

O que é a metrologia?

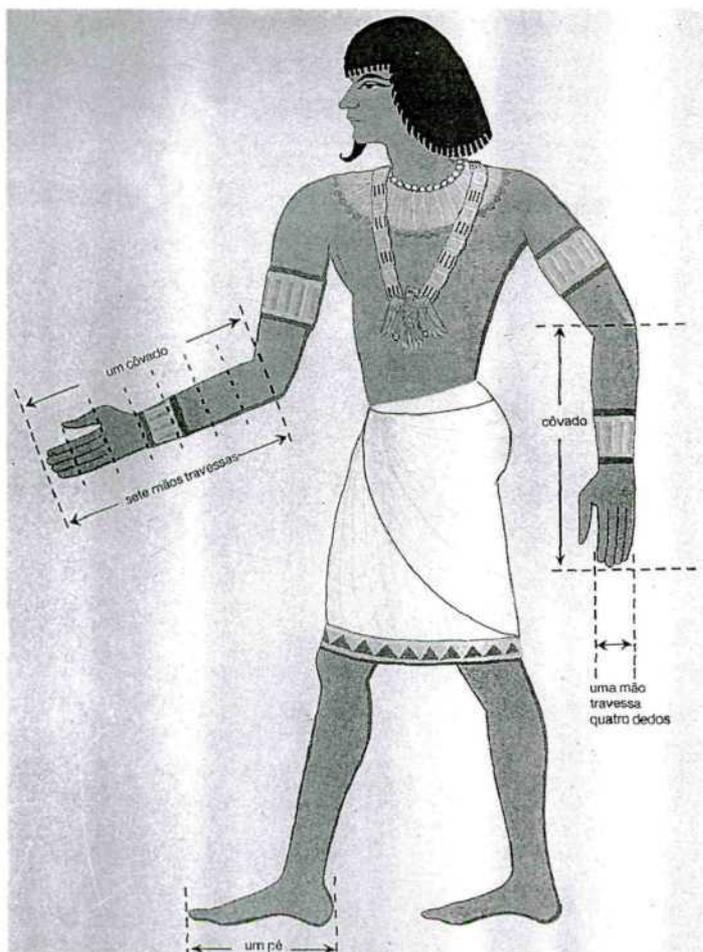
A **metrologia** é a ciência que se ocupa do estudo da **medição** das grandezas físicas, dos **sistemas de unidades**, dos **instrumentos de medida** e dos respectivos **métodos e técnicas** associados a esse estudo.

É isso que, de forma sucinta, vamos tentar compreender ao longo desta unidade, dirigindo a descrição e a análise, sempre que se justifique, para a "metrologia eléctrica".

Noção de medida

O acto de **medir** está sempre associado ao acto de **comparar**. Se o valor ou termo usado como base de comparação for pouco exacto, teremos obrigatoriamente uma medição pouco rigorosa.

Na Antiguidade, os povos usavam, por exemplo, as partes do corpo como termos de comparação das suas medições: a **polegada** era a espessura do polegar e a **jarda** a distância entre o queixo e as pontas dos dedos quando o braço estava estendido. O **côvado**, a mão travessa, o pé, etc., eram ainda outras **unidades** de comprimento habitualmente usadas.



Eram medições, obviamente, inexactas e variáveis, pois o tamanho dos braços ou dedos, como se sabe, varia de pessoa para pessoa.

Mas, se utilizarmos como base de comparação uma unidade bem definida e precisa, a medição terá outra credibilidade e rigor.

Podemos, então, dizer que:

Medir uma determinada grandeza consiste em comparar o seu valor com outro preestabelecido, tomado como unidade dessa mesma grandeza.

A necessidade de medir

A necessidade de medir vem desde os povos primitivos, subsiste no mundo actual e continuará, por certo, a sentir-se nas gerações futuras.

A Física, enquanto ciência, se se limitasse apenas a descrever e analisar **qualitativamente** os respectivos fenómenos era seguramente uma ciência incompleta. A evolução desses fenómenos só fica, em pleno, compreendida se forem estabelecidas relações exactas entre as diferentes grandezas que os caracterizam. Por isso, torna-se também necessária a análise **quantitativa**, através da existência de **grandezas** características desses fenómenos, capazes de **serem medidas**.

É importante mas não basta, por exemplo, na teoria da electricidade explicar a origem do movimento dos electrões. É também necessário quantificar esse movimento e daí partir para a definição da respectiva **unidade de medida** – o ampere.

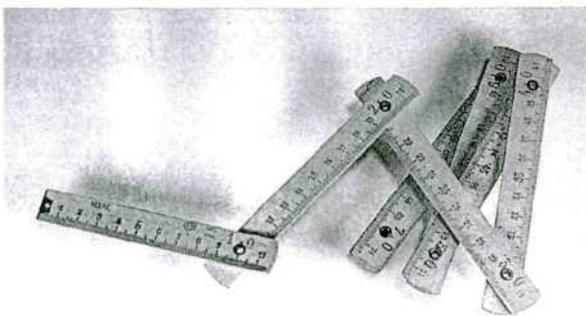
Muitos outros exemplos poderiam ser apontados. Deles resultam duas noções que convém, desde já, distinguir: **grandeza** e **unidade de medida**.

- **Grandeza** – é toda a propriedade de um corpo ou característica de um fenómeno susceptível de ser medida.

Exemplos: **comprimento** de uma sala; **massa** de uma substância; **resistência eléctrica**, etc.

- **Unidade de medida** – é a parte específica da grandeza a partir da qual se avalia o seu valor numérico. Este depende da unidade escolhida e é inversamente proporcional ao tamanho da unidade – quanto menor for esta, maior é o número que exprime o valor da grandeza.

Exemplos: **metro**; **milímetro**; **quilograma**; **tonelada**; **ohm**; **quiloohm**; etc.



Sistema Internacional de unidades (S. I.)

O problema das medições tornar-se-ia confuso caso não houvesse acordos sobre as unidades de medida escolhidas.

Os sistemas de unidades criaram-se exactamente para unificar, em termos internacionais, certas unidades de medida, sendo a **Conferência Geral de Pesos e Medidas**, na qual Portugal participa, o organismo responsável pela definição e aperfeiçoamento de unidades aceitáveis por todos.

Em 1789 foi criado em França o **sistema métrico**, que teve como uma das unidades fundamentais o **metro** e que se baseou no sistema decimal – os múltiplos e submúltiplos obtêm-se sempre com potências inteiras de 10.

Desde essa altura até hoje, a definição de metro tem sofrido várias alterações, sempre com o objectivo de garantir o rigor dessa medida padrão. Vejamos, como curiosidade:

Primeira definição de metro	O metro é igual à décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre entre o pólo Norte e o equador.
Segunda definição de metro	O metro foi marcado numa barra de platina, guardada no Museu de Sèvres, em França.
Terceira definição de metro	O metro é igual a 1 650 763, 73 comprimento de onda da radiação no vazio do átomo de cripton-86.
Definição actual do metro	O metro é igual à distância percorrida pela luz em 1/299 792 458 do segundo.

Além do sistema métrico outros foram entretanto criados. Contudo, o **Sistema Internacional de unidades**, designado abreviadamente por **S. I.**, é o sistema actualmente em vigor em quase todos os países do Mundo. Ele tem por base um conjunto de sete **unidades fundamentais** correspondentes a outras tantas **grandezas**.

S. I.			
Grandezas fundamentais		Unidades fundamentais	
NOME	SÍMBOLO	NOME	SÍMBOLO
Comprimento	ℓ	Metro	m
Massa	m	Quilograma	kg
Tempo	t	Segundo	s
Intensidade de corrente eléctrica	I	Ampere	A
Quantidade de matéria	n	Mole	mol
Temperatura	T	Kelvin	K
Intensidade luminosa	I _v	Candela	cd

Como se pode verificar pelo quadro, em termos de **grandezas e unidades eléctricas** apenas a **intensidade de corrente** e o **ampere** fazem parte do grupo das unidades fundamentais do S. I.

Convém, no entanto, referir que as restantes unidades já estudadas (**ohm, volt, watt, hertz, etc.**) também pertencem ao S. I., na condição de unidades de **grandezas derivadas**.

Múltiplos e submúltiplos

Atentemos, por exemplo, nas duas afirmações seguintes:

- “A distância do Porto a Lisboa são 330 000 metros”;
- “O valor da intensidade de corrente num circuito é de 0,0005 amperes”.

Muito embora tais afirmações possam ser verdadeiras, ninguém as pronuncia porque elas não têm grande sentido prático.

No primeiro caso deveríamos usar um **múltiplo** do metro – o **quilómetro** – e no segundo um submúltiplo do ampere – o **microampere**. As leituras tornar-se-iam, assim, bastante mais facilitadas: **330 km** e **500 μ A**, respectivamente.

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

	PREFIXO	SÍMBOLO	FACTOR DE MULTIPLICAÇÃO
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	μ	0,000 001 = 10 ⁻⁶
	nano	n	0,000 000 001 = 10 ⁻⁹
	pico	p	0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹²

Apliquemos agora estes prefixos e respectivos valores, por exemplo, às grandezas “comprimento” e “massa”.

Unidades de comprimento		
Múltiplos		
NOME	SÍMBOLO	RELAÇÃO COM O METRO
quilómetro	km	1000 m
hectómetro	hm	100 m
decâmetro	dam	10 m
metro	m	1 m
Submúltiplos		
decímetro	dm	0,1 m
centímetro	cm	0,01 m
milímetro	mm	0,001 m
micrómetro	µm	0,000 001 m

Unidades de massa			
	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO	VALOR CORRESPONDENTE EM QUILOGRAMAS
Múltiplos do kg	Tonelada ou megagrama	T ou Mg	1 T = 1000 kg
	quilograma	kg	1
	hectograma	hg	1 hg = 0,1 kg
	decagrama	dag	1 dag = 0,01 kg
	grama	g	1 g = 0,001 kg
Submúltiplos do kg	decigramma	dg	1 dg = 0,0001 kg
	centigramma	cg	1 cg = 0,000 01 kg
	miligramma	mg	1 mg = 0,000 001 kg
	microgramma	µg	1 µg = 0,000 000 001 kg

Nota: verificamos que os nomes e símbolos dos múltiplos e submúltiplos das unidades de massa resultam da junção dos prefixos à palavra “grama”, o que contraria a regra estabelecida, pois a unidade fundamental (ou de base) é o quilograma, no S. I. Por razões históricas (o grama foi definido antes do quilograma), tal facto constitui uma excepção entre as unidades de base deste sistema.

Finalmente, pelo quadro seguinte podemos, em resumo, recordar as **grandezas eléctricas** e respectivas **unidades de medida** mais utilizadas:

GRANDEZA ELÉCTRICA	UNIDADE DE MEDIDA	MÚLTIPLOS HABITUAIS	SUBMÚLTIPLOS HABITUAIS
d.d.p. ou tensão (U)	Volt (V)	quilovolt (kV) 1 kV = 1000 V	milivolt (mV) 1 mV = 0,001 V
Intensidade de corrente (I)	Ampere (A)	quiloampere (kA) 1 kA = 1000 A	miliampere (mA) 1 mA = 0,001 A microampere (μ A) 1 μ A = 0,000 001 A
Resistência eléctrica (R)	Ohm (Ω)	quiloohm (k Ω) 1 k Ω = 1000 Ω megaohm (M Ω) 1 M Ω = 1000 000 Ω	
Resistividade (ρ)	Ohm x metro (Ω .m)		ohm x milímetro quadrado/metro Ω . mm ² / m
Quantidade de electricidade (Q)	Coulomb (C)		
Potência eléctrica (P)	Watt (W)	quilowatt (kW) 1 kW = 1000 W megawatt (MW) 1 MW = 1000 000 W gigawatt (GW) 1 GW = 10 ⁹ W	
Energia eléctrica (E)	Watt . hora (Wh)	quilowatt . hora (kWh) 1 kWh = 1000 Wh	
Período (T)	Segundo (s)		
Frequência (f)	Hertz (Hz)	quilohertz (kHz) 1 kHz = 1000 Hz megahertz (MHz) 1 MHz = 1000 000 Hz gigahertz (GHz) 1 GHz = 10 ⁹ Hz	
Coefficiente de auto-indução ou Indutância (L)	Henry (H)		milihenry (mH) 1 mH = 0,001 H
Capacidade eléctrica (C)	Farad (F)		milifarad (mF) 1 mF = 0,001 F microfarad (μ F) 1 μ F = 0,000 001 F nanofarad (nF) 1 nF = 10 ⁻⁹ F picofarad (pF) 1 pF = 10 ⁻¹² F
Fluxo magnético (ϕ)	Weber (W)		
Indução magnética (B)	Weber / m ² (Wb / m ²) ou Tesla (T)		
Intensidade de campo electromagnético (H)	Ampere. espira por metro (A. e/m)		

10

Tipos de medição

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

Método directo

O método directo resulta da comparação da grandeza a medir com outra da mesma espécie tomada como unidade de medida.

Medir um determinado **comprimento**, utilizando o **metro** ou a fita métrica, medir a **d.d.p.** utilizando um **voltímetro** ou a **intensidade de corrente** com o **amperímetro** são exemplos de **medições directas**, pois os valores das respectivas grandezas são obtidos através da leitura (comparação) directa com unidades de medida de grandezas da mesma espécie.

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.

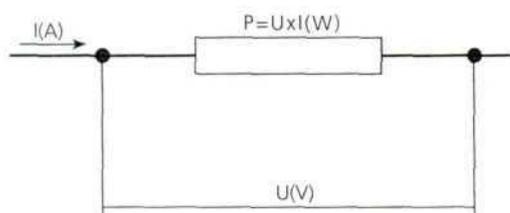
Exemplos de medições indirectas

- A superfície de uma sala rectangular é obtida multiplicando o comprimento da sala pela sua largura. A nova grandeza (**superfície**) e a sua unidade (**m²**) estão neste caso relacionadas com a grandeza **comprimento** e a sua unidade (**metro**). A superfície é uma **grandeza derivada** do comprimento.

$$S = l_1 \times l_2 \text{ (m}^2\text{)}$$

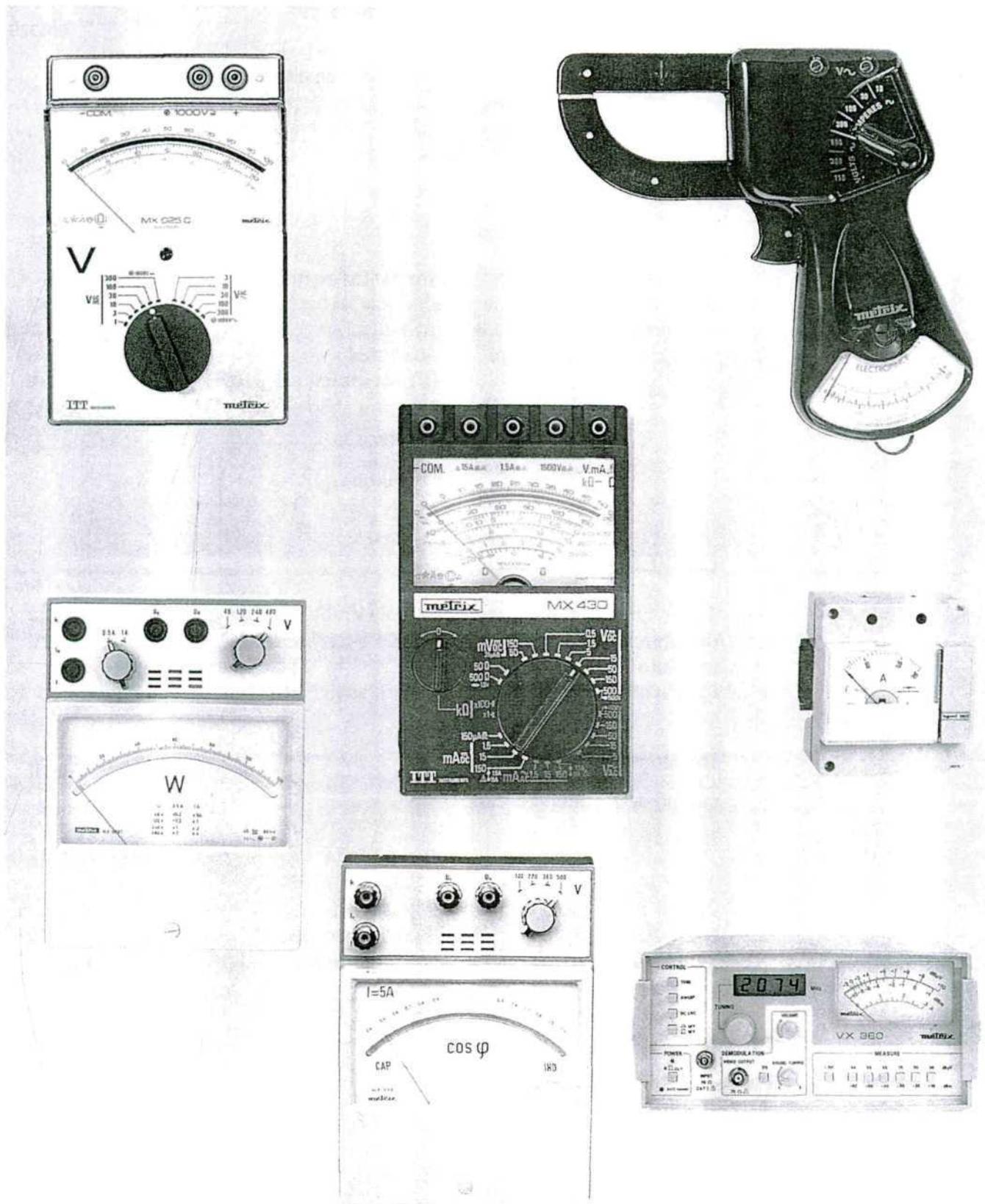
$l_1 \text{ (m)}$ $l_2 \text{ (m)}$

- O valor da potência pode ser determinado através da relação $P = U \times I$. Neste caso, duas grandezas de espécies diferentes (**d.d.p.** e **intensidade de corrente**) e respectivas unidades (**volt** e **ampere**) dão origem a uma nova grandeza (**potência eléctrica**) e respectiva unidade (**watt**).



Igualmente se poderia utilizar o método indirecto no cálculo das três grandezas fundamentais da electricidade (U ; I ; R) aplicando a lei de Ohm.

Aparelhos de medida eléctrica



Todas as grandezas eléctricas já estudadas têm, como é sabido, os respectivos aparelhos para as medir. A identificação destes aparelhos bem como algumas informações relativas à sua correcta utilização obedecem a simbologias próprias. Os quadros seguintes referem os aparelhos de medida eléctrica mais usuais e respectivas simbologias.

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.

ALGUNS SINAIS DOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA

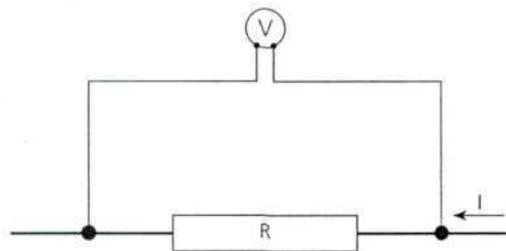
	Instrumento para corrente contínua
	Instrumento para corrente alternada
	Instrumento para corrente contínua e alternada
	Instrumento para corrente trifásica
50	Frequência da corrente alternada (neste caso 50 Hz)
	Posição de trabalho vertical (utilizar o instrumento na posição vertical)
	Posição de trabalho horizontal
	Posição de trabalho inclinada (neste caso com inclinação de 60°)

Na próxima unidade ("Laboratórios de Electricidade") serão propostos alguns trabalhos visando a medição das três grandezas fundamentais da electricidade. Para tal, importa conhecer alguns princípios que nos orientem e nos levem à adequada utilização dos respectivos aparelhos de medida: **voltímetro**, **amperímetro** e **ohmímetro** (multímetro).

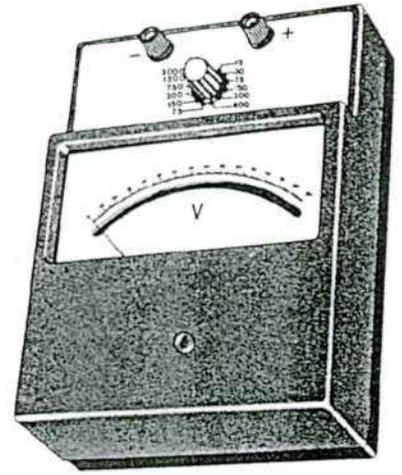
O voltímetro

O voltímetro é o aparelho de medida destinado a avaliar a **diferença de potencial** (d.d.p.) entre dois pontos. A característica essencial deste aparelho é o facto de ele possuir uma **elevada resistência interna**, por forma a reduzir ao mínimo a intensidade de corrente que o atravessa. Evita-se, assim, que o normal funcionamento do circuito seja influenciado. É o valor dessa resistência interna (**resistência adicional**) que vai determinar o campo de medida do aparelho. Quanto maior este for maior terá de ser o valor dessa resistência. Vários campos de medida implicam a existência de várias resistências adicionais.

O voltímetro é um instrumento que deve ser ligado em **paralelo** no circuito, isto é, cada um dos seus dois terminais deve ligar aos pontos cuja tensão se pretende medir, depois de nos inteirarmos se o campo de medida utilizado é o mais adequado.

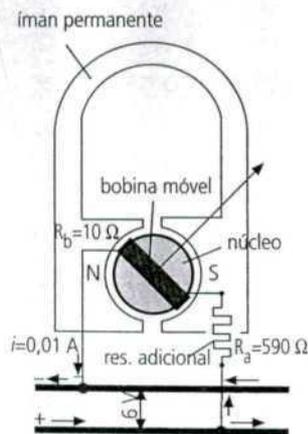


Ligação de um voltímetro



ENRIQUECIMENTO

FUNCIONAMENTO DE UM VOLTÍMETRO



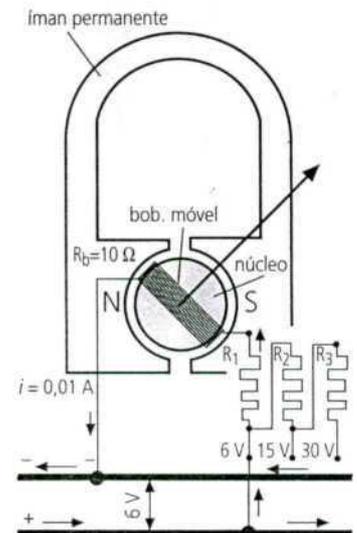
Voltímetro de quadro móvel

Um dos tipos de voltímetros mais utilizados é o designado de bobina ou **quadro móvel**, constituído por um íman permanente e por uma bobina que roda, sempre que por ela passa uma corrente eléctrica – princípio das forças electromagnéticas.

Solidária com a bobina está o ponteiro, cujo desvio é proporcional à intensidade de corrente que a atravessa. Para que esta não atinja valores inoportáveis para a bobina, torna-se necessário montar em série uma **resistência adicional**, como se pode ver na figura.

O desvio máximo do ponteiro é função do valor dessa resistência. Conhecida a intensidade de corrente máxima admissível na bobina e a tensão máxima que desejamos medir, por aplicação da lei de Ohm facilmente determinamos o valor da resistência adicional.

Se queremos o mesmo voltímetro a ser utilizado com vários campos de medida, teremos de o equipar com as resistências adicionais equivalentes.



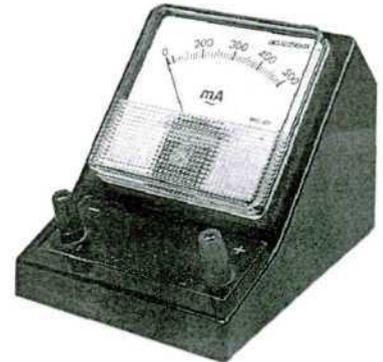
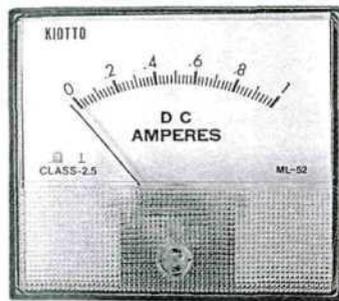
O amperímetro

O amperímetro é o instrumento que nos permite medir a **intensidade de corrente eléctrica** de um circuito. Ao contrário do voltímetro, possui uma **resistência interna** (designada de “shunt”), cujo valor é **muito pequeno** exactamente para permitir que, praticamente, toda a corrente do circuito passe por ela.

Por isso, o amperímetro deve ser sempre **ligado em série**.

O campo de medida do aparelho é determinado pelo valor da resistência do “shunt”. Esta diminui à medida que o alcance do aparelho aumenta.

Quando a corrente a medir é pequena (inferior a 1 A) é costume utilizar-se o **miliamperímetro**, cuja escala está graduada em miliamperes (mA).



10

Ligação de um amperímetro

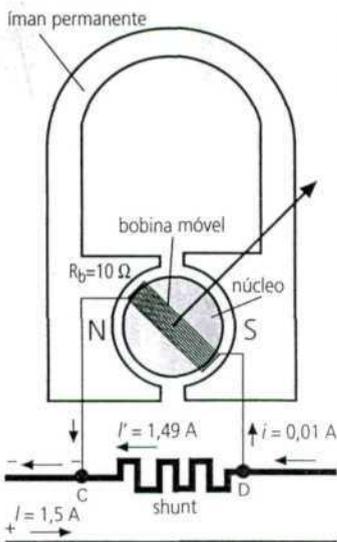


ENRIQUECIMENTO

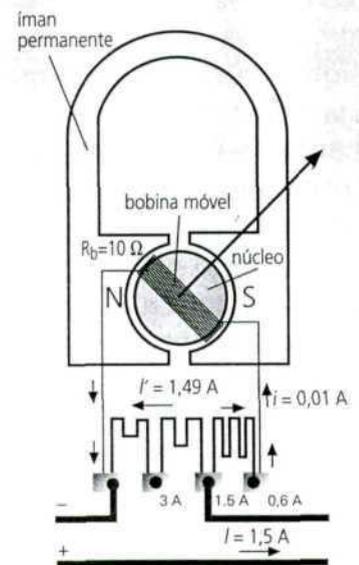
FUNCIONAMENTO DE UM AMPERÍMETRO

A constituição e princípio de funcionamento de um amperímetro são idênticos à do voltímetro. O que os distingue diz respeito apenas às suas resistências internas. Nestes aparelhos o “shunt” é uma resistência de baixo valor, ligada em série com o circuito cuja corrente pretendemos medir e em paralelo com a bobina móvel do aparelho.

Tal como acontecia com as resistências adicionais dos voltímetros, neste caso a existência de resistências “shunt” de diferentes valores dá origem a amperímetros de diferentes campos de medida.



Amperímetro de bobina móvel



O ohmímetro



Os ohmímetros são aparelhos que, por leitura directa, nos indicam o valor da **resistência eléctrica** ligada aos seus terminais. Empregam-se com duas finalidades:

- verificação da continuidade dos circuitos;
- medição de resistências e de isolamentos.

Um dos tipos mais utilizados é o **ohmímetro de pilhas**, aparelho portátil que possui no seu interior um gerador de c.c. (pilha), responsável pela alimentação da bobina móvel do aparelho.

Os ohmímetros têm normalmente vários campos de medida que nos permitem realizar medições de vários milhões de ohm, tomando neste caso a designação de **megaohmímetros**. O da figura, por exemplo, é um megaohmímetro analógico de pilhas que pode medir resistências até ao valor de **100 MW** (100 milhões de ohm).

Contudo, um dos aparelhos mais correntes na medição de resistências e verificação da continuidade de um circuito é o **multímetro**. É um instrumento também portátil e bastante prático, pois, para além de resistências, pode medir também tensões e intensidades de corrente. Reúne num só aparelho, para além de outras, as funções de **ohmímetro**, **voltímetro** e **amperímetro**. Por rotação de um comutador podemos escolher a grandeza a medir e os vários campos de medida normalmente disponíveis.

O multímetro, quando funciona como ohmímetro, possui uma pilha cuja f.e.m. vai diminuindo com a sua utilização.



Também bastante usado é o multímetro em forma de **pinça amperimétrica**. Possui as características do anterior, apenas diferindo no modo como é realizada a medição da intensidade de corrente: basta "abraçar" o fio por onde esta circula, através das duas hastes móveis, para obtermos directamente o valor da corrente eléctrica na respectiva escala do aparelho.



Multímetro / pinça amperimétrica

10

Cuidados a observar nas medições

A construção dos instrumentos de medida requer normalmente a utilização de materiais especiais e elevada precisão de fabrico, o que os torna bastante caros. Como tal, exige-se aos seus utilizadores o seu correcto manuseamento que salvguarde quer o aparelho quer o máximo rigor na medição.

Nesse sentido devem ser observados certos cuidados, dos quais se podem destacar:

- leitura atenta de todas as **informações disponíveis no aparelho**, relativas à forma como ele deve ser usado e ao seu próprio funcionamento;
- **selecção do campo de medida**, adequado ao valor da grandeza que pretendemos medir. Não esquecer que, em escalas lineares, a precisão da leitura é tanto maior quanto maior for o desvio do ponteiro;
- **escolha da classe de precisão** do aparelho, tendo em conta o rigor e a qualidade do trabalho a executar;
- colocado o aparelho na posição conveniente, fazer a leitura olhando perpendicularmente à escala, a fim de se evitarem **erros de paralaxe**;
- quando se efectuam medições em c.c., importa ter presente a **polaridade dos instrumentos**, isto é, os seus terminais (+) e (-) devem ser convenientemente ligados; caso contrário o ponteiro desloca-se para fora da escala;
- os ohmímetros e multímetros de pilhas devem ser **sempre desligados após a sua utilização**, para se evitar o desgaste prematuro das pilhas.