



**MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL
FORÇA AÉREA PORTUGUESA
CENTRO DE FORMAÇÃO MILITAR E TÉCNICA**

Curso de Formação de Praças - RC

COMPÊNDIO

**FUNDAMENTOS DE
ELECTRICIDADE I**

EPR: 1SAR Luis Alegrio

CCF 335-26

Julho 2008





**MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL
FORÇA AÉREA PORTUGUESA
CENTRO DE FORMAÇÃO MILITAR E TÉCNICA**

CARTA DE PROMULGAÇÃO

JULHO 2008

1. O Compêndio de "Fundamentos de Electricidade I" é uma Publicação "NÃO CLASSIFICADA".
2. Esta publicação entra em vigor logo que recebida.
3. É permitido copiar ou fazer extractos desta publicação sem autorização da entidade promulgadora.

O COMANDANTE

Vítor Manuel Alves Francisco

COR/PILAV

REGISTO DE ALTERAÇÕES

IDENTIFICAÇÃO DA ALTERAÇÃO, Nº DE REGISTO, DATA	DATA DE INTRODUÇÃO	DATA DE ENTRADA EM VIGOR	ASSINATURA, POSTO E UNIDADE DE QUEM INTRODUZIU A ALTERAÇÃO

Cursos:	Curso de Formação de Praças - RC
Nome do Compêndio:	Fundamentos de Electricidade I
Disciplina:	Fundamentos de Electricidade
Data de elaboração:	Julho 2008
Elaborado Por:	1SAR/ MELECT Luís Alegrio
Verificado Por:	Gabinete da Qualidade da Formação
Comando G. Formação:	TCOR/ ENGAER José Saúde
Director de Área:	MAJ/ TMMEEL Abílio Carmo
Director de Curso:	TEN/ TMMEEL António Graveto
Formador:	1SAR/ MELECT Luís Alegrio

ATENÇÃO:

Esta publicação destina-se a apoiar os formandos a frequentarem o Curso de Formação de Praças das Especialidades MELECA, MELECT, MELIAV e MMA na disciplina de (Fundamentos de Electricidade).

Não pretendendo ser uma publicação exaustiva do curso em questão, apresenta-se como uma ferramenta de consulta quer durante a duração do curso, quer após a sua conclusão.

ÍNDICE

UNIDADES E SISTEMAS DE UNIDADES	5
MEDIDAS.....	5
SISTEMAS DE MEDIDAS, GRANDEZAS FUNDAMENTAIS E UNIDADES	5
NOTAÇÃO CIENTÍFICA	6
MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS.....	7
TRIGNOMETRIA	8
PROBLEMAS PARA RESOLVER	9
ELECTROQUÍMICA.....	11
COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA.....	11
MOLÉCULAS E ÁTOMOS.....	11
TEORIA ELECTRÓNICA DA MATÉRIA	12
ESTRUTURA DO ÁTOMO	12
IÕES E IONIZAÇÃO	14
PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MATERIAIS	15
CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS MATERIAIS.....	15
PROPRIEDADES E GRANDEZAS GERAIS DOS MATERIAIS	16
GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ELÉCTRICOS	18
PRINCIPAIS MATERIAIS CONDUTORES.....	19
PRINCIPAIS MATERIAIS ISOLANTES	21
ELECTROSTÁTICA.....	25
FENÓMENO DA ELECTRIZAÇÃO.....	25
FORÇAS ELÉCTRICAS	26
CAMPO ELÉCTRICO.....	27
LINHAS DE FORÇA DO CAMPO ELÉCTRICO.....	27
LEI DE COULOMB	29
DIFERENÇA DE POTENCIAL	30
PROBLEMAS PARA RESOLVER	31
CORRENTE CONTÍNUA.....	33
CORRENTE ELÉCTRICA	33
RESISTÊNCIA	37
CONDUTÂNCIA ELÉCTRICA.....	40
TABELA DE CÓDIGO DE CORES PARA RESISTÊNCIAS	40
MÉTODOS DE MEDIDA	41

TIPOS DE RESISTÊNCIAS	43
RESISTÊNCIAS NÃO LINEARES	45
CIRCUITO ELÉCTRICO. CONSTITUIÇÃO E FUNÇÃO DE CADA ELEMENTO	47
LEI DE OHM.....	49
ENERGIA.....	50
POTÊNCIA ELÉCTRICA	51
FORMULÁRIO GERAL	54
ENERGIA COMO FUNÇÃO DA POTÊNCIA	54
LEI DE JOULE	55
APLICAÇÕES DO EFEITO DE JOULE	56
INCONVENIENTES DO EFEITO DE JOULE.....	57
PROBLEMAS PARA RESOLVER.....	57
ANÁLISE DE CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA	59
ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS.....	59
ASSOCIAÇÃO SÉRIE	59
ASSOCIAÇÃO PARALELO	63
ASSOCIAÇÃO MISTA	64
TRANSFORMAÇÕES ESTRELA-TRIÂNGULO $Y-\Delta$	67
ASSOCIAÇÃO DE GERADORES EM SÉRIE	71
ASSOCIAÇÃO DE GERADORES EM PARALELO.....	74
MÁXIMA TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA	76
TEOREMA DE THÉVENIN	78
TEOREMA DE NORTON	80
LEIS DE KIRCHHOFF.....	82
PROBLEMAS PARA RESOLVER.....	87
ELECTROQUÍMICA	92
ELECTRÓLISE.....	92
GERADORES ELECTROQUÍMICOS	95
ACUMULADORES	103
APLICAÇÕES DOS ACUMULADORES	110
APLICAÇÕES NAS AERONAVES.	111
CONDENSADORES	113
CAPACIDADE ELÉCTRICA.....	113
ANÁLISE DE CIRCUITOS COM CONDENSADORES	121
BIBLIOGRAFIA	125
LISTA DE PÁGINAS EM VIGOR	1

UNIDADES E SISTEMAS DE UNIDADES

MEDIDAS

O processo de medir uma grandeza física consiste em compará-la e determinar a relação existente para com uma grandeza da mesma natureza tomada para unidade, para padrão. Quando se diz que o comprimento de um determinado objecto é de 5 metros por exemplo, o que pretendemos exprimir é que o seu comprimento é 5 vezes maior que o da unidade de comprimento tomada para comparação, denominada metro. A parte numérica indica-nos quantas unidades de referência estão contidas na quantidade que está sendo medida. Entende-se por padrão, a materialização de uma unidade.

SISTEMAS DE MEDIDAS, GRANDEZAS FUNDAMENTAIS E UNIDADES

Existem principalmente dois sistemas de unidades bastante diferenciados, o sistema métrico e o sistema britânico de unidades, este último utilizado apenas nos países de expressão inglesa.

grandeza	sistema métrico		sistema britânico	
	unidade	símbolo	unidade	símbolo
comprimento	metro	m	pé	Ft
massa	quilograma	kg	libra	Lb
tempo	segundo	S	segundo	S

No **sistema métrico** existem duas modalidades diferentes: - o **sistema CGS** e o **sistema MKS**. As denominações destes dois sistemas são consequência das três unidades fundamentais empregues em cada um deles.

sistema CGS			sistema MKS		
grandeza	unidade	símbolo	grandeza	unidade	símbolo
comprimento	centímetro	<u>cm</u>	comprimento	metro	<u>m</u>
massa	grama	<u>g</u>	massa	quilograma	<u>kg</u>
tempo	segundo	<u>s</u>	tempo	segundo	<u>s</u>

No sistema CGS, temos como unidade de comprimento o centímetro, o grama como unidade de massa e o segundo como unidade de tempo. No sistema MKS temos respectivamente para o comprimento, a massa e o tempo, o metro, o quilograma e o segundo, constituindo este sistema a base do Sistema Internacional de Unidades cuja abreviatura é SI em todas as línguas.

O SI foi adoptado em 1961 pelo National Bureau of Standards e hoje em dia não só é utilizado por todas as maiores sociedades de engenharia profissional, como também constitui a linguagem em que todos os livros são escritos. Neste capítulo não nos iremos preocupar com as definições das unidades, pelo que as iremos omitir. Iremos insistir mais na forma como as unidades fundamentais de cada sistema se relacionam com as de outros sistemas, interessando-nos por isso muito mais os factores de conversão das unidades.

UNIDADES FUNDAMENTAIS DO <i>SI</i>		
Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Intensidade de corrente	ampere	A
Intensidade luminosa	candela	cd
Temperatura termodinâmica	grau kelvin	°K
Quantidade de matéria	mole	mol

NOTAÇÃO CIENTÍFICA

Em ciência é usual escrever números muito grandes ou muito pequenos, quer quando utilizamos determinadas constantes, quer quando efectuamos cálculos numéricos. Por este motivo, é útil e recomendável a utilização da notação científica.

REGRA

A forma padrão para a notação científica é:

$$a = 10^n$$

onde a é um número maior ou igual a 1 e menor que 10, e n é um número inteiro.

EXEMPLOS

Notação Standard	Notação científica
93 000 000	$9,3 \times 10^7$
384 000 000 000	$3,84 \times 10^{11}$
12 000 000	$1,2 \times 10^7$
0.000 0034	$3,4 \times 10^{-6}$
0,000000000000234	$2,34 \times 10^{-12}$
0.000 000 0157	$1,57 \times 10^{-8}$

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS

Em engenharia torna-se imprescindível a utilização dos múltiplos e dos submúltiplos das unidades utilizadas, assim teremos:

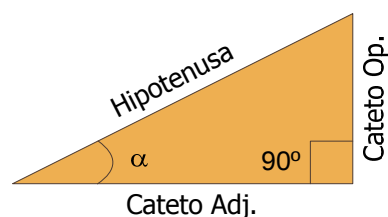
Nome	Símbolo	Factor pelo qual a unidade é multiplicada
exa	E	$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
quilo	k	$10^3 = 1\,000$
hecto	h	$10^2 = 100$
deca	da	10
deci	d	$10^{-1} = 0,1$
centi	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
micro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
Pico	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$
atto	a	$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$

EXEMPLOS

1 km	1000m	1×10^3 m
1 μ m	0,000 001 m	1×10^{-6} m
1 mg	0,001 g	1×10^{-3} g
33 kg	33 000 g	33×10^3 g
5 nm	0,000 000 005 m	5×10^{-9} m

TRIGNOMETRIA

As razões trigonométricas ser-nos-ão úteis ao longo da disciplina, uma vez que iremos ter necessidade de utilizar o seno e o co-seno de um ângulo para cálculo de grandezas electromagnéticas e eléctricas.



$$\text{Sen } \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Hipotenusa}} \quad \text{Cos } \alpha = \frac{\text{Cateto Adjacente}}{\text{Hipotenusa}} \quad \text{Tg } \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Cateto Adjacente}}$$

EXEMPLOS

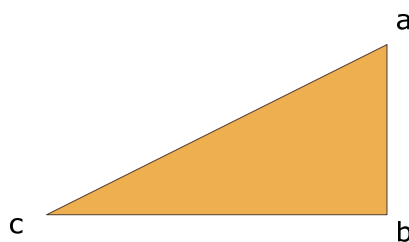
No triângulo Δ [ABC] rectângulo em B, tem-se AB = 5 cm, BC = 12 cm e AC = 13 cm.

Pretende-se calcular o $\text{Sen } \hat{A}$, $\text{Cos } \hat{A}$ e $\text{Tg } \hat{C}$.

$$\text{sen } \hat{A} = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}} = \frac{12}{13} = 0,923$$

$$\text{cos } \hat{A} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{5}{13} = 0,385$$

$$\text{Tg } \hat{C} = \frac{\overline{AB}}{\overline{BC}} = \frac{5}{12} = 0,417$$



PROBLEMAS PARA RESOLVER

1. Efectue as seguintes conversões:

- | | |
|--|--|
| a) 0,000 1 F em mF; | k) (11) 0,01 F em μF ; |
| b) (2) 0,01 H em mH; | l) (12) 220 V em kV; |
| c) (3) 10 000 Ω em $\text{M}\Omega$; | m) (13) 1 m^2 em cm^2 ; |
| d) (4) 1 362 000 Ω em $\text{M}\Omega$; | n) (14) 62×10^8 cm em m; |
| e) (5) 637 000 g em kg; | o) (15) 1,7 min em s; |
| f) (6) 115 000 m em km; | p) (16) 732 000 $\text{M}\Omega$ em $\mu\Omega$; |
| g) (7) 0,000 000 005 F em μF ; | q) (17) 1,320 cm^2 em m^2 ; |
| h) (8) 3 s em μs ; | r) (18) 0,076 h em μs ; |
| i) (9) 0,000 006 3 s em μs ; | s) (19) 3,2 h em s; |
| j) (10) 78 mH em H; | t) (20) 0,016 μF em ηF ; |
| | u) (21) 0,016 μF em pF. |

2. Exprima em megaohm a resistência de um circuito eléctrico cujo valor é de 5 680 000 Ohm.

3. A velocidade da luz é de 300 000 km/s. Calcule em metros a distância de propagação num nanosegundo.

4. Que factor de conversão deverá ser usado para multiplicar uma unidade fundamental de modo a convertê-la em microsegundos?

5. Efectue as seguintes operações apresentando os resultados sob a forma de uma potência de 10:

- | | |
|--|--|
| a) $(5 \times 10^{-3} \times 10^{-6} \times 10^3) : (2 \times 1 \times 10^{-3} \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{-2})$ | |
| b) $106 \times 10^{-3} \times 0,000\ 01$; | f) $600 (4,3 \times 10^{-3})\ 0,021$; |
| c) $10 \times 10^3 : 2 \times 10^3$; | g) $50 \times 10^{-12} \times 10 \times 10^5$; |
| d) $(10^{-4})^2 \times 10\ 000 \times (10^3)^2$; | h) $2,22 \times 64 \times 10^{-4} \times (4 \times 10^4)^4$; |
| e) $(4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^3) : (2 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-3})$; | |

i) $(5 \times 10^{-3} \times 2 \times 3 \times 5 \times 10^{-6}) : (4 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-9});$

j) $100 : 10\,000;$

k) $100 \times 10\,000;$

l) $0,001 : 100;$

p) $0,000\,000\,01 : 0,000\,01$

q) $620 \times 0,000\,02 \times 4\,800 : 9200 \times 430 \times 0,000\,000\,085;$

r) $103 \times 0,000\,01 : 100 \times 107;$

m) $105 \times 10\,000 \times 0,001;$

n) $1\,000 : 0,000\,01;$

o) $(36,3 \times 0,004\,5) : (2,1 \times 0,032)$

6. Converta para potências de base 10:

a) $0,000\,01;$

c) $0,000\,000\,1;$

e) $0,000\,000\,000\,000\,01;$

b) $562\,000\,000 = 5,62 \times \underline{\hspace{1cm}};$

d) $1\,205 = 1,205 \times \underline{\hspace{1cm}};$

f) $6542,3 = 6,5423 \times \underline{\hspace{1cm}};$

ELECTROQUÍMICA

COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA

A matéria é tudo aquilo que tem massa e ocupa espaço - matéria = massa. Assim, toda a matéria é constituída por átomos, ligados de maneiras diversas, dando origem a uma enorme variedade de substâncias. Ao unirem-se, os átomos formam moléculas que, por sua vez, originam elementos, compostos e misturas.

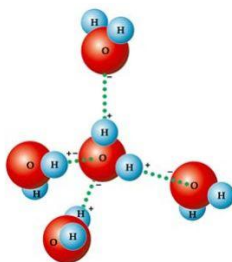
Se os átomos associados são todos iguais, então estamos perante um elemento. Em face da variedade patenteada pelo nosso mundo material, o número de elementos conhecidos é surpreendentemente pequeno: 106, que são os elementos constituintes da tabela periódica. E destes, cerca de 20 ou só existem em muito pequenas porções na natureza ou foram preparados pelo homem a partir de outros elementos, em diminutas quantidades. Como exemplo de elementos citamos: o ferro, o cobre, o oxigénio, o rádio, o plutónio, etc.

O composto é o resultado da combinação química de dois ou mais elementos. A água, o cloreto de sódio, o anidrido carbónico e o polietileno são exemplos de compostos. O elevado número de possíveis combinações que podem ser feitas utilizando dois ou mais elementos e também as variadas proporções em que podem combinar-se esses elementos, explica como é possível existirem tantas substâncias.

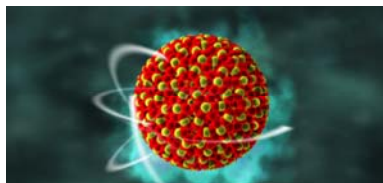
A mistura é a reunião de várias substâncias simples ou compostas sem perderem no entanto as propriedades que possuíam quando isoladas. Os ingredientes de uma mistura podem separar-se sem que sofram alteração. O ar, a gasolina, o granito, e o corpo humano são exemplos de misturas.

MOLÉCULAS E ÁTOMOS

A mais pequena partícula a que pode reduzir-se um composto sem que perca as suas propriedades características chama-se molécula. (figura seguinte: molécula da água)



A mais pequena partícula a que pode reduzir-se um elemento sem que este perca as suas propriedades características denomina-se átomo. (figura seguinte: átomo)



Dois ou mais átomos dos vários elementos combinam-se, deste modo, para formarem a molécula de um composto. A combinação resultante pode não ter propriedades químicas e físicas semelhantes às dos átomos que lhes deram origem. Por exemplo, dois átomos de hidrogénio combinam-se com um átomo de oxigénio para formarem uma molécula de água. Enquanto que o hidrogénio e o oxigénio são capazes de alimentar uma chama, o primeiro como combustível e o segundo como comburente, o composto deles resultante, a água, apaga a chama.

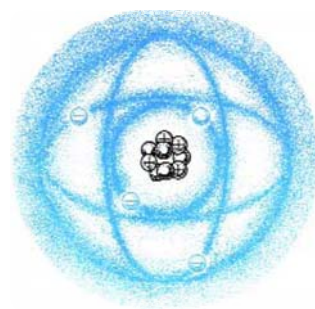
Um outro exemplo familiar de composto é o resultado da combinação de um átomo de sódio que é um metal pesado, e um átomo de cloro, que é um gás amarelo-esverdeado que se chama cloreto de sódio, vulgarmente conhecido por sal das cozinhas. Embora o sódio e o cloro sejam venenosos, o composto resultante, o cloreto de sódio é utilizado na confecção diária dos nossos alimentos existindo inclusive no sangue.

TEORIA ELECTRÓNICA DA MATÉRIA

De acordo com a teoria electrónica da matéria os átomos são constituídos por uma ou mais partículas indivisíveis carregadas positivamente, os protões, por uma ou mais partículas também indivisíveis carregadas negativamente, os electrões, podendo possuir ainda partículas neutras, os neutrões e, um átomo no seu estado normal, neutro, possui igual número de protões e electrões.

ESTRUTURA DO ÁTOMO

Os protões, possuindo cerca de 1845 vezes o peso de um electrão, formam com os neutrões a parte central pesada do átomo, chamada núcleo. Os neutrões possuem a mesma massa que os protões. O núcleo está carregado positivamente e á sua volta os electrões movem-se com grandes velocidades. Estes electrões são chamados electrões satélites ou planetários.



Os electrões são todos idênticos quer pertençam ao cobre, oxigénio ou qualquer outro elemento; o mesmo acontecendo com os protões. Mas os átomos já variam de natureza segundo o número e a disposição relativa dos seus electrões e dos seus protões.

As moléculas sendo formadas por átomos, com mais forte razão, variam, segundo o número, a disposição relativa e ainda a natureza dos seus átomos.

A figura seguinte representa os 3 átomos que compõem uma molécula de água, dois átomos de hidrogénio e um de oxigénio. No átomo de hidrogénio o núcleo contém um protão (+) cuja carga positiva é equilibrada pela carga negativa (-) de um electrão. No átomo de oxigénio o núcleo contém oito protões, cuja carga positiva é equilibrada pelas cargas negativas de oito electrões

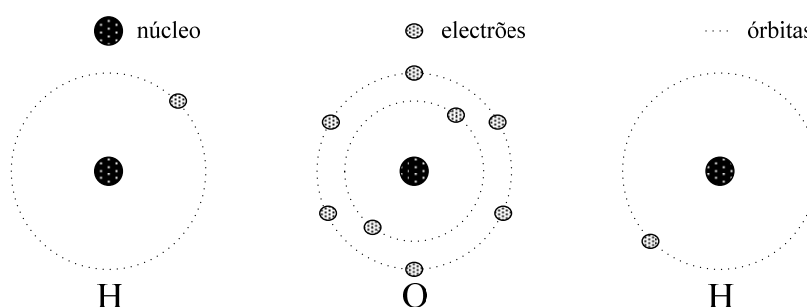


Figura 1: Três átomos que compõem a molécula de água

Os electrões que em média se encontram mais distantes do núcleo, e que são os mais intervenientes nas ligações com outros átomos designam-se por electrões de valência.

IÕES E IONIZAÇÃO

Em condições normais os átomos são electricamente neutros, ou seja cada átomo contém tantos electrões como protões, neutralizando-se por isso as cargas positivas com as negativas.

Quando um átomo perde electrões adquire uma carga positiva e passa a chamar-se ião positivo. Por sua vez, um átomo que receba electrões fica com uma carga negativa e denomina-se ião negativo. Se um átomo tem electrões em falta ou em excesso diz-se que se encontra ionizado. Por sua vez o processo pelo qual os átomos recebem ou perdem electrões chama-se ionização.

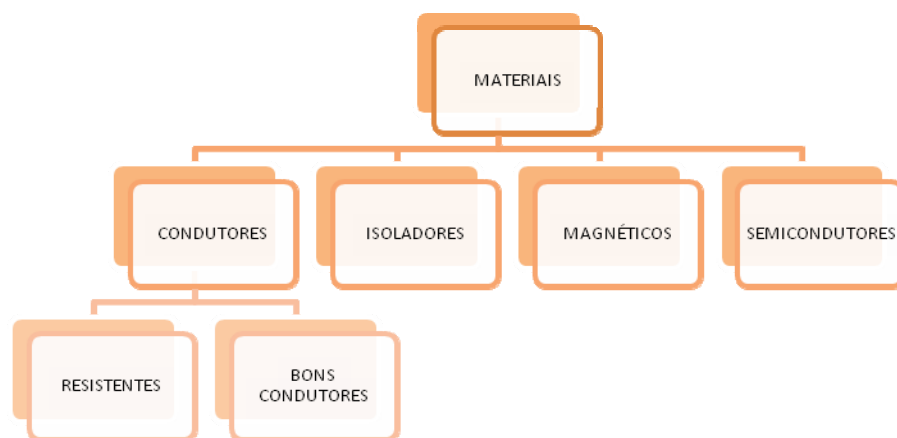
PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MATERIAIS

CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS MATERIAIS

A grande variedade de utilizações determina um total conhecimento das características dos materiais, e do seu comportamento em função do tempo.

Os materiais eléctricos dividem-se em:

- Materiais condutores (incluindo nestes os resistentes e bons condutores)
- Materiais isoladores
- Materiais semicondutores
- Materiais magnéticos



Os materiais utilizados em electrotecnia encontram-se no estado sólido, líquido ou gasosos. Em qualquer dos estados encontramos materiais condutores e materiais isolantes.

No estado sólido temos, por exemplo, o cobre - material condutor; o vidro - material isolante.

No estado líquido podemos encontrar, por exemplo: o mercúrio - material condutor; óleo mineral - material isolante.

No estado gasoso encontramos, por exemplo: o ar húmido - material condutor; ar seco - material isolante.

Os materiais condutores são os que melhor conduzem a corrente eléctrica, ou seja, menor resistência oferecem à sua passagem. Os valores usuais para a resistividade estão entre:

$$\rho = 10^{-4} \text{ a } 10^2 \, \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

Os materiais isoladores são aqueles que praticamente não conduzem a corrente eléctrica. Os valores usuais para a resistividade destes materiais estão entre:

$$\rho = 10^{14} \text{ a } 10^{26} \, \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

Os materiais semicondutores apresentam uma condutividade intermédia entre a dos condutores e a dos isolantes. Os valores usuais da resistividade encontram-se entre:

$$\rho = 10^4 \text{ a } 10^{10} \, \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

Os materiais magnéticos, embora também sejam algo condutores da corrente eléctrica, geralmente são estudados com outra finalidade, devido as suas propriedades magnéticas. Estes materiais, conforme veremos adiante, têm a propriedade de facilitarem o percurso das linhas de força do campo magnético.

PROPRIEDADES E GRANDEZAS GERAIS DOS MATERIAIS

As propriedades e grandezas dos materiais dividem-se em: eléctricas, mecânicas e químicas. Veremos de seguida, algumas, das mais importantes, propriedades e grandezas gerais dos materiais

MALEABILIDADE

É a propriedade que os materiais têm de se deixar reduzir a chapas. Exemplo: ouro, prata.

DUCTILIDADE

É a propriedade dos materiais se deixarem reduzir a fios. Exemplo: ouro, prata, cobre, ferro.

ELASTICIDADE

É a propriedade do material retornar á forma inicial, depois de cessar a acção que lhe provoca deformação. Exemplo: Mola.

FUSIBILIDADE

Propriedade dos materiais passarem do estado sólido ao estado líquido por acção do calor. Tem interesse conhecer o ponto de fusão de cada material para sabermos quais as temperaturas máximas admissíveis na instalação onde o material está integrado.

TENACIDADE

Propriedade dos materiais resistirem à tensão de ruptura, por torção ou compressão. A tensão de rotura é expressa em Kg / mm². Exemplos de materiais tenazes: bronze silicioso, cobre duro.

DUREZA

Propriedades dos materiais riscarem ou se deixarem riscar por outros. Exemplo de materiais duros: diamante, quartzo.

DILATABILIDADE

Propriedade que certos corpos têm de aumentarem as suas dimensões sob a acção do calor.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Propriedade que os materiais têm de conduzir com maior o menor facilidade o calor. Normalmente, os bons condutores eléctricos também são bons condutores térmicos, o que pode ser uma vantagem ou uma desvantagem. Exemplo de bons condutores térmicos: prata, cobre.

DENSIDADE

A densidade é a relação entre a massa de um corpo e a massa do mesmo volume de água. O resultado é adimensional.

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Massa do volume de um corpo}}{\text{Massa do mesmo volume de água}}$$

Exemplo de materiais condutores mais densos (pesados): mercúrio, prata

PERMEABILIDADE MAGNÉTICA

Propriedade dos materiais conduzirem com maior ou menor facilidade as linhas de força do campo magnético. Exemplos: ferro-silício, aço, ferro-fundido.

RESISTÊNCIA À FADIGA

Valor limite de esforço sobre um material, resultante de repetição de manobras. Cada manobra vai, progressivamente, provocando o “envelhecimento” das propriedades do material.

RESISTÊNCIA À CORROSÃO

Propriedades dos materiais manterem as suas propriedades químicas, por acção de agentes exteriores

(atmosféricos, químicos, etc.). Esta propriedade tem particular importância nos materiais expostos e enterrados (linhas, cabos ao ar livre ou enterrados, contactos eléctricos)

Os materiais combinam-se (uns mais, outros menos) com o oxigénio do ar, originando óxidos. Estes óxidos, em grande parte dos casos, acabam por destruir os materiais. A este fenómeno dá-se o nome de corrosão.

Quanto à oxidação, podemos dividir os materiais em dois grupos:

Cobre, prata, alumínio e zinco – que se oxidam ligeiramente. Esta oxidação é responsável pela deficiência dos contactos eléctricos.

Ferro e aços – onde é importante o fenómeno da corrosão. Esta oxidação dá origem à destruição completa da estrutura respectiva.

GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ELÉCTRICOS

RESISTÊNCIA

É a maior ou menor dificuldade que um corpo apresenta á passagem da corrente eléctrica. Representa-se por R e a sua unidade no S.I. é o Ohm (Ω).

CONDUTÂNCIA

É a maior ou menor facilidade que o material oferece á passagem da corrente eléctrica. Representa-se por G e a sua unidade no Sistema Internacional (S.I.) é o Siemens (S).

RESISTIVIDADE

Grandeza relacionada com a constituição do material. Define-se como sendo a resistência eléctrica de um material com 1 metro de comprimento e 1 milímetro quadrado de secção. Exprime-se em $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ou em $\Omega \cdot \text{m}$.

Ao inverso da resistividade chama-se condutividade.

COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Grandeza que permite determinar a variação da resistência em função da temperatura. Representa-se por α e expressa a variação duma resistência de 1 Ohm quando a temperatura varia de 1°C .

RIGIDEZ DIELÉCTRICA

É a tensão máxima, por unidade de comprimento, que se pode aplicar aos isolantes sem danificar as suas características isolantes. Expressa em KV / mm . O material com melhor rigidez dieléctrica é a mica.

PRINCIPAIS MATERIAIS CONDUTORES

Os principais materiais eléctricos utilizados para o fabrico de condutores são o cobre, o alumínio e a prata.

Além destes materiais existem ainda ligas condutoras e resistentes com variadíssimas aplicações, como por exemplo: bronze, latão e o almelec - ligas condutoras; constantan, mailhehort, manganina, ferro - níquel e o cromo - níquel - ligas resistentes.

CONDUTORES E LIGAS CONDUTORAS	COMPOSIÇÃO	RESISTIVIDADE $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m} (t = 20^\circ\text{C})$	COEF. TEMPERATURA $^\circ\text{C}^{-1} (t = 20^\circ\text{C})$	DENSIDADE ($t = 20^\circ\text{C}$)	TEMP. FUSÃO ($^\circ\text{C}$)	APLICAÇÕES
Cobre macio	cobre	0,0172	0,00393	8,89	1080	Condutores, contactos
Cobre duro	cobre+ (estanho ou silício)	0,0179	0,0039	8,89	1080	Linhas aéreas
Alumínio	alumínio	0,0282	0,0040	2,70	657	Cabos e linhas aéreas
Prata	prata	0,016	0,0036	10,50	960	Contactos, fusíveis
Bronze silicioso	cobre + estanho + zinco + silício	0,025	0,002	8,90	900	Linhas aéreas
Latão	Cobre + zinco	0,085	0,001	8,40	640	Contactos, terminais
Almelec	alumínio + silício + magnésio	0,0323	0,0036	2,70	660	Cabos, linhas aéreas
Mercúrio	mercúrio	0,962	0,0009	13,60	- 39	Contactos, interruptores

Por análise dos materiais existentes na tabela, podemos tirar, entre outras, as seguintes conclusões:

- O condutor mais leve é o alumínio.
- A prata é o melhor condutor.
- O material condutor com ponto de fusão mais elevado é o cobre.
- O condutor com menor coeficiente de temperatura é o mercúrio, seguido do latão.

Analisemos agora, os materiais e ligas resistentes. A tabela seguinte resume, para cada um dos principais materiais, as principais propriedades e as aplicações mais usuais.

MATERIAIS E LIGAS RESISTENTES	COMPOSIÇÃO	RESISTIVIDADE $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m} (t = 20^\circ\text{C})$	COEF. TEMPERATURA $^\circ\text{C}^{-1} (t = 20^\circ\text{C})$	DENSIDADE ($t = 20^\circ\text{C}$)	TEMP. FUSÃO ($^\circ\text{C}$)	APLICAÇÕES
Mailhehort	cobre + zinco + níquel	0,30	0,0003	8,5	1290	Reóstatos
Constantan	cobre + níquel	0,49	0,0002	8,4	1240	Resistência padrão
Manganina	cobre + níquel + manganês	0,42	0,00002	8,15	910	Resistências de precisão
Ferro - níquel	ferro + níquel + crómio	1,02	0,0009	8,05	1500	Resistências de aquecimento
Níquel - crómio	níquel + crómio	1,04	0,00004	8	1475	Resistências de aquecimento
Grafite	carvão	0,5 a 4	- 0,0004	2,25		Resistências para electrónica

Após análise da tabela, podemos concluir o seguinte:

- As ligas resistentes têm todas resistividade elevada.
- A liga resistente com maior ponto de fusão é o ferro - níquel (daí a sua utilização em aquecimento).
- A manganina tem um coeficiente de temperatura praticamente nulo.
- O carvão tem coeficiente de temperatura negativo.

Embora nas tabelas não estejam indicadas todas as propriedades de cada material, no entanto podemos compreender, as razões por que cada um deles tem as aplicações indicadas.

Algumas das propriedades em falta foram referidas anteriormente, como sejam: a corrosão, factor importante na escolha do material para a função e local a instalar; a maleabilidade e a ductilidade, que determinam quais os materiais que se podem transformar em chapas ou reduzir a fios.

Outras propriedades dos condutores são de salientar:

- O ouro e a prata são os metais mais dúcteis e maleáveis, o que lhes permite facilmente serem reduzidos a fios e chapas, são no entanto caros.
- O alumínio em contacto com o ar cobre-se de uma camada de óxido, chamado alumina, que o protege contra a corrosão.
- O cobre também fica revestido por um óxido, chamado azebre, que o protege contra a acção dos agentes atmosféricos.
- Relativamente aos materiais resistentes são de salientar as seguintes características:
 - Grande resistividade
 - Temperatura de funcionamento elevada
 - Baixo coeficiente de temperatura

PRINCIPAIS MATERIAIS ISOLANTES

Os materiais isolantes existem nos circuitos eléctricos sob diversas formas e têm finalidades variadas, desde proteger pessoas, evitar curtos - circuitos nas instalações, evitar fugas de corrente, etc.

Podem ser subdivididos em sólidos (exemplo: vidro, mica), líquidos (exemplo: óleo mineral, verniz) e gasosos (exemplo: ar, azoto).

Os materiais sólidos e líquidos utilizados para o fabrico de isolantes provém de 3 origens: isolantes minerais, isolantes orgânicos e isolantes plásticos.

Com a utilização estes tipos de materiais, como quaisquer materiais, envelhecem. Os factores principais que contribuem para este envelhecimento são:

- | | |
|----------------------|------------------------|
| ➤ Temperatura | ➤ Humidade |
| ➤ Campo eléctrico | ➤ Agentes atmosféricos |
| ➤ Esforços mecânicos | ➤ Agentes químicos |

As principais propriedades dos materiais isolantes são indicadas a seguir:

- Resistividade eléctrica
- Rigidez dieléctrica
- Estabilidade térmica
- Temperatura máxima de utilização
- Factor de perdas

Para cada aplicação será escolhido o material que melhores condições reúna, de acordo com as exigências da função. Na tabela seguinte estão resumidas algumas propriedades e aplicações dos principais materiais isolantes.

Pela sua análise, podemos salientar as seguintes conclusões:

- A mica é considerada o material com maior tensão de ruptura.
- O quartzo é o material com maior resistividade eléctrica.
- A mica é o material que apresenta melhor estabilidade térmica.
- O vidro tem uma grande resistência mecânica.
- O papel seco é bom isolante, barato, mas higroscópico (é atacado pela humidade).
- O policloreto de vinilo não é inflamável.
- A porcelana tem a desvantagem de ser porosa (deixa-se infiltrar pela humidade).
- Os materiais orgânicos e os plásticos têm, em relação aos minerais, a grande vantagem de serem mais flexíveis no seu tratamento e na sua utilização.
- Os isolantes gasosos, como o ar, são baratos.

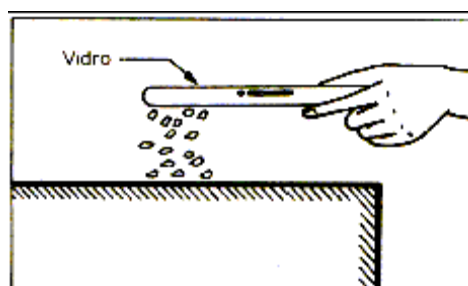
	MATERIAL	RESISTIV. ($M\Omega \cdot cm$ ($t = 20^\circ C$)	RIGIDEZ DIELÉCTRICA (KV / mm)	TEMP.MÁX. UTILIZAÇÃO ($^\circ C$)	PROPRIEDADES	APLICAÇÕES
MINERAIS	Mica	10^7	100-200	500-600	Suporta temperaturas e tensões muito elevadas	Suporte para resistências de aquecimento, isolante da lâminas do colector das máquinas eléctricas.
	Porcelana	$> 10^5$	35	-	Estável ao longo do tempo, porosa, recoberta de esmalte torna-se impermeável.	Base para terminais, isoladores para linhas.
	Vidro	$> 10^6$	10-40	200-250	Grande resistência mecânica.	Tubos para lâmpadas fluorescentes e incandescentes.
	Quartzo	$> 10^{18}$	20-30	-	Suporta temperaturas	Lâmpadas de vapor de

	MATERIAL	RESISTIV. ($M\Omega \cdot cm$ ($t=20^{\circ}C$)	RIGIDEZ DIELÉCTRICA (KV / mm)	TEMP.MÁX. UTILIZAÇÃO ($^{\circ}C$)	PROPRIEDADES	APLICAÇÕES
ORGÂNICOS	Óleos	$10^{-7} - 10^{-8}$	10-25	60-200	elevadas. Devem ser isentos de impurezas. Incombustíveis.	mercúrio. Refrigeração dos transformadores de alta potência
	Amianto	10^9	3	200-250	Resiste a temperaturas elevadas.	Isolante de condutores, apoios para resistências.
	Outros				Fibrocimento, mármore.	
	Borracha natural	10^8	20-30	-	Elástica, resistente, muito sensível a agentes exteriores.	Isolador de condutores, luvas, tapetes isoladores.
PLÁSTICOS	Algodão	10^3	5-10	-	Muito flexível.	Fios e fitas para cobrir condutores e bobinas de máquinas eléctricas.
	Papel impregnado	10^8	7-8	100	Barato, higroscópico.	Isolante dos cabos subterrâneos.
	Outros				Ebonite, verniz, cartão, madeira.	
	Poliétileno	10^{18}	40	60-80	Resistente à acção solar e dos ácidos. Grande resistividade.	Suporte de enrolamentos, caixas para TV e rádio, isolamento de condutores.
GASOSOS	Policloreto de vinilo	$10^2 - 10^5$	30-50	170-105	Não é inflamável. Resistente às acções químicas.	Isolamento de condutores, fabrico de tubos.
	Poliestireno	10^{10}	55	80-90	Resina sintética, facilmente moldável.	Fabrico de placas e caixas com alto poder isolante.
	Resina epóxi (araldite)	$10^9 - 10^{10}$	20-45	80-120	Pode ser facilmente moldada, produzindo diversos aparelhos e peças.	Pára - raios , caixa para cabos.
	Resina fenólica (baquelite)	$> 10^{12}$	10-20	120	Inalterável aos agentes exteriores. Grande resistividade.	Fabricação de peças para aparelhagem eléctrica.
GASOSOS	Ar	10^8	3	Sem limite	Barato. Humidifica com facilidade.	Como isolante natural na extinção do arco eléctrico em aparelhagem de protecção.
	Outros				Ebonite, verniz, cartão, madeira.	

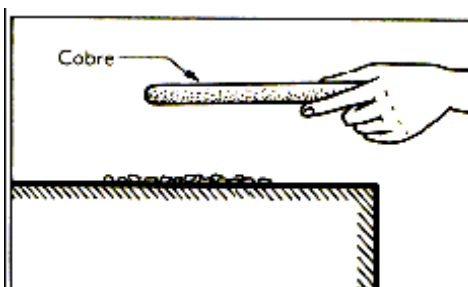
ELECTROSTÁTICA

FENÓMENO DA ELECTRIZAÇÃO

É conhecida de todos a experiência que consiste em esfregar um objecto, como uma caneta, num pedaço de lã e constatar que esse objecto irá atrair pedaços de papel. Outros materiais como o vidro, a parafina, a ebonite, etc., também se electrizam por fricção.

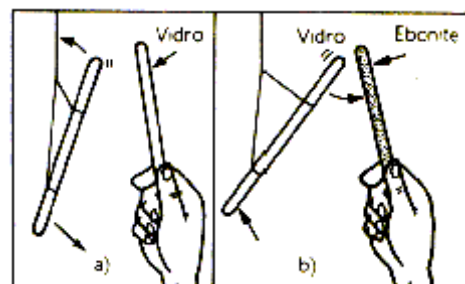


No entanto, os materiais que habitualmente conhecemos como condutores, comportam-se de forma diferente. Mas se isolarmos a barra de cobre, já iremos obter o mesmo resultado que o obtido com o vidro ou outro material considerado como isolador.



Vejamos agora outra experiência. Suspendamos uma pequena barra de vidro através de um fio isolante. Electrize uma outra barra de vidro e aproximemos as duas até se verificar um breve contacto. Após esse contacto iremos constatar que as barras se repelem. Da mesma forma, se repetirmos a experiência com duas barras de ebonite (isolante orgânico natural), verificamos exactamente o mesmo efeito.

Finalmente, se electrizarmos uma barra de vidro e aproximarmos de uma barra também electrizada mas de ebonite, as duas barras vão atrair-se.



FORÇAS ELÉCTRICAS

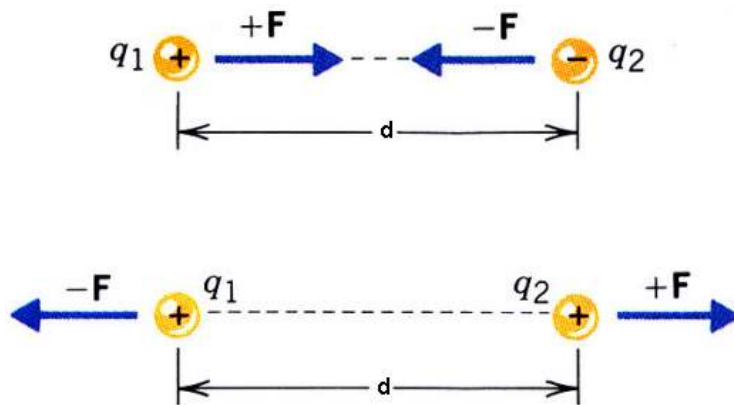
Pelas experiências atrás descritas podemos constatar que há dois tipos de carga:

- Carga positiva
- Carga negativa

LEI DAS ATRAÇÕES E REPULSÕES

Dois corpos com carga eléctrica de sinais contrários atraem-se.

Dois corpos com carga eléctrica do mesmo sinal, repelem-se.



Por outro lado, diremos que uma carga exerce sobre uma outra carga uma Força Eléctrica, que será repulsiva ou atractiva. Designa-se por F_e , e a sua unidade S.I. é o Newton (N).

Este tipo de forças ocorre entre corpos eletrizados, pelo facto de possuírem carga eléctrica.

- Um corpo está eletrizado se atrair corpos leves;
- Um corpo pode eletrizar-se por fricção, contacto ou influência;
- Quando um corpo está eletrizado possui carga eléctrica;
- A carga eléctrica surge devido ao desequilíbrio entre o numero de electrões e o numero de protões na constituição do corpo.

CAMPO ELÉCTRICO

Qualquer corpo electrizado exerce sobre toda a carga eléctrica que se encontra na sua vizinhança uma força. Vamos designar por Campo Eléctrico a região no espaço na qual a carga eléctrica exerce essa acção.

Campo eléctrico uniforme – Se numa determinada região do espaço existir um campo eléctrico cuja direcção, sentido e intensidade se mantenham em todos os pontos onde esse campo se faz sentir.

Campo eléctrico não uniforme - Se o campo eléctrico varia com o ponto onde está a ser calculado.

O Campo Eléctrico é uma grandeza vectorial que se designa por E , e a sua unidade S.I. é o Newton / Coulomb (N/C).

$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q} \text{ (N/C)}$	Onde:	$\vec{E}$	Intensidade do campo eléctrico	(N/C)
		$\vec{F}_e$	Força eléctrica	Newton (N)
		q	Carga eléctrica	Coulomb (C)

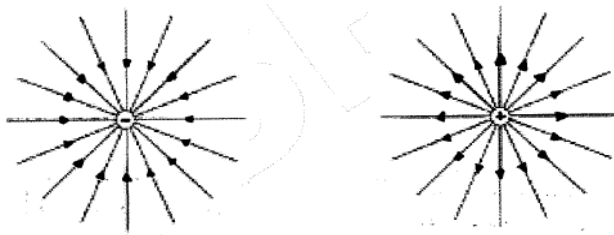
A direcção, e o sentido do campo eléctrico (E) num determinado ponto serão, por definição, as mesmas da força eléctrica (F_e), se considerarmos a carga de prova positiva.

LINHAS DE FORÇA DO CAMPO ELÉCTRICO

Podem ser vistas como um mapa que fornece informação qualitativa (e mesmo quantitativa) sobre a direcção e intensidade do campo eléctrico, em diferentes pontos do espaço.

PROPRIEDADES DAS LINHAS DE FORÇA DO CAMPO ELÉCTRICO

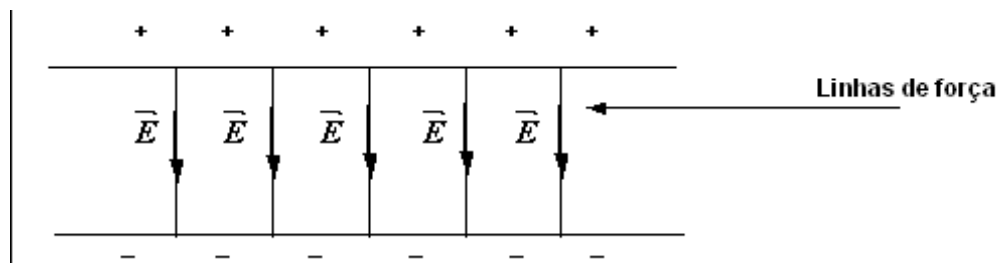
- Começam sempre em cargas positivas e terminam em cargas negativas.
- O número de linhas com origem (ou fim) numa carga é proporcional à magnitude da carga.
- A intensidade do campo é proporcional à densidade de linhas de força.
- As linhas de força nunca se cruzam.



LINHAS DE FORÇA NUM CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME

Obtemos um campo eléctrico uniforme se colocarmos, paralelamente duas placas electrizadas com carga eléctrica de sinais contrários. As linhas de forças dirigem-se do (+) para o (-) e são paralelas entre si.

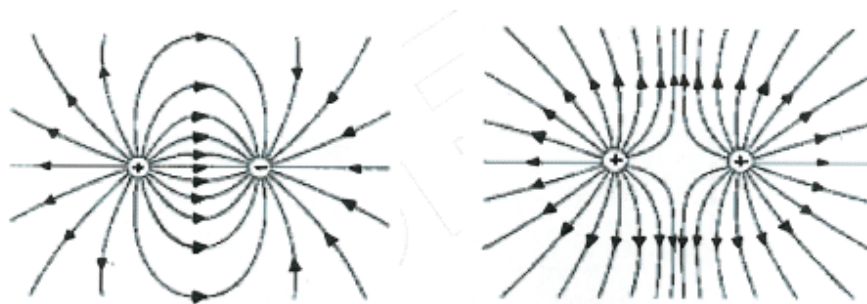
Entre as placas, excepto nas externas, o vector $\vec{E}$ dirigido da placa positiva para a negativa, tem, em todos os pontos o mesmo módulo, direcção, sentido.



LINHAS DE FORÇA NUM CAMPO ELÉCTRICO NÃO UNIFORME

As linhas de força do campo eléctrico não são sempre rectas, como no caso anterior. São frequentemente curvas, como no caso dos dipolos eléctricos. Estes são formados por duas cargas pontuais separados, com a mesma magnitude mas de sinal contrário.

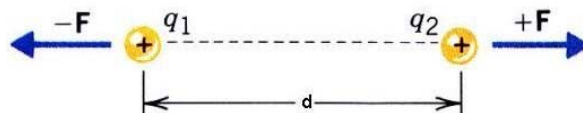
O campo eléctrico é mais intenso na região entre as cargas e na proximidade das cargas.



LEI DE COULOMB

Coulomb mediu, no ano de 1784, as forças de atracção ou repulsão que se exercem entre dois corpos electrizados, em função da distância a que encontram.

A força eléctrica de atracção ou repulsão que se exerce entre duas cargas eléctricas localizadas a uma distância d é inversamente proporcional ao quadrado da distância dos dois pontos. Essa força tem a direcção da recta que une os dois pontos



$\vec{F} = K \frac{ q_1 \times q_2 }{d^2} \text{ (N)}$	Onde:	$\vec{F}$	Força que exerce entre as duas cargas	Newton (N)
		K	Constante de Coulomb (Vazio = 9×10^9)	$\text{Nm}^2 \text{C}^{-2}$
		q_1, q_2	Cargas eléctricas	Coulomb (C)
		d	distância que estão colocadas as duas cargas	metro (m)



Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806)

Engenheiro militar francês, foi um dos pioneiros da física experimental.

Descobriu a lei da atracção e repulsão eletrostática em 1787, estudou os materiais isolantes e diversos outros assuntos relacionados à eletricidade e ao magnetismo, que constam de seu livro "Mémoires sur l'Électricité et sur le Magnetisme" (Memórias sobre a Eletricidade e sobre o Magnetismo).

A unidade de medida de carga eléctrica é coulomb, em sua homenagem.

DIFERENÇA DE POTENCIAL

ENERGIA POTENCIAL

Quando uma carga Q é colocada sob a acção de um campo eléctrico, fica sujeito a uma força capaz de a deslocar. Poderemos então dizer que, o campo eléctrico possui uma dada energia potencial que é capaz de realizar trabalho.

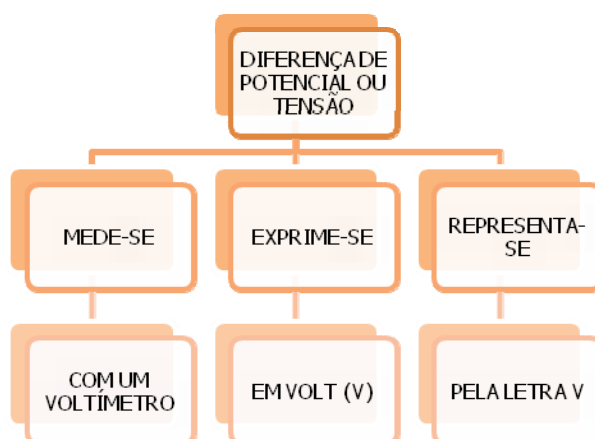
VARIAÇÃO DA ENERGIA POTENCIAL

Corresponde ao trabalho realizado pelas forças do campo eléctrico para deslocar uma carga, de um ponto A para um ponto B, a velocidade constante.

$$W_{ab} = E_{pot(a)} - E_{pot(b)} \quad \text{joule (J)}$$

RELAÇÃO ENTRE O TRABALHO E A DIFERENÇA DE POTENCIAL

Á variação da energia potencial entre dois pontos do campo eléctrico, por unidade de carga, quando esta é deslocada pelas forças do campo, dá-se o nome de diferença de potencial.

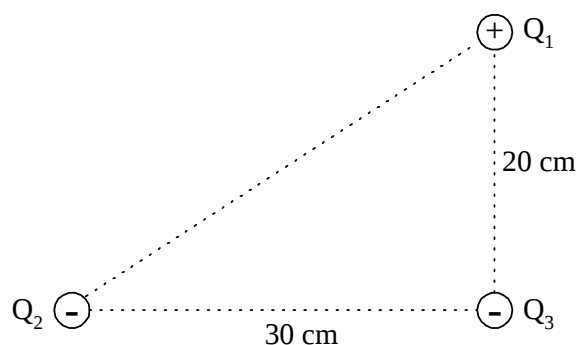


A diferença de potencial entre os pontos A e B é dada por:

$$AV = V_{AB} = \frac{E_{pot(a)} - E_{pot(b)}}{q} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (J/C) = Volt(V)$$

PROBLEMAS PARA RESOLVER

1. Calcule a força exercida entre duas cargas negativas de $10 \mu\text{C}$ e $20 \mu\text{C}$ respectivamente, quando colocadas no ar a uma distância de 1 m uma da outra.
2. Demonstre que a unidade SI da constante de Coulomb é Nm^2C^{-2} .
3. Duas pequenas esferas de massa desprezável, uma A, carregada positivamente com $2,0 \mu\text{C}$ e outra B, carregada negativamente com $50 \mu\text{C}$ distam 10 cm no ar. Calcule em que posição deve ser colocada uma terceira esfera C, carregada negativamente com $0,18 \text{ C}$ para que a esfera A fique imóvel.
4. Duas cargas repelem-se com a força de 12 mN, encontrando-se à distância de 15 cm uma da outra. Sabendo que uma carga vale $+ 0,2 \mu\text{C}$, calcule o valor da outra carga.
5. Dadas duas cargas positivas de $10 \mu\text{C}$ e $20 \mu\text{C}$, separadas no ar por uma distância de 30 cm, calcule a força que exercem entre si. Diga se essa força é de atracção ou de repulsão.
6. Calcule a carga de uma esfera que colocada no ar a uma distância de 1 cm de outra com a carga positiva de $1 \mu\text{C}$, a atrai com a força de 1 mN.
7. Calcule a intensidade da força electrostática que se exerce entre duas cargas pontuais $Q_1 = -2 \mu\text{C}$ e $Q_2 = -3 \mu\text{C}$, situadas no vazio á distância de 3 dm. $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
8. Três cargas eléctricas pontuais, $Q_1 = 1 \mu\text{C}$, $Q_2 = -2 \mu\text{C}$ e $Q_3 = -3 \mu\text{C}$ encontram-se localizadas nos vértices do triângulo rectângulo da figura:



- a) Represente graficamente a força resultante sobre a carga Q_3 ;
 - b) Calcule a intensidade dessa força.
9. Considere duas cargas pontuais, uma de $2 \mu\text{C}$ e outra de $-4 \mu\text{C}$ á distância de 30 cm uma da outra. Calcule a intensidade da força que as atrai em cada um dos seguintes meios:
 - a) No vazio; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
 - b) No ar; $\epsilon_r = 1,0005$

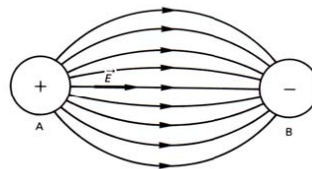
c) Na água. $\epsilon_r = 80$

- 10.** Electrizam-se negativamente duas esferas metálicas com as cargas de 10 nC e 20 nC. A intensidade da força electrostática entre estas cargas pontuais vale no vazio $4,5 \times 10^{-5}$ N. Calcule a distância entre as duas esferas.
- 11.** Dois iões positivos iguais, á distância de 5×10^{-10} m um do outro, repelem-se no ar com uma força de intensidade $3,7 \times 10^{-9}$ N. Calcule:
- a)** A carga de cada ião em C; $\epsilon = 9,954 \times 10^{-12}$
- b)** A força com que estes iões se repelem na água. $\epsilon_r = 80$
- 12.** Duas cargas pontuais Q_1 e Q_2 de sinais contrários, tais que $|Q_1| = |Q_2|$, atraem-se com forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ de intensidade igual a $\vec{F}$ quando se encontram à distância d . Se aumentarmos a distância para $2d$ a força de atracção passará a ter a intensidade $2\vec{F}$, $4\vec{F}$, $\vec{F}/2$ ou $\vec{F}/4$?
- 13.** Duas cargas pontuais Q_1 e Q_2 repelem-se com uma força de 9×10^{-5} N, quando se encontram á distância de 0,02 m uma da outra. Afastando Q_2 mais 0,04 m para a direita sobre a recta que as une, calcule a intensidade da força entre as cargas nesta nova posição.
- 14.** Duas cargas pontuais $Q_1 = 9 \mu\text{C}$ e $Q_2 = -1 \mu\text{C}$ encontram-se fixas no vazio á distância de 2 dm uma da outra. Calcule em que posição e a que distância se deverá colocar uma terceira carga pontual de $2 \mu\text{C}$ de modo a que esta fique em repouso.

CORRENTE CONTÍNUA

CORRENTE ELÉCTRICA

Se dispusermos de 2 corpos metálicos eletrizados, um corpo A eletrizado positivamente e um corpo B eletrizado negativamente e, os colocarmos perto um do outro, entre eles estabelece-se, como já vimos anteriormente, um campo eléctrico E , orientado do corpo A (a potencial mais elevado) para o corpo B (a potencial mais baixo).

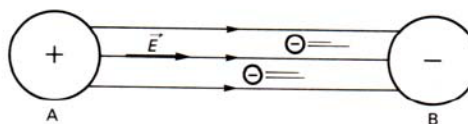


Se ligarmos estes dois corpos por um fio metálico, o campo eléctrico " concentra-se " no fio e passa a existir um movimento de electrões de B para A (sentido contrário a E), pois como o corpo A está a um potencial mais elevado terá menos cargas negativas (electrões) que o corpo B. A este movimento de electrões de B para A, para estabilizar as cargas, chama-se corrente eléctrica e terminará quando os potenciais dos dois corpos forem iguais ($E=0$).

Segundo este conceito podemos definir corrente eléctrica como sendo:

Um movimento orientado e ordenado de cargas eléctricas (electrões) do ponto com maior potencial para o ponto com menor potencial.

Neste caso, dizemos que ocorreu uma corrente eléctrica transitória, pois foi de curta duração.



Para se conseguir uma corrente eléctrica permanente é necessário manter durante mais tempo o campo eléctrico nos condutores, ou seja é necessário manter mais tempo a diferença de potencial.

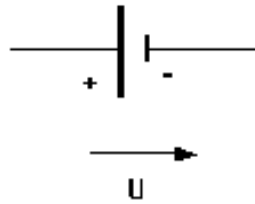
Isto consegue-se recorrendo a geradores eléctricos. Geradores são aparelhos que transformam energia não

elétrica em energia elétrica.

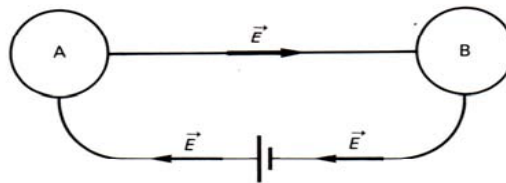
Tomemos como exemplos:

- Pilhas – transformam energia química em energia elétrica
- Dínamos - transformam energia mecânica em energia elétrica
- Células Foto voltaicas - transformam energia luminosa em energia elétrica

Os geradores criam então uma d.d.p. entre os seus terminais ou pólos



Então se ligarmos o circuito anterior a um gerador, utilizando fios condutores, como existe uma d.d.p. (tensão), estabelece-se um campo elétrico ao longo destes. Este campo durará enquanto o circuito estiver estabelecido e a corrente diz-se permanente.



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.

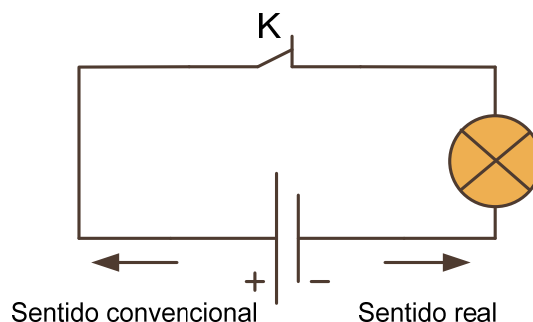
Analisou profundamente os fenômenos eletrodinâmicos e descobriu o princípio da telegrafia elétrica.

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.

SENTIDO DA CORRENTE ELÉCTRICA

- Sentido real da corrente eléctrica – é o sentido dos potenciais mais baixos para os potenciais mais altos. É o sentido do movimento dos electrões livres.
- Sentido convencional da corrente eléctrica – é o sentido dos potenciais mais altos para os potenciais mais baixos. É o sentido do campo eléctrico no interior de um condutor. Coincide, portanto, com o movimento das cargas positivas.

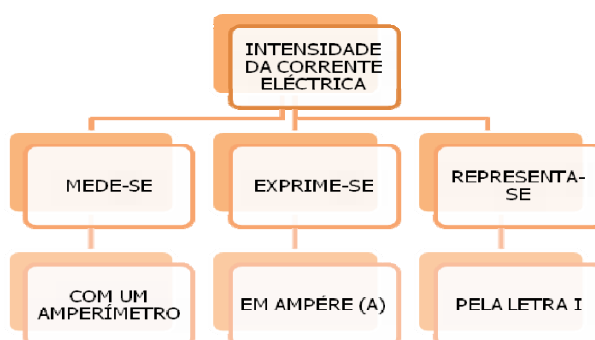


INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉCTRICA

A intensidade da corrente é a quantidade de electricidade que passa numa determinada secção do circuito por unidade de tempo.

Define-se matematicamente pelo quociente:

$I = \frac{Q}{t}$	Onde:	I	<i>Intensidade da corrente</i>	<i>Ampère (A)</i>
		Q	<i>Quantidade de electricidade</i>	<i>Coulomb (C)</i>
		t	<i>Tempo</i>	<i>segundos (s)</i>



O **amperímetro** é o aparelho que permite medir esta grandeza. Deve ser intercalado em série no troço do circuito onde se pretende conhecer o valor da corrente.

A leitura pode ser efectuada em qualquer ponto do circuito, pois num circuito não derivado, isto é, sem ramificações, a intensidade da corrente é sempre a mesma.

FORMAS DA CORRENTE ELÉCTRICA

A energia eléctrica, sendo utilizada de múltiplas maneiras, pode apresentar-te nos circuitos em diferentes formas:

Contínua (O fluxo de electrões dá-se apenas num sentido)	Constante A tensão / corrente é constante	Obtém-se a partir de pilhas, baterias, dínamos, fontes de tensão e rectificação de corrente alternada	
	Variável A tensão / corrente varia	Obtém-se a partir de fontes de tensão	
Descontínua (O fluxo de electrões dá-se nos dois sentidos)	Periódica A tensão / corrente varia sempre da mesma maneira, repetindo-se ao longo do tempo.	Sinusoidal A variação da corrente é sinusoidal	Obtém-se a partir de alternadores ou geradores de sinal
		Quadrada / Triangular A variação da corrente é rectangular / triangular	Obtém-se a partir de geradores de sinal
	Não periódica A tensão / corrente não se repete no tempo	Exemplos disso são: sinais de rádio e televisão, ruído (electromagnético)	

São de salientar as duas formas de corrente eléctrica mais utilizadas:

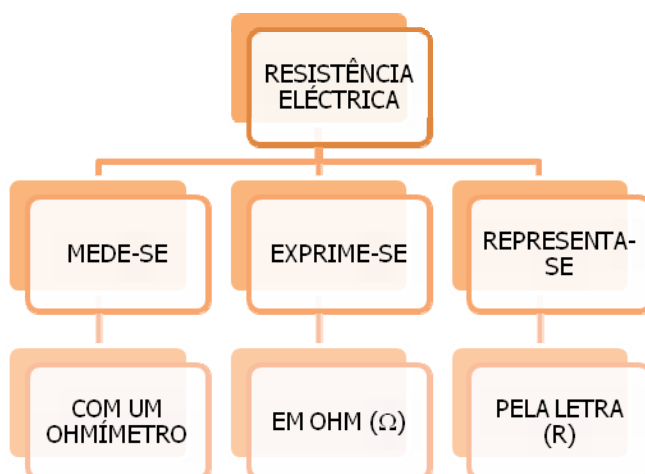
- Corrente contínua constante - conhecida por corrente contínua (CC em Português ou, DC em Inglês)
- Corrente descontínua periódica sinusoidal – conhecida por corrente alternada (CA em Português ou, AC em Inglês)

RESISTÊNCIA

A corrente eléctrica não circula do mesmo modo em todos os materiais.

Assim, existem materiais que deixam passar facilmente a corrente eléctrica. Outros, pelo contrário, oferecem grande dificuldade ou mesmo impedem a passagem da corrente eléctrica. Os primeiros designam-se por condutores, aos segundos dá-se o nome de isoladores.

A maior ou menor dificuldade que os materiais apresentam a essa passagem chama-se resistência eléctrica.



George Simon Ohm (1789 – 1854)

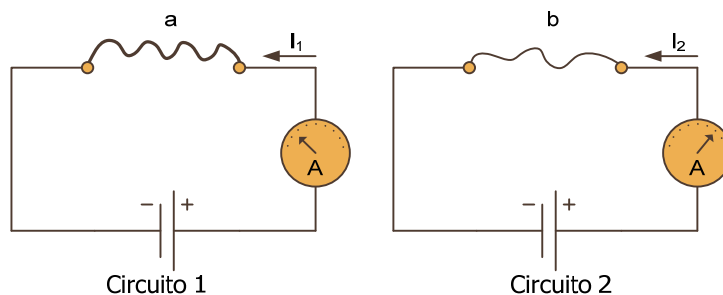
Físico alemão, trabalhou como professor de física e de matemática.

Em 1826, publicou seu trabalho “Exposição Matemática das Correntes Galvânicas”, demonstrando as Leis de Ohm.

A unidade de medida de resistência eléctrica é ohm, em sua homenagem.



Consideremos 2 circuitos eléctricos simples, **1** e **2**, que apenas diferem nos condutores metálicos **a** e **b**.



Se os amperímetros registarem valores diferentes, então, a intensidade de corrente no circuito 1 (I_1) é diferente da intensidade da corrente no circuito 2 (I_2).

Sendo $I_1 \neq I_2$ é porque num determinado espaço de tempo, o número de cargas que atravessa uma dada secção transversal do circuito 1 é diferente do que atravessa o circuito 2. Esta diferença deve-se, exclusivamente, aos condutores a e b, pois são os únicos elementos diferentes nos dois circuitos.

Então, os condutores **a** e **b** oferecem **diferentes resistências ao movimento das cargas eléctricas**.

FACTORES QUE AFECTAM A RESISTÊNCIA

Podemos chegar facilmente à conclusão de que a resistência de um condutor é directamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à sua secção. Também podemos constatar que condutores com iguais dimensões mas de diferentes materiais apresentam valores diferentes para as suas resistências.

Vamos considerar o seguinte modelo comparativo: se dispusermos de uma conduta de água ligando dois pontos, é de observação imediata que a «**resistência**» oferecida por essa conduta dependerá do seu comprimento e da sua secção, mas igualmente do estado interno das suas paredes. É evidente que se estas forem limpas e lisas, a água passará mais facilmente do que se forem rugosas ou apresentarem sujidades.

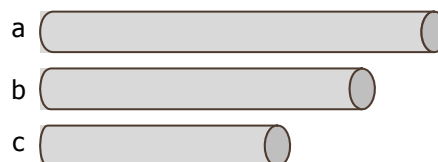
Como vemos, a resistência depende de vários factores. São eles o **comprimento**, a **natureza do material** e a **secção** dos condutores e ainda a **temperatura**. Admitindo que esta última se mantém constante, analisemos então cada um dos parâmetros relacionando-os matematicamente.

$R = \rho \frac{l}{s}$	Onde:	R	Resistência eléctrica	Ohm (Ω)
		ρ	Resistividade ou resistência específica	($\Omega \text{mm}^2/\text{m}$)
		l	Comprimento	metro (m)

		S	Secção	(mm^2)
--	--	-----	--------	----------

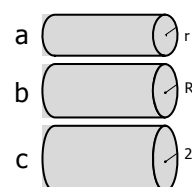
Resistência VS comprimento

A resistência é tanto maior quanto maior for o comprimento do condutor eléctrico



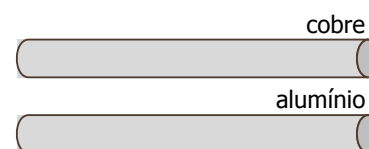
Resistência VS secção

A resistência é tanto menor quanto maior for a secção do condutor eléctrico e vice-versa



Resistência VS natureza do material

Dois condutores de igual comprimento e secção podem possuir diferentes valores de resistência eléctrica. Esse valor depende, como se pode ver na fórmula anterior, de uma constante de proporcionalidade designada por resistividade ou resistência específica.



Resistência VS temperatura

Todas as substâncias sofrem variação da sua própria resistência eléctrica quanto sujeitas a variações de temperatura.

A sensibilidade a tais variações é, no entanto, diferente para cada uma delas. O coeficiente de temperatura define cada uma das substâncias sob este ponto de vista, e pode definir-se como

o acréscimo de resistência que sofre o material por cada grau centígrado de aumento de temperatura.

Exprime-se em $\Omega/^{\circ}C$ e pode ser positivo ou negativo. É positivo, por exemplo, para os metais que vêm aumentada a sua resistência quando aumenta a temperatura. Outras substâncias, pelo contrário, vêm diminuída a sua resistência em idêntica situação. Neste caso o seu coeficiente de temperatura é negativo.

A relação entre o valor de uma resistência R_1 à temperatura T_1 e o seu novo valor R_2 à temperatura T_2 é dado pela fórmula:

$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$	Onde:	R_2	Resistência final	Ohm (Ω)
		R_1	Resistência inicial a 20°C	Ohm (Ω)
		α	Coefficiente de temperatura	$\Omega/^\circ\text{C}$
		t_2	Temperatura final	$^\circ\text{C}$
		t_1	Temperatura ambiente (20°C)	$^\circ\text{C}$

CONDUTÂNCIA ELÉCTRICA

A resistência é como vimos, a oposição que um material oferece à passagem da corrente eléctrica. O inverso da resistência designa-se por condutância.

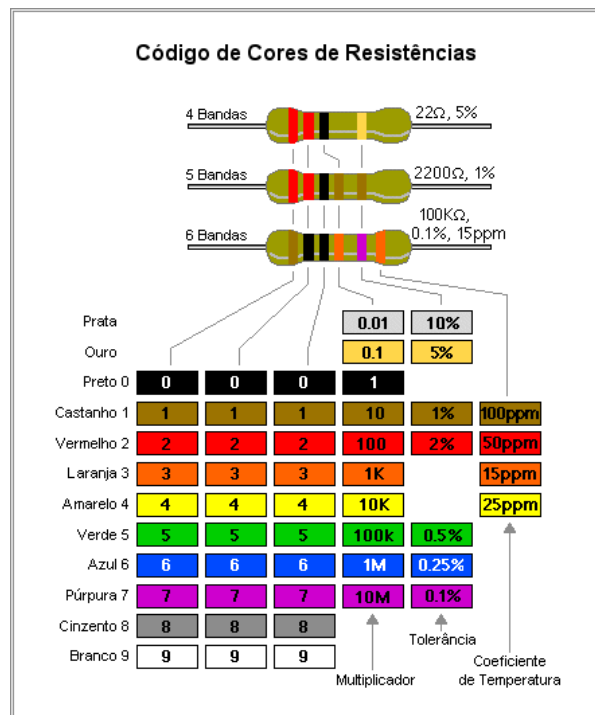
Para uma mesma diferença de potencial aplicada a vários condutores, quanto maior for a condutância do condutor, maior será a intensidade de corrente que o percorre.

$G = \frac{1}{R}$	Onde:	G	Resistência final	Siemens (S)
		R	Resistência inicial a 20°C	Ohm (Ω)

TABELA DE CÓDIGO DE CORES PARA RESISTÊNCIAS

Por um lado, na maior parte dos casos a resistência eléctrica é um componente de dimensões reduzidas, por outro, de forma a permitir identificar as suas características em caso de avaria, criou-se um sistema de codificação usando um código de cores inscrito no corpo da resistência eléctrica.

O código é inscrito em forma de anéis coloridos que dependendo da sua cor e da posição que ocupa assumem um determinado valor como veremos nos exemplos seguintes.



MÉTODOS DE MEDIDA

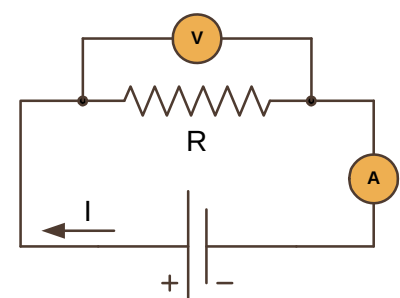
Existem diversos métodos para medir resistências, que se podem classificar em métodos directos e métodos indirectos.

O ohmímetro fornece, por leitura directa, o valor da resistência a medir. É, por isso, um método directo.

São indirectos: o método volt amperimétrico, o método de comparação de tensões e o método das pontes.

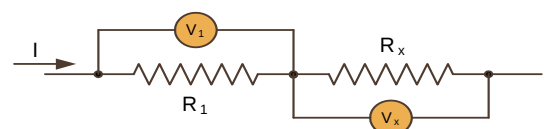
MÉTODO VOLT AMPERIMÉTRICO

Consiste na utilização de um voltímetro e de um amperímetro ligados como sugere a figura seguinte. Com base nas respectivas leituras e usando esses valores na expressão a lei de Ohm obtém-se o valor de R pretendido.



MÉTODO DA COMPARAÇÃO DE TENSÕES

Este processo consiste em colocar em série duas resistências: uma é a resistência cujo valor se pretende conhecer (R_x), a outra tem um valor



ORIGINAL

conhecido e serve de termo de comparação (R_1).

Para o efeito faz-se passar uma corrente através do conjunto das duas resistências, medindo-se os valores V_1 e V_x nos extremos de cada uma.

Para R_1 , pela lei de Ohm temos: $I = \frac{V_1}{R_1}$

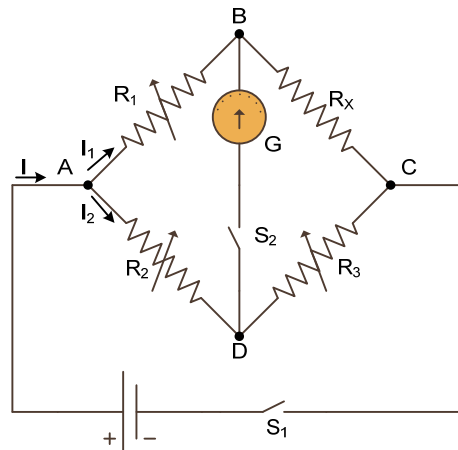
Igualmente para R_x , temos: $I = \frac{V_x}{R_x}$ do que se conclui que $\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_x}{R_x}$

Donde se tira o valor de R_x : $R_x = R_1 \frac{V_x}{V_1}$

Ponte de Wheatstone

O método da ponte de Wheatstone oferece resultados de elevada precisão. É composta por quatro resistências variáveis, R_1 , R_2 e R_3 . A quarta resistência, que designamos por R_x é a resistência a determinar. O conjunto é alimentado entre os pontos A e C por um gerador de corrente contínua. Um interruptor S_1 permite o estabelecimento ou a interrupção da corrente principal.

Existe ainda uma ponte entre os pontos B e D do circuito, no qual se intercalam um galvanómetro G e um interruptor S_2 .



Quando o interruptor S_1 é ligado, circula uma corrente I que no ponto A se subdivide em duas: uma segue pelo ramo que contém R_1 e R_x , outra pelo ramo que contém R_2 e R_3 . Fechando o interruptor S_2 o galvanómetro acusará um certo desvio denunciando a circulação de uma corrente.

Regulam-se então as resistências variáveis R_1 , R_2 e R_3 de forma que essa corrente cesse. Isto acontece quando os potenciais em B e em D se igualarem. Nessa altura podem estabelecer-se as seguintes relações:

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 \quad R_x I_1 = R_3 I_2$$

Dividindo membro a membro as duas equações, temos: $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_3}$

Donde $R_x = \frac{R_1 \times R_2}{R_3}$

Isto significa que o valor da resistência a determinar é dado pelo quociente entre o produto das resistências adjacentes e a resistência oposta.

TIPOS DE RESISTÊNCIAS

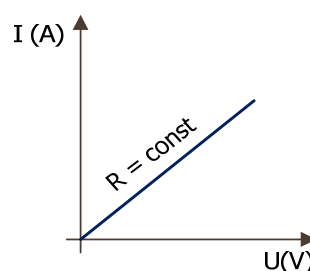
Fundamentalmente existem dois tipos de resistências:

- **Lineares**
- **Não lineares**

Resistências Lineares

As resistências até aqui tratadas comportam-se em conformidade com a lei de Ohm, isto é, o seu valor é constante e igual ao quociente da tensão pela intensidade da corrente.

Como grandeza, a resistência exprime-se graficamente por uma recta, caracterizada, em cada caso, por uma certa inclinação. Daí a designação de resistências lineares ou óhmicas às resistências que assim se comportam.



Na sua construção são usadas ligas resistentes de grande resistividade e baixo coeficiente de temperatura, como a manganina, cromoníquel, nicrómio, tophet, etc. A elevada resistividade permite realizar resistências de grande valor óhmico com pequeno comprimento de fio.

O baixo coeficiente de termorresistividade permite garantir uma boa estabilidade do seu valor com as variações de temperatura. Estes dois aspectos são determinantes na escolha da liga a utilizar em cada aplicação.

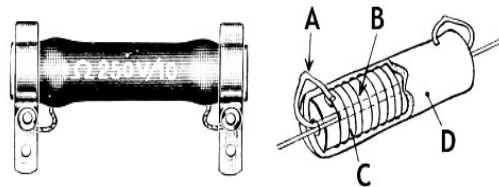
Distinguimos ainda, dentro das resistências lineares, dois tipos:

- Fixas
- Variáveis

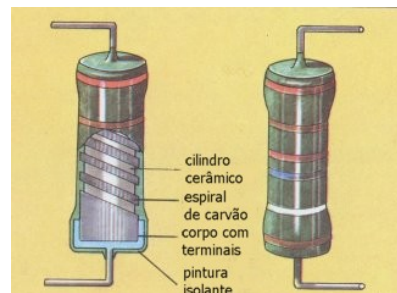
Resistências Lineares Fixas

Existe grande variedade:

- Resistências bobinadas, constituídas por um fio condutor, (A e C) bobinado sobre um cilindro em material isolador, (B) cerâmico, por exemplo e com uma cobertura exterior em esmalte o que lhes permite uma grande dissipação de calor.



- Resistências aglomeradas ou de carvão. Resistências de filme, constituídas por uma finíssima película de metal precioso ou óxido metálico que reveste um suporte isolador, geralmente em material cerâmico ou vidro resistente a altas temperaturas.



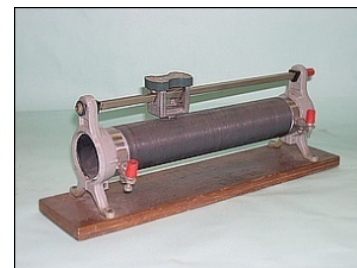
Resistências Lineares Variáveis

Para uma dada tensão de alimentação, o processo de fazermos variar a intensidade da corrente num circuito consiste em fazer variar a resistência.

Existem vários dispositivos para o efeito. Sumariamente, resumem-se a dois tipos fundamentais: reóstatos e caixas de resistências. A diferença entre ambos é que os reóstatos permitem variar de forma contínua o valor da resistência, enquanto que as caixas de resistências introduzem valores discretos da mesma, isto é, valores fixos.

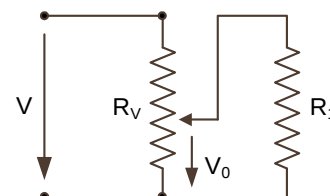
➤ Reóstato de cursor

Como decorre da sua própria designação, a variação da resistência faz-se pelo movimento de um cursor que se desloca ao longo de um enrolamento ou liga resistente feito sobre um cilindro de material isolante.



➤ Potenciómetro

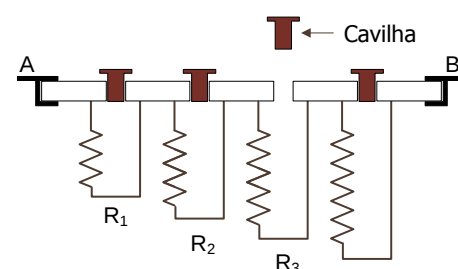
Um potenciómetro não é mais do que um divisor de tensão. A sua finalidade é fornecer uma tensão variável a um receptor que, para o efeito, é ligado entre os terminais do respectivo contacto móvel e a outra extremidade.



➤ Caixa de resistências

As caixas de resistências são constituídas, fundamentalmente por resistências de valores bem conhecidos e o material de que são feitas, como o constantan, a manganina ou o nicrómio, garante uma boa estabilidade do seu valor óhmico com as variações de temperatura.

O princípio de funcionamento é o seguinte: as diferentes fiadas de cavilhas constituem um condutor franco entre os terminais de entrada e saída de corrente, porém, quando uma das cavilhas é retirada, a corrente é obrigada a circular pela resistência, cujos terminais estão normalmente shuntados.



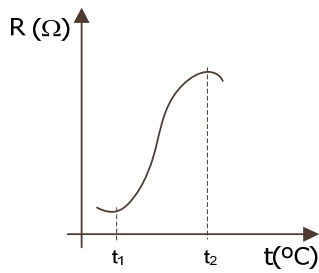
As caixas de resistências são utilizadas também como termo de comparação na medição de resistências, quando se pretende conhecer com precisão o seu valor.

RESISTÊNCIAS NÃO LINEARES

Contrariamente ao comportamento das resistências que até agora temos vindo a tratar, ditas resistências lineares, existem outras, pelo contrário, cujo valor varia.

A lei de Ohm não lhes é aplicável, visto o quociente da tensão pela intensidade não se manter constante. Graficamente, traduzem-se por uma curva, daí a designação de resistências não lineares.

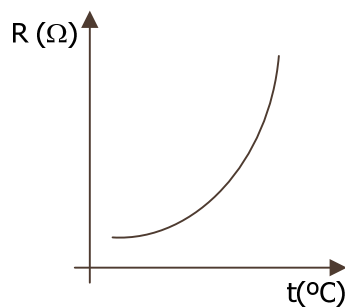
Consoante a grandeza de que dependem, tomam designação em conformidade. Assim referir-nos-emos aos termistores, às LDR's e às VDR's, que são função, respectivamente, da temperatura, da intensidade da luz e do valor da tensão aplicada.



➤ Termistores

São resistências que dependem da temperatura. Caracterizam-se por terem em módulo um elevado coeficiente de temperatura. Existe dois tipos fundamentais destas resistências: **PTC** e **NTC**.

○ Resistências PTC (*Positive Coefficient Temperature*)

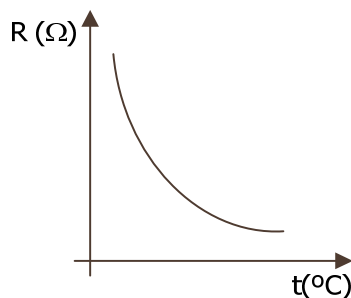


Como se pode deduzir da respectiva designação, estas resistências possuem um coeficiente de temperatura positivo. Isto significa que a sua resistência aumenta com a temperatura e diminui com a diminuição desta

Os termistores PTC têm as seguintes aplicações:

- Usados como detectores em circuitos de controlo de nível de líquidos. A transição de temperaturas dos dois meios ar - líquido reflecte-se na mudança do valor da resistência.
- Protecção de motores eléctricos contra o sobreaquecimento. Para o efeito são ligadas por fase entre os enrolamentos do estator.

○ Resistências NTC (*Negative Coefficient Temperature*)

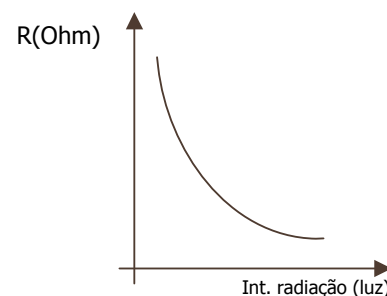


Caracterizam-se por ter um coeficiente de temperatura negativo. As variações de temperatura têm sentido contrário das correspondentes variações da resistência.

Os termistores NTC têm aplicações variadas, como transdutores de temperatura. São muito usados também em rádio e televisão e ainda em aparelhos de medida e outra aparelhagem electrónica.

➤ LDR (*Light Dependent Resistors*)

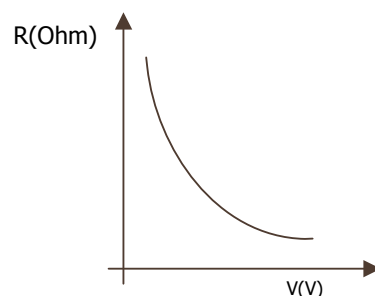
Também chamadas foto-resistências, as LDR **diminuem a sua resistência com o aumento da intensidade da radiação luminosa incidente**. É um comportamento típico dos semicondutores.



➤ VDR (*Voltage Dependent Resistors*)

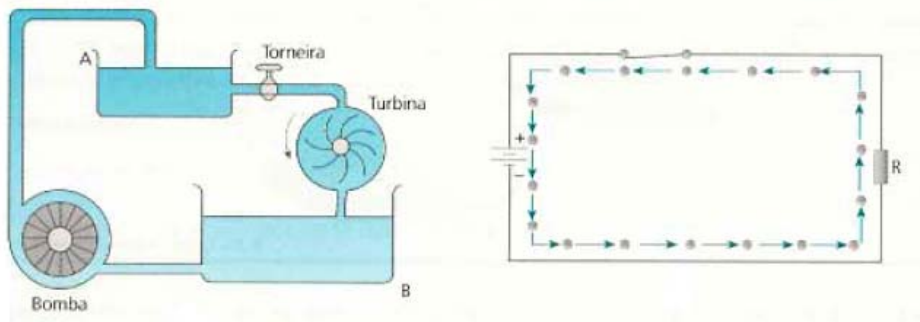
Conhecidas ainda por varístores ou varistâncias, a sua resistência **diminui com o aumento da tensão**. Têm aplicação generalizada, sendo utilizadas:

- na estabilização da tensão quando a carga varia;
- em motores, para evitar interferências em aparelhos de rádio e televisão;
- em circuitos de televisão



Consideremos um circuito hidráulico constituído por dois reservatórios colocados a níveis diferentes e ligados, por um lado, através de uma bomba e, por outro, por uma turbina.

Se ligarmos os dois pólos do gerador através de um condutor eléctrico, inserindo um interruptor e um pequeno motor, constatamos que se passa algo idêntico ao que se verifica no circuito hidráulico.



Vejamos a analogia com um circuito eléctrico.

A função da **bomba** é a de manter a **diferença do nível** da água nos dois reservatórios, deslocando a água do reservatório B para o reservatório A.

A função do **gerador** também consiste em manter uma **diferença de potencial** aos seus terminais, deslocando, para isso, os electrões no seu interior do pólo positivo para o pólo negativo. O gerador, devido à diferença de potencial nos seus terminais, provoca um deslocamento dos electrões do seu pólo negativo para o pólo positivo, através do motor.

O **sentido de deslocamento dos electrões** designa-se por **sentido real** da corrente, como vimos anteriormente. Contudo, está convencionado que no exterior dos geradores a corrente eléctrica tem o sentido do pólo positivo para o pólo negativo, sentido convencional.

Designaremos por **circuito eléctrico** o conjunto de componentes eléctricos ligados de forma a possibilitarem o estabelecimento de uma corrente eléctrica através deles.

É evidente que um circuito eléctrico para funcionar terá de ser fechado, caso contrário não haverá passagem de corrente.

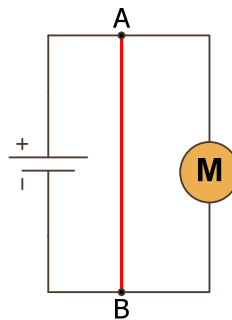
DEFINIÇÃO DE SOBREINTENSIDADE, SOBRECARGA E CURTO-CIRCUITO.

Diz-se que um elemento de um circuito está sujeito a uma **sobreintensidade quando a intensidade da corrente que passa através dele ultrapassa em muito o valor normal de funcionamento,**

chamado de valor nominal, facto este que resulta sempre de uma avaria, defeito ou operação errada no circuito. Uma das causas mais frequentes de sobreintensidades é o curto-circuito.

Diz-se que há um **curto-circuito** quando existe uma **diminuição da resistência, para valores próximos de zero**, entre dois pontos sob tensões diferentes.

Na figura seguinte temos uma representação de uma situação em que se verifica um curto-circuito entre os pontos A e B, o que originará uma corrente bastante elevada.



Diz-se que existe uma **sobrecarga num circuito sempre que os regimes normais são excedidos em virtude de uma maior solicitação de potência.**

LEI DE OHM

Consideremos um condutor eléctrico ligando dois pontos a potenciais diferentes, vamos observar uma determinada corrente eléctrica através desse condutor. Essa corrente é proporcional à tensão aplicada ou seja, duplicar a tensão corresponde a duplicar a corrente.

O físico alemão George Simon Ohm estabeleceu uma lei que relaciona a intensidade de corrente, a diferença de potencial e a resistência.

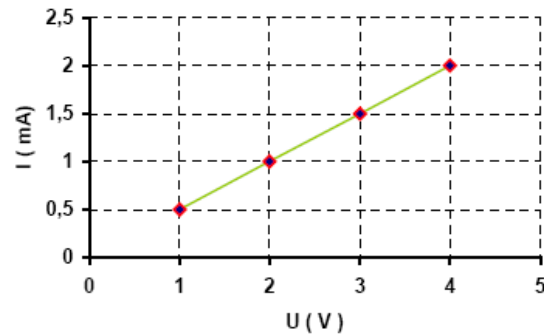
Há condutores em que a diferença de potencial (U) aplicada nos seus extremos é, para uma dada temperatura, directamente proporcional á intensidade de corrente (I) que os percorre.

Esta lei designa-se por Lei de Ohm.

Atendendo á definição de resistência de um condutor podemos concluir que: um condutor em que se verifique a lei de ohm tem resistência constante. Tais condutores dizem-se óhmicos e estão nestas condições os condutores metálicos. Podemos assim estabelecer a lei de ohm:

$R = \frac{V}{I}$	Onde:	R	Resistência eléctrica	Ohm (Ω)
-------------------	-------	-----	-----------------------	------------------

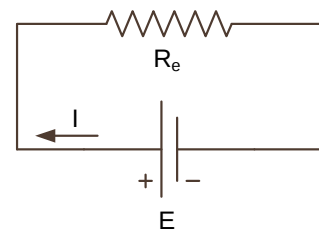
		V	<i>Tensão aplicada</i>	<i>Volt (V)</i>
		I	<i>Intensidade da corrente eléctrica</i>	<i>Ampère (A)</i>



ENERGIA

Consideremos um circuito como o da figura seguinte, constituído essencialmente por um gerador com uma determinada resistência interna R_i , alimentando um circuito exterior cuja carga se representa por R_e . Esta carga irá ser atravessada por uma corrente à qual corresponde um consumo de energia.

É intuitivo que esse consumo será tanto maior quanto maiores forem os valores da ddp nos terminais da carga, a intensidade de corrente que a percorre e o tempo da sua passagem. Representando essa energia por W , podemos traduzir matematicamente esta relação da seguinte maneira:



$W = V \times I \times t$	Onde:	W	<i>Energia</i>	<i>Joule (J)</i>
		V	<i>Tensão aplicada</i>	<i>Volt (V)</i>
		I	<i>Intensidade da corrente eléctrica</i>	<i>Ampère (A)</i>
		t	<i>tempo</i>	<i>Segundos (s)</i>

Para alimentar esta carga, o gerador fornece uma energia que é dada de forma idêntica pelo produto da sua

ORIGINAL

fem pela corrente debitada e pela sua duração.

A expressão é análoga à anterior: $W = E \times I \times t$

Com a única diferença de figurar a f.e.m. em vez da d.d.p.

POTÊNCIA ELÉCTRICA

Um conceito intimamente ligado ao de energia é o de potência.

Para compreendermos o seu significado, consideremos duas máquinas realizando o mesmo trabalho, (dispendendo, portanto, a mesma energia), mas em tempos diferentes. Aquela que realizar o referido trabalho em menos tempo, dizemos que tem mais potência.

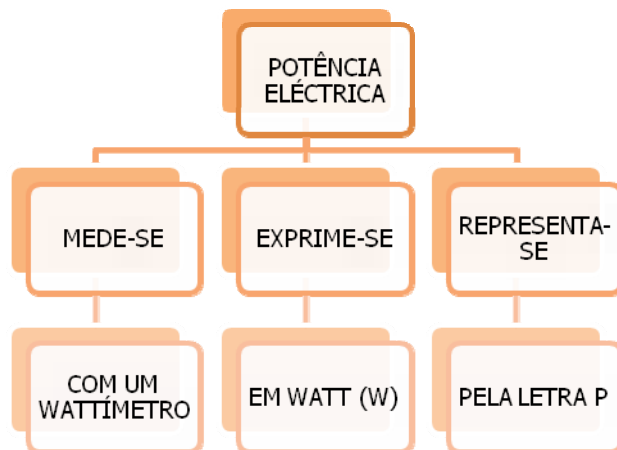
A potência é, pois, uma medida da maior ou menor rapidez com que uma determinada energia é utilizada ou fornecida.

A sua equação de definição matemática é, por conseguinte:

$P = \frac{W}{t}$	Onde:	P	Potência	Watt (W)
		W	Energia	Joule (J)
		t	tempo	Segundos (s)

Do que resulta que P se exprime em Watt.

O Watt pode definir-se como a **potência de uma máquina que realiza o trabalho de 1 joule durante 1 segundo.**

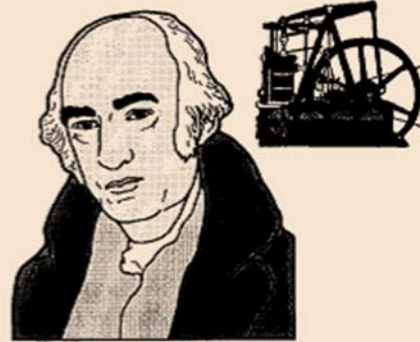


James Watt (1736 – 1819)

Escocês, aprendiz de fabricante de ferramentas, logo cedo interessou-se pelas descobertas no campo da eletricidade.

Quando se tornou fabricante de peças e de instrumentos de matemática na Universidade de Glasgow, Watt criou uma máquina a vapor muito mais rápida e econômica, permitindo a mecanização das indústrias em grande escala.

A unidade de medida de potência elétrica é watt, em sua homenagem.



É usual exprimir-se a potência em Cavalos – Vapor ou ainda em Horse Power. São unidades que não pertencem ao sistema internacional. A conversão é a seguinte:

$$1 \text{ Cv (cavalo vapor)} = 735 \text{ watt}$$

$$1 \text{ Hp (horse power)} = 746 \text{ watt}$$

A potência pode também exprimir-se em função de V e de I, assim:

$P = V \times I$ Ou $P = E \times I$	Onde:	P	Potência elétrica	Watt (W)
		V	Tensão aplicada	Volt (V)
		I	Intensidade da corrente elétrica	Ampère (A)
		E	Força electromotriz	Volt (V)

No primeiro caso, trata-se da potência absorvida por um receptor que é atravessado pela corrente I , quando nos seus terminais existe uma tensão V .

No segundo caso, trata-se da potência fornecida por um gerador de Força electromotriz E a um circuito por ele alimentado com a corrente I .

São expressões facilmente deduzíveis:

Substituindo $W = V \times I \times t$ em $P = \frac{W}{t}$ temos $P = \frac{V \times I \times t}{t} = VI$.

De forma idêntica demonstraríamos a outra expressão.

A potência pode ainda exprimir-se em função da resistência e da intensidade da corrente.

$$P = RI^2$$

Pode ainda exprimir-se em função da resistência e da tensão:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

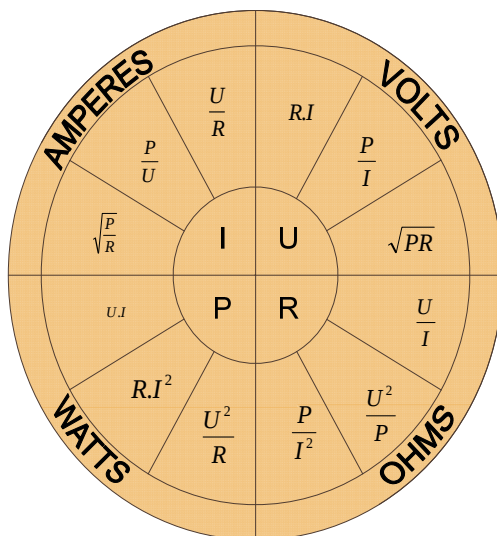
Ambas são facilmente deduzíveis.

Substituindo $W = R \times I^2 \times t$ em $P = \frac{W}{t}$ temos $P = R \times I^2$

Substituindo $I = \frac{V}{R}$ em $P = V \times I$ temos $P = \frac{V^2}{R}$ c.q.d.

FORMULÁRIO GERAL

Se relacionarmos entre si as fórmulas associadas à lei de Ohm e as da lei de Joule, podemos obter, por substituição umas das outras, o seguinte conjunto de expressões de utilidade prática.



ENERGIA COMO FUNÇÃO DA POTÊNCIA

É agora oportuno voltarmos a falar de energia para referirmos uma unidade prática em que é usual exprimir-se, embora não seja do SI.

Da expressão $P = \frac{W}{t}$ resulta $W = P \times t$

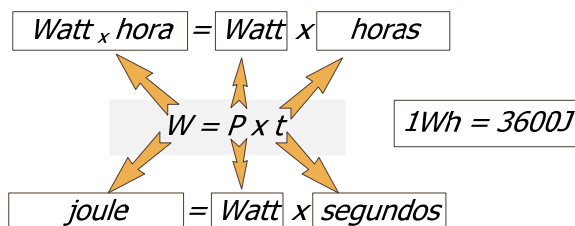
Se exprimirmos a potência em watt e o tempo em horas, a energia vem em watt x hora, abreviadamente W.h.

Como as quantidades de energia normalmente em jogo são muito superiores ao Wh, utilizamos os seus múltiplos. Os consumos domésticos são normalmente da ordem das dezenas de kWh. Outros consumos, particularmente da indústria ascendem às centenas ou milhares de kWh.

Nas centrais electroprodutoras a produtividade é da ordem das centenas e mesmo milhares de GWh (gigawatt hora).

$$1\text{GWh} = 1\,000\,000\,000\text{Wh} = 10^9\text{Wh}$$

Vemos, portanto, que tanto podemos exprimir a energia em joule como em watt x hora, tudo dependendo das unidades com que referenciamos o tempo.



São ainda usadas as seguintes unidades de energia:

British Thermal Unit $\rightarrow Btu \rightarrow 1Btu = 1055,06J$

Electrão Volt $\rightarrow eV \rightarrow 1eV = 1,602 \times 10^{-19}J$

LEI DE JOULE

Sempre que um condutor é atravessado por uma corrente eléctrica, esse condutor aquece. Este fenómeno é conhecido por efeito de Joule e deve-se à energia dissipada em forma de calor nas múltiplas colisões entre os electrões ao longo do seu trajecto no condutor.

A lei de joule diz-nos que **essa energia é directamente proporcional à resistência, ao quadrado da intensidade da corrente e ao tempo de passagem desta.**

$W = R \times I^2 \times t$	Onde:	W	Energia eléctrica	Joule (J)
		R	Resistência	Ohm (Ω)
		I	Intensidade da corrente eléctrica	Ampère (A)
		t	Tempo de passagem da corrente	Segundos (s)

Esta energia corresponde a uma determinada quantidade de calor dissipada na resistência.

Em calorias é:

$Q = KRI^2t$ Ou $Q = KW$	Onde:	W	Energia eléctrica	Joule (J)
		K	Equivalente térmico da unidade de trabalho	0,24cal/J
		R	Resistência	Ohm (Ω)
		I	Intensidade da corrente eléctrica	Ampère (A)
		t	Tempo de passagem da corrente	Segundos (s)
		Q	Quantidade de calor	Calorias

Podemos então escrever:

$$Q = 0,24RI^2t \text{ ou } Q = 0,24 \times W$$

Para entendermos o significado de K façamos nesta última expressão $W = 1\text{joule}$.

Resulta $Q = 0,24 \text{ cal}$

K representa, então, a quantidade de calor libertada por 1 joule.

APLICAÇÕES DO EFEITO DE JOULE

O fusível é um dispositivo que explora as consequências do efeito de Joule, o qual tem por objectivo limitar a potência fornecida a um determinado circuito eléctrico. Neste caso, quando a corrente absorvida pelo circuito supera um valor limite pré-estabelecida, $I_{\text{máx.}}$, o calor gerado por efeito de Joule é suficiente para fundir o filamento e interromper o fornecimento de corrente ao circuito.

Existem fusíveis para diversos tipos de aplicações: de valor máximo de corrente, de actuação rápida (sensíveis aos picos de corrente) ou lenta (sensíveis ao valor médio da corrente), etc.

O efeito de Joule poderá ser ainda utilizado em aquecimento como por exemplo: torradeiras, fogões eléctricos, ferros de passar, ferros de soldar, etc. Em iluminação de incandescência: a passagem da corrente

eléctrica produz calor num filamento, geralmente tungsténio, que o leva à temperatura da ordem dos 2000 °C à qual emite luz.

A programação das memórias ROM constitui uma das aplicações mais interessantes do princípio de funcionamento do fusível. Neste caso, os fusíveis são constituídos por uma fita de alumínio depositada na superfície da pastilha de silício, fusíveis que são posteriormente fundidos, ou não, de acordo com o código a programar na memória.

INCONVENIENTES DO EFEITO DE JOULE

O aquecimento dos condutores provocado pela passagem da corrente eléctrica representa, quando não é obtenção de calor que se pretende, desperdício de energia, podendo até constituir perigo para a segurança das instalações.

Tomemos como exemplos:

As perdas de energia nas máquinas eléctricas onde, o aquecimento limita a potência das máquinas. Ou seja, por outras palavras, o calor desenvolvido nos seus enrolamentos tem de ser limitado, pois na sua constituição entram materiais que se deterioram a partir de certa temperatura.

As perdas nas linhas eléctricas de transporte e distribuição de energia onde, o efeito de Joule origina perdas consideráveis obrigando ao aumento da secção dos condutores.

A limitação da intensidade de corrente eléctrica nos condutores de forma a evitar a deterioração dos seus isolamentos. A deterioração dos condutores, poderá dar origem a curto-circuitos.

Os fabricantes fornecem para cada tipo de cabo e para cada secção a corrente máxima que os pode percorrer permanentemente sem que haja aquecimento em demasia.

PROBLEMAS PARA RESOLVER

1. Um cabo mono condutor tem 60 metros de comprimento e 35mm² de secção. A sua resistência é de 48 mΩ. Determinar o valor da resistividade e, recorrendo aos valores da tabela identifique o material utilizado.

R.: $\rho = 0,028 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ (alumínio)

2. Qual deverá ser o comprimento de um fio de prata de 1mm^2 de secção, para que a sua resistência seja de $200\text{m}\Omega$?

R.: $l=56\text{m}\Omega$

3. Um fio de secção circular tem 200 metros de comprimento e 2 milímetros de diâmetro. Calcular a resistividade, sabendo que, sob um ddp de 220V, é atravessado por uma corrente de 5A.

R.: $\rho=0,69\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

4. Um condutor de cobre tem uma resistência de 35Ω à temperatura ambiente. Calcular que resistência apresenta à temperatura de 95°C .

R.: $R=45\Omega$

5. Calcular a sobre elevação da temperatura que sofre um motor cujos enrolamentos são em cobre, sabendo que as medidas de resistência efectuadas à temperatura ambiente e de funcionamento deram, respectivamente, 30Ω e $36,9\Omega$.

R.: $\Delta t=59^\circ\text{C}$

6. Calcular a potência dissipada por efeito de Joule numa resistência de $3\text{k}\Omega$ quando atravessada por uma corrente de 380mA .

R.: $P=433,2\text{W}$

7. Determinar a corrente absorvida por um motor de corrente contínua de $3\text{Cv}/220\text{V}$, sabendo que o seu rendimento é 70%.

R.: $I=14,3\text{A}$

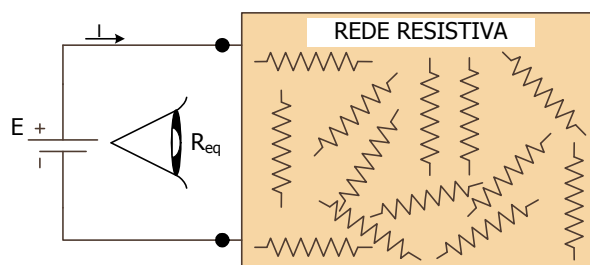
ANÁLISE DE CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA

ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS

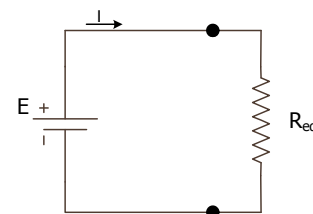
Num circuito eléctrico, as resistências podem estar ligadas em série e/ou paralelo, em função das características dos dispositivos envolvidos no circuito, da necessidade de dividir uma tensão ou uma corrente, ou de obter uma resistência com valor diferente dos valores encontrados comercialmente.

Geralmente uma fonte de tensão está ligada a várias resistências associadas em série e/ou paralelo a que se dá o nome de rede resistiva. As principais características de uma rede resistiva são:

- **A resistência equivalente R_{eq} vista pela fonte de alimentação.**
- **A corrente total I fornecida pela fonte de alimentação.**

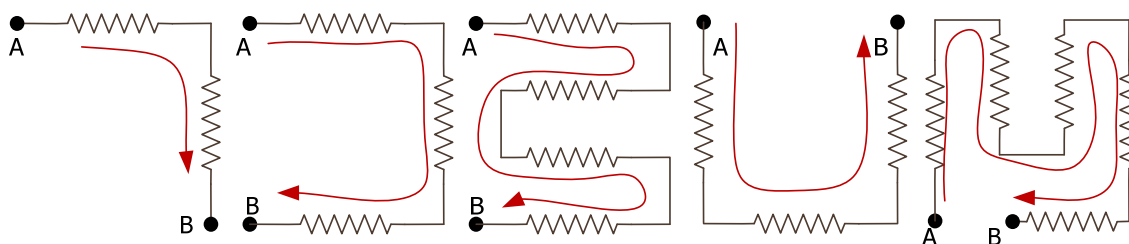


Isso significa que se todas as resistências dessa rede forem substituídas por uma única resistência de valor R_{eq} , a fonte de alimentação E fornecerá a mesma corrente ao circuito, conforme mostra a figura seguinte.



ASSOCIAÇÃO SÉRIE

Num circuito série existe somente um caminho para a corrente eléctrica logo, esta terá de percorrer todos os componentes constituintes do circuito.



A resistência equivalente ou resistência total é dada pela seguinte expressão:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

A resistência total R_T de uma associação série é maior que cada resistência parcial.

A figura seguinte representa um circuito com 3 resistências ligadas, de forma que a corrente eléctrica só b

Analizando os dois circuitos concluímos:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

porque: $V = R_t \times I$ e $V_{AB} = V_1 = R_1 I$ e $V_{BC} = V_2 = R_2 I$ e $V_{CD} = V_3 = R_3 I$

virá: $V = V_1 + V_2 + V_3$

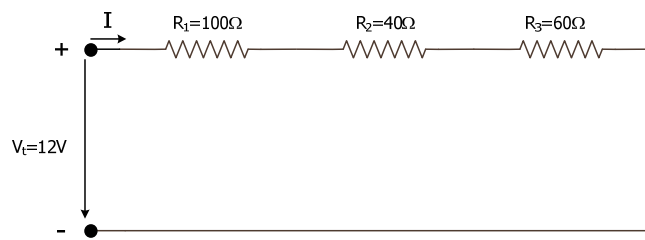
generalizando para n resistências teremos:

$$I_t = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$V_t = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

EXEMPLO

Considere o circuito seguinte:



Calcule:

- O valor da resistência total.
- A intensidade de corrente que percorre o circuito.
- As quedas de tensão aos terminais de cada resistência.

Resolução:

$$\text{a) } R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 100 + 40 + 60 = 200\Omega$$

$$\text{b) } I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{200} = 0,06A = 60mA$$

$$\text{c) } V_1 = R_1 I = 100 \times 60 \times 10^{-3} = 6V$$

$$V_2 = R_2 I = 40 \times 60 \times 10^{-3} = 2,4V$$

$$V_3 = R_3 I = 60 \times 60 \times 10^{-3} = 3,6V$$

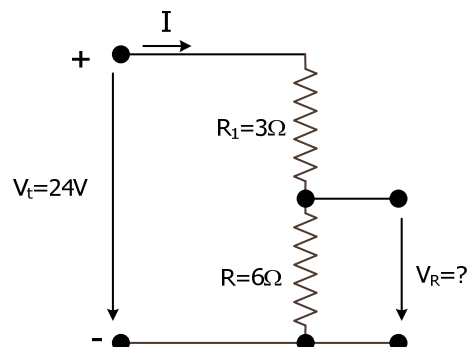
DIVISOR DE TENSÃO

O divisor de tensão é um processo prático para calcular a queda de tensão aos terminais de uma entre várias resistências ligadas em série.

Consideremos o circuito que se segue. R_1 e R são conhecidas, assim como a tensão total V_t aplicada ao circuito.

O método do divisor de tensão permite-nos calcular directamente a tensão V_R nos terminais da resistência R pela seguinte fórmula:

$$V_R = V \frac{R}{R_{EQ}}$$

**EXEMPLO**

Considere o circuito anterior.

Calcule o valor da tensão aos terminais da resistência R .

Resolução:

$$V_R = V \frac{R}{R_{EQ}} = 24 \frac{6}{3 + 6} = 16V$$

Demonstração:

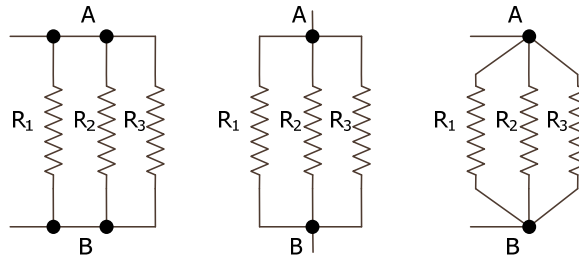
O valor da corrente I no circuito é dada por: (1) $I = \frac{V}{R_{eq}}$

A queda de tensão na resistência R é igualmente dada por: (2) $V_R = R \times I$

Substituindo o valor de I em (2), temos: $V_R = R \times \frac{V}{R_{eq}} \Leftrightarrow V_R = V \frac{R}{R_{eq}}$

ASSOCIAÇÃO PARALELO

Num circuito em paralelo existem vários caminhos para a corrente eléctrica. Quanto menor for a resistência maior será o valor da corrente que a percorre.



A resistência equivalente ou resistência total é dada pela expressão:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

No caso particular de duas resistências pode-se usar a seguinte expressão:

$$R_t = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

O valor da resistência total R_t de uma associação paralelo é menor que a menor resistência do paralelo.

Caso particular

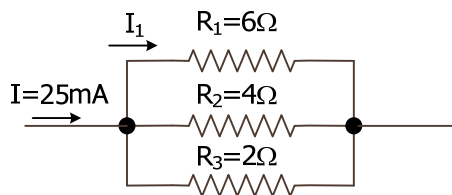
Se associarmos em paralelo duas resistências iguais, a R_t é igual a metade da resistência inicial. Caso sejam mais de duas a R_t é dada pela expressão:

$$R_t = \frac{R}{n}$$

DIVISOR DE CORRENTE

Analisando o circuito da figura ao lado, conhecida a corrente no circuito principal I e pretendendo-se determinar a intensidade de corrente num dos vários ramos em paralelo, o processo de cálculo simplifica-se por aplicação directa da seguinte fórmula:

$$I_R = I \frac{R_T}{R}$$



EXEMPLO

Pretende-se calcular a intensidade da corrente que atravessa a resistência R_1 em função dos dados do circuito da figura anterior.

Resolução:

Calculemos a resistência equivalente:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Leftrightarrow \frac{1}{R_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \Leftrightarrow \frac{1}{R_T} = 0,92 \Leftrightarrow R_T = \frac{1}{0,92} = 1,1\Omega$$

Agora pela fórmula do divisor de corrente, calculemos I_1 .

$$I_1 = I \frac{R_T}{R_1} \Leftrightarrow I_1 = 0,025 \frac{1,1}{6} = 4,6mA$$

ASSOCIAÇÃO MISTA

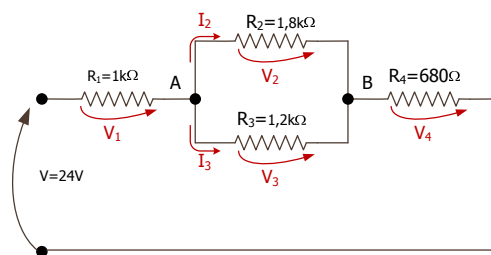
A circuitos onde se encontrem, simultaneamente, associações série e paralelo dá-se o nome de circuitos mistos.

Para determinar a resistência equivalente é necessário substituir sucessivamente as associações principais pela sua resistência equivalente, o que vai simplificando o esquema inicial. Em termos, de corrente eléctrica e tensão teremos de analisar o circuito parcialmente, ou seja analisar o (s) circuito (s) série e o (s) circuitos (s) paralelo que o constituem.

EXEMPLO

Considere o circuito da figura seguinte: Pretende-se analisar os seguintes pontos:

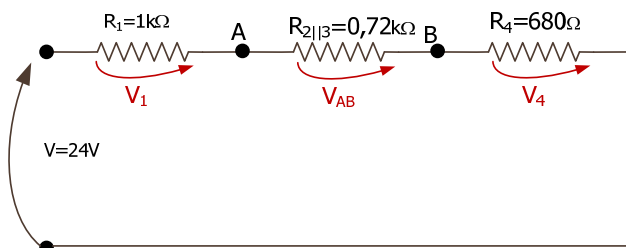
- A resistência total
- A intensidade de corrente total
- A tensão entre os pontos A e B
- As intensidades em R_2 e R_3 .

**Resolução**

Começamos por analisar a resistência equivalente entre R_2 e R_3 .

$$R_{2||3} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} \Leftrightarrow R_{2||3} = \frac{1,8 \times 1,2}{1,8 + 1,2} \Leftrightarrow R_{2||3} = 0,72k\Omega = 720\Omega$$

Resulta assim num circuito com três resistências em série:



A resistência total será:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \Leftrightarrow R_t = 1000 + 720 + 680 \Leftrightarrow R_t = 2400\Omega$$

A intensidade da corrente eléctrica é dada por:

$$I = \frac{V}{R_t} \Leftrightarrow I = \frac{24}{2400} \Leftrightarrow I = 10mA$$

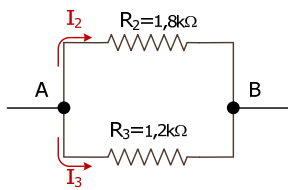
As tensões aos terminais das resistências são dadas por:

$$V_1 = R_1 \times I \Leftrightarrow V_1 = 1000 \times 0,01 \Leftrightarrow V_1 = 10V$$

$$V_{A||B} = R_{A||B} \times I \Leftrightarrow V_{A||B} = 720 \times 0,01 \Leftrightarrow V_{A||B} = 7,2V$$

$$V_4 = R_4 \times I \Leftrightarrow V_4 = 680 \times 0,01 \Leftrightarrow V_4 = 6,8V$$

A corrente quando chega ao ponto A tem dois caminhos para prosseguir (circuito paralelo), logo o seu valor irá ser dividido proporcionalmente pelas resistências R2 e R3, assim teremos:



$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2} \Leftrightarrow I_2 = \frac{7,2}{1800} \Leftrightarrow I_2 = 4mA$$

$$I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3} \Leftrightarrow I_3 = \frac{7,2}{1200} \Leftrightarrow I_3 = 6mA$$

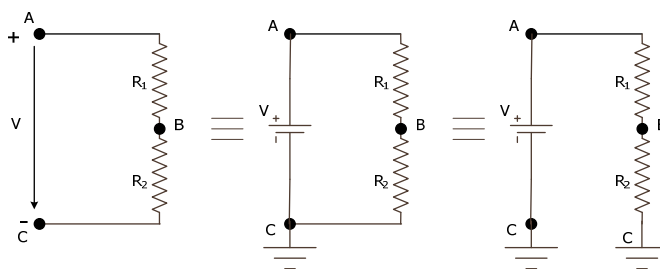
NOTAÇÕES

Na maioria das situações, os circuito eléctricos e electrónicos têm um referencial comum que se designa por massa, e que se representa pelo símbolo:



A d.d.p. na massa é de 0 V, sendo por isso o potencial de referência de qualquer circuito. Nos circuitos analisados até então não introduzimos esta noção.

Tomemos como exemplo os seguintes circuitos que são todos equivalentes uns dos outros.



A tensão aos terminais das resistências são dadas por:

$$\text{Tensão em } R_1 \Rightarrow V_{AB} = V_A - V_B$$

$$\text{Tensão em } R_2 \Rightarrow V_{BC} = V_B - V_C$$

Quando as tensões são referenciadas em relação a um ponto comum, massa (C), teremos:

$$\text{Tensão em } R_1 + R_2 \Rightarrow V_{AC} = V_A - V_C$$

$$\text{Tensão em } R_2 \Rightarrow V_{BC} = V_B - V_C$$

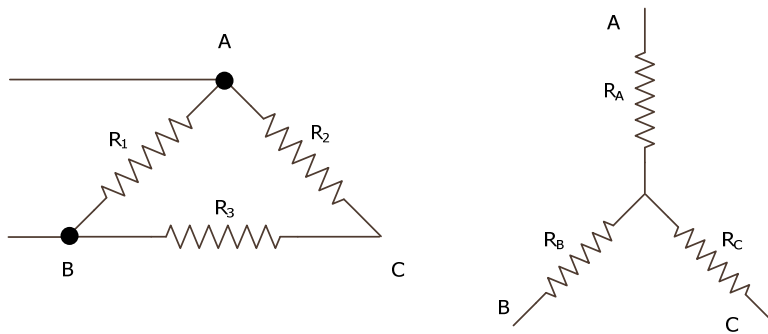
Neste caso, podemos dispensar o segundo índice na representação das tensões, uma vez que o referencial comum ou massa terá sempre um potencial de 0V, assim teremos:

$$\text{Tensão em } R_1 + R_2 \Rightarrow V_A \quad (\text{em relação à massa})$$

$$\text{Tensão em } R_2 \Rightarrow V_B \quad (\text{em relação à massa})$$

TRANSFORMAÇÕES ESTRELA-TRIÂNGULO Y-Δ

Por vezes, na resolução de certos exercícios, pode-se encontrar uma ligação em Δ, o que impossibilita a simplificação do circuito para calcular a resistência equivalente. Para facilitar a solução transforma-se a ligação triângulo para uma ligação em estrela. O método a utilizar é descrito no exemplo seguinte.

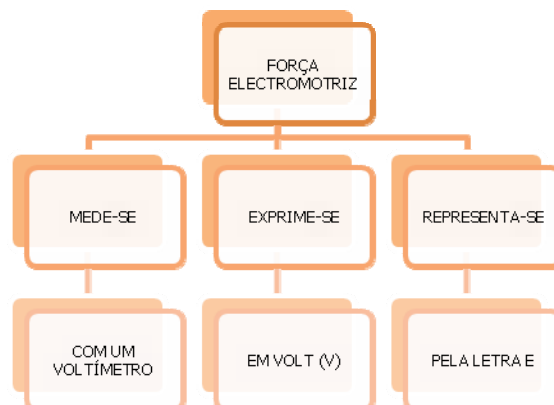
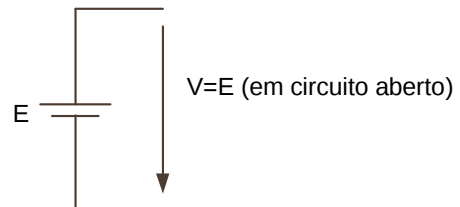


$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad R_B = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad R_C = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

GERADORES ELÉCTRICOS

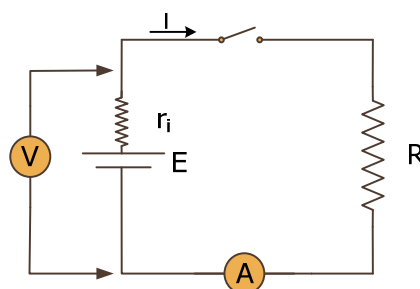
Como se sabe, para existir corrente eléctrica é necessário haver uma diferença de potencial nos terminais do gerador. Enquanto existir essa d.d.p. manter-se-á a corrente eléctrica, isto é, existe no pólo negativo um excesso de electrões e no pólo positivo falta deles. É então necessário que o gerador realize internamente trabalho e consequentemente gaste energia. Daqui a necessidade do gerador dispor de energia para transformar em energia eléctrica. Podemos dizer que a força electromotriz (f.e.m.) é a causa que cria e mantém uma d.d.p. nos terminais de um gerador. Essa f.e.m. existe nos seus terminais independentemente do gerador se encontrar ou não ligado a um circuito.

Podemos então dizer que a força electromotriz de um gerador é igual à diferença de potencial aos seus terminais em circuito aberto, isto é, quando não existe corrente eléctrica.



O valor da f.e.m. de um gerador, em circuito fechado, não coincide exactamente com o valor da tensão lida no receptor. Esta diferença deve-se ao facto do gerador apresentar uma certa oposição à passagem da corrente eléctrica, que passaremos a designar por resistência interna do gerador (r_i). O valor desta resistência é normalmente baixo.

Essa resistência interna deve-se ao conjunto dos elementos sólidos e líquidos que constituem internamente o gerador. No caso das pilhas e acumuladores a resistência deve-se ao electrólito e, no caso dos dínamos, depende a resistência dos enrolamentos da máquina. Analisemos a queda de tensão na resistência interna, consideremos o circuito seguinte:



Se no circuito da figura o interruptor se encontrar fechado, haverá passagem de corrente no circuito e consequentemente verificar-se-á na resistência interna do gerador, (r_i), uma queda de tensão igual a:

$$V_{r_i} = r_i \times I$$

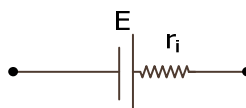
que se designa por queda de tensão interna do gerador.

Assim, a d.d.p. que chegará ao circuito será então, a f.e.m. que o gerador gera menos a queda de tensão na resistência interna do gerador, ou seja:

$$V_R = E - r_i \times I$$

Esta expressão é também designada de lei de Ohm para geradores

Esquemáticamente podemos representar um gerador da seguinte forma:



De notar que, estando o gerador desligado de qualquer circuito (gerador em vazio), a queda de tensão interna do gerador é nula, pois não há intensidade de corrente. Assim:

$$V_{r_i} = r_i \times I = 0$$

Resumindo, em circuito aberto a tensão aos terminais do gerador é igual à sua força electromotriz, tal como foi dito anteriormente.

$$E = V$$

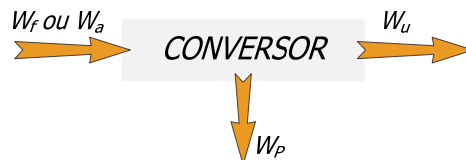
RENDIMENTO

Em qualquer transformação existe sempre uma energia de perdas. Do facto, resulta que a energia útil à saída de uma máquina conversora é sempre inferior à energia de entrada, isto é, à energia absorvida, ou o mesmo é dizer à energia que é fornecida.

A figura seguinte representa uma máquina onde se identificam as energias referidas:

$$W_p = W_{f/a} - W_u$$

Isto é, a energia de perdas é igual à diferença das energias à entrada e à saída.



O rendimento de uma máquina é uma medida do aproveitamento em termos de energia útil transformada que essa máquina consegue realizar a partir de uma energia primária que lhe é fornecida. É dada pelo quociente entre as energias útil e fornecida ou pelo quociente das respectivas potências, como se demonstra seguidamente.

O rendimento, sendo um quociente de duas grandezas da mesma espécie, é adimensional e representa-se pela letra grega η (eta).

$$\eta = \frac{W_u}{W_a} \quad \eta = \frac{P_u \times t}{P_a \times t} = \frac{P_u}{P_a} \quad \eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Da análise das fórmulas precedentes concluímos que o rendimento é sempre inferior à unidade, dado que

$$W_u < W_2$$

Para o caso de um gerador eléctrico sabemos que a tensão disponível nos seus terminais é sempre inferior à tensão em vazio, ou seja, à sua f.e.m., variando em função da carga.

Podemos então definir o rendimento para um gerador do seguinte modo:

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} = \frac{UI}{EI}$$

Como $V = E - R_t I$, temos:

$$\eta = \frac{(E - R_t I)I}{EI} = \frac{EI - R_t I^2}{EI} = 1 - \frac{R_t}{E} I$$

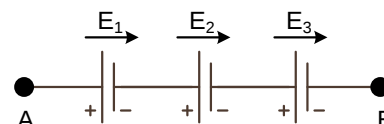
O rendimento é, pois, inferior à unidade, e tanto menor quanto mais afastado for o seu funcionamento do regime nominal.

ASSOCIAÇÃO DE GERADORES EM SÉRIE

Existem dois tipos fundamentais de associação de geradores: a associação de série e a associação em paralelo.

Vejamos as características de cada associação e quais as aplicações daí decorrentes.

Os geradores são ligados sequencialmente para que o terminal positivo de cada um conecte com o terminal negativo do gerador seguinte.



Observe o esquema seguinte onde se representam três geradores ligados como referido.

Quanto à f.e.m. do agrupamento, ela é igual à soma das forças electromotrizes de cada um dos geradores.

FORÇA ELECTROMOTRIZ

A força electromotriz de um agrupamento de geradores em série é igual à soma das forças electromotrizes de cada um dos geradores combinados.

No caso da figura anterior:

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

Para n geradores associados em série podemos então escrever:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i$$

RESISTÊNCIA INTERNA

Sendo um agrupamento constituído por tantas resistências em série quantos os geradores existentes, podemos então dizer que

A resistência interna do agrupamento é igual à soma das resistências de cada um dos geradores.

Para n geradores temos:

$$R_i = R_{i1} + R_{i2} + \dots + R_{in} = \sum_{i=1}^n R_{in}$$

É importante registar que os geradores podem todos eles possuir características diferentes, isto é, valores de força electromotriz e resistência interna.

INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉCTRICA

A máxima corrente que se poderá esperar de um agrupamento de geradores em série não poderá ultrapassar o valor correspondente ao gerador de menor intensidade nominal.

Naturalmente uma corrente de intensidade superior teria como consequência a sua danificação.

EXEMPLO

Consideremos três geradores com as seguintes características:

$$E_1 = 6V$$

$$E_2 = 6V$$

$$E_3 = 12V$$

$$R_{t_1} = 0,5\Omega$$

$$R_{t_2} = 0,7\Omega$$

$$R_{t_3} = 0,5\Omega$$

$$I_n = 10A$$

$$I_n = 7A$$

$$I_n = 10A$$

Se procedermos ao respectivo agrupamento em série, este caracterizar-se-á por:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = 6 + 6 + 12 = 24V$$

$$R_t = R_{t_1} + R_{t_2} + R_{t_3} = 0,5 + 0,7 + 0,5 = 1,7\Omega$$

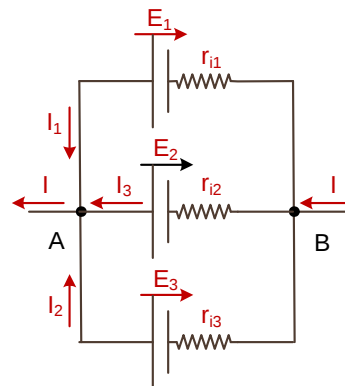
$$I_n = 7A$$

$I_n = 7A$ é o valor máximo de corrente que este agrupamento pode fornecer.

A associação em série é utilizada para alimentar aparelhos cuja tensão de funcionamento é superior à oferecida por um só gerador, e quando a corrente pretendida é, no máximo, igual à que cada um pode fornecer.

ASSOCIAÇÃO DE GERADORES EM PARALELO

Neste tipo de associação os terminais ou pólos do mesmo nome do gerador encontram-se ligados entre si. A figura ao lado ilustra este tipo de ligação, onde se consideram três geradores cujas características são indicadas.



FORÇA ELECTROMOTRIZ

Numa associação de geradores em paralelo todos devem possuir o mesmo valor de f.e.m.

De outra forma, os geradores com menor f.e.m. funcionariam com receptores de força contraelectromotriz, (f.c.e.m.), o que contraria os objectivos que se pretendem atingir com uma associação deste género.

O valor da f.e.m. do agrupamento é igual à força electromotriz de cada um dos geradores.

No caso da figura anterior: $E = E_1 = E_2 = E_3$

Se tivéssemos n geradores: $E = E_1 = E_2 = \dots = E_n$

RESISTÊNCIA INTERNA

Como os geradores a utilizar têm todos o mesmo valor de E , normalmente são todos iguais e, portanto, têm todos a mesma resistência interna.

Podem, contudo, ter resistências internas diferentes. Em qualquer dos casos

calcular a resistência equivalente de um agrupamento de geradores em paralelo equivale a resolver o paralelo das respectivas resistências internas.

No caso destas serem todas iguais, o cálculo é simples. Se n for o número de geradores, todos com

resistência R_i , a resistência do agrupamento é dada por: $R_f = \frac{R_i}{n}$

INTENSIDADE DA CORRENTE

A corrente debitada pelo agrupamento é igual ao somatório das correntes devidas a cada um deles.

Se as resistências internas dos diferentes geradores forem todas iguais, também serão iguais as correntes debitadas por cada um deles. No caso das resistências serem diferentes, cada gerador contribuirá com uma corrente, que é função do valor da sua própria resistência.

Em todo o caso, temos: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i$

Em particular se as correntes forem todas iguais, então $I = nI_1$.

EXEMPLO

Consideremos três geradores iguais ligados em paralelo. A f.e.m. de cada um é de 6V e 0,3 Ω a respectiva resistência interna.

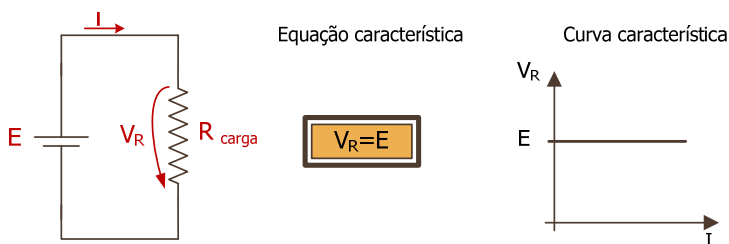
Este agrupamento tem uma f.e.m. $E = E_1 = E_2 = E_3 = 6V$

A resistência interna do conjunto, $R_{it} = \frac{R_i}{3} = \frac{0,3}{3} = 0,1\Omega$

A associação em paralelo de geradores é utilizada quando se pretende obter correntes superiores à que pode fornecer cada um deles isoladamente.

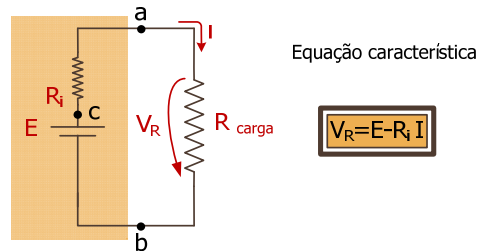
FONTE DE TENSÃO

A fonte de tensão ideal é aquela que mantém constante a sua tensão de saída, independentemente da corrente que fornece ao circuito que está a alimentar, isto é, se o gerador tiver uma resistência interna nula, $R_i=0$, então essa tensão será constante e igual à força electromotriz.



Porém, qualquer que seja a fonte de tensão (pilha, bateria de automóvel, fonte de tensão electrónica, etc...), ela apresenta sempre perdas internas, fazendo com que, para cargas muito baixas ou correntes muito altas, a sua tensão de saída V_R caia.

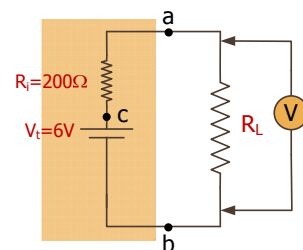
Por isso uma fonte real de tensão é equivalente para o exterior ao que está representado na figura seguinte. A fonte é um bipolo com terminais a e b. O ponto c é inacessível. A resistência interna de uma fonte real não está localizada num determinado ponto no seu interior, mas sim distribuída ao longo de toda a fonte (e, portanto, o ponto c não existe).



MÁXIMA TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA

O conceito de máxima transferência de potência do gerador para a carga é muito útil, sendo vastamente aplicado no estudo dos amplificadores e em sistemas de comunicação.

Para melhor compreensão utilizemos o método experimental. Consideremos uma fonte de tensão real (dentro do sombreado) ligada sobre uma carga R_L a que se encontra ligado um voltímetro.



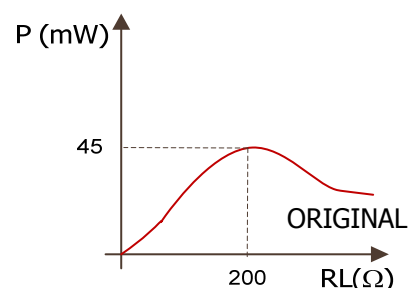
Usando a expressão $P = \frac{V^2}{R}$, podemos calcular a potência dissipada em

cada uma das resistências que vamos colocando na carga R_L . Obtém-se uma tabela do tipo:

$R_{L\text{carga}} (\Omega)$	10	100	200	300	600
$V_{\text{carga}} (V)$	0,286	2	3	3,6	4,5
$P_{\text{carga}} (mW)$	8,2	40	45	43,2	33,75

Com os valores obtidos nas leituras podemos esboçar um gráfico semelhante ao da figura seguinte.

Observando o gráfico constata-se que a máxima potência transferida ocorre quando a carga é de 200Ω . Se verificarmos, é

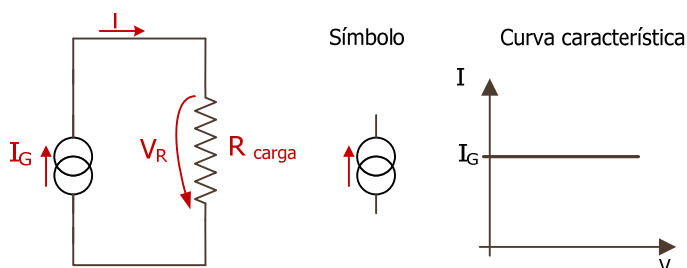


precisamente 200Ω a resistência interna da fonte.

A potência transferida de uma fonte de alimentação para uma carga (resistência) atinge o seu máximo valor quando a resistência da carga é igual à resistência interna da fonte.

FONTE DE CORRENTE

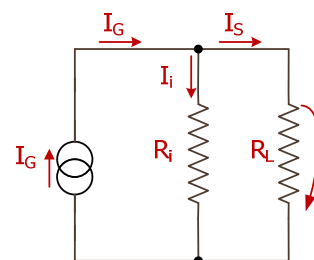
Uma fonte designa-se por fonte ideal de corrente quando fornece potência eléctrica sempre com corrente constante, qualquer que seja o valor da tensão aos seus terminais e, portanto, qualquer que seja o circuito a que a fonte está ligada.



Uma fonte ideal de corrente é representada conforme a imagem da figura anterior em que a seta indica o sentido da corrente eléctrica.

No entanto, no gerador de corrente real (figura ao lado), a resistência interna consome parte da corrente gerada. Nesse caso, representa-se o gerador de corrente real por um gerador supostamente ideal em paralelo com uma resistência interna (R_i).

Aplicando a equação do divisor de corrente, obtemos a corrente I_s na carga em função da corrente I_G no gerador.



$$I_s = \frac{R_i}{(R_L + R_i)} \times I_G$$

Pode-se calcular a corrente na carga considerando a corrente de perdas na resistência interna:

$$I_s = I_G - \frac{V}{R_i}$$

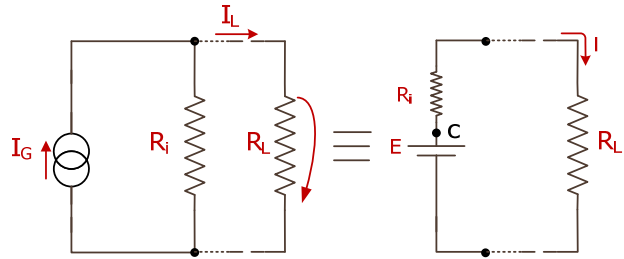
EQUIVALÊNCIAS ENTRE FONTES

Os geradores de tensão e de corrente são considerados equivalentes quando ambos possuem a mesma resistência interna e fornecem a mesma tensão ou a mesma corrente a uma carga.

A condição de equivalência pode ser determinada, por exemplo, pelas correntes de saída dos geradores:

Fonte de corrente: $I_g = \frac{R_L}{(R_L + R_t)} \times I_G$

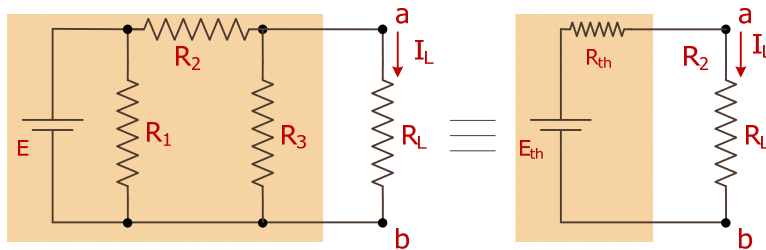
Fonte de tensão: $E = \frac{E}{(R_L + R_t)}$



Igualando $I = I_g$: $\frac{E}{(R_L + R_t)} = \frac{R_L}{(R_L + R_t)} \times I_G \Rightarrow E = R_t \times I_G$

TEOREMA DE THÉVENIN

Em qualquer circuito é sempre possível destacar um ramo e substituir o resto por um bloco que com as características de um dipolo independentemente da sua constituição interna. O dipolo tem, pois, dois terminais acessíveis para a ligação do ramo destacado.



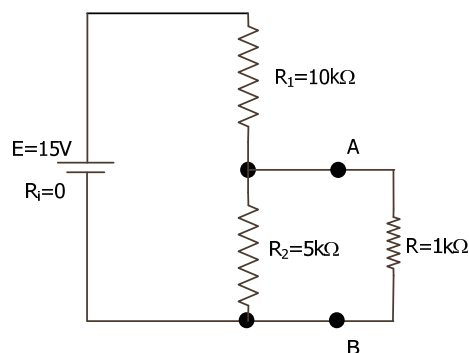
Um dipolo que contenha uma fonte de corrente e / ou uma fonte de tensão diz-se activo. Caso contrário diz-se passivo.

O teorema de Thévenin diz-nos que o dipolo pode ser substituído por um gerador de tensão equivalente, com as seguintes características:

- A sua f.e.m. é igual à tensão que aparece nos terminais do dipolo, quando não há carga, ou seja, com o dipolo em aberto.
- A sua resistência interna é igual à resistência que o dipolo apresenta quando vista dos seus terminais, e quando todas as fontes independentes são substituídas pelas suas resistências internas

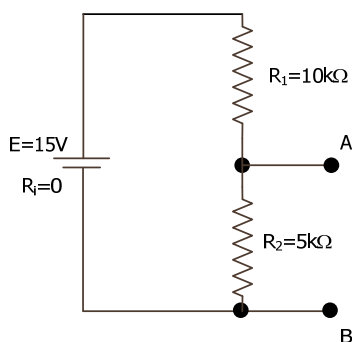
EXEMPLO

Pretendemos determinar o valor da corrente que percorre a resistência R no exemplo seguinte:



Podemos considerar a resistência R como o ramo aplicado aos terminais AB do dipolo e substituí-lo pelo seu gerador equivalente.

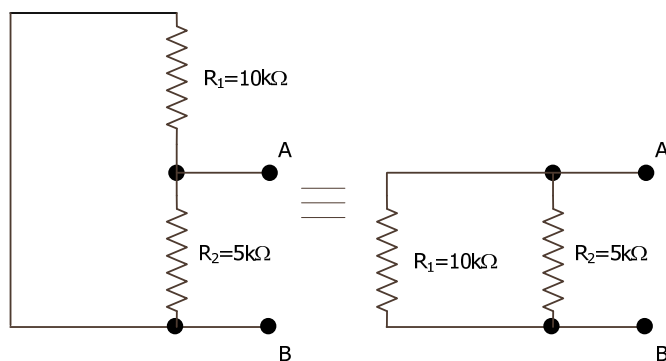
Aplicando o teorema de Thévenin, vamos determinar a tensão que aparece entre os pontos A e B, quando estão em aberto. É a tensão aos terminais da resistência R₂ do circuito.



Aplicando a fórmula do divisor de tensão, temos: $V_{R_2} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Leftrightarrow V_{R_2} = 15 \frac{5 \times 10^3}{10 \times 10^3 + 5 \times 10^3} \Leftrightarrow V_{R_2} = 5V$

A f.e.m. do gerador de tensão equivalente é de 5V. Para se calcular a resistência vista dos terminais do dipolo, começamos por substituir a fonte de tensão independente E, pela sua resistência interna Ri, que no caso é nula.

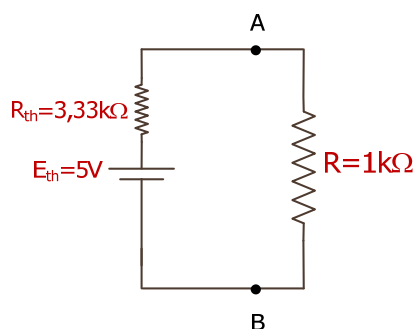
Obtemos o circuito seguinte:



A resistência equivalente será o paralelo de R1 e R2.

$$R_{th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 5}{10 + 5} = 3,33k\Omega$$

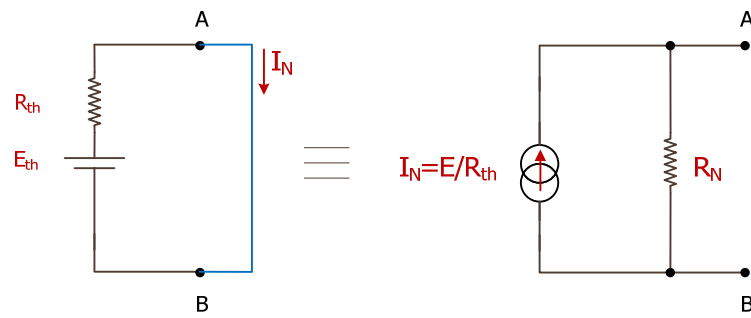
O dipolo apresenta, então, a configuração seguinte:



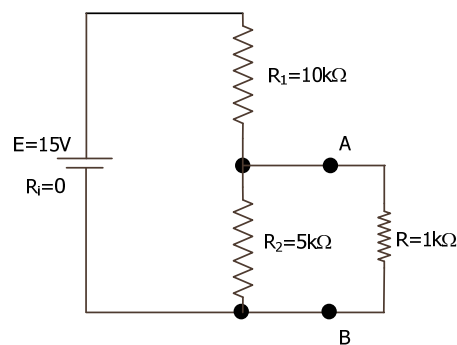
TEOREMA DE NORTON

O teorema de Norton diz-nos, à semelhança do teorema de Thévenin que o dipolo pode ser substituído por um gerador equivalente. Desta vez, não um gerador de tensão equivalente, mas um gerador de corrente equivalente com as seguintes características:

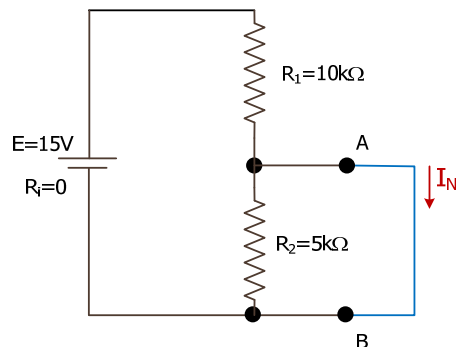
- Debita uma corrente que é a corrente que circula no ramo AB, quando este é um curto-circuito.
- A sua resistência interna é igual à resistência que o dipolo apresenta quando vista dos seus terminais, e quando todas as fontes independentes são substituídas pelas suas resistências internas.

**EXEMPLO**

Vejamos como proceder para a determinação da corrente na carga R no circuito usado no exemplo para o teorema de Thévenin.



Em primeiro lugar temos que curto-circuitar os pontos A e B para calcular a corrente nesse ramo.

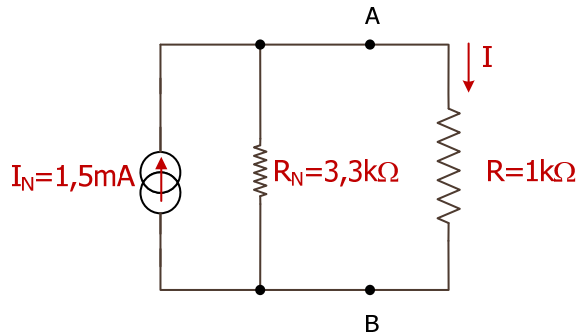


$$I_N = \frac{E}{R_1} = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ mA}$$

A resistência interna é idêntica à já calculada para o teorema de Thévenin

$$R_N = R_1 // R_2 = 3,33 \text{ k}\Omega$$

Com a corrente e a resistência de Norton calculadas podemos construir o circuito equivalente de Norton:



Finalmente podemos calcular a corrente que circula na resistência de carga usando, neste caso, o método directo do divisor de corrente:

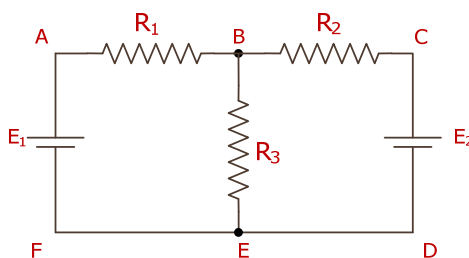
$$I_R = I_N \frac{R_N}{R_N + R} = 1,5 \times 10^{-3} \frac{3,3 \times 10^3}{3,3 \times 10^3 + 1 \times 10^3} = 1,15 \text{mA}$$

LEIS DE KIRCHHOFF

A análise de circuitos eléctricos consiste fundamentalmente na determinação de todas as grandezas eléctricas em jogo, nomeadamente a intensidade das correntes que percorrem cada ramo, bem como a distribuição dos valores de potencial.

Os circuitos até ao momento analisados eram constituídos por uma única fonte de alimentação, ou então várias associadas num mesmo ramo e, ainda, por um conjunto mais ou menos numeroso de resistências eléctricas. O tratamento destes circuitos fazia-se por aplicação directa da lei de Ohm. Porém, quando os circuitos incluem f.e.m. nos vários ramos, o processo de cálculo é mais laborioso e recorre à utilização das leis de Kirchhoff, elas próprias decorrentes da lei de Ohm.

Antes de enunciarmos as leis de Kirchhoff, vejamos o que se entende por rede eléctrica, bem como nela definir e identificar os seus nós, ramos e malhas.



NÓS	Pontos da rede onde convergem, no mínimo, três condutores.	B; E
RAMO	Troço do circuito compreendido entre dois nós.	BAFE; BE; BCDE
MALHA	Troço do circuito fechado constituído por diferentes ramos.	ABEFA; BEDCB; ABCDEFA
REDE ELÉCTRICA	Circuito eléctrico constituído por mais que uma malha.	

1ª LEI DE KIRCHHOFF OU LEI DOS NÓS

A soma das intensidades das correntes que entram num nó é igual à soma das intensidades das correntes que dele saem.

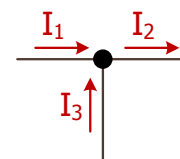
Ou

A soma algébrica das correntes associadas a um nó é igual a zero

A aplicação desta lei a um nó qualquer de um circuito obedece a um certo critério que se descreve no exemplo a seguir. Consideremos, por exemplo, o nó B do circuito da figura anterior representado na figura ao lado.

Como para este nó desconhecemos o sentido das correntes, arbitramos um qualquer. Na figura ao lado consideramos I_1 e I_3 como correntes convergentes no

nó B, e I_2 divergente no mesmo.



Traduzindo matematicamente o enunciado desta lei, temos:

$I_1 + I_3 = I_2$ A soma das correntes que entram é igual à soma das correntes que saem.

Ou

$I_1 + I_3 - I_2 = 0$ A soma algébrica das correntes que entram e saem é nula. Arbitramos como positivas as que entram e negativas as que saem do nó.

Generalizando para n correntes associadas a um dado nó temos;

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

2ª LEI DE KIRCHHOFF OU LEI DAS MALHAS

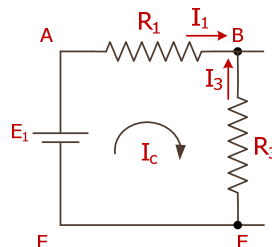
Para cada malha podemos estabelecer que a soma algébrica das quedas de tensão, nos diferentes ramos, e das forças electromotrizes nelas existentes, é igual a zero.

A aplicação desta lei obedece igualmente a um determinado critério que analisaremos seguidamente.

Consideremos a malha ABEFA do circuito anterior representada na figura ao lado.

Admitamos como correctos os sentidos adoptados anteriormente para as correntes.

Vamos supor, igualmente, um sentido qualquer de circulação na malha, como, por exemplo, representado por I_c .



Partindo do gerador e no sentido indicado, representamos as consecutivas quedas de tensão ao longo da malha:

$$R_1 I_1 - R_3 I_3$$

Reparemos que nos ramos onde a corrente contraria o sentido de circulação a queda de tensão é negativa.

A 2ª lei de Kirchhoff estabelece que

o somatório destas quedas de tensão e da f.e.m. é igual a zero.

Devemos ter em atenção que o sentido de E_1 é bem definido. Também este aparece com sinal negativo ,

pelo facto de contrariar o sentido de circulação adoptado.

Podemos então escrever:

$$R_1 I_1 - E_3 I_3 - E_1 = 0$$

Generalizando esta 2ª lei para qualquer malha com n ramos e K geradores:

$$\sum_{i=1}^n V_i + \sum_{k=1}^K E_k = 0$$

A análise de qualquer circuito nas condições referidas é feita com base nestas duas leis, arbitrando o sentido das correntes em cada nó, bem como o sentido de circulação em cada ramo. No final do cálculo, as correntes que resultarem positivas significam que o sentido inicialmente adoptado é verdadeiro. Se negativas, é porque o sentido real delas é o oposto ao arbitrado.

TEOREMA DA SOBREPOSIÇÃO

O teorema da sobreposição é normalmente utilizado quando se pretende calcular apenas uma corrente num ramo de uma rede não muito complexa. Se a rede for complexa já não se justifica a utilização deste método.

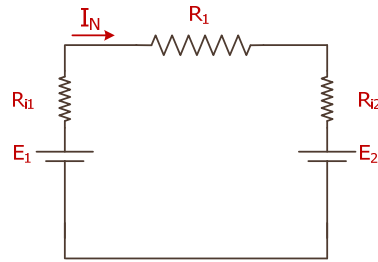
Tem a vantagem de não necessitar de estabelecer um sistema de n equações, tantas quantas o número total de correntes, pois pretende-se calcular apenas uma dada corrente. Tal como o método das leis de Kirchhoff é aplicável a redes eléctricas com vários ramos e malhas e diversas fontes e receptores térmicos e de força contra-electromotriz.

O teorema da sobreposição tem o seguinte enunciado:

"Numa rede eléctrica com vários geradores de tensão, a corrente eléctrica em qualquer ramo é igual à soma algébrica das correntes que seriam produzidas por cada um dos geradores, se cada um deles funcionasse isoladamente e as restantes fontes de tensão fossem substituídas pelas suas resistências internas"

EXEMPLO

Observemos com atenção o seguinte circuito.

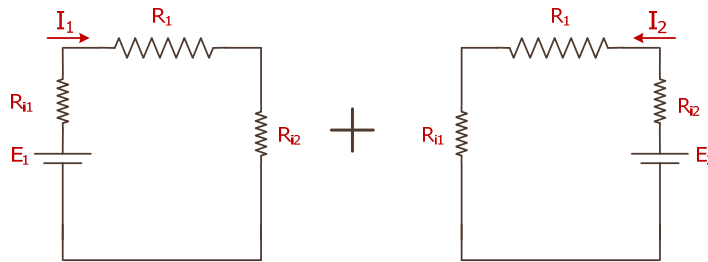


Pretende-se calcular a corrente na resistência R_1 utilizando o teorema da sobreposição.

Segundo o teorema, a corrente em R_1 será igual à soma algébrica da corrente I_1 que a percorre quando está ligado apenas o gerador E_1 (mantendo no circuito a resistência interna R_{i2} de E_2) com a corrente I_2 que a percorre quando está apenas ligado o gerador E_2 (mantendo no circuito a resistência interna R_{i1} de E_1), isto

é, verifica-se e: $I_{R_1} = I_1 - I_2$.

Isto quer dizer que o circuito da figura anterior é equivalente à soma dos dois circuitos seguintes, para efeito de cálculo de corrente. Note que as duas correntes (I_1 e I_2) têm sentidos contrários, pelo que a soma algébrica das correntes é, neste caso, a diferença entre elas.



Por análise de cada um dos circuitos, é fácil concluir que as correntes I_1 e I_2 são calculadas pelas expressões:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1 + R_{i1} + R_{i2}} \text{ e } I_2 = \frac{E_2}{R_1 + R_{i1} + R_{i2}}$$

A corrente em R_1 será $I_1 - I_2$ ou $I_2 - I_1$ consoante for maior I_1 ou I_2 , respectivamente. Se os geradores fornecessem corrente no mesmo sentido, então somavam-se as duas correntes.

PROBLEMAS PARA RESOLVER

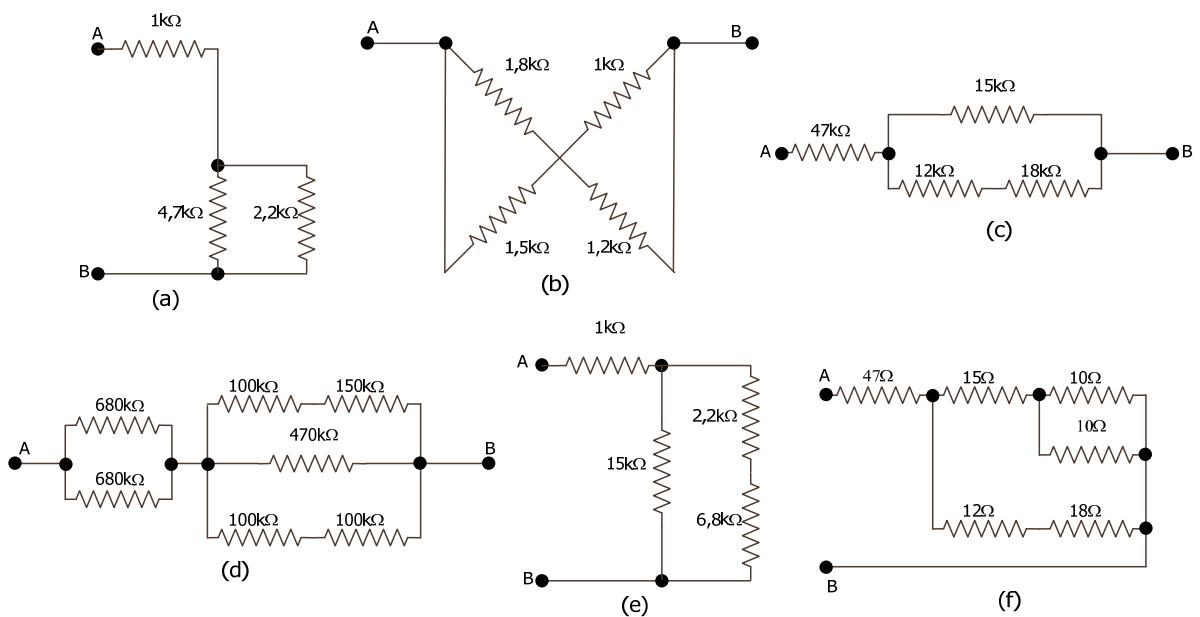
1. Se ligarmos 4 resistências de 68Ω em paralelo, qual o valor da resistência equivalente?

$$R.: R_{tot}=17\Omega$$

2. Que resistência deve ser ligada em paralelo, com outra de 180Ω para se obter uma resistência total de $147,6\Omega$?

$$R.: R=820\Omega$$

3. Determine a resistência equivalente de cada um dos agrupamentos da figura seguinte.



$$R.: a) R_{eq}=2,5k\Omega$$

$$c) R_{eq}=57k\Omega$$

$$e) R_{eq}=6,6k\Omega$$

$$b) R_{eq}=1,36k\Omega$$

$$d) R_{eq}=429,9k\Omega$$

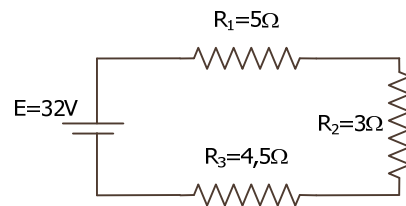
$$f) R_{eq}=59k\Omega$$

4. Entre os terminais duma associação série de 3 resistências, como se ilustra na figura seguinte, existe uma diferença de potencial de 2V. A corrente principal é 500mA. As resistências R_1 e R_2 valem, respectivamente, $0,8\Omega$ e 2Ω . Determinar o valor da resistência R_x e o valor da respectiva queda de tensão.



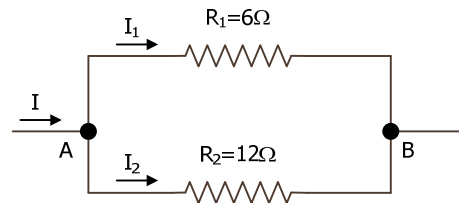
R.: $R_x=1,2\Omega$ $V_x=600mV$

5. Calcular, pelo processo do divisor de tensão, a ddp nos terminais da resistência R_2 do circuito da figura seguinte.



R.: $V_2=7,68V$

6. Analise o circuito da figura seguinte. Determine a corrente no circuito principal, sabendo que o referido agrupamento está sujeito a uma tensão de 27V.



R.: $I=6,75A$

7. Num circuito de quatro resistências em paralelo, cujos valores são $R_1=8\Omega$, $R_2=R_3=R_4=6\Omega$, determinar, pelo processo do divisor de corrente, qual a intensidade de corrente que percorre a resistência R_1 quando a corrente total do circuito é de 160 mA.

R.: $I_1=32mA$

- 8.** Considerar uma associação de quatro geradores todos iguais associados em paralelo. Cada elemento tem uma f.e.m. de 12V e $0,8\Omega$ de resistência interna. Este agrupamento debita sobre uma resistência de valor desconhecido. A corrente principal é 10A.

Calcular:

- a)** A corrente debitada por cada gerador.
- b)** A queda de tensão interna no agrupamento.
- c)** A d.d.p. nos terminais de cada gerador.
- d)** O valor da resistência de carga.

R.: *a) $I_i=2,5A$* *b) $V_i=2V$*
 c) $V_G=10V$ *d) $R_e=1\Omega$*

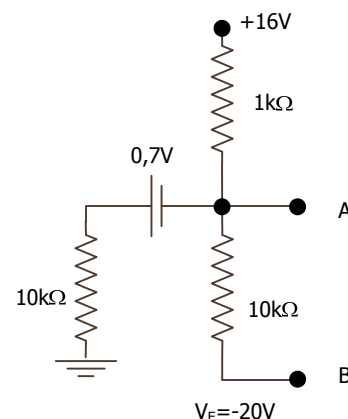
- 9.** Um paralelo de dois geradores, com o mesmo valor de f.e.m. igual a 12V e resistências internas, respectivamente $0,8\Omega$ e $0,4\Omega$, debitam sobre uma carga de 3Ω . Calcular:

- a)** A resistência interna do agrupamento.
- b)** A intensidade da corrente principal.
- c)** A d.d.p. nos terminais do gerador.
- d)** A intensidade de corrente debitada por cada gerador.

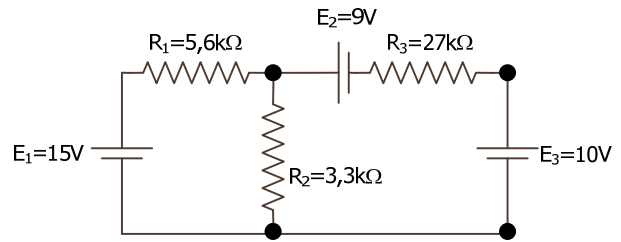
R.: *a) $R_{ia}=0,27\Omega$* *b) $i=3,67A$*
 c) $V=11V$ *d) $I_1=1,25A$ $I_2=2,5A$*

- 10.** Determine o equivalente de Thevenin do circuito à esquerda dos pontos A e B.

R.: *a) $E_T=31,6V$*
 $R_i=0,83k\Omega$



- 11.** Determine o equivalente de Thevenin do circuito à esquerda dos pontos A e B.

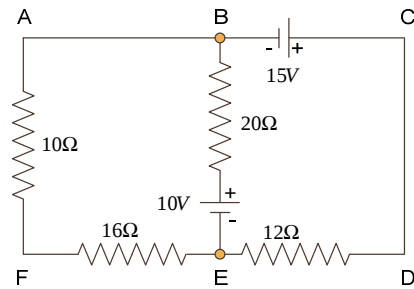


R.: a) $E_T = 31,6V$

$R_i = 0,83k\Omega$

- 12.** Observe o seguinte circuito:

- Identifique os nós, os ramos e as malhas existentes no circuito.
- Calcule as correntes do circuito.
- Calcule a tensão V_{AE} .



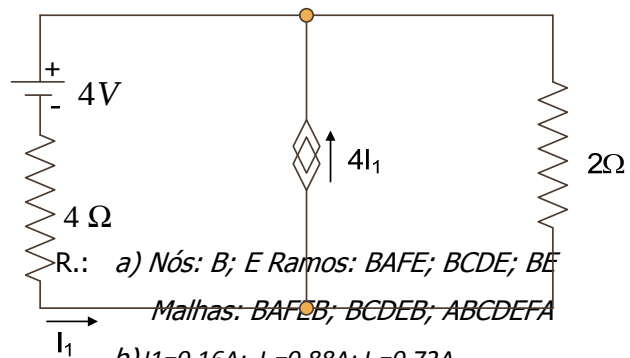
R.: a) Nós: B; E Ramos: BAFE; BCDE; BE

Malhas: BAFEB; BCDEB; ABCDEFA

b) $I_1 = 0,16A$; $I_2 = 0,88A$; $I_3 = 0,72A$

c) $V_{AE} = 4,16V$

- 13.** Observe o seguinte circuito. Determine a queda de tensão aos terminais da resistência de 2Ω .



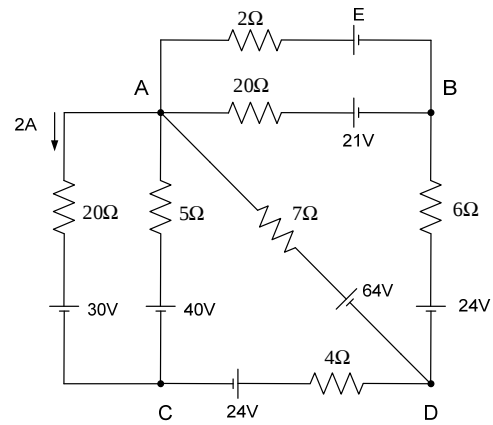
R.: a) Nós: B; E Ramos: BAFE; BCDE; BE

Malhas: BAFEB; BCDEB; ABCDEFA

b) $I_1 = 0,16A$; $I_2 = 0,88A$; $I_3 = 0,72A$

R.: $V_{2\Omega} = 12V$

- 14.** Observe o circuito da figura seguinte. Calcule o valor da f.e.m. "E" de forma que a corrente assinalada tenha o valor de 2A.



R.: $E=143,3V$

ELECTROQUÍMICA

A electroquímica refere-se á parte química que trata da relação entre correntes eléctricas e reacções químicas, e da transformação de energia química em eléctrica e vice-versa. No seu sentido mais amplo, electroquímica é o estudo das reacções químicas que produzem efeitos eléctricos e do fenómeno químico causado pela acção de correntes eléctricas.

ELECTRÓLISE

A água e muitas soluções aquosas, principalmente, as substâncias orgânicas (açúcar, álcool, etc.) tem uma condutividade eléctrica muito pequena. Mas há outras soluções aquosas de ácidos, bases e sais que conduzem bem a corrente eléctrica. Deve-se ao químico Arrhenius a explicação deste fenómeno. Segundo ele, as moléculas do soluto acham-se total ou parcialmente sob a forma de iões livres possuidores de cargas positivas e negativas

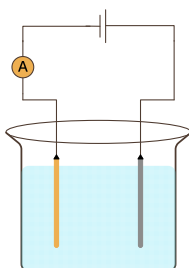
A separação das moléculas nos iões que as constituem chama-se dissociação electrolítica.

A dissociação é reversível, isto é, os iões podem voltar a juntar-se.

Assim poderemos encontrar, soluções de ácidos (clorídrico, sulfúrico, etc.), de bases e de muitos sais que são bons condutores da electricidade. Tais substâncias chamam-se electrólitos fortes.

Outras substâncias como o ácido acético, hidróxido de amónio, etc., apresentam condutividade muito menor em soluções na mesma concentração do que os electrólitos fortes. Recebem o nome de electrólitos fracos.

Consideremos um circuito simples, como o ilustrado na figura, constituído por um gerador e um amperímetro, ligados por fios condutores a dois eléctrodos que mergulham num líquido condutor.



A **condução da corrente eléctrica** neste circuito é assegurada por:

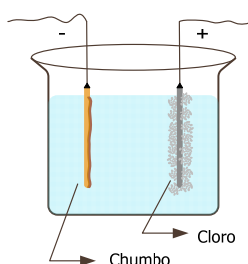
- Na **parte sólida**, por electrões livres.
- Na **parte líquida**, por iões positivos e iões negativos movendo-se ordenadamente em sentidos opostos.
- Entre a **parte sólida e a parte líquida**, por reacções químicas que ocorrem na superfície e contacto entre o líquido e os condutores sólidos nele mergulhados (eléctrodos)

São estas reacções químicas, designadas por reacções de eléctrodo, que no seu conjunto, constituem o que se designa por electrólise.

Na electrólise ocorre então a decomposição de algumas substâncias pela electricidade através da passagem de uma corrente eléctrica. A fim de manter a corrente, é necessário um circuito completo, como ilustrado na figura anterior. O processo é o seguinte:

1. Pelo condutor metálico vão electrões para o cátodo.
2. Os **íões positivos**, ou **catiões**, dirigem-se para o eléctrodo negativo, ou cátodo, e aceitam electrões; este ganho de electrões denomina-se **redução**.
3. Os **íões negativos**, ou **aniões**, dirigem-se para o pólo positivo, ou ânodo, ao qual cedem electrões; esta perda denomina-se **oxidação**.
4. Estes electrões dirigem-se pelo condutor metálico para a bateria e para o cátodo, completando-se assim o circuito.

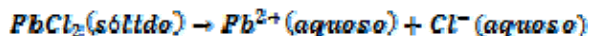
Para melhor se compreender este processo, analisemos o caso concreto da passagem da corrente eléctrica através da **solução de cloreto de chumbo (PbCl_2)** – electrólito, utilizando uma montagem idêntica à anterior em que os eléctrodos são de grafite.



Quando se estabelece o circuito, observa-se que no cátodo (eléctrodo negativo) se deposita chumbo, ao mesmo tempo que no ânodo (eléctrodo positivo) se desprende o gás cloro, detectável pelo cheiro característico. Estas observações interpretam-se, da seguinte forma:

Durante a dissolução do cloreto de chumbo PbCl_2 , vão-se quebrar as ligações entre os iões Pb^{2+} e Cl^- e

estes vão adquirir mobilidade na massa líquida:

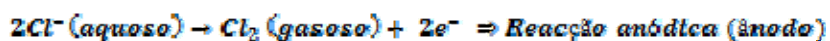


Por acção do campo eléctrico estabelecido no líquido, constatamos que:

Os **iões positivos** Pb^{2+} dirigem-se para o pólo negativo (cátodo), já que cargas com sinal iguais repelem-se e, cargas com sinais contrários atraem-se, e aí recebem 2 electrões vindos do eléctrodo, originando átomos de chumbo:



Os iões negativos Cl^{-} dirigem-se para o eléctrodo positivo (ânodo) e aí depositam electrões que entram na corrente eléctrica. Deste modo, os iões cloro dão origem a átomos de cloro, os quais, pelas suas características se associam em moléculas diatómicas:



Durante este processo, **deposita-se chumbo no cátodo**, e forma-se cloro no ânodo.

APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DA ELECTRÓLISE

A electrólise é utilizada em diversos processos industriais, por exemplo, na obtenção de cobre para fabrico dos cabos eléctricos, na obtenção do alumínio, entre outras, os quais passaremos a enumerar:

FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

O cloro e a soda cáustica são um exemplo de produtos químicos que se obtêm pela electrólise de uma solução de cloreto de sódio.

Também o hidrogénio e o oxigénio podem ser obtidos a partir de uma solução aquosa de ácido sulfúrico ou potassa cáustica.

OBTENÇÃO DE UM GRANDE NÚMERO DE METAIS

Um grande número de metais é obtido a partir da electrólise dos seus sais fundidos. O alumínio é exemplo disso. Este é obtido a partir da electrólise da alumina (Al_2O_3) fundida.

PURIFICAÇÃO DE DIVERSOS METAIS

Muitos metais, e em particular, o cobre são purificados pela electrólise. Usa-se como ânodo o metal que se quer purificar, como electrólito um sal desse metal e como cátodo esse metal puro.

GALVANOSTEGIA

Consiste em recobrir um objecto de metal com uma camada de outro metal, a fim de melhorar as suas características. Exemplos deste processo são: Cromagem, prateação, douradura, niquelagem, etc.

GALVANOPLASTIA

Consiste em reproduzir em metal pela electrólise certos objectos, como medalhas, estatuetas, etc, a partir de um molde apropriado.

O molde de plástico, cera, etc., é revestido de uma fina camada de grafite ou película metálica com o fim de o tornar condutor e constituir o cátodo

O ânodo é uma placa de metal que irá constituir o objecto e o electrólito um sal deste metal.

GERADORES ELECTROQUÍMICOS

Designam-se genericamente por **geradores electroquímicos** as **pilhas** e os **acumuladores**. Realizam a transformação de energia química em energia eléctrica.

Ambos são fontes de corrente contínua, mas diferem no princípio de funcionamento.

Os acumuladores têm um funcionamento reversível, isto é, funcionam como geradores e, quando descarregados, podem funcionar como receptores, reconstituindo as condições iniciais.

As pilhas não são reversíveis, uma vez descarregadas não é possível recuperá-las.

PILHAS

A produção de energia eléctrica a partir de reacções químicas assenta sobre duas importantes condições:

- Existência de um electrólito
- Dissimetria de eléctrodos

Uma vez realizadas, temos constituído um gerador electroquímico.

Foi com base nestes efeitos que **Volta** e **Galvani** iniciaram as investigações, sendo notável a contribuição destes cientistas neste domínio.



Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745 - 1827)

Físico italiano conhecido especialmente pela invenção da bateria

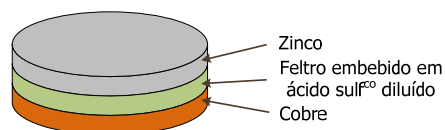
Em 1800 e como o resultado de uma discórdia profissional com Luigi Galvani, que defendia que os metais produziam electricidade apenas em contacto com tecido animal, Volta desenvolveu a pilha voltaica, comprovando que para a produção de electricidade, a presença de tecido animal não era necessária, um predecessor da bateria elétrica. Determinou, ainda, que os melhores pares de metais dissimilares para a produção de electricidade eram zinco e prata.

A primeira pilha realizada deve-se a Volta e é conhecida pelo seu nome.



PILHA DE VOLTA

A figura do lado representa um elemento de pilha tal como Volta primeiramente utilizou. É constituído por dois discos de metais diferentes: um de cobre e outro de zinco, o que satisfaz a segunda das condições enunciadas anteriormente – dissimetria dos eléctrodos. A separar os discos de cobre e de zinco, que correspondem aos eléctrodos positivo e



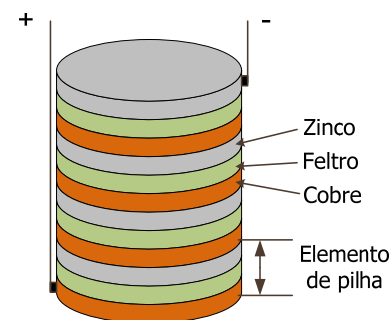
ORIGINAL

negativo, respectivamente está o electrólito: ácido sulfúrico diluído, embebido em rodela de pano que lhe servem de suporte. Está assim criada a outra condição para que o conjunto funcione como um gerador electroquímico.

Este gerador elementar designa-se por elemento de pilha. Tem individualidade própria, oferecendo uma força electromotriz constante de 1 volt.

Volta não se limitou a utilizar um elemento, mas sim um certo número deles, que dispôs uns a seguir aos outros, isto é, empilhou-os. É esta a designação que persiste, caracterizando, de uma forma geral, qualquer dispositivo gerador deste tipo.

Duas hastes metálicas recolhem a polaridade. Uma delas liga-se ao cobre pela parte inferior da pilha, sendo a sua extremidade adaptada para efectuar a ligação. É o seu **pólo positivo**.



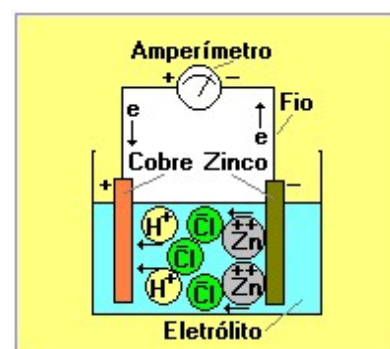
A outra haste liga-se ao primeiro disco em zinco, sendo a sua extremidade superior também adaptada para posterior ligação. Corresponde ao **pólo negativo** da pilha.

A razão do empilhamento e a forma como as hastes colectam a polaridade corresponde a uma série de quatro elementos cuja f.e.m. é quatro vezes superior àquela que um só elemento poderia desenvolver.

Estas pilhas foram posteriormente modificadas. Os discos de cada elemento foram substituídos por placas que mergulham no electrólito, constituindo o que se designa por **pilhas de imersão**.

E na presença um do outro, os dois metais comportam-se de maneira diferente. O cobre tem tendência a perder electrões, por isso constitui o **ânodo**. O zinco tem tendência a captar electrões, daí constituir o **cátodo**.

Diz-se que o zinco é mais electronegativo que o cobre ou, se preferirmos, que este é mais electropositivo. É esta diferença de electronegatividades que origina a f.e.m.



POLARIZAÇÃO

A produção de hidrogénio na experiência anterior ocorre na generalidade dos geradores electroquímicos e dá-se **sempre a nível do ânodo**. O hidrogénio formado acaba sempre por se depositar sobre o eléctrodo, formando uma fina película envolvente que, à medida que o processo decorre, vai gradualmente bloqueando

o eléctrodo, impedindo o contacto deste com o electrólito. Em consequência, há uma depreciação progressiva do valor da f.e.m. que pode chegar a anular-se por completo.

O fenómeno designa-se por polarização do eléctrodo e, a título de definição, podemos dizer que:

Consiste numa depreciação da tensão disponível entre os terminais de uma fonte electroquímica, devido á gradual formação de hidrogénio junto do ânodo.

PROCESSOS DE DESPOLARIZAÇÃO

Para combater o efeito da polarização é necessário impedir que o hidrogénio proveniente da decomposição do líquido activo se vá fixar sobre o eléctrodo positivo.

Para se conseguir este objectivo, emprega-se uma substância oxidante chamada despolarizante, capaz de absorver o hidrogénio, (actuando quimicamente sobre ele), ou retira-se o eléctrodo de cobre para o secar.

As substâncias mais usuais são: o **dicromato de potássio**, o **peróxido de hidrogénio**, conhecido vulgarmente por água oxigenada, o **dióxido de manganês**, o **ácido nítrico** e o **próprio ar**.

Os elementos de pilha que possuem despolarizante dizem-se não polarizáveis ou impolarizáveis.

CONSTANTES DE UMA PILHA

Cada elemento de pilha é caracterizado por um certo número de grandezas, sensivelmente independentes das suas condições de funcionamento, chamadas constantes da pilha. Essas constantes são:

- Força electromotriz;
- Resistência interna;
- Régimen;
- Capacidade.

- **Força electromotriz**

É, como vimos no capítulo anterior, igual à diferença de potencial entre os pólos da pilha quando em circuito aberto.

A força electromotriz de um elemento de pilha impolarizável é constante. Não depende nem das dimensões, nem da forma dos elementos, varia apenas com a natureza das substâncias e das reacções químicas que lhe

dão origem nos eléctrodos.

Como a despolarização não é completamente perfeita, a força electromotriz pode diminuir um pouco, sobretudo, se o elemento debita uma corrente exagerada.

➤ Resistência interna

A resistência interna de uma pilha vem a ser a resistência do conjunto dos condutores sólidos e líquidos que constituem a pilha. Depende essencialmente das suas dimensões e é tanto maior quanto mais pequena for a pilha.

Varia com a natureza do electrólito e do despolarizante, com o grau de concentração destes líquidos e diminui quando a temperatura aumenta.

➤ Régimen

É a corrente máxima que a pilha consegue debitar sem se polarizar; se a corrente ultrapassar este valor, a produção de hidrogénio é tão rápida, que o despolarizante não pode impedir que ele se fixe sobre o eléctrodo positivo, e em consequência a força electromotriz baixa. O régimen depende da natureza das substâncias que formam a pilha e das suas dimensões. Para um mesmo tipo de pilha é tanto maior quanto maiores forem as suas dimensões.

➤ Capacidade

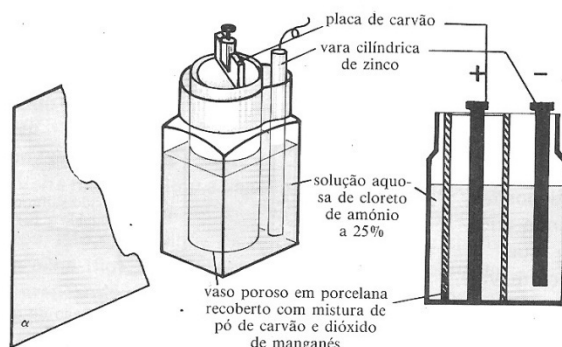
É a quantidade de electricidade que pode produzir uma pilha desde que se fabrica até que se consuma. A capacidade depende da natureza das substâncias que formam a pilha e das suas dimensões. A capacidade teórica depende da massa dos elementos que constituem a pilha. A capacidade prática é dada pelo construtor em Ah (Ampere-hora) e é obtida pela relação:

$$I = \frac{Q}{t} \Leftrightarrow Q = I \times t$$

PILHA DE LÉCLANCHÉ

É a pilha de despolarizante sólido mais vulgar. O electrólito é uma solução aquosa de cloreto de amónio (NH_4Cl), vulgarmente conhecido por sal amoníaco e o despolarizante é o bióxido de manganésio misturado

com carvão triturado.



O eléctrodo negativo é constituído por uma vareta de zinco amalgamado e o eléctrodo positivo é constituído por um prisma de carvão das retortas.

Um vaso de vidro contém o electrólito e a vareta de zinco. Dentro do vaso de vidro colocava-se nos modelos antigos, um vaso de porcelana porosa que continha o prisma de carvão e o despolarizante.

O vaso de porcelana tapa-se com uma camada de chartterton onde se deixam pequenos orifícios para a saída dos gases resultantes das reacções químicas que têm lugar na pilha.

A pilha de Léclanché tem uma força electromotriz de 1,46 V e apresenta uma resistência interna de cerca de 1 Ω nos modelos de vaso de porcelana.

Para diminuir a resistência interna suprimiu-se o vaso poroso, tendo sido substituído por um saco de lona (pilhas de saco).

Há outros modelos que não têm vaso nem saco, apresentando-se o despolarizante utilizado sob a forma de prismas comprimidos contra o eléctrodo de carvão (pilhas de aglomerados).

Os cuidados a ter com a conservação da pilha de Léclanché resumem-se a manter o nível do líquido juntando-lhe água, e de tempos a tempos acrescentar também um pouco de sal amoníaco. Todos os anos deve substituir-se o líquido, os vasos devem ser raspados e bem lavados e o zinco amalgamado ou substituído se for encontrado corroído.

A pilha Léclanché despolariza muito lentamente quando em funcionamento. Mas se a deixarmos repousar durante um certo tempo, acaba por adquirir o seu valor primitivo.

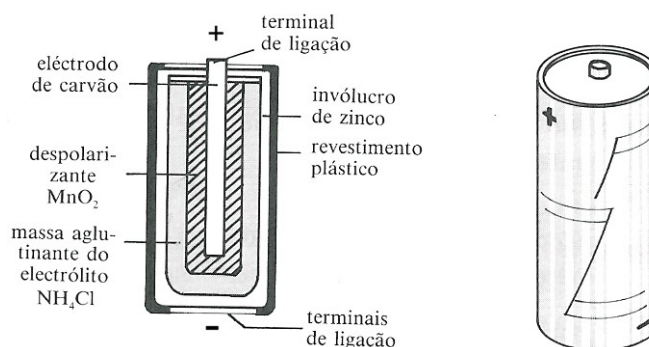
Convém, portanto, empregá-la nos serviços que não exijam um trabalho permanente, como por exemplo

ORIGINAL

nas campainhas eléctricas, aparelhos telefónicos, etc.

PILHAS SECAS

Estas pilhas, impropriamente conhecidas por pilhas secas, são em geral, do tipo Léclanché



O líquido activo    immobilizado por substâncias absorventes, tais como serradura de madeira, gelatina, cofferdon (fibra de noz de coco), gesso, etc., que não são atacadas pelo cloreto de am  nio.

O electrodo negativo é o próprio invólucro da pilha que é um vaso de zinco e o electrodo positivo é uma barra de carvão das retortas, envolvida pelo despolarizante (mistura de bióxido de manganésio e carvão).

As pilhas secas têm sofrido bastantes melhoramentos, merecendo referência a chamada pilha seca de constru  o invertida, em que se coloca do lado de fora um invólucro recoberto a carvão (pólo positivo) enquanto que no interior ficam as lâminas de zinco (pólo negativo).

Desta forma, impede-se que o electrol  to depois da pilha descarregada possa ser vertido sobre os equipamentos pois como se sabe o zinco é consumido durante as reacções de descarga.

Esta pilha despolariza-se um pouco melhor que a do modelo antigo. Tem a desvantagem de durar pouco tempo quando em inactividade.

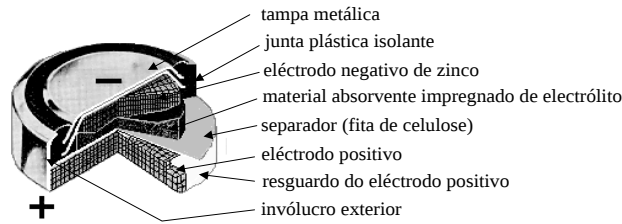
PILHAS DE MERCÚRIO

A pilha de mercúrio tem tido grande aplica  o militar, como por exemplo na alimenta  o de postos de rádio portáteis, rádio-sonda, foguetes teleguiados, etc.

O electrodo negativo (cátodo)    constituído por uma pastilha de zinco de alto grau de pureza, pulverizado e prensado (figura 9-6).

O electrodo positivo (  nodo)    formado por uma chapa redonda de aço recoberta duma mistura

despolarizante à base de óxido de mercúrio.



O electrólito é constituído por uma solução de potassa cáustica contida em material absorvente. A separação entre o despolarizante e o electrólito é obtida por meio de uma camada permeável à base de um álcool especial. O invólucro exterior é constituído por aço niquelado que resiste tanto à corrosão interna como externa. Estas pilhas são caracterizadas por apresentarem uma tensão praticamente constante durante toda a descarga, pois é impolarizável, o que leva esta pilha a ser utilizada como elemento padrão em usos comerciais. Devido às pequenas dimensões, esta pilha é ideal para dispositivos miniaturizados tais como aparelhos auditivos, aparelhos de estimulação cardíaca, fotómetros, automatismos de máquinas fotográficas, relógios, etc.

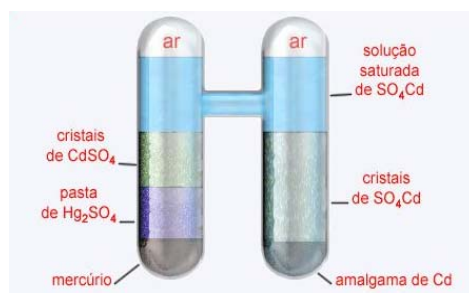
A sua capacidade não varia muito com o régimen de descarga e tem uma força electromotriz de 1,35 V, e tem uma resistência interna de valor muito reduzido.

Outra vantagem desta pilha é a sua grande resistência a condições de trabalho severas como sejam, temperaturas elevadas e grande humidade, além de que é bastante grande a sua capacidade em relação ao volume que ocupa. Por outras palavras, se tivermos duas pilhas, uma "seca" e outra de mercúrio ocupando o mesmo volume, a de mercúrio terá uma capacidade maior e poderá portanto debitar a mesma corrente durante mais tempo, pois a sua capacidade, apesar de depender das dimensões, para volume igual, é cerca de 4 a 5 vezes superior à capacidade das pilhas secas.

Diz-se por isso que a energia mássica e volumétrica é maior nas pilhas de mercúrio do que nas pilhas secas. O preço é, no entanto mais elevado nas pilhas de mercúrio.

PILHA WESTON

É uma das pilhas padrões mais usadas. Tem como invólucro um tubo de vidro em forma de H (fig. 219). Um dos eléctrodos é de mercúrio, o outro de amálgama de cádmio. Acima do eléctrodo de mercúrio é colocada uma pasta de sulfato de mercúrio, e acima desta, cristais de sulfato de cádmio. Acima da amálgama de cádmio são colocados cristais de sulfato de cádmio. O restante do



tubo é preenchido por uma solução saturada de sulfato de cádmio. Por cima da solução é deixado um espaço de ar.

A f.e.m. de uma pilha Weston bem construída é 1,0183 volts a 20°C. Essa f.e.m. varia com a temperatura, mas existem fórmulas que permitem calcular a variação da f.e.m. em função da temperatura.

ACUMULADORES

Os acumuladores são geradores electroquímicos tal como as pilhas tradicionais delas diferindo, contudo, em alguns aspectos fundamentais:

- Acumulam potencialmente grandes quantidades de electricidade, facto que justifica a sua própria designação.
- Têm maior duração, apresentando um valor de f.e.m. aproximadamente constante durante a utilização.
- Fornecem correntes de intensidade muito superior
- Têm um funcionamento reversível, isto é, depois de descarregados, admitem recarga recuperando as condições iniciais de funcionamento.

As pilhas tradicionais contrapõem, a todas estas vantagens, a versatilidade do seu uso, que lhes advém das reduzidas dimensões, ausência de manutenção e ainda o custo incomparavelmente mais baixo. A utilização destas é exclusiva de aparelhos de reduzidas dimensões e baixo consumo.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Reversibilidade

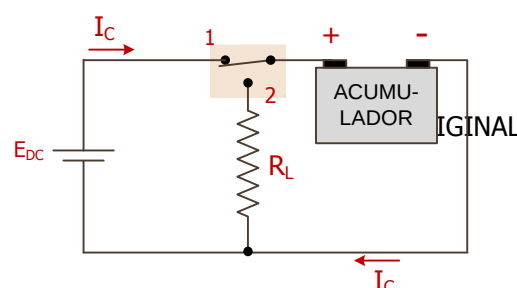
O seu princípio de funcionamento baseia-se numa das suas principais características: a reversibilidade. Consiste na possibilidade de poderem funcionar como geradores, quando fornecem corrente eléctrica a um circuito exterior, e como receptores, quando absorvem energia eléctrica a fim de recuperarem a carga inicial.

Funcionamento como receptor

Na figura seguinte dispomos de um circuito constituído por um acumulador, uma fonte de tensão contínua, um comutador de três posições e uma resistência de carga.

Como o selector na posição 1, o acumulador está

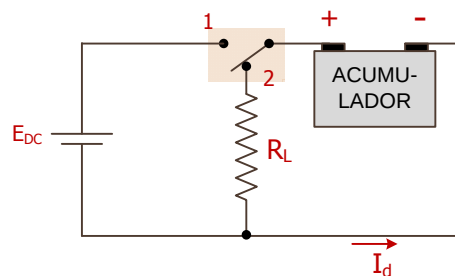
2-103



submetido à tensão do gerador. Esta operação, que se designa por recarga do acumulador, tem uma duração de algumas horas findas as quais se restabelecem as condições iniciais, nomeadamente o valor característico de f.e.m. Na figura anterior indica-se, ainda, o sentido da corrente de carga.

Funcionamento como gerador

Com o comutador na posição 2, o acumulador, uma vez carregado, irá debitar sobre a resistência de carga, R_L . Notar que o sentido da corrente de descarga é inverso do anterior. Após longo período de utilização, durante o qual a f.e.m. se mantém aproximadamente constante, o seu valor cai bruscamente, o que indica que o acumulador está descarregado. Nesta altura deverá iniciar-se novamente o processo de carga, pois não só o valor de f.e.m. é consideravelmente mais baixo como, a manter-se levará à própria inutilização do acumulador.



TIPOS DE ACUMULADORES

Existem dois tipos fundamentais:

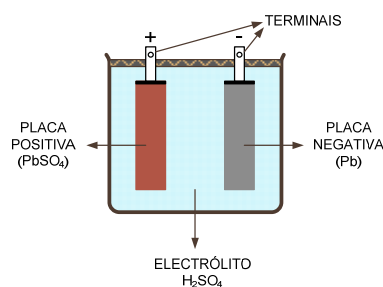
- Acumuladores de chumbo ou ácidos
- Acumuladores de níquel ou alcalinos

Ambas as designações se baseiam na natureza dos respectivos eléctrodos ou na natureza ácida ou alcalina do respectivo electrólito

ACUMULADORES DE CHUMBO-ÁCIDO

Características

Estes acumuladores são constituídos por vários elementos ligados em série, com vista a obter uma f.e.m. superior à que caracteriza cada um deles. Vejamos a constituição de um desses elementos, esquematicamente representado na figura do lado.

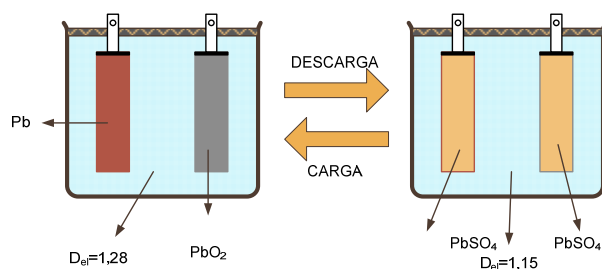


O electrólito é uma solução aquosa de ácido sulfúrico.

Os eléctrodos são constituídos por duas placas: uma constituída essencialmente por chumbo esponjoso de cor acinzentada, que é a placa negativa; outra apresenta um revestimento de óxido de chumbo, PbO_2 , identificável pela cor castanho-escuro, e constitui a placa positiva.

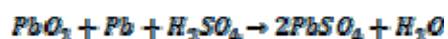
Nessa dissimetria está a base do seu funcionamento como gerador. A sua f.e.m. é de 2 volt.

Reacções electrolíticas



Descarga

Durante a descarga, os eléctrodos vão perdendo a dissimetria inicial, como resultado da seguinte reacção química:

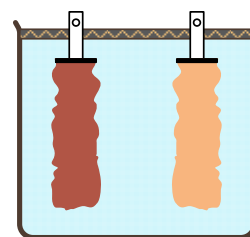


O segundo membro desta equação dá-nos efectivamente conta dessa tendência devido à formação simultânea, em ambos os eléctrodos, de sulfato de chumbo (PbSO_4). Em consequência, a f.e.m. vai gradualmente diminuindo.

Da mesma maneira constatamos uma diminuição da densidade do electrólito e, portanto, da sua concentração inicial, devido à formação de água.

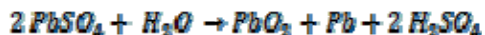
Sulfatação das placas

Atingido o valor final de descarga para uma dada bateria, ou ainda após um longo período de inatividade, se insistirmos na sua utilização, dá-se o fenómeno de sulfatação das placas, que consiste na destruição da respectiva matéria activa por acção do ácido sulfúrico. Forma-se então uma camada dura de sulfato de chumbo sobre as placas, que adquirem, consequentemente, cor esbranquiçada, o que caracteriza uma situação já irreversível em que o acumulador não reage a qualquer acção de recarga.

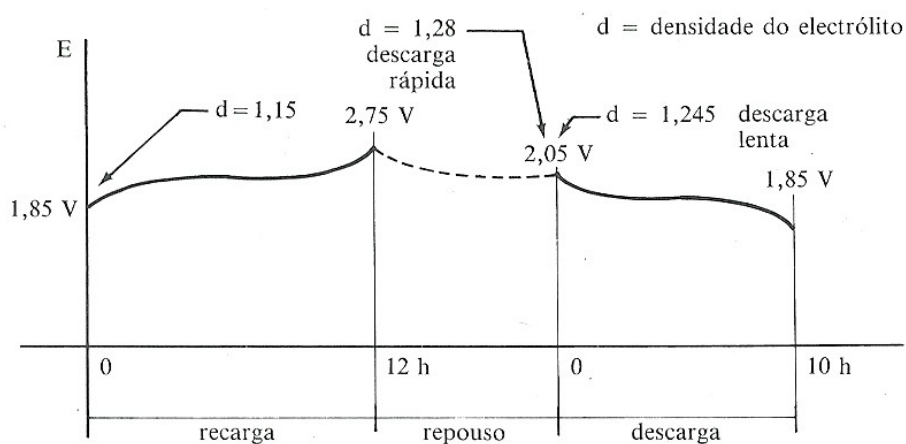


Recarga

O processo pode ser facilmente interpretado a partir da seguinte reacção electrolítica:



No final da carga, além de recuperarmos a f.e.m. que caracteriza o elemento, isto é 2 Volt, é feita a regeneração do ácido sulfúrico, o que corresponde a uma densidade $d=1,28$ para baterias de descarga rápida e $d=1,245$ para baterias de descarga lenta.

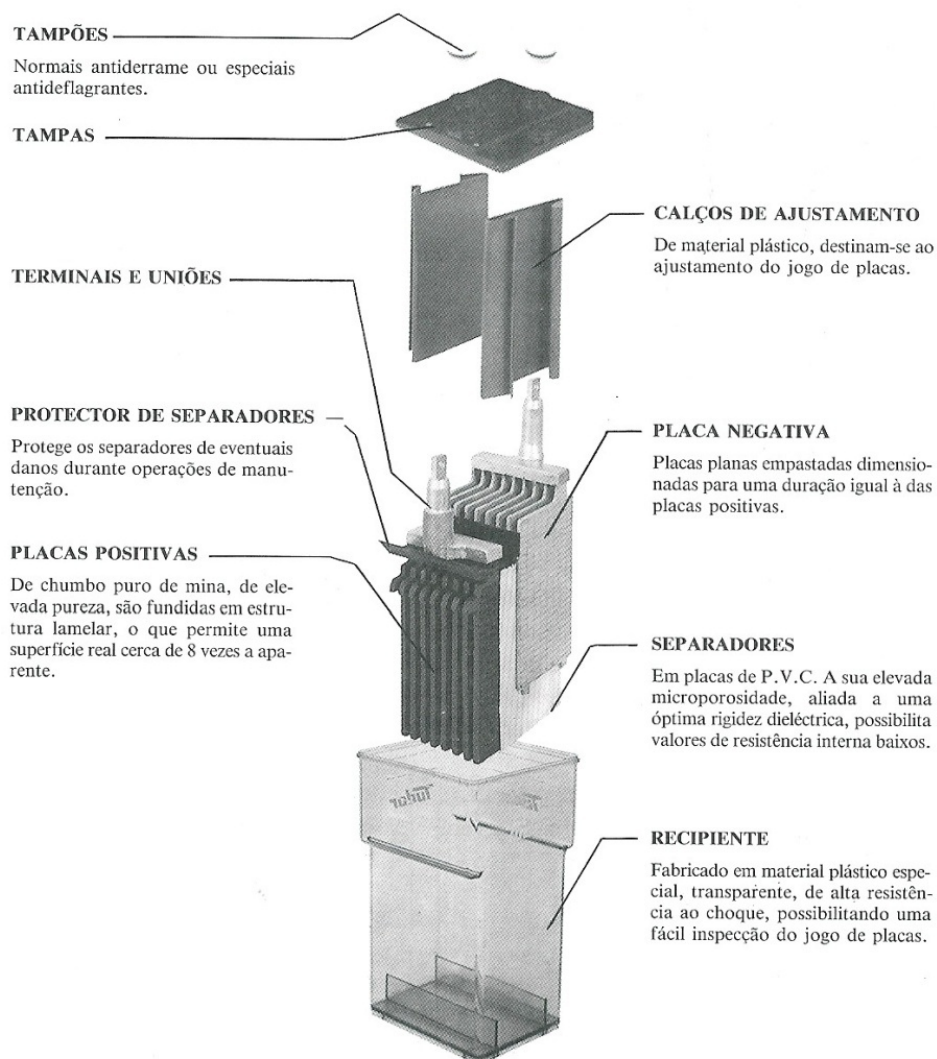


ASPECTOS CONSTRUTIVOS E DE CONSTITUIÇÃO

Placas

A especificidade da utilização do acumulador condiciona fortemente, entre outros aspectos construtivos, a configuração e estrutura das placas. É inclusive nesta base que se faz a distinção entre acumuladores:

- **TIPO PLANTÉ** ou de formação natural.
- **TIPO FAURE** ou de placas empastadas.



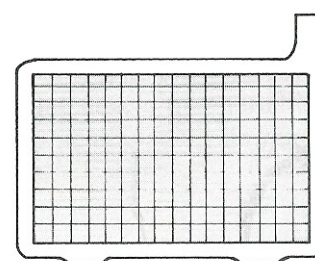
Acumuladores tipo planté

Nestes acumuladores, a diferenciação de ambas as placas, inicialmente idênticas e em chumbo, resulta **naturalmente** após um continuado processo de cargas e descargas. As placas apresentam uma **estrutura lamelar, com finas ranhuras**, com o fim de aumentar a **superfície real** de contacto com o electrólito, assim se conseguindo áreas sete ou oito vezes superiores à respectiva **superfície aparente**.

O grande volume, peso e custo destes acumuladores, só verdadeiramente compensado pela sua longa duração, justifica a sua utilização como **baterias estacionárias**.

Acumuladores tipo faure

Contrariamente à versão anterior, as placas são, à partida, diferentemente concebidas. Têm o aspecto de grelhas em chumbo



INAL

antimonioso, cujos intervalos são preenchidos pelo que se designa de matéria activa: essencialmente o dióxido de chumbo na placa positiva e o chumbo esponjoso na placa negativa.

Os acumuladores deste tipo são de menor custo, mais leves, mas têm menor duração que os anteriores. Compreende-se assim o seu emprego como baterias de arranque nos automóveis.

Separadores

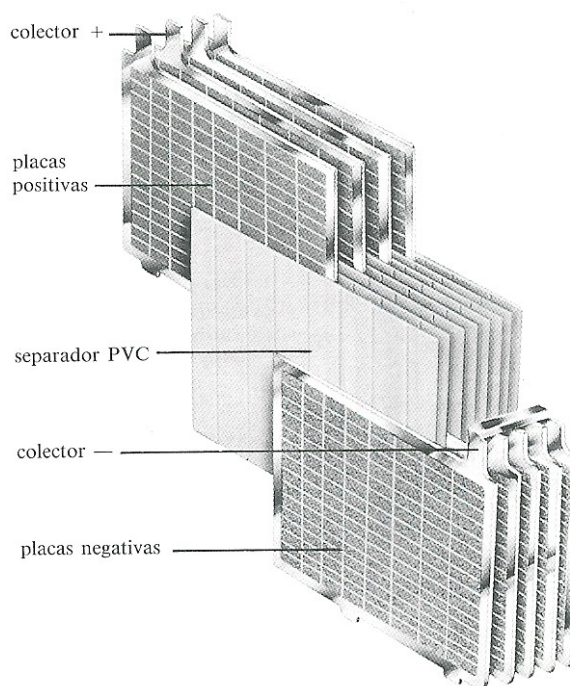
São finas placas de boas características dieléctricas, normalmente em, PVC, que evitam o curto-circuito entre eléctrodos contíguos.

Electrólito

O electrólito é uma solução aquosa de ácido sulfúrico cuja concentração depende da utilização requerida. O electrólito deve cobrir completamente as placas.

Recipiente

Constitui a protecção do acumulador, devendo ser resistente aos choques e à corrosão do ácido. Fabricam-se materiais plásticos de grande qualidade; alguns transparentes, permitindo uma fácil inspecção das placas. Existe ainda, na sua parte interior, uma câmara de sedimentos que acumula a matéria activa eventualmente desprendida das placas durante o funcionamento.

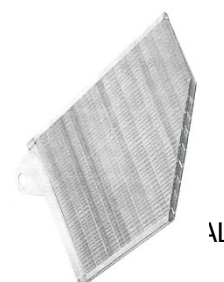


ACUMULADORES DE ALCALINOS

Diferem dos anteriores fundamentalmente pela natureza das suas placas e do electrólito.

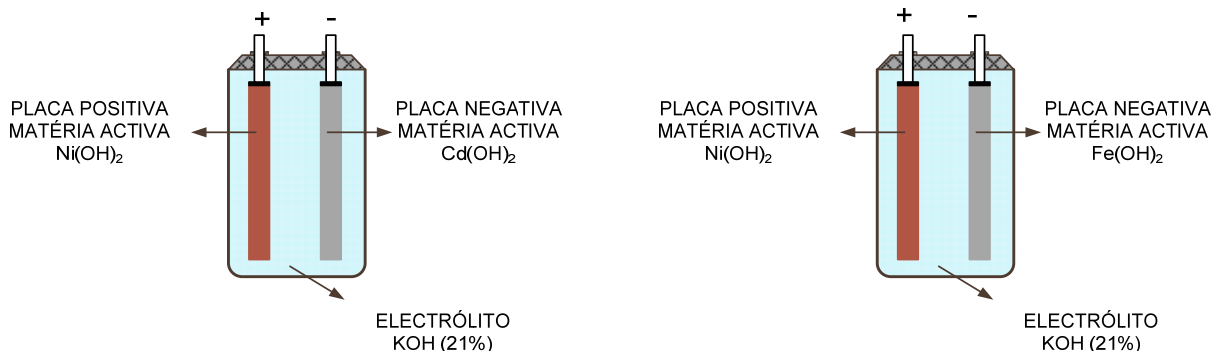
Constituição

Placas – as placas, positivas ou negativas, são constituídas por um conjunto de finos tubos de aço niquelado densamente perfurados, em cujo interior se coloca a matéria activa. Nas placas positivas a matéria activa é o hidróxido de níquel.



Consoante a matéria activa utilizada nas placas negativas assim estes acumuladores têm a designação de:

- ACUMULADORES **NICAD** – **hidróxido de cádmio**
- ACUMULADORES **NIFE** – **hidróxido de ferro**



Electrólito – é uma solução aquosa de **hidróxido de potássio**, KOH , a 21%.

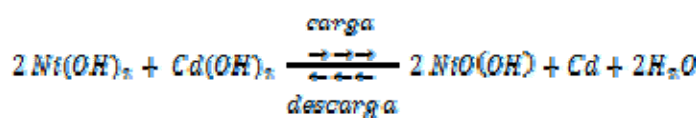
Outros elementos – para além dos elementos apontados, poderíamos ainda mencionar:

- Separadores
- Recipiente
- Terminais
- Tampão
- Vedação

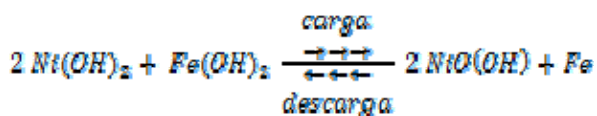
A vedação merece especial apontamento pelo facto de dever garantir a estanquicidade necessária, evitando não apenas o derramamento do electrólito, como a própria entrada de ar atmosférico. Este, em contacto com o electrólito, dá origem à sua carbonatação, isto é, à formação de carbonato de potássio, que ataca as placas devido à combinação de dióxido de carbono existente no ar com o electrólito

Princípio de funcionamento

Contrariamente ao que se passa com os acumuladores ácidos, o electrólito, nestes acumuladores, não reage com as placas, o que justifica a sua densidade ser constante. Para um acumulador NICAD podemos escrever a seguinte equação de funcionamento:



Para um acumulador NIFE a equação será:



São valores típicos de funcionamento os seguinte:

- A tensão média característica da descarga é de **1,2 Volt**.
- Considera-se descarregado quando a tensão é de **1 Volt +/- 10%**.
- Terminada a carga, a sua tensão é de **1,8 Volt**.

Vantagens e inconvenientes

Os acumuladores alcalinos quando comparados com os acumuladores de chumbo têm as seguintes vantagens:

- Podem ser carregados pelo processo de tensão constante com elevada carga inicial
- Conseguem manter uma tensão relativamente equilibrada ao descarregarem-se a correntes elevadas
- Podem descarregar-se a um elevado valor e carregadas com polaridade invertida sem produzir danos
- Podem conservar-se imóveis sob qualquer estado de carga, durante tempo indefinido sem perigo de se danificarem
- Resistem a baixas temperaturas sem se danificarem
- Não estão sujeitas a avarias por vibração
- Normalmente não expelem fumos corrosivos
- São compostas por elementos possíveis de serem substituídos individualmente

São desvantagens:

- Menor rendimento
- Custos elevados
- Menor valor de f.e.m. por elemento.
- Maior variação da f.e.m. com o tempo de descarga.
- O electrólito é corrosivo, ficando inutilizado pela acção dos ácidos.

APLICAÇÕES DOS ACUMULADORES

Os acumuladores têm as seguintes utilizações:

- São fontes auxiliares para iluminação dos barcos, comboios, aeronaves
- São fontes auxiliares de energia nas centrais de tracção eléctrica
- Nos automóveis utilizam-se para o arranque do motor e para iluminação
- Alimentação de centrais telefónicas, estações de emissoras de rádio
- Alimentação de dispositivos de segurança, tais como alarme, sinalização
- Fontes de alimentação para telecomandos, aparelhos de medida portáteis, rádios portáteis
- Máquinas de calcular, máquinas de barbear, flashes para máquinas fotográficas

APLICAÇÕES NAS AERONAVES.

As aeronaves dispõem de dispositivos alimentadores de corrente eléctrica como sendo os geradores, porém, estes só executam a sua função quando os motores se encontram em funcionamento. Para operação em terra, como por exemplo arranque de motores no caso de emergência, testes, ou para operações aéreas, como por exemplo a activação do sistema de emergência, o acumulador constitui um elemento de grande importância no equipamento de uma aeronave. Nalgumas delas (C130, P3, Puma, Alouette, Falcon, etc.) garante a independência de dispositivos auxiliares terrestres. Em todas as aeronaves o acumulador tem a importante missão de garantir a alimentação dos instrumentos e dispositivos essenciais à navegação.

CONDENSADORES

O condensador é um componente utilizado na electrónica cuja principal função é o armazenamento de energia eléctrica. São constituídos por duas placas de metal separadas por um material isolante chamado de dieléctrico. A cada uma dessas placas de metal é ligado um fio que constitui os terminais do condensador.

CAPACIDADE ELÉCTRICA

GRANDEZA		UNIDADE SI	ABREVIATURA
DESIGNAÇÃO	SÍMBOLO		
Capacidade eléctrica	C	Farad	F

Consideremos um corpo isolado no espaço e no estado neutro. Comunicemos-lhe uma determinada carga eléctrica Q_1 . Como resultado esse corpo ficará a um potencial que designamos V_1 . Se comunicarmos uma carga Q_2 diferente de Q_1 , ele ficará a um potencial V_2 também diferente. Poderíamos verificar que para esse corpo é constante a razão entre a carga que lhe é comunicada e o potencial a que ele fica. Essa razão constante chama-se **Capacidade Eléctrica**. Assim:

$$C = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_2}{V_2} = \dots = \frac{Q}{V}$$

$C = \frac{Q}{V}$	Onde:	C	Capacidade	Farad (F)
		Q	Carga eléctrica	Coulomb (C)
		V	Potencial	Volt (V)

Podemos assim definir o Farad como sendo:

a Capacidade de um condutor que fica ao potencial de 1 volt quando é carregado com 1 coulomb.

Michael Faraday (1791 – 1867)

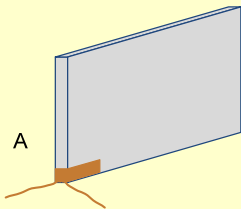
Cientista inglês, estudou as relações entre a eletricidade estática e a corrente elétrica, e entre a eletricidade e a luz, chegando a formular uma teoria sobre a natureza eletromagnética da luz. Inventou o voltímetro durante suas pesquisas sobre eletrólise.

A unidade de medida de capacitância é farad, em sua homenagem.

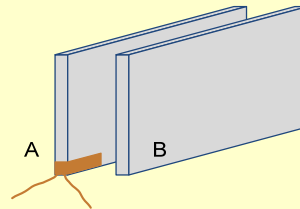
**CONDENSAÇÃO ELÉCTRICA**

A capacidade eléctrica de um corpo é influenciada por outros na sua vizinhança. Observemos as figuras seguintes, onde colocamos em situações diferentes um condutor A caracterizado inicialmente por um determinado valor de capacidade.

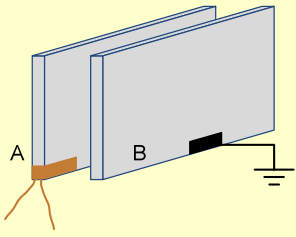
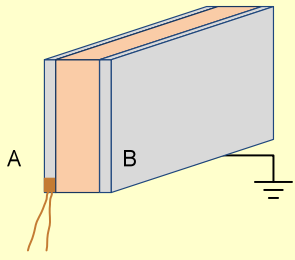
Vejamos a variação desta nas diferentes situações ilustradas, usando para o efeito, e em cada um dos casos, um duplo pêndulo eléctrico, cujo afastamento maior ou menor das suas folhas indica, respectivamente, maior ou menor concentração da sua carga. É evidente que uma menor concentração da carga corresponde a um maior valor da sua capacidade.

**Situação 1**

Corpo A isolado no espaço carregado com a carga Q .
(afastamento máximo das folhas do duplo pêndulo)

**Situação 2**

Aproximação de um condutor B no estado neutro.
(menor afastamento das folhas, o que denuncia aumento da capacidade)

	
Situação 3 Ligação do corpo B à terra. (afastamento das folhas menos pronunciado ainda que na situação anterior, o que mostra aumento da capacidade)	Situação 4 Interposição de um meio dieléctrico entre os condutores A e B. (as folhas divergem ainda menos, o que prova haver aumentado ainda mais a capacidade de A)

Vemos que a capacidade de um condutor A aumenta com a proximidade de um outro condutor B no estado neutro aumentará ainda se este condutor B estiver ligado à terra e, finalmente mais ainda se entre eles colocarmos um meio isolador.

A este fenómeno chama-se **condensação eléctrica**, que se pode definir como:

O aumento da capacidade de um corpo pela aproximação de outro no estado neutro, pela ligação deste à terra e pela interposição de um dieléctrico.

O conjunto de dois corpos condutores como A e B, nas condições da figura anterior, constitui um **condensador**.

Os corpos A e B são chamados **armaduras**.

O corpo ao qual comunicamos uma determinada carga eléctrica, representa a armadura colectora (corpo A).

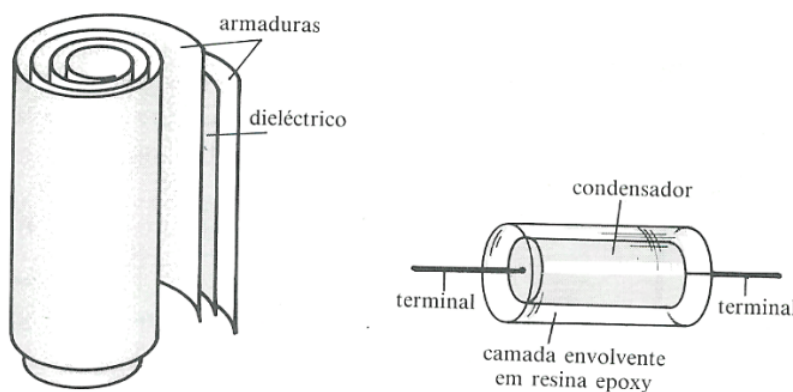
O corpo B, que promove o fenómeno da condensação eléctrica, chama-se **armadura condensadora**.

TIPOS DE CONDENSADORES

No que respeita à sua construção, os condensadores podem diferir pela:

- **Natureza do dieléctrico.**
 - **Sólido** (ex: mica, vidro cerâmico, etc.)
 - **Líquido** (ex: óleos industriais)
 - **Gasoso** (ex: ar atmosférico)
- **Forma das suas armaduras.** Condensadores planos, cilíndricos ou esféricos.
- **Possibilidade, ou não, de fazer variar a sua capacidade.** Condensadores de capacidade variável e de capacidade constante.

Há diversos modelos de condensadores, correspondendo cada tipo a uma utilização específica.

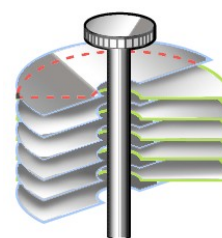


Os condensadores tubulares são constituídos por folhas de estanho ou alumínio separadas por folhas de papel parafinado, que constitui o dieléctrico. No conjunto, estas folhas são enroladas de forma a tomarem o aspecto cilíndrico e introduzidas num reservatório, também cilíndrico, em cuja tampa existem dois terminais acessíveis que colectam os condutores referidos. Um corresponderá à armadura colectora, o outro à armadura condensadora.



Os condensadores de capacidade variável são muito usados em electrónica. O dieléctrico, nestes condensadores, é o próprio ar.

Um condensador deste tipo é constituído, fundamentalmente, por dois grupos de placas condutoras paralelas. Em cada grupo estas placas ligam-se fisicamente. Um deles é fixo, o outro é móvel. Por rotação de um botão pode-se fazer variar a superfície das placas móveis cobertas pelas placas fixas e, assim, a sua capacidade.



CÓDIGO DE CORES PARA CONDENSADORES

Em geral, os condensadores não trazem as suas especificações no próprio corpo. Por isso, existe um código de cores para as expressar.

Código de cores para Condensadores ceramicos			
1º número	2º número	multiplicador	tolerância para C > 10pF
(I) (II)	(III)	(IV)	(V)
0 pret.	1 pret.	10 cast.	20% pret.
1 cast.	10 cast.	10 ² verm.	1% cast.
2 verm.	10 ² verm.	10 ³ lar.	2% verm.
3 lar.	10 ³ lar.	0,01 cinza.	5% verd.
4 amarelo.	0,01 cinza.	0,1 branco.	10% branco.
5 verd.	0,1 branco.		
6 azul			
7 viol.			
8 cinza.			
9 branco.			

CAPACIDADE DE UM CONDENSADOR DE FACES PLANAS

A capacidade de um condensador plano pode ser calculada pela seguinte expressão:

$C = \epsilon \frac{A}{e}$	Onde:	A	Área activa de cada placa (área comum às duas armaduras)	m ²
		e	Espessura da dielétrica	m
		ε	Constante Dielétrica da meio.	

CONSTANTE DIELECTRICA

Também designada por **permitividade eléctrica** ou **poder indutor específico**, a constante ϵ pode definir-se como sendo:

A capacidade de um condensador plano com placas de área unitária e cujo dieléctrico tem como espessura a unidade de comprimento.

No sistema internacional a sua unidade é o farad/metro (F/M). esta constante é ainda dada pelo produto da

permissividade relativa (ϵ_r) pela permissividade do vazio (ϵ_0).

$$\epsilon = \epsilon_r \times \epsilon_0$$

PERMITIVIDADE RELATIVA

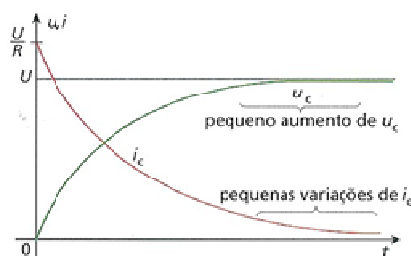
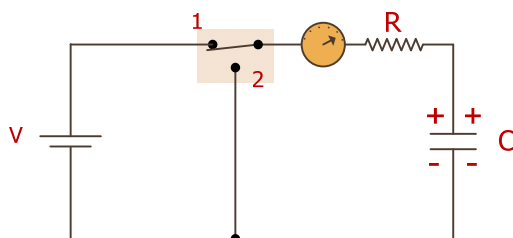
A permissividade relativa de um meio representa o número de vezes que a permissividade desse meio é superior à do vazio e, portanto, é uma grandeza adimensional.

No sistema internacional a permissividade do vazio é:

$$\epsilon_0 = 8,8418 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

CARGA DE UM CONDENSADOR

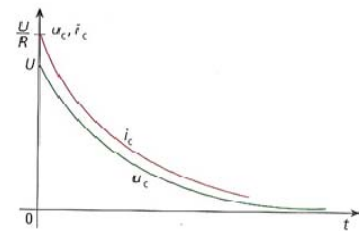
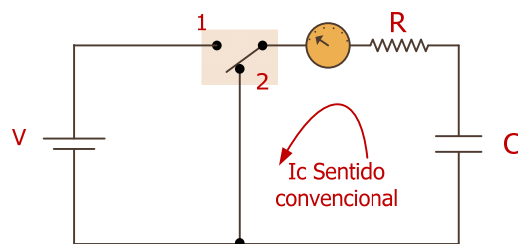
Ao ligarmos um circuito constituído por um condensador e um galvanómetro (instrumento capaz de detectar a passagem da corrente eléctrica), como o da figura acima, aos terminais de um gerador de corrente contínua, a f.e.m. do gerador provoca o movimento de grande número de electrões de uma armadura para outra através do circuito.



No instante da ligação a intensidade da corrente de carga tem o seu valor máximo. Um grande número de electrões são deslocados da armadura negativa para a armadura positiva, sendo atraídos pelo pólo positivo do gerador, que lança igual quantidade na outra armadura que se vai carregando negativamente. A intensidade de corrente é pois, de elevado valor, decrescendo rapidamente até se anular. A quantidade de electricidade aumenta à medida que se vai efectuando a carga, fazendo aumentar a tensão U_C aos terminais do condensador. Quando U_C iguala U , cessa a corrente no circuito. O ponteiro do galvanómetro, que se deslocou bruscamente num sentido, indica agora o zero. Desligando o comutador da posição 1, o condensador mantém-se carregado.

DESCARGA DE UM CONDENSADOR

Passando o comutador à posição 2, as armaduras do condensador são ligadas entre si, pelo que se inicia a descarga. O ponteiro do galvanómetro desloca-se em sentido contrário ao da carga. A grande quantidade de electrões em excesso na armadura negativa passa para a armadura positiva através do circuito. De início esta corrente é bastante intensa, mas gradualmente o ponteiro vai regressando a zero, o que sucede quando também é nula a tensão entre as armaduras.



ENERGIA DE DESCARGA DE UM CONDENSADOR

Se estabelecermos o contacto físico entre as armaduras colectora e condensadora de um condensador, este descarrega-se fornecendo uma energia que é dada pela seguinte expressão:

$W = \frac{1}{2} Q \times V$	Onde:	V	diferença de potencial entre as armaduras	V
		Q	quantidade de electricidade	C
		W	energia da descarga	J

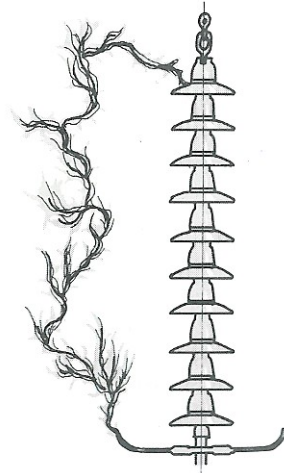
Como $C = \frac{Q}{V} \Rightarrow Q = CV$.

Substituindo Q pelo seu valor na expressão anterior, temos:

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

TENSÃO DISRUPTIVA E RIGIDEZ DIELECTRICA

Quando gradualmente se eleva a tensão aplicada entre as armaduras de um condensador, chegar-se-á a um determinado valor desta para a qual o dielétrico ou o meio isolador deixa de se comportar como tal, saltando nessa altura um arco entre as armaduras. **O dielétrico sofre uma perfuração e comporta-se à referida tensão como um condutor.** Esse valor de tensão chama-se **tensão de perfuração** ou **tensão disruptiva** (V_d). Esta tensão varia, naturalmente, com a espessura do dielétrico, pelo que é normal referi-la à espessura de 1 metro.



Definimos assim a **rigidez dielétrica** E_d de um meio como sendo:

A tensão disruptiva de um dielétrico cuja espessura é 1 metro.

Os valores de E_d , para os meios isolante usuais, é muito elevado, da ordem dos MV/m (mega-volt/metro) ou kV/mm (kilo-volt/milímetro) o que é equivalente como se pode ver na tabela seguinte.

$V_d = E_d \times e$	Onde:	e	espessura do dielétrico	m
		E_d	rigidez dielétrica	V
		V_d	tensão disruptiva	V

A tensão a que deve funcionar um determinado condensador, ou seja, a sua **tensão nominal** V_n , deve ser muito inferior à sua tensão disruptiva V_d , pelo que se adopta um **coeficiente de segurança** K_s , assim definido:

$V_d = \frac{V_n}{K_s}$	Onde:	K_s	coeficiente de segurança	
		V_d	tensão disruptiva	V
		V_n	tensão nominal	V

Este coeficiente representa

O número por que devemos multiplicar a tensão nominal ou de regime de um condensador, para obtermos o valor da tensão disruptiva.

ANÁLISE DE CIRCUITOS COM CONDENSADORES

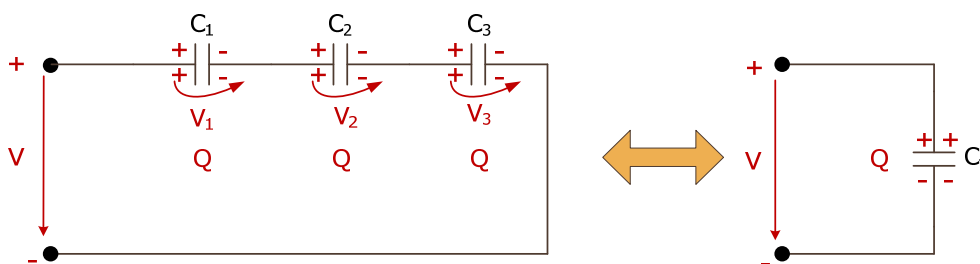
Uma forma simples de fixar a associação de condensadores, é o facto de, no cálculo da capacidade total C_t , ser o inverso das resistências, ou seja o circuito série de condensadores é idêntico ao circuito paralelo de resistências, verificando-se o mesmo para circuitos paralelos de condensadores que são idênticos aos circuitos série de resistências.

Relativamente, á quantidade de electricidade Q , esta varia de forma semelhante à intensidade nos circuitos com resistências, devendo-se isto ao facto que a que a intensidade de corrente, como vimos nas primeiras aulas, é igual á quantidade de electricidade que passa numa secção transversal de um condutor num

intervalo de tempo: $I = \frac{Q}{t}$

A tensão varia de igual forma aos circuitos com resistências, sendo a soma das varias tensões nos circuitos série e, constante em circuitos em paralelo.

CIRCUITOS SÉRIE



A fonte de energia carrega as armaduras C1 e C3, a que está ligada com a mesma quantidade de electricidade.

Nas outras armaduras a carga é idêntica, pelo que, facilmente, se conclui serem idênticas as cargas nos diversos ondensadores.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

A tensão divide-se pelos condensadores 1, 2 e 3 logo, a tensão total será a soma da tensão no condensador 1 mais, a tensão no condensador 2, mais a tensão no condensador 3.

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

Na associação em série, como foi dito anteriormente, a capacidade equivalente é:

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

CASO PARTICULAR

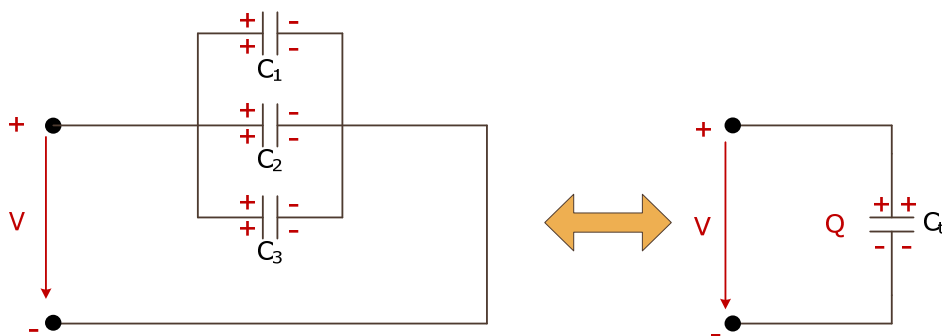
Se associarmos 2 condensadores em paralelo podemos utilizar a expressão:

$$C_t = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

NOTA

Na associação em série, a capacidade equivalente é sempre menor que qualquer um dos condensadores associados.

CIRCUITOS PARALELO



A carga total do conjunto será igual à soma das cargas de cada condensador:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Nos circuitos paralelo temos sempre dois pontos comuns, logo a tensão aplicada a cada condensador será sempre a mesma. Podemos dizer que esta é constante ao longo do circuito.

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3$$

Sendo C_t a capacidade equivalente temos:

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 \Rightarrow \sum_{i=1}^n C_n$$

NOTA

Na associação em paralelo, a capacidade equivalente é sempre maior que qualquer um dos condensadores associados.

BIBLIOGRAFIA

Apontamentos pessoais

LISTA DE PÁGINAS EM VIGOR

PÁGINAS	EM VIGOR
CAPA (Verso em branco)	ORIGINAL
CARTA DE PROMULGAÇÃO (Verso em branco)	ORIGINAL
REGISTO DE ALTERAÇÕES (Verso em branco)	ORIGINAL
1 (Verso em branco)	ORIGINAL
3 a 8	ORIGINAL
9 (Verso em branco)	ORIGINAL
11 a 12	ORIGINAL
13 (Verso em branco)	ORIGINAL
15 a 24	ORIGINAL
25 (Verso em branco)	ORIGINAL
27 a 60	ORIGINAL
61 (Verso em branco)	ORIGINAL
63 a 86	ORIGINAL
87 (Verso em branco)	ORIGINAL
89 a 120	ORIGINAL
121 (Verso em branco)	ORIGINAL
123 (Verso em branco)	ORIGINAL
LPV-1 (Verso em branco)	ORIGINAL