuito, é necessário antes, **desligar o circuito**.



- ✓ Se pretender medir uma resistência (ou um componente) inserido num circuito é necessário **verificar se estão ligados em paralelo outras resistências (ou componentes)**, se for o caso, será necessário desligar do circuito a resistência (ou componente).
- ✓ **Quando se pretender medir resistências de elevado valor não se deve tocar com as mãos nos terminais do componente**, já que colocaremos a resistência eléctrica própria do nosso corpo em paralelo com a resistência que se está a medir o que falseará o resultado da medição.
- ✓ Uma vez que o ohmímetro tem uma **fonte de tensão** incorporada, cada vez que se efectuar uma medição ou verificação deverá averiguar-se se esta tensão **não danificará o componente que se está a testar**.

## MEDIÇÃO DA POTÊNCIA ELÉCTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA

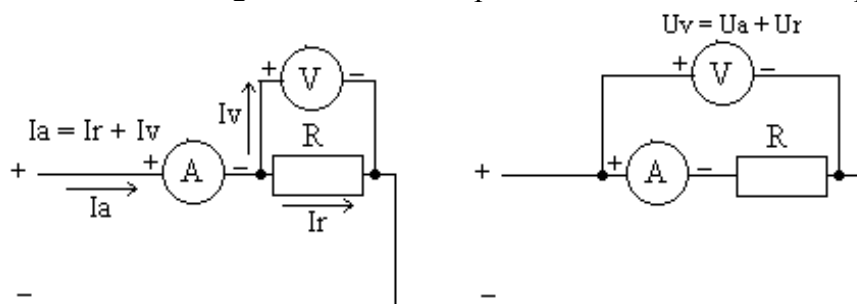
Podemos calcular a potência consumida num receptor alimentado por uma tensão contínua determinando o valor da tensão aplicada aos seus terminais,  $U$ , e a intensidade  $I$  da corrente que o percorre:  $P = U \times I$

Para a medir podem utilizar-se dois processos:

- Com um **voltímetro** e um **amperímetro**, efectuando o produto dos valores indicados por estes aparelhos (**método indirecto**).
- Empregando um **wattímetro** em que o deslocamento do ponteiro é proporcional ao produto  $U \times I$ , vindo, por isso, a escala graduada em Watt. (**método directo**).

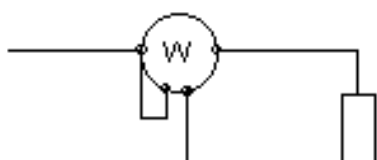
### Medição com um voltímetro e um amperímetro.

Como vemos nas figuras o voltímetro pode ser montado antes ou depois do amperímetro.



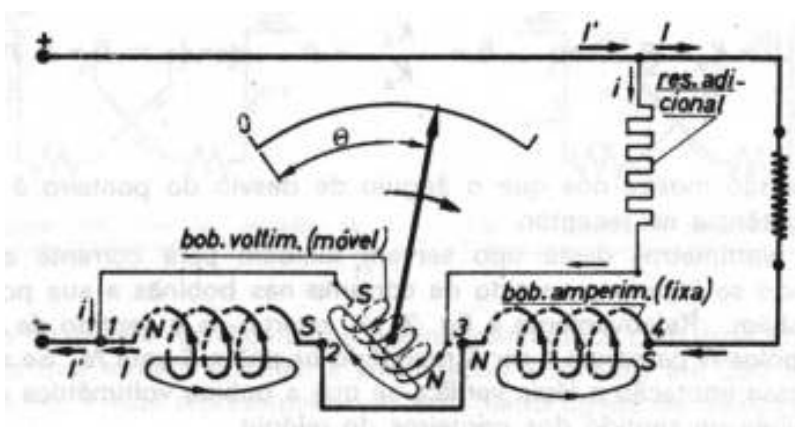
Em qualquer dos casos **comete-se um erro sistemático**, obtendo-se no entanto bons

resultados desde que se opte pela montagem mais adequada.



### Medição com um wattímetro.

Os wattímetros permitem por leitura directa, medir a potência eléctrica consumida num receptor.

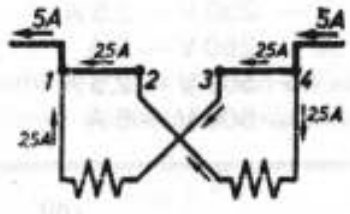
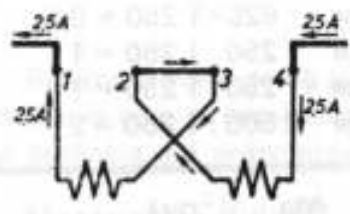


São **aparelhos electrodinâmicos** em que uma bobina móvel roda num campo magnético criado por uma bobina fixa.

Como se vê na figura, um wattímetro electrodinâmico é constituído por uma **bobina amperimétrica fixa, de fio grosso, montada em série com o receptor**. Esta bobina, dividida em duas partes iguais, cria um campo magnético, no interior do qual está colocada uma **bobina voltimétrica, móvel de fio fino**, que roda em torno de um eixo com um ponteiro.

Muitos wattímetros têm vários **campos de medida** que dependem das várias tensões a que pode ser ligada a bobina voltimétrica e da intensidade máxima da corrente para que está calibrada a bobina amperimétrica. Por **exemplo** um wattímetro cuja bobina voltimétrica tenha dois terminais para ligação até 250 V ou 500 V e cujas metades da bobina amperimétrica possam ser montadas em série ou paralelo e suportem a intensidade máxima de 2,5 A, tem os seguintes campos de medida:

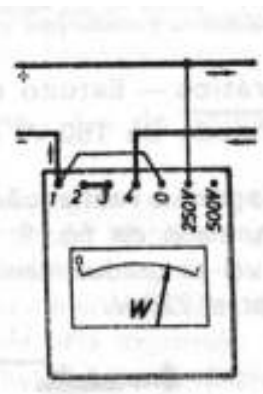
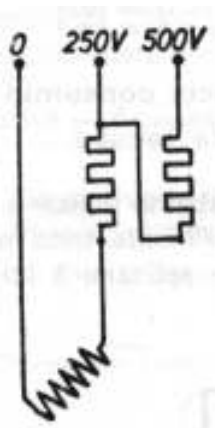
- Campo mínimo:  $250 \times 2,5 = 625 \text{ W}$  (bobinas amperimétricas ligadas em série)
- Campos médios:  $250 \times 5 = 1250 \text{ W}$   
 $500 \times 2,5 = 1250 \text{ W}$  (bobinas amperimétricas ligadas em paralelo)
- Campo máximo:  $500 \times 5 = 2500 \text{ W}$



Como podem ser montadas em série ou paralelo, as metades da bobina amperimétrica, elas têm quatro terminais independentes.

**Ligação em série** das metades da bobina amperimétrica para intensidades até 2,5 A. Shunta-se os terminais 2 e 3.

**Ligação em paralelo** das metades da bobina amperimétrica para intensidades até 5 A. Shunta-se os terminais 1 com 2 e 3 com 4.



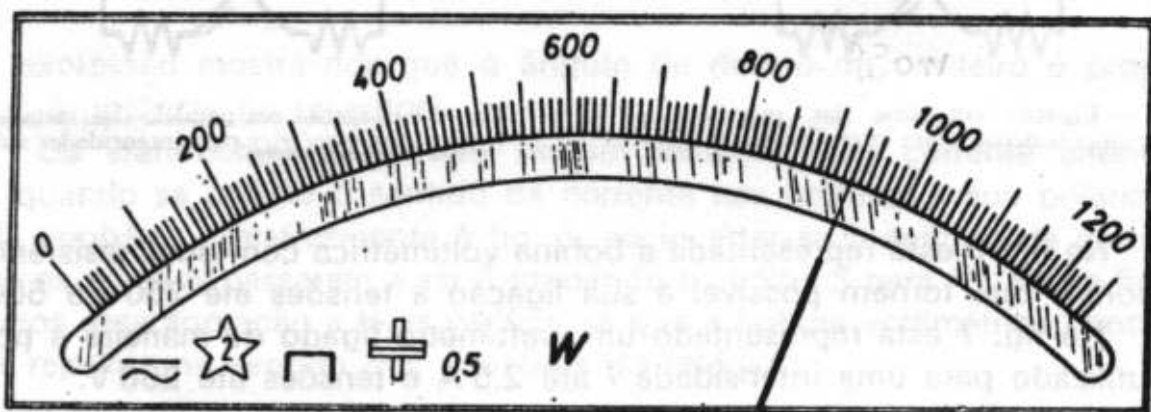
Bobina voltimétrica com duas resistências adicionais que tornam possível a sua ligação a tensões até 250 V ou 500 V.

## Observações:

- Quando as ligações do wattímetro não estão bem feitas o ponteiro desloca-se para fora da escala. Para que o ponteiro passe a deslocar-se no sentido conveniente devem trocar-se as ligações da bobina amperimétrica.
- É muito importante a maneira como se fazem as ligações de um wattímetro para se evitar que as intensidades tanto na bobina amperimétrica como na voltimétrica, ultrapassem os valores para que o aparelho foi construído.
- Caso não se conheça a potência do receptor fazer as ligações para o campo máximo.

## Factor de multiplicação

Quando o wattímetro tem vários campos de medida e apenas uma escala é necessário calcular os factores de multiplicação para se obter a potência a partir das leituras efectuadas. O factor de multiplicação pode determinar-se facilmente, dividindo o produto dos dois campos de medida adoptados, pelo valor máximo da escala.



Este wattímetro tem os seguintes **campos de medida**:

250 V - 2,5 A  
250 V - 5 A  
500 V - 2,5 A  
500 V - 5 A

Determine:

- Os factores de multiplicação para os quatro campos de medida.
- Os valores da potência para a posição do ponteiro, nos quatro campos de medida.

---

a) $250 \times 2,5 = 625 \text{ W}$	$625 : 1250 = 0,5$	$m = 0,5$
$250 \times 5 = 1250 \text{ W}$	$1250 : 1250 = 1$	$m = 1$
$500 \times 2,5 = 1250 \text{ W}$	$1250 : 1250 = 1$	$m = 1$
$500 \times 5 = 2500 \text{ W}$	$2500 : 1250 = 2$	$m = 2$

- b) Valor da menor divisão da escala:  $100 \text{ W} : 10 \text{ div.} = 10 \text{ W/div.}$   
Valor indicado pelo índice:  $900 + (3 \times 10) = 930$

No campo de medida:  $625 \text{ W} \Rightarrow 930 \times 0,5 = 465 \text{ W}$   
No campo de medida:  $1250 \text{ W} \Rightarrow 930 \times 1 = 930 \text{ W}$   
No campo de medida:  $2500 \text{ W} \Rightarrow 930 \times 2 = 1860 \text{ W}$

## MEDIÇÃO DE POTÊNCIA EM CORRENTE ALTERNADA MONOFÁSICA

Em corrente alternada devemos considerar três potências distintas: a **potência real** ou activa ou, simplesmente, potência **P**, a **potência reactiva Q**, e a **potência aparente S**.

### ▪ Potência real ou activa (P)

$$P = U \times I \times \cos \varphi \quad U(\text{V}) ; I(\text{A}) ; P(\text{W})$$

Mede-se utilizando o **wattímetro**.

### ▪ Potência aparente (S)

$$S = U \times I \quad U(\text{V}) ; I(\text{A}) ; S(\text{VA})$$

Mede-se com um **voltímetro** e um **amperímetro**  
A unidade é o **Volt - Ampère (VA)**.

### ▪ Potência reactiva (Q)

$$Q = U \times I \times \sin \varphi \quad U(\text{V}) ; I(\text{A}) ; Q(\text{VAR})$$

Mede-se utilizando o **varímetro**.  
A unidade é o **Volt - Ampère reactivo (VAR)**.

---

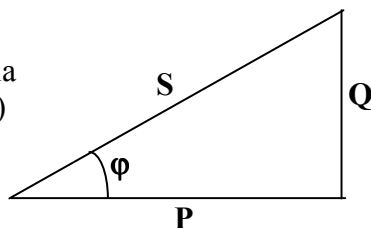
$$\frac{P}{S} = \frac{UI \cos \varphi}{UI} = \cos \varphi$$

A relação entre a potência real (P) e a potência aparente (S) dá-se o nome de **Factor de potência**, que será igual a **cos φ**.

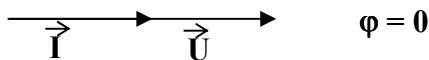
---

### Triângulo das potências.

Este triângulo rectângulo tem como hipotenusa a potência aparente (S). A hipotenusa faz com a base (potência real) um ângulo φ, ângulo de desfasamento da intensidade com a tensão. Aplicando o teorema de Pitágoras teríamos:  $S^2 = P^2 + Q^2$

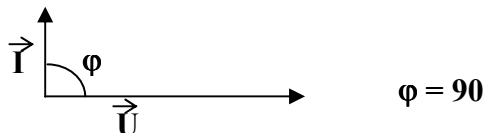


**Circuito resistivo puro :**



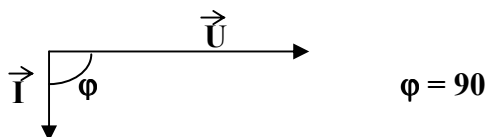
$$\varphi = 0$$

**Circuito capacitivo puro :**



$$\varphi = 90$$

**Circuito indutivo puro :**



$$\varphi = 90$$