

ELETRÔNICA III



GOVERNO DO ESTADO DO
AMAZONAS

CETAM

CENTRO DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA DO AMAZONAS

ELETRÔNICA III

Dina chavante

2016

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Governo do Estado do Amazonas

Centro de Educação Tecnológica do Amazonas

Diretora-Presidente/CETAM

Joésia Moreira Julião Pacheco

Diretora Acadêmica

Maria Stela Brito Cyrino

Organização

Coordenação de Cursos de Formação Inicial e Continuada

Revisão

Fabíola Chaves da Silva

Projeto Gráfico - Capa

Suely de Brito Corrêa

APRESENTAÇÃO

O Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec) tem como objetivo expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos técnicos e profissionais de nível médio, e de cursos de formação inicial e continuada para trabalhadores e pessoas expostas a exclusão social.

Além disso, o Pronatec visa à ampliação de vagas e expansão das redes estaduais de educação profissional. Ou seja, a oferta, pelos estados, de ensino médio concomitante com a educação profissional e a formação inicial e continuada para diversos públicos.

No CETAM o PRONATEC é entendido como uma ação educativa de muita importância, fomentando o acesso das pessoas a educação profissional e ampliando as ofertas da instituição, consolidando uma política de governo de qualificar pessoas, como instrumento de cidadania para gerar ocupação e renda

SUMÁRIO

1-ELETRICIDADE	7
1.1 HISTÓRIA DA ELETRICIDADE	7
1.2 CONCEITOS GERAIS E UNIDADES DE MEDIDAS	11
1.3- FATORES DE CONVERSÃO E SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS	13
1.4 ELETRICIDADE ESTÁTICA	16
1.4.1. Carga Elétrica	16
1.4.2 Estrutura Atômica	17
1.4.3-Princípios da Eletrostática	18
1.4.3.1 Princípio da Atração e Repulsão (Princípio de Du Fay)	18
1.4.3.2 Princípio da Conservação das Cargas Elétricas	19
1.4.4 Processos de Eletrização	19
1.4.4.1 Eletrização por Atrito (Triboeletrização)	19
1.4.4.2 Eletrização por Contato	20
1.4.2.3 Eletrização por Indução	21
1.5 CONDUTORES, SEMICONDUTORES E ISOLANTES	21
1.6 ELETRODINÂMICA	23
1.6.1 Corrente Elétrica	23
1.6.1.1 Fluxo da corrente elétrica	24
1.6.1.2. Intensidade da corrente	25
1.6.2 Tensão Elétrica	25
1.6.2.1 Fontes de Tensão	26
1.7 RESISTÊNCIA ELÉTRICA	29
1.7.1 Resistor	30
1.7.1.1 Código de cores	31
1.7.2 Lei de OHM	32
1.7.3 Associação de Resistores	33
1.7.3.1 Associação em Série	34
1.7.3.2 Associação de resistores em paralelo	37
1.7.3.3 Associação de resistores mista	41
1.7.4 Resistividade	44
1.7.4.1 A influência da temperatura na resistência	46

1.8 CONDUTÂNCIA ELÉTRICA	47
1.8.1 Condutividade	47
1.8 POTÊNCIA ELÉTRICA OU TRABALHO	48
1.10 Energia Elétrica.....	50
1.11 CIRCUITOS ELÉTRICOS DE CORRENTE CONTÍNUA E DE CORRENTE ALTERNADA.....	52
1.11.1 Circuito Elétrico.....	54
1.11.1.2 Gerador Elétrico	54
1.11.1.2 Receptores.....	56
1.11.1.3 Elementos de um circuito elétrico	57
1.12 ELETROMAGNETISMO.....	58
1.12.1 Campos Magnéticos	58
1.12.1.1 O que é de fato um Campo Magnético?	58
1.12.2 Correntes e Eletromagnetismo	59
1.12.3 Permeabilidade.....	59
1.12.4 Indutância	60
1.12.5 Campos e Forças	61
1.12.6 Magnetismo natural.....	61
1.12.6.1 Magnetismo na matéria.....	66
1.12.7 Desmagnetização.....	66
1.12.8 Campo Magnético	68
1.12.9 Campo Magnético Uniforme	69
1.12.10 Magnetismo terrestre.....	71
1.12.11 Campo magnético das correntes elétricas.....	72
1.12.11.1 Fio reto e longo	72
1.12.11.2 Espira circular.....	75
1.12.11.3 Solenóide	77
1.12.11.4 Eletroímã.....	78
1.13 MEDIDAS ELÉTRICAS	80
1.13.1 Amperímetro	81
1.13.2 Voltímetro	82
1.13.3 Ohmímetro.....	83
1.13.4 O Multímetro	83
REFERENCIAS	87

1 ELETRICIDADE

1.1 HISTÓRIA DA ELETRICIDADE

A eletricidade é a área da Física responsável pelo estudo de fenômenos associados a cargas elétricas. O termo eletricidade originou-se da palavra *eléktron*, que é derivada do nome grego âmbar. A História da eletricidade tem seu início no século VI a.C., na Grécia Antiga, quando o filósofo Thales de Mileto, após descobrir uma resina vegetal fóssil petrificada chamada âmbar (*elektron* em grego), esfregou-a com pele e lã de animais e pôde então observar seu poder de atrair objetos leves como palhas (figura 1), fragmentos de madeira e penas.



Figura 1: Âmbar atraindo uma pena

Fonte: Aventura na Ciência, Eletricidade. Editora Globo. Ano 1994.

Durante milênios os fenômenos envolvendo cargas elétricas ficaram restritos apenas a curiosidades, mas, no século XVI, Willian Gilbert retoma a experiência original com o âmbar e escreveu o estudo chamado *De Magnete* na qual relata essas propriedades. Surgem pela primeira vez as palavras eletricidade e eletrização.

O alemão Otto Von Guericke (1602-1686) procurou um modo de obter corpos mais intensamente eletrizados. Foi quando ele construiu uma máquina eletrostática (figura 2), que era constituída de uma esfera de enxofre atravessada

por uma barra na qual adaptou uma manivela, que o operador usava para girar a esfera rapidamente e encostar nela com uma luva espessa, quando ocorria o atrito entre a esfera e a luva a esfera era eletrizada intensamente

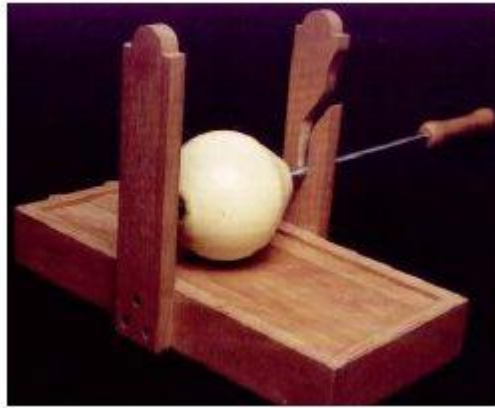


Figura 2: Primeira máquina eletrostática
Fonte: www.saladefisica.cbj.net

Por volta de 1729 o cientista inglês Stephen Gray através de experimentos identificou que, além da eletrização por atrito, também era possível eletrizar corpos por contato (encostando um corpo eletrizado num corpo neutro). Através de tais experimentos, ele chegou ao conceito de existência de materiais que conduzem a eletricidade com maior e menor eficácia e os denominou como condutores e isolantes elétricos. Com isso, Gray viu a possibilidade de canalizar a eletricidade e levá-la de um corpo a outro.

O cientista Charles Du Fay considerou a existência de duas eletricidades: a vítrea e a resinosa, através de um experimento em que se aproximando 2 barras de vidro atritadas com seda elas se repeliam e quando se aproximava uma barra de vidro e uma de resina, depois de serem atritadas com seda, era constatada atração.

Benjamin Franklin cientista americano formulou uma teoria na qual a eletricidade era um fluido elétrico e que todos os corpos no estado neutro possuíam certas quantidades de fluidos elétricos e que quando atritados com seda poderiam ser eletrizados positivamente e negativamente.

O cientista francês Charles August Coulomb realizou os primeiros estudos quantitativos sobre os corpos eletrizados e utilizando uma balança de torção conseguiu estabelecer a Lei de Coulomb (figura 3)

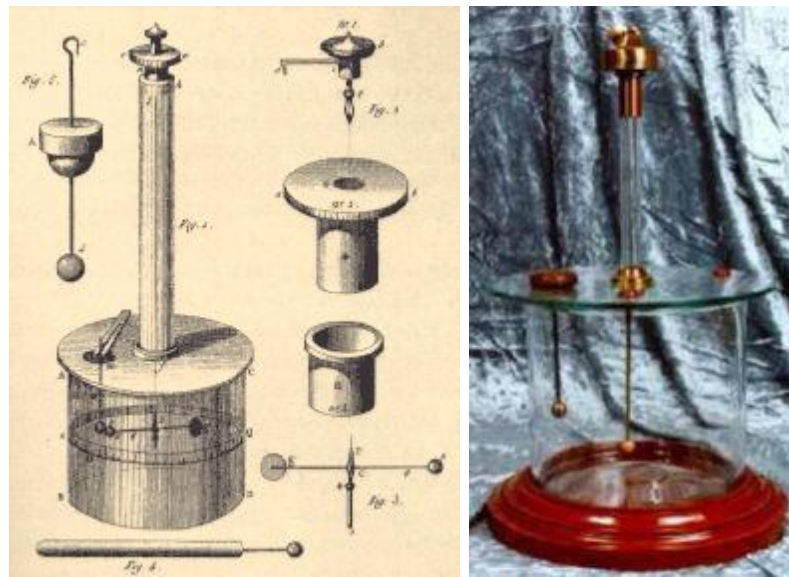


Figura 3: Balança de Torção de Coulomb
Fonte: www.eletronicapro.com.br

No final do século XVIII, o físico italiano Alessandro Volta construiu sua pilha elétrica (figura 4), utilizando discos de cobre e zinco, separados por um material que continha uma solução ácida, a partir daí teve início uma fase importante da eletricidade: a obtenção da corrente elétrica, as cargas em movimento ordenado.

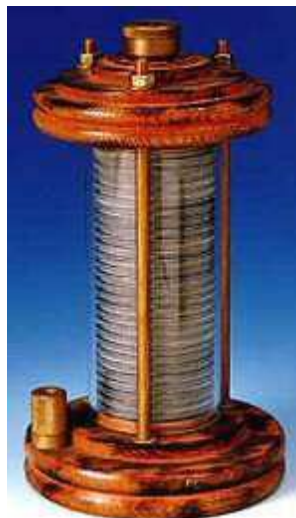


Figura 4: Pilha elétrica criada por Alessandro Volta
Fonte: www.portaldofrancisco.com.br

Na França, em 1820, o cientista André Maria Ampere demonstrou que condutores percorridos por correntes elétricas desenvolvem forças de atração ou de

repulsão. Em 1827 Ampere elaborou a formulação matemática do eletromagnetismo a conhecida “lei de Ampere”.

Em 1827 na Alemanha o cientista George Simon Ohm descobre a relação entre corrente, tensão e resistência em um condutor elétrico surgindo uma das mais utilizadas expressões na eletricidade “Lei de Ohm”.

Na Inglaterra em 1831 Michael Faraday descobriu que se um condutor se movimentasse dentro do campo magnético de um ímã, uma força eletro motriz era induzida nos terminais do condutor. Já em 1833 Faraday estabeleceu as leis da eletrólise, da capacitância elétrica e inventou o motor elétrico, o dínamo e o transformador.

Em 1830 – Estados Unidos Joseph Henry descobriu a “indução eletromagnética” e a conversão do magnetismo em eletricidade.

Em 1880, nos Estados Unidos, Thomas Edison desenvolveu a lâmpada elétrica incandescente. Em 1882, Edison projetou e construiu as primeiras 11 usinas geradoras, uma em Londres e duas nos Estados Unidos. Ambas eram de pequeno porte e forneciam eletricidade em corrente contínua.



Figura 5: Lâmpada inventada por Thomas Edson
Fonte: www.infoescola.com

Nos Estados Unidos, em 1886, George Westinghouse inaugurou o primeiro sistema de energia elétrica em CA utilizando um transformador eficiente desenvolvido por W. Stanley. Em 1887 já havia algumas usinas em CA que alimentavam cerca de 135 000 lâmpadas. A transmissão era feita em 1000 volts. Em

1890, na Sérvia, Nikola Tesla criou o sistema de geração de energia elétrica trifásico, que passou a ser utilizado em 1896.

Esses foram os grandes cientistas e pensadores que contribuíram para que hoje em dia nos pudéssemos utilizar a eletricidade, sendo primordial para nossa sociedade.

Desde então os estudos sobre eletricidade assumiram uma enorme dimensão. Atualmente é impossível imaginar nossa vida sem ela. Lâmpadas, computadores, aparelhos de TV, geladeiras, entre tantos outros, proporcionam nosso conforto. Os meios de comunicação não existiriam sem os avanços nessa área.

A eletricidade pode ser dividida em três partes:

Eletrostática: Refere-se ao comportamento das cargas elétricas em repouso e seu estudo engloba os processos de eletrização, campo elétrico, força eletrostática e potencial elétrico.

Eletrodinâmica: É a parte da eletricidade responsável pelo estudo das cargas elétricas em movimento. O foco dessa área é a corrente elétrica e os componentes de circuitos elétricos, como capacitores e resistores.

Eletromagnetismo: Estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como campo magnético produzido por cargas elétricas em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético.

1.2 CONCEITOS GERAIS E UNIDADES DE MEDIDAS

Corrente elétrica:

- A corrente elétrica é originada a partir do movimento das cargas elétricas. É, portanto, o fluxo de cargas por unidade de tempo.
- Representa-se a corrente elétrica pelas letras i
- A unidade de medida de corrente elétrica é o ampère (A). Normalmente se utilizam também múltiplos e submúltiplos da unidade base, que são:
 - microampères (μA)

- miliampères (mA)
- kiloampères (kA)

Tensão elétrica:

- A tensão elétrica está relacionada com a energia necessária para o deslocamento de cargas elétricas. Também conhecida por voltagem ou diferença de potencial.
- É representada pelas letras V ou U
- A unidade de medida de tensão elétrica é o Volt (V) e também podem ser usados múltiplos e submúltiplos como:
 - kilovolt (kV)
 - milivolt (mV)

Resistência elétrica:

- Resistência elétrica é a oposição dos materiais à passagem da corrente elétrica, ou mais precisamente, ao movimento de cargas elétricas. O elemento ideal usado como modelo para este comportamento é o resistor.
- Representa-se a resistência pela letra R
- A unidade de medida de resistência é o Ohm (Ω), mas é muito freqüente o uso de múltiplos e submúltiplos como:
 - kilohm ($k\Omega$)
 - megaohm ($M\Omega$)
 - miliohm ($m\Omega$)
 - microhm ($\mu\Omega$)

Potência elétrica:

- Potência é a energia por unidade de tempo, fornecida ou recebida por um elemento e é igual ao produto da tensão entre os terminais do elemento pela corrente que o atravessa.
- Representa-se a potência pela letra P e sua unidade de medida é o Watt (W).
- Normalmente se usam como múltiplos e submúltiplos do Watt:
 - kilowatt (kW)
 - megawatt (MW)

- miliwatt (mW)
- microwatt (μ W)

1.3- FATORES DE CONVERSÃO E SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS

O Brasil, desde 1953, adota oficialmente as unidades de medidas do SI. Esse sistema se compõe de sete unidades de base, unidades derivadas, múltiplos e submúltiplos de todas elas. Assim, veremos algumas unidades básicas que devemos conhecer.

Tabela 1: Unidades elétricas e magnéticas

Para as unidades elétricas e magnéticas, o SI é um sistema de unidades racionalizado, para o qual foi definido o valor da constante magnética (tabela 1)

GRANDEZA ELÉTRICA	UNIDADES (SI)	
	NOME	SIMBOLO
Corrente Elétrica	Ampère	A
Carga elétrica (quantidade de Eletricidade)	Coulomb	C
Tensão Elétrica, diferença de potencial, força eletromotriz	Volt	V
Resistência Elétrica	Ohm	Ω
Resistividade	Ohm-metro	$\Omega.m$
Condutância	Siemens	S
Condutividade	Siemens por metro	S/m
Capacitância	Farad	F
Indutância	henry	H
Potência Aparente	Volt-ampère	VA
Potência Reativa	Volt-ampère-reativo	VAR
Potência Ativa	Watt	W
Fluxo magnético	weber	Wb
Intensidade de campo magnético	Ampère por metro	A/m
Indução magnética	Tesla	T

Tabela 2. Múltiplos e submúltiplos

M U L T Í P L O S	Nome do Prefixo	Símbolo do Prefixo	Fator pelo qual a unidade é multiplicada
	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
<i>unidades</i>			
S U B M U L T Í P L O S	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	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$

Em eletricidade básica algumas unidades elétricas são pequenas demais ou grande demais para serem expressas convenientemente. Por exemplo, no caso de resistência freqüentemente são utilizados valores de resistência da ordem de milhares de ohms. O prefixo “**k**” (kilo) mostrou-se uma forma conveniente de se representar mil, enquanto que, o prefixo “**M**” (mega) é uma forma conveniente de representar milhão.

Para formar o múltiplo ou submúltiplo de uma unidade, basta colocar o nome do prefixo desejado na frente do nome desta unidade. O mesmo se dá com o símbolo. Exemplos:

Para multiplicar e dividir a unidade volt por mil:

quilo + volt = quilovolt; $k + V = kV$

mili + volt = milivolt; m + V = **Mv**

Dessa forma, um resistor de 12.000Ω pode ser representado convenientemente por $12k\Omega$, e um resistor de $1.000.000$ de ohms pode ser representado por $1M\Omega$. Os prefixos kilo e mega, referem-se aos múltiplos da unidade fundamental.

No caso da corrente elétrica, por exemplo, é muito freqüente a utilização de milésimos ou milionésimos de ampères. Assim, uma corrente de $0,001A$ pode ser representada por **1mA** (miliampère), que é um submúltiplo da unidade fundamental, enquanto que uma corrente de $0,000002A$ pode ser representada por **2μA** (microampère).

Vejamos alguns exemplos:

$$12.500\Omega = 12,5k\Omega$$

$$4.700.000\Omega = 4,7M\Omega$$

$$35.000V = 35kV$$

$$1.500V = 1,5kV$$

$$0,0034A = 3,4mA$$

$$0,0000000038A = 0,0038\mu A$$

Tome como referência a tabela 2 acima. Adote como procedimento o deslocamento no sentido vertical, ou para cima ou para baixo e tenha sempre em mente:

I - Quando o deslocamento no sentido vertical for para cima, desloque a vírgula para a esquerda;

II - Quando o deslocamento no sentido vertical for para baixo, desloque a vírgula para a direita

III - Considere sempre a unidade fundamental (UF) = 10^0

IV - Lembre-se de que qualquer número inteiro, pode ser mentalizado como um número precedido de uma vírgula e zeros, de conformidade com a aproximação.

EXEMPLOS:

a) converter $12.000mV$ em V (volt):

Solução: A diferença entre os expoentes do mV (10^{-3}) para a unidade fundamental (10^0) é 3. Logo, deverão ser deslocadas 3 casas à esquerda.

Assim: $12.000\text{mV} = 12\text{V}$

b) converter 4.500V em kV (kilovolt):

Solução: neste caso o deslocamento vertical também é para cima e por isso a vírgula deve ser deslocada a esquerda. A diferença entre os expoentes também é 3, logo:

$4.500\text{V} = 4,5\text{kV}$

1.4 ELETRICIDADE ESTÁTICA

No estudo da eletricidade podemos estudar os fenômenos causados pelas cargas elétricas de duas formas, estejam elas em movimento (eletrodinâmica) ou em repouso (eletrostática).

Estudaremos a forma estática, pois fica mais fácil de se entender a eletricidade se analisarmos partindo dos conceitos básicos da estrutura da matéria. Tudo o que existe no universo, desde estrelas e planetas situados nos pontos mais afastados, até a menor partícula de poeira é constituída de matéria, que pode se apresentar das mais variadas formas.

1.4.1. Carga Elétrica

Após estas observações os fenômenos elétricos só foram estudados profundamente depois de 1600.

Atualmente, sabe-se que os corpos são formados por moléculas e estas por átomos. Os átomos, por sua vez, são compostos pelos Núcleons (Prótons e Nêutrons) e pelos Elétrons. Os Núcleons situam-se no núcleo e os Elétrons na região denominada Eletrosfera. Às partículas que compõem o átomo associa-se uma propriedade física denominada Carga Elétrica (FIGURA 6).

Próton	⇒	Carga elétrica POSITIVA.
Elétron	⇒	Carga elétrica NEGATIVA.
Nêutron	⇒	Não possui Carga elétrica.

FIGURA 6: carga elétrica

Caminhando sobre um tapete em tempo seco, podemos provocar uma descarga elétrica ao tocarmos a maçaneta metálica de uma porta. A “eletricidade estática” está em toda parte, e devemos estar atentos aos seus efeitos, pois alguns deles, como por exemplo, faíscas e choques elétricos, podem ser perigosos. Em grande escala, citamos o relâmpago, que é familiar a todo mundo.

Todos esses fenômenos representam não mais que simples manifestações da grande quantidade da carga elétrica que está armazenada nos objetos familiares que nos cercam e, até mesmo, em nossos próprios corpos.

1.4.2 Estrutura Atômica

Toda a matéria é constituída por moléculas que, por sua vez, é formada por átomos. Os átomos são formados por um núcleo, onde se encontram os prótons (carga elétrica positiva) e os nêutrons (carga elétrica neutra), e por uma eletrosfera, constituída de órbitas onde giram os elétrons (carga elétrica negativa) (Figura 7).

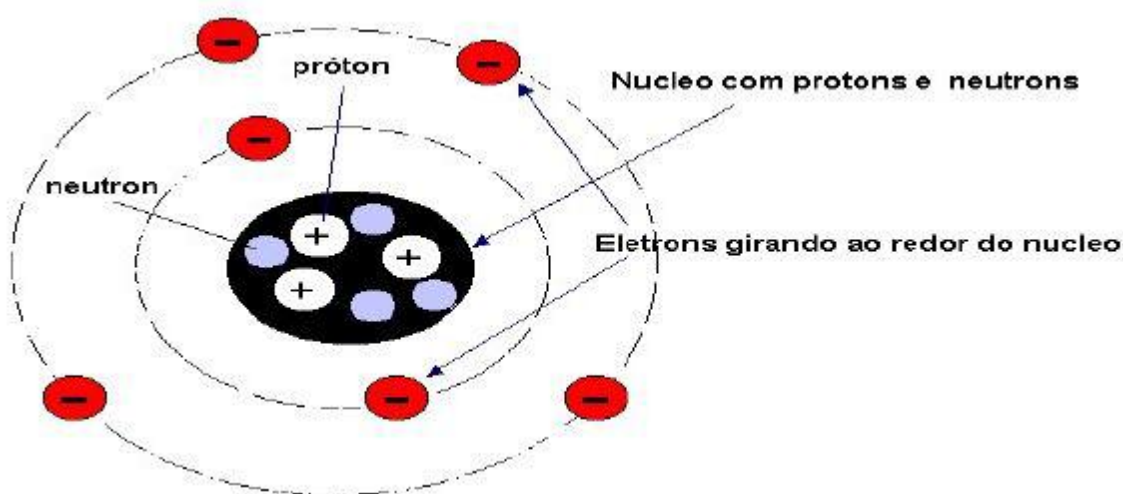


Figura 7: Átomo
Fonte: www.infoescola.com

No átomo, os prótons, presentes no núcleo, tendem a atrair os elétrons em direção ao núcleo, por possuírem cargas elétricas opostas. Porém, como os elétrons giram em órbitas circulares em torno do núcleo, existe também uma força centrífuga, que tende a afastá-lo do núcleo. O que ocorre é um equilíbrio entre a força de atração e a força centrífuga, o que mantém o elétron em sua órbita.

Em um átomo que o número de prótons é maior que o número de elétrons, dizemos que o átomo está eletrizado positivamente.

E o átomo que possui o número de elétrons maior que o número de prótons dizemos que o átomo está eletrizado negativamente.

E quando o número de prótons é igual o número de elétrons, o átomo é eletricamente neutro.

A carga elétrica mínima encontrada na Natureza é a do **elétron** e , por isto, é chamada de **carga fundamental**. Seu valor foi medido pela primeira vez em 1909 pelo Cientista R. A. Millikan e vale:

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Para calcular a carga elétrica de um corpo basta saber o número de elétrons cedidos ou removidos deste corpo. Assim, se " n " representa o número de elétrons removidos ou cedidos ao corpo, " Q " representará a carga elétrica total do corpo, podendo ser calculado pela fórmula que segue, onde e é a carga fundamental.

$$Q = n.e$$

A carga elétrica " Q " do corpo será positiva se o corpo perdeu elétrons e negativa se ganhou elétrons.

1.4.3-Princípios da Eletrostática

1.4.3.1 Princípio da Atração e Repulsão (Princípio de Du Fay)

- Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas diferentes se atraem.
- Corpos eletrizados com cargas elétricas iguais se repelem e com cargas elétricas contrárias se atraem. (Figura 8)

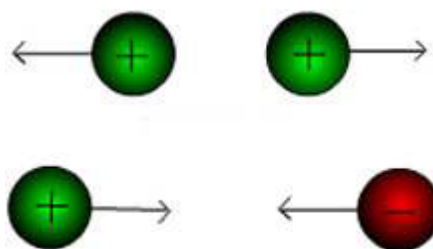


Figura 8 – Cargas elétricas se repelindo e se atraindo.
Fonte: www.infoescola.com

1.4.3.2 Princípio da Conservação das Cargas Elétricas

Num sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das cargas elétricas, positivas e negativas, é constante.

$$\sum Q = \sum Q'$$

Onde:

\sum = somatório;

Q = cargas elétricas antes da interação;

Q' = cargas elétricas após a interação.

OBS: Um sistema eletricamente isolado é aquele em que não há troca de cargas com o meio ambiente.

1.4.4 Processos de Eletrização

Pode-se eletrizar um corpo através da retirada ou da inserção de elétrons em suas órbitas. Os processos básicos de eletrização, ou seja, de se retirar ou adicionar elétrons ao corpo podem ser por atrito, por contato ou por indução.

1.4.4.1 Eletrização por Atrito (Triboeletrização)

Ocorre em função da passagem de elétrons de um corpo para outro. Os elétrons da camada periférica - fracamente ligados ao átomo, mais precisamente ao núcleo deste átomo - são capturados pelos átomos do outro corpo, que possuem elétrons não tão distantes. Os corpos adquirem, assim, cargas de sinais contrários.

– Série Triboelétrica:

Quando dois elementos constantes na figura 9 são atritados, o elemento que ocupa a posição superior perde elétrons, enquanto o que ocupa a posição inferior ganha elétrons. Veja a figura 9 abaixo e perceba o que acontece com alguns materiais quando é feito o processo de atrito.

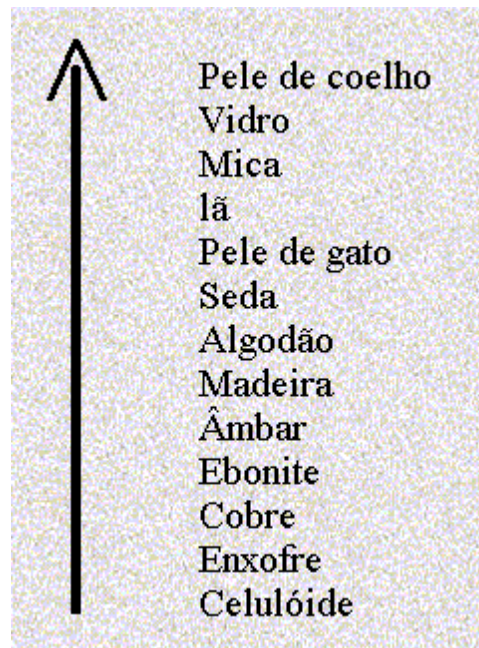


Figura 9: elementos atritados
 Fonte : www.infoescola.com

Na eletrização por atrito ocorre quando um corpo não está eletrizado, o número de prótons é igual ao número de elétrons. Ao atritar dois materiais, um deles ficará eletrizado positivamente, pois perdeu elétrons e ficará com falta, já o outro ficará eletrizado negativamente, pois estará com excesso de elétrons.

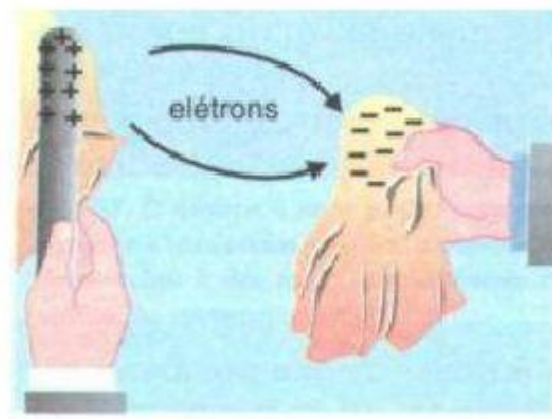


Figura: Eletrização por atrito
 Fonte: <http://www.oocities.org>

1.4.4.2 Eletrização por Contato

Haverá uma distribuição proporcional da carga elétrica. A soma da carga de ambos os corpos será igual a do corpo carregado antes do contato. Neste caso os corpos adquirem cargas de mesmo sinal. (Figura 10)

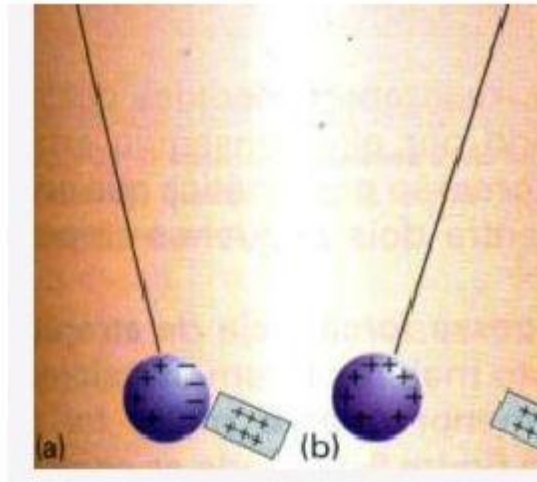


Figura 10: Eletrização por contato
Fonte: <http://www.oocities.org>

1.4.2.3 Eletrização por Indução

Eletrização por indução usamos três corpos, sendo um neutro (condutor), um terra e um corpo carregado chamado indutor. Aproximamos o corpo indutor ao condutor, que está ligado ao terra por um fio terra. Pelo fio terra descera (ou subirá dependendo da situação) elétrons para tentar neutralizar o corpo indutor. Quando se corta o fio terra e afasta o indutor, o condutor ficará carregado. Não encostamos o indutor no condutor porque eles têm cargas de sinais contrários.

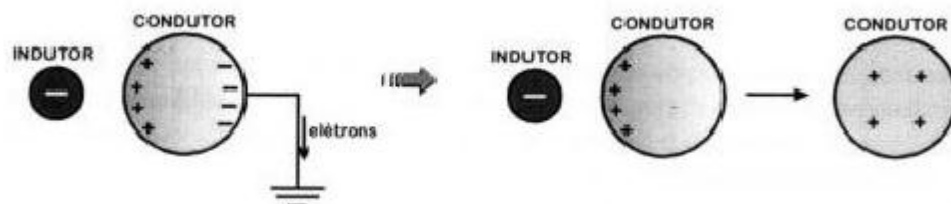


Figura: Eletrização por Indução
Fonte: www.oocities.org

1.5 CONDUTORES, SEMICONDUTORES E ISOLANTES

Todos esses fenômenos representam não mais que simples manifestações da grande quantidade da carga elétrica que está armazenada nos objetos familiares que nos cercam e, até mesmo, em nossos próprios corpos.

Condutores de eletricidade → são meios materiais que permitem facilmente a passagem de cargas elétricas. O que caracteriza um material como condutor é a camada de valência dos átomos que constituem o material. Camada de valência é a última camada de distribuição dos átomos. Em razão da grande distância entre essa última camada e o núcleo, os elétrons ficam fracamente ligados com o núcleo, podendo, dessa forma, abandonar o átomo em virtude das forças que ocorrem no interior dos átomos. Esses elétrons que abandonam o átomo são chamados de “elétrons livres”. Os metais no geral são bons condutores de eletricidade, pois eles possuem os elétrons livres. Ex: fio de cobre, alumínio, etc.

Isolantes de eletricidade → Os materiais isolantes fazem o papel contrário dos condutores, eles são materiais nos quais não há facilidade de movimentação de cargas elétricas. Esses materiais são assim caracterizados porque os elétrons da camada de valência estão fortemente ligados ao núcleo, não permitindo dessa forma que ocorra a fuga dos mesmos. Os materiais isolantes são largamente utilizados, assim como os materiais condutores. São utilizados, por exemplo, na parte externa dos fios, encapando-os para melhor conduzir a eletricidade. Ex: vidro, borracha, madeira seca, isopor e etc.



Figura – Condutores e Isolantes.
Fonte : www.infoescola.com

Nos condutores de eletricidade, os elétrons encontram facilidade para se deslocar e, nos corpos isolantes ou dielétricos, não ocorre deslocamento de elétrons.

Semicondutores → São substâncias cujos átomos possuem quatro elétrons na camada de valência (última camada). Os semicondutores não são bons nem maus condutores de eletricidade, na verdade a sua condutividade depende da temperatura a qual ele está submetido. Por exemplo, um cristal de silício se comporta como um isolante perfeito a temperatura de -273°C . A medida que a temperatura vai aumentando, sua condutividade também aumenta. Ex: Silício e germânio

1.6 ELETRODINÂMICA

A parte da eletricidade que estuda a corrente elétrica denomina-se **Eletrodinâmica**.

1.6.1 Corrente Elétrica

Determinados materiais, quando são submetidos a uma fonte de força eletromotriz, permitem uma movimentação sistemática de elétrons de um átomo a outro, e é esse fenômeno que é denominado de corrente elétrica.

Pode-se dizer, então, que cargas elétricas em movimento ordenado formam a corrente elétrica, ou seja, corrente elétrica é o fluxo de elétrons em um meio condutor. A corrente elétrica é representada pela letra I e sua unidade fundamental é o Ampère.

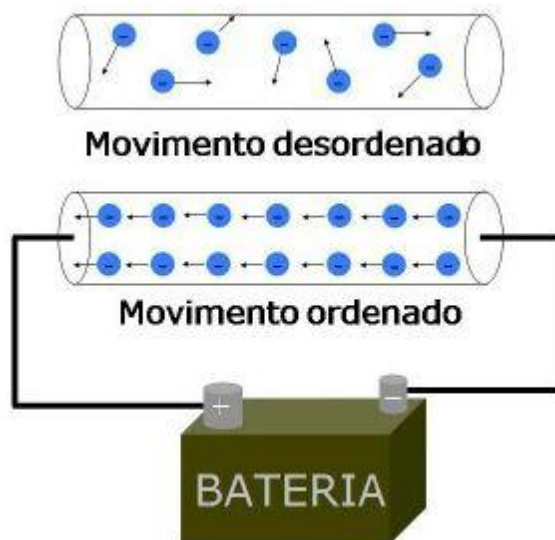


Figura: Elétrons atravessando fio
Fonte: www.infoescola.com

1.6.1.1 Fluxo da corrente elétrica

Se ligarmos às duas extremidades de um fio de cobre, uma diferença de potencial, a tensão aplicada faz com que os elétrons se desloquem. Esse deslocamento consiste num movimento de elétrons a partir do ponto de carga negativa Q^- numa extremidade do fio, seguindo através deste e chegando à carga positiva Q^+ na outra extremidade.

O sentido do movimento de elétrons é de $-$ para $+$. Esse é o fluxo de elétrons. No entanto para estudos convencionou-se dizer que o deslocamento dos elétrons é de $+$ para $-$.



Figura: Sentido da corrente real e convencional
Fonte: www.infoescola.com

Sentido convencional de circulação da corrente, ou seja, convencionase dizer que a corrente desloca-se do potencial maior para o potencial menor.

1.6.1.2. Intensidade da corrente

A intensidade desta corrente elétrica, representada por I e medida em Ampère (A) é a medida da quantidade de cargas que se deslocam pelo condutor a cada segundo, ou seja:

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

Figura: Fórmula intensidade corrente elétrica
Fonte: phpotiguar.blogspot.com.br

Onde: I = intensidade da corrente em Ampère:

Q = Carga em Coulomb.

T = Tempo em segundos.

Ampère quer dizer 1 C por segundo.

1.6.2 Tensão Elétrica

Em virtude da força do seu campo eletrostático, uma carga é capaz de realizar trabalho ao deslocar outra carga por atração ou repulsão. Essa capacidade é chamada de potencial.

Para que haja o movimento de uma carga, seja ela positiva ou negativa, é preciso que haja um potencial maior e um potencial menor, ou seja, uma diferença de potencial ou D.D.P.

A soma das diferenças de potencial de todas as cargas do campo eletrostático é conhecida como Força Eletromotriz (F.E.M.). A sua unidade

fundamental é o Volt. A diferença de potencial é chamada também de Tensão elétrica.

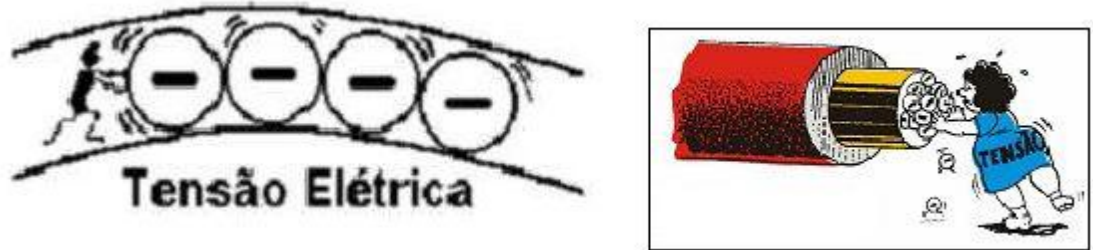


Figura: Tensão elétrica
Fonte: www.infoescola.com

Para entendermos a d.d.p, relembremos o seguinte: todo corpo que está eletrizado, recebeu ou cedeu elétrons. Como a carga de um elétron é representada por (-) o corpo que recebeu elétrons fica carregado negativamente (denominado de íon negativo ou ânion), já o corpo que cedeu elétrons ou perdeu fica carregado positivamente, pois o mesmo tem falta de elétrons, denominado de íon positivo ou cátion.

Portanto, esse desequilíbrio de cargas entre dois corpos revela que ambos têm um potencial elétrico diferente, ou seja, existe uma diferença de potencial elétrico.

A diferença de potencial (d.d.p) também denominada de tensão elétrica (V) é uma grandeza física que está intimamente ligada ao conceito de corrente elétrica.

1.6.2.1 Fontes de Tensão

Uma fonte de tensão ideal independente é um dipolo com capacidade para impor uma diferença de potencial aos seus terminais, independentemente do valor da corrente que a percorre.

A equação que caracteriza uma fonte de tensão ideal é:

$$u(t) = E(t)$$

designando-se, genericamente, por $E(t)$ a força electromotriz da fonte.

No caso de uma fonte de tensão contínua (DC), $E(t)$ representa um valor constante.

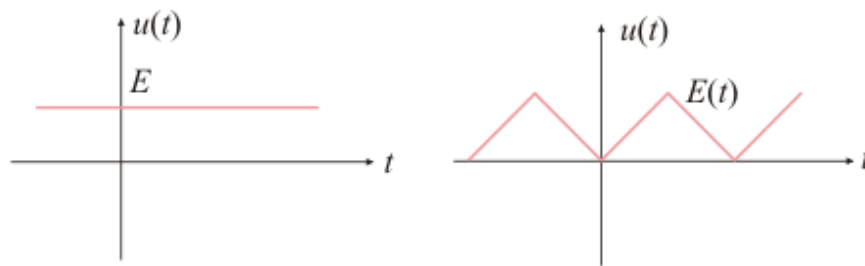


Figura : Exemplos de fontes de tensão contínua e não contínua
Fonte: www.infoescola.com

Os símbolos mais utilizados para representar uma fonte de tensão, são:

Fonte de Tensão Genérica	Fonte de Tensão Contínua (DC)	Fonte de Tensão Alternada (AC)

Figura – Símbolos representativos de fontes de tensão
Fonte: www.infoescola.com

Quando se liga uma fonte de tensão a um outro elemento passivo estabelece-se um percurso fechado onde circula a corrente $i(t)$.

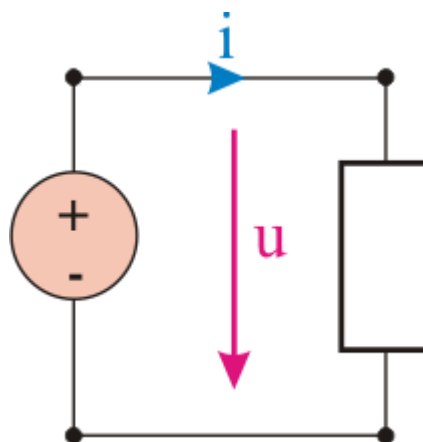


Figura 3 – Fonte de tensão ideal a alimentar um elemento passivo
Fonte: www.infoescola.com

No entanto, a corrente que a fonte de tensão fornece, depende dos elementos que ela alimenta:

- uma fonte de tensão ideal pode ser deixada em circuito aberto, isto é, sem qualquer ligação aos seus terminais. Neste caso, são nulas a corrente $i(t)$ que ela fornece e, consequentemente, a potência $u(t) i(t)$ que ela fornece;
- os terminais de uma fonte de tensão ideal não podem ser ligados entre si por um condutor ideal (curto-circuito) pois essa situação corresponderia a anular a tensão do gerador; enquanto a fonte de tensão impõe $u(t) = E(t)$, o curto-circuito impõe $u(t) = 0$
- duas fontes de tensão só podem ser ligadas em paralelo se tiverem iguais valores de força electromotriz; através da Lei das Malhas obtém-se $E_1(t) = E_2(t)$, que só é uma expressão verdadeira se as duas forças electromotrizes forem iguais.

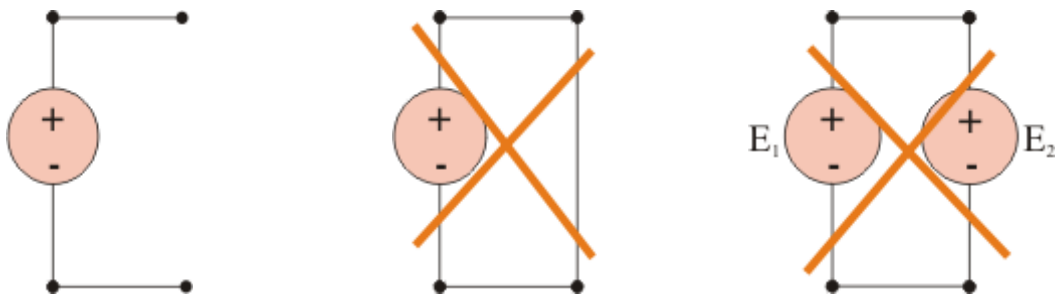


Figura 4 – Fonte de tensão ideal em vazio, em curto-circuito e duas fontes de tensão em paralelo
Fonte: www.infoescola.com

Associação de Fontes de Tensão

A associação em série de fontes de tensão permite aumentar a diferença de potencial disponibilizada para efeitos de alimentação de um circuito. Um exemplo da associação em série de fontes é a utilização de múltiplas pilhas para alimentar aparelhos electrodomésticos, lanternas, rádios portáteis, etc. Com efeito, é comum

associarem-se em série quatro pilhas de 1.5 V (correctamente associadas) para definir uma fonte de alimentação de 6 V.

A tensão disponível aos terminais de uma associação em série de fontes de tensão é dada pela soma das tensões parciais. Como se indica nas Figuras 4.14.a e 4.14.b, a adição dos valores nominais das tensões deve ter em conta a polaridade da ligação: polaridades concordantes adicionam-se (a), e polaridades discordantes subtraem-se (b). Por outro lado, no caso das fontes de tensão com resistência interna não nula, como na Figura 4.14.c, o valor da resistência interna resultante é dado pela soma das resistências internas de cada uma das fontes. A associação em série conduz, por conseguinte, a uma fonte cuja resistência interna é superior àquela característica de cada uma, considerada isoladamente.

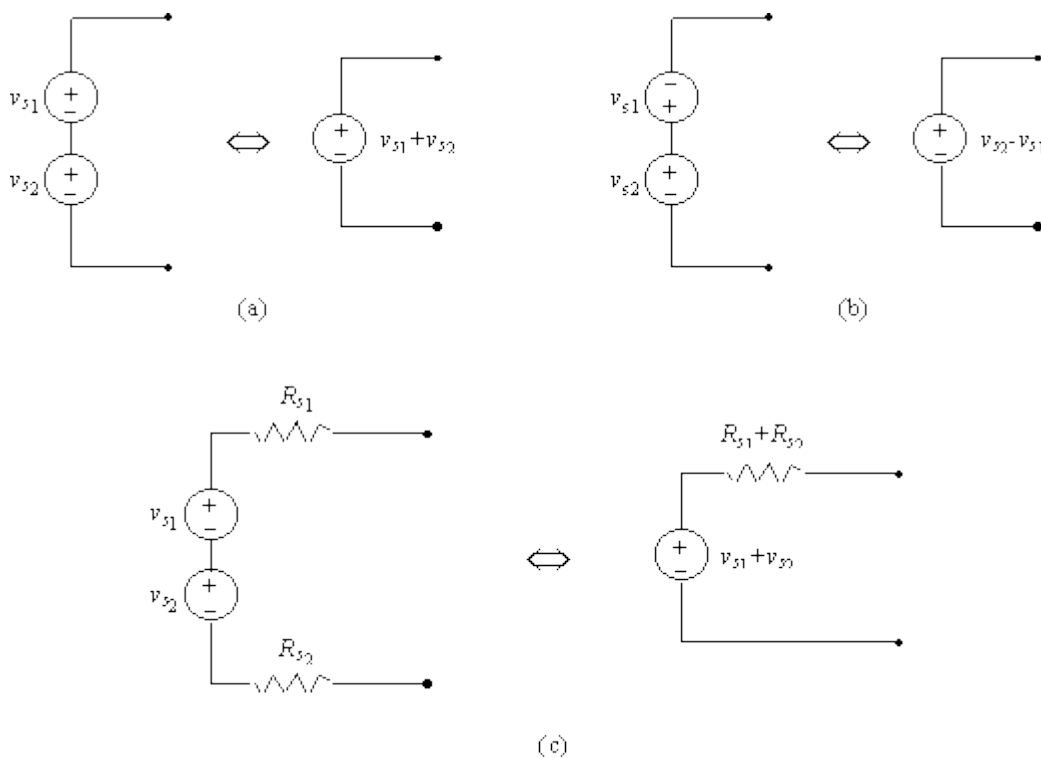


Figura 4.14 Associação em série de fontes de tensão
Fonte: www.ufrgs.br

1.7 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica é a característica que os materiais, mesmo os condutores têm de se opor, ou seja, oferecer dificuldade à passagem da corrente elétrica. Essa oposição é provocada pela dificuldade de que os elétrons encontram em se deslocar pela estrutura atômica do material. A resistência elétrica é representada pela letra R e medida em ohms (Ω).

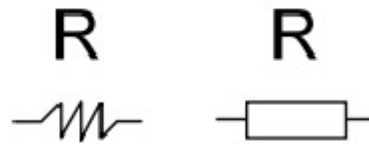


Figura: Símbolo Resistor
Fonte: Própria

A resistência elétrica de um material depende da composição desse material e de suas dimensões físicas. Em qualquer material, a dificuldade oferecida à passagem dos elétrons faz com que estes se choquem contra sua estrutura atômica, provocando aquecimento do material. Esse fenômeno é conhecido como efeito *Joule* e pode ser aproveitado, por exemplo, na construção de aquecedores elétricos.

É devido a este efeito *joule* que a lâmpada de filamento emite luz. Inúmeras são as aplicações práticas desses fenômenos. Exemplos: chuveiro, ferro de engomar, ferro elétrico, fusível etc... O efeito *joule* é o fenômeno responsável pelo consumo de energia elétrica do circuito, quando essa energia se transforma em calor.

Quanto à sua composição, os materiais se diferenciam por suas resistências específicas, característica esta também chamada de resistividade do material.

Assim, duas barras de cobre, com exatamente a mesma composição, terão resistividades iguais, podendo, no entanto, terem resistências elétricas diferentes.

1.7.1 Resistor

Existem elementos de circuito, cuja função é de transformar energia elétrica em energia térmica (dissipar energia elétrica), ou limitar a intensidade da corrente elétrica em circuitos eletrônicos, esses elementos têm o nome de resistores.

Os filamentos de tungstênio das lâmpadas elétricas incandescentes são exemplos de resistores. Outros exemplos: Fios de certas ligas metálicas (como o micromo, liga de níquel com cromo) enrolados em hélice cilíndrica, utilizadas em chuveiros, torneiras elétricas, secadores de cabelos etc.

Os resistores utilizados para limitar a intensidade da corrente que passa por determinados componentes eletrônicos não têm a capacidade de dissipar energia elétrica, embora isso aconteça inevitavelmente. Comumente, são constituídos de um

filme de grafite depositado de modo contínuo sobre um suporte cerâmico ou enrolado em forma de faixas helicoidais.

Os resistores têm como principal propriedade elétrica uma grandeza física denominada resistência elétrica.

Em circuitos elétricos, o resistor de fio e o resistor de carvão são amplamente utilizados. O primeiro nada mais é que um pedaço de fio, composto por ligas metálicas. Não sendo possível obter áreas de seção transversais demasiadamente pequenas, para se obterem valores razoáveis de resistência são necessários fios de comprimento muito grande, costuma-se, assim enrolar o fio sobre um suporte isolante.

Os resistores de carvão contêm um grande suporte isolante coberto de fina camada de carvão com dois terminais metálicos. É muito usado em circuitos de rádio e televisão. Devido à sua alta resistividade da grafite, podem-se obter resistores de alta resistência e de pequenas dimensões.



Figura: Resistores
Fonte: www.electronicabasica.net

1.7.1.1 Código de cores

O filamento de uma lâmpada incandescente, o fio enrolado em hélice de um chuveiro ou de uma torneira elétrica são resistores. Entretanto, existem também resistores feitos de carvão e outros materiais, que compõem vários circuitos elétricos, de rádios, televisores, computadores etc. O valor da resistência elétrica pode vir impresso no corpo do resistor ou indicado por meio de faixas coloridas.

Essas faixas obedecendo a um código que permite determinar o valor da resistência do resistor. Esse código de cores obedece à seguinte correspondência numérica.

Cor	Preto	Marrom	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Azul	Violeta	Cinza	Branco
Algarismo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabela : Código de cores resistores

As faixas sempre devem ser lidas da extremidade para o centro, segundo o seguinte critério:

- A 1ª faixa (mais próxima da extremidade): indica o primeiro algarismo do valor da resistência elétrica.
- A 2ª faixa: indica o segundo algarismo do valor da resistência elétrica.
- A 3ª faixa: indica o número de zeros que devem ser acrescentados a direita dos dois algarismos anteriores.

Pode haver ainda uma 4ª faixa para indicar a impressão ou tolerância do valor da resistência. Se essa 4ª faixa for prateada, a imprecisão é de 10%; se for dourada a imprecisão é de 5%. A inexistência da 4ª faixa pressupõe uma tolerância de 20% no valor da resistência elétrica, para mais ou para menos.

1.7.2 Lei de OHM

George Simon Ohm foi um físico alemão que viveu entre os anos de 1789 e 1854 e ele verificou através de experimentos que existem resistores nos quais a variação da corrente elétrica é proporcional à variação da diferença de potencial (ddp).

Ohm realizou experimentos com diversos tipos de condutores: eram aplicados sobre os condutores valores de intensidades de voltagens diferentes.

Contudo, ele percebeu que, principalmente, nos metais a relação entre a corrente elétrica e a diferença de potencial (tensão) se mantinha sempre constante.

Dessa forma, elaborou uma relação matemática que diz que a voltagem aplicada nos terminais de um condutor é proporcional à corrente elétrica que o percorre, matematicamente fica escrita do seguinte modo:

$$V = R.i$$

Onde:

- V é a diferença de potencial, cuja unidade é o Volts (V);
- i é a corrente elétrica, cuja unidade é o Ampère (A);
- R é a resistência elétrica, cuja unidade é o Ohm (Ω).

Essa lei não se aplica a todos os resistores, pois depende do material que constitui o resistor. Quando ela é obedecida, o resistor é dito resistor ôhmico ou linear.

Porém a expressão matemática descrita por Simon vale para todos os tipos de condutores, tanto para aqueles que obedecem quanto para os que não obedecem à lei de Ohm.

1.7.3 Associação de Resistores

Inúmeras vezes têm-se necessidade de um valor de resistência diferente do fornecimento por um único resistor; outras vezes, deve atravessar um resistor corrente maior do que aquela que ele normalmente suporta e o que danificaria. Nesses casos, deve-se fazer uma associação de resistores.

Associações de resistores são circuitos compostos resistores interligados entre si com um ou mais dos seguintes objetivos:

- Obter um valor de resistência diferente (maior ou menor) do que a fornecida por um único resistor de valor comercial disponível;
- Dividir a corrente em mais de um ramo de um circuito elétrico para obter diferentes valores de corrente;
- Dividir a tensão num ramo de um circuito elétrico para obter diferentes valores de tensão.

Há três tipos de associações de resistores: **série, paralela e mista**.

Ao valor de resistência resultante de uma associação chamamos de **Resistência Equivalente**, pois um resistor com esse valor pode substituir todos os resistores da associação, produzindo o mesmo efeito para o circuito elétrico.

1.7.3.1 Associação em Série

A associação série de resistores se caracteriza por ter “n” resistores ligados um após o outro numa sequência, daí o nome da associação, como mostra a figura 6.1.

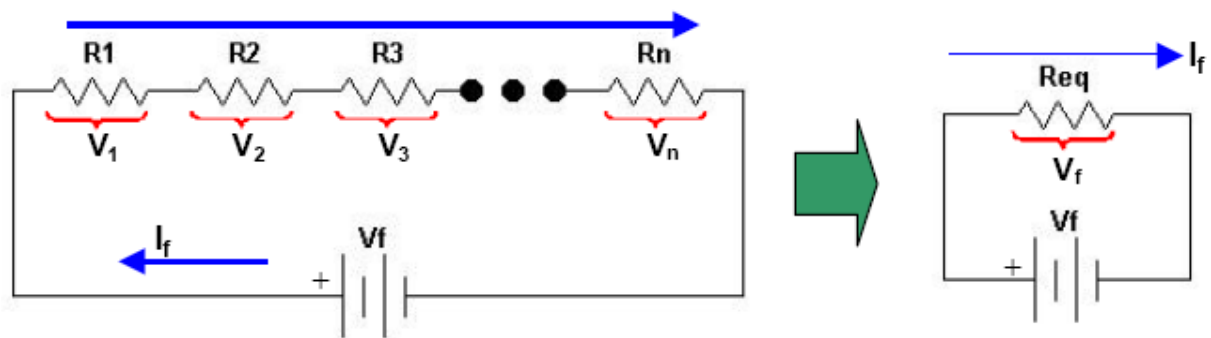


Figura 6.1 – Associação série de n resistores e circuito equivalente.
Fonte: www.ufrgs.br

Da figura 6.1 podemos observar:

- A associação série fornece um único caminho para a corrente elétrica pois o circuito possui uma única malha e nenhum nó. Portanto, todos os resistores são percorridos pela mesma corrente fornecida pela fonte de tensão. Assim:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

- A associação série proporciona uma divisão de tensão, ou seja, cada resistor provoca uma queda de tensão que é função da sua resistência. Assim:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Para entendermos como ocorre a queda de tensão podemos usar uma analogia: temos um prédio que possui elevador e escadarias. O elevador é usado para subir e as escadas para descer. O elevador é considerado a fonte de tensão pois é capaz de elevar o potencial (tensão). O número de degraus por andar nas escadas corresponde às resistências elétricas da associação série. Quanto mais degraus maior resistência (maior dificuldade) e, portanto, maior queda de tensão (mais se desce). Assim, a soma das quedas de tensão por andar (por resistência) é igual ao total de degraus (tensão total).

Como sabemos que $V = R \cdot I$ e substituindo na equação anterior:

$$V_T = R_1 \times I_1 + R_2 \times I_2 + R_3 \times I_3 + \dots + R_n \times I_n$$

Sabendo que a corrente em todos os resistores da associação é a mesma fornecida pela fonte, temos:

$$\begin{aligned} V_T &= R_1 \times I_T + R_2 \times I_T + R_3 \times I_T + \dots + R_n \times I_T \\ V_T &= I_T \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \\ V_T / I_T &= (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \end{aligned}$$

A relação entre a tensão da fonte e a corrente por ela fornecida é a resistência equivalente do circuito. Então:

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

A potência elétrica dissipada em cada resistor associado vale:

$$P_1 = R_1 \times I^2$$

$$P_2 = R_2 \times I^2$$

$$P_3 = R_3 \times I^2$$

$$P_n = R_n \times I^2$$

Concluimos, portanto que:

A resistência equivalente de uma associação em série de resistores é dada pela soma das resistências da associação.

Exemplo 6.1:

Para o circuito da figura 6.2, determine:

- a) a resistência equivalente da associação;
- b) a corrente total fornecida pela fonte;
- c) a corrente em cada resistor;
- d) a tensão em cada resistor;
- e) a potência elétrica total na fonte.

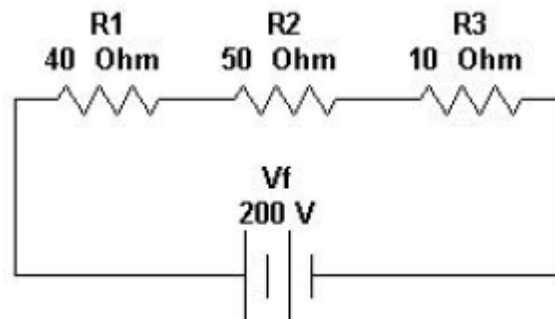


Figura 6.2 – Circuito série para exemplo 6.1.
Fonte: www.ufrgs.br

a) determinação da resistência equivalente: é dada pela soma das resistências da associação.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 = 40 + 50 + 10 \rightarrow R_{eq} = 100\Omega$$

b) determinação da corrente fornecida pela fonte: é dada pela relação entre a tensão aplicada e a resistência equivalente.

$$I_f = V_f / R_{eq} \rightarrow 200 / 100 \rightarrow I_f = 2A$$

c) determinação da corrente nos resistores: como a associação é série, todos os resistores são percorridos pela mesma corrente fornecida pela fonte.

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_f = 2A$$

d) determinação da tensão em cada resistor: é dada pelo produto entre a sua resistência e a corrente que o atravessa.

$$V_1 = R_1 \times I_1 \rightarrow 40 \cdot 2 \rightarrow 80V$$

$$V_2 = R_2 \times I_2 \rightarrow 50 \cdot 2 \rightarrow 100V$$

$$V_3 = R_3 \times I_3 \rightarrow 10 \cdot 2 \rightarrow 20V$$

e) determinação da potência elétrica na fonte: é dada pelo produto da sua tensão pela sua corrente.

$$P_f = R_f \times I_f \rightarrow 200 \cdot 2 \rightarrow 400W$$

1.7.3.2 Associação de resistores em paralelo

Vários resistores estão associados em paralelo quando são ligados pelos terminais, de modo a ficarem submetidos à mesma **ddp**.

A associação paralela de resistores se caracteriza por ter “n” resistores ligados um ao lado do outro, daí o nome da associação, como mostra a figura.

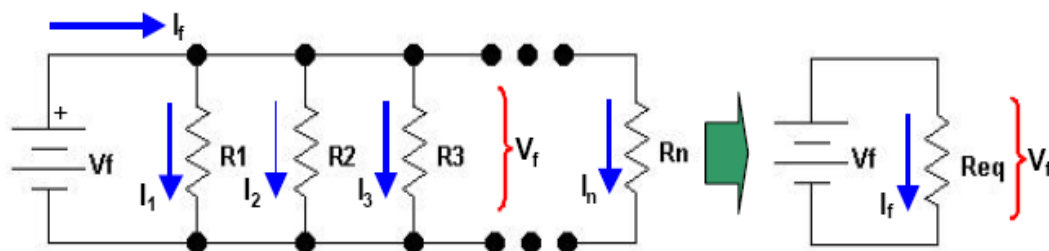


Figura – Associação paralela de n resistores e circuito equivalente.
Fonte: www.ufrgs.br

Da figura podemos observar:

- todos os resistores da associação paralela têm os seus terminais ligados diretamente aos terminais da fonte, o que faz com que todos eles estejam submetidos à tensão da fonte. Assim:

$$V_f = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

- a associação paralela proporciona uma divisão de corrente, pois há vários caminhos para a corrente elétrica já que o circuito possui várias malhas e mais de um nó. Portanto, a corrente que a fonte fornece deve suprir a necessidade de corrente de todos os resistores. Assim:

$$I_f = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Sabemos que $I = V / R$, então podemos substituir na equação anterior:

$$I_f = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_n}{R_n}$$

Como todos os resistores estão submetidos à mesma tensão, então:

$$\begin{aligned} I_f &= \frac{V_f}{R_1} + \frac{V_f}{R_2} + \frac{V_f}{R_3} + \dots + \frac{V_f}{R_n} \\ I_f &= V_f \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \\ \frac{I_f}{V_f} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \end{aligned}$$

A relação entre a tensão da fonte e a corrente da fonte é a resistência equivalente do circuito, ou seja, $R_{eq} = V_f / I_f$. Invertendo esta equação e substituindo, temos:

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

Concluimos, portanto, que:

A resistência equivalente de uma associação de resistores em paralelo é o inverso da soma dos inversos das resistências da associação.

Observação:

- Para cada dois (e somente **dois**) resistores em paralelo, podemos determinar a resistência equivalente pela razão entre o produto das duas resistências pela soma delas:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- Para n resistores iguais (e somente iguais) em paralelo, podemos determinar a resistência equivalente dividindo-se o valor de um desses resistores pelo número de resistores iguais em paralelo:

$$R_{eq} = \frac{R_i}{n}$$

A potência elétrica dissipada em cada resistor da associação pode ser escrita:

$$P_1 = U_2 \div R_1$$

$$P_2 = U_2 \div R_2$$

$$P_3 = U_2 \div R_3$$

$$P_n = U_2 \div R_n$$

Exemplo 6.2:

Para o circuito da figura 6.4, determine:

- a resistência equivalente da associação;
- a corrente total fornecida pela fonte;
- a tensão em cada resistor;
- a corrente em cada resistor;
- a potência elétrica total na fonte.

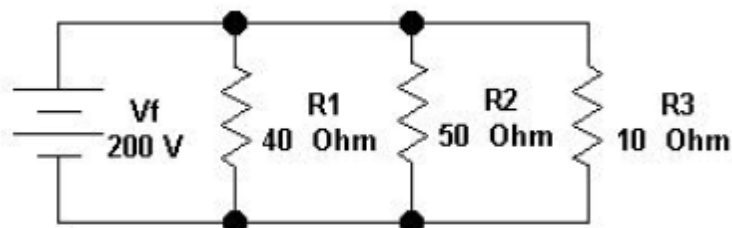


Figura 6.4 – Circuito paralelo para exemplo 6.2.
Fonte: www.ufrgs.br

a) determinação da resistência equivalente:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{40} + \frac{1}{50} + \frac{1}{10} = \frac{5+4+20}{200} = \frac{29}{200}$$

$$R_{eq} = \frac{200}{29} = 6,9\Omega$$

b) determinação da corrente total fornecida pela fonte:

$$I_f = \frac{V_f}{R_{eq}} = \frac{200}{6,9} = 29A$$

c) determinação da tensão nos resistores:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_f = 200V$$

d) determinação da corrente nos resistores:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{200}{40} = 5A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{200}{50} = 4A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{200}{10} = 20A$$

e) determinação da potência total fornecida pela fonte:

$$P_f = V_f \times I_f \rightarrow 200 \cdot 29 \rightarrow 5800W$$

1.7.3.3 Associação de resistores mista

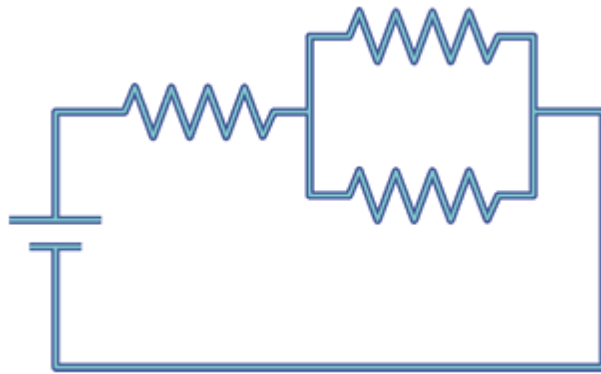


Figura 6.5 – Exemplo de associação mista de resistores.
Fonte: www.ufrgs.br

A associação mista é composta por resistores associados em série e em paralelo nas mais diversas configurações. Não há um procedimento preestabelecido para resolver esse tipo de circuito, pois deve ser analisado parte por parte. Algumas dicas:

- Identificar os nós do circuito: entre dois nós há pelo menos uma associação paralela;
- Identificar as malhas do circuito: numa malha há pelo menos uma associação série;
- Resolver primeiramente os menores trechos que podem ser facilmente identificados como associação série e paralela;
- Redesenhar o circuito passo a passo a medida que as associações parciais forem sendo substituídas por resistores equivalentes parciais.
- Repita os processos anteriores até encontrar a resistência equivalente total.

Exemplo 6.3.

Para o circuito da figura 6.5, determine:

- a) a resistência equivalente da associação;
- b) a corrente total fornecida pela fonte;
- c) a tensão em cada resistor;
- d) a corrente em cada resistor;

e) a potência elétrica total na fonte.

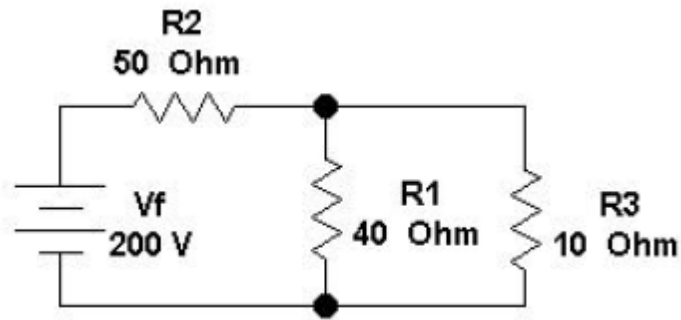


Figura 6.5 – Circuito paralelo para exemplo 6.3.
Fonte: www.ufrgs.br

- a) determinação da resistência equivalente: no circuito há dois nós e entre eles uma associação paralela entre R1 e R3 que deve ser resolvida em primeiro lugar.

$$R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{40 \cdot 10}{40 + 10} = \frac{400}{50} = 8\Omega$$

Redesenhando o circuito teremos uma associação em série de R2 com o equivalente parcial R13, como mostra a figura 6.6. Assim:

$$R_{eq} = R2 + R13 = 50 + 8 = 58\Omega$$

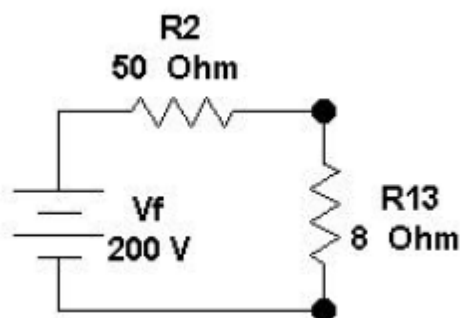


Figura 6.6 – Circuito da figura 6.5 simplificado.
Fonte: www.ufrgs.br

b) determinação da corrente total:

$$I_f = \frac{V_f}{R_{eq}} = \frac{200}{58} = 3,45 A$$

c) e d) determinação da tensão e da corrente em cada resistor: esta etapa deve ser feita conjuntamente, analisando-se o circuito. Percebemos que a corrente fornecida pela fonte é a mesma que atravessa o resistor R2 e o parcial R13 porque estão em série, como mostra a figura 6.6. Então:

$$I_2 = I_{13} = I_f = 3,45 A$$

Assim, podemos determinar a tensão nessas resistências:

$$\begin{aligned} V_2 &= R_2 \cdot I_2 = 50 \cdot 3,45 = 172,5V \\ V_{13} &= R_{13} \cdot I_{13} = 8 \cdot 3,45 = 27,5V \end{aligned}$$

Analisando a figura 6.6 e 6.5 verificamos que a tensão entre os dois nós é 27,5V; portanto:

$$\begin{aligned} V_{13} &= V_1 = V_3 = 27,5V \\ I_1 &= \frac{V_1}{R_1} = \frac{27,5}{40} = 0,69 A \\ I_3 &= \frac{V_3}{R_3} = \frac{27,5}{10} = 2,75 A \end{aligned}$$

e) determinação da potência fornecida pela fonte:

$$P_f = V_f \cdot I_f = 200 \cdot 3,45 = 690W$$

1.7.4 Resistividade

Como vimos anteriormente, Ohm também verificou que diferentes materiais, de mesmas dimensões, apresentavam valores diferentes para a resistência elétrica e que materiais iguais, mas de diferentes dimensões também apresentavam diferentes valores para a constante R .

Considere o material resistivo da figura 5.7 com um dado comprimento L e uma dada área da seção transversal A . Ohm verificou que quanto maior o comprimento L do material, maior a resistência elétrica. Por outro lado, quanto maior a área da seção transversal, menor a resistência elétrica. Ohm também verificou que materiais de mesmas dimensões, mas de diferentes tipos têm uma característica própria que determina a sua resistência, chamada de Resistividade ρ . A Resistividade pode ser entendida como a resistência específica do material, ou seja, a resistência de cada material associada a uma dimensão padrão.

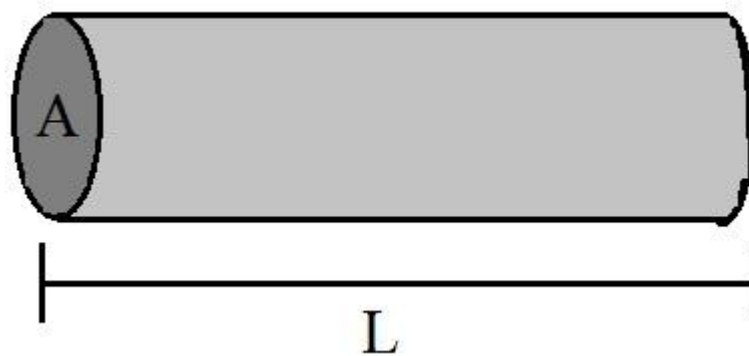


Figura 5.7 – Influência das dimensões na resistência elétrica.
Fonte: www.brasilecola.uol.com.br

Podemos, então, enunciar a segunda lei de Ohm:

A resistência elétrica R de um material é diretamente proporcional ao produto de sua resistividade elétrica ρ pelo seu comprimento L e inversamente proporcional à área da seção transversal A .

$$R = \rho \cdot (L / A)$$

R = resistência elétrica (Ω)

L = comprimento (m)

A = área da seção transversal (m²)

ρ = resistividade ($\Omega \cdot m$)

Onde ρ (letra grega rô) é uma grandeza que depende do material que constitui o resistor e da temperatura, sendo denominada **resistividade do material**. No Sistema Internacional, a unidade de resistividade é **ohm · metro** ($\Omega \cdot m$).

Na prática usa-se freqüentemente, o ohm · centímetro ($\Omega \cdot cm$) e o $\Omega mm^2 / m$. Verifica-se que a resistência elétrica de um resistor, depende do material que o constitui, de suas dimensões e de sua temperatura. Para simplificar a análise dessas dependências, consideramos que os resistores tenham a forma de um fio.

Conforme o valor da **resistividade** de um material, ele poderá ser considerado condutor ou isolante.

Num estudo mais apurado sobre o comportamento dos supercondutores, é que podemos verificar suas aplicações.

A tabela abaixo apresenta os valores de resistividade para alguns materiais.

MATERIAL	RESISTIVIDADE ρ ($\Omega \cdot m$)
Prata	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-8}$
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-8}$
Tungstênio	$5 \cdot 10^{-8}$
Bronze	$7 \cdot 10^{-8}$
Latão	$8 \cdot 10^{-8}$
Ferro	$10 \cdot 10^{-8}$
Chumbo	$22 \cdot 10^{-8}$
Constantan	$50 \cdot 10^{-8}$
Mercúrio	$95 \cdot 10^{-8}$
Níquel-Cromo	$110 \cdot 10^{-8}$
Carbono	$3500 \cdot 10^{-8}$

Água Pura	$2,5 \cdot 10^{+3}$
Porcelana	$3 \cdot 10^{+12}$
Vidro	$1 \cdot 10^{+13}$

1.7.4.1 A influência da temperatura na resistência

A dilatação ou contração com a variação da temperatura muda a energia cinética (mobilidade) dos elétrons livres do material, alterando a sua resistividade. Dessa forma, a temperatura ambiente influencia o valor da resistência elétrica e deve ser uma consideração importante em projetos para condições de operação adversas, como projetos aeroespaciais, ambientes quentes e confinados, etc.

Nos metais puros a resistividade aumenta com a temperatura, segundo uma lei análoga à da dilatação dos materiais:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Onde:

ρ - resistividade do material a uma dada temperatura ($\Omega \cdot m$)

ρ_0 – resistividade padrão do material a 20°C ($\Omega \cdot m$)

α - coeficiente de temperatura do material ($^{\circ}C^{-1}$)

ΔT – variação de temperatura, $\Delta T = T_f - T_0$ ($^{\circ}C$)

Como vimos, nos metais puros a resistência aumenta com o aumento da temperatura porque o coeficiente de temperatura é positivo ($\alpha > 0$). Isto se justifica porque o aumento da temperatura aumenta a agitação das partículas do metal, oferecendo maior dificuldade à circulação da corrente (mais choques dos elétrons livres com os átomos).

No Grafite e nos condutores eletrolíticos a resistividade (e conseqüentemente a resistência) diminui com o aumento da temperatura porque o coeficiente de temperatura é negativo ($\alpha < 0$). Isto se justifica porque o aumento da temperatura proporciona um grande aumento dos portadores de carga (elétrons livres) responsáveis pela condução, correspondendo a uma diminuição da resistência elétrica.

Em certos materiais, como o Níquel-Cromo, o Constatan, entre outros, o coeficiente de temperatura é praticamente nulo ($\alpha = 0$), o que faz com que a

resistência e a resistividade sejam praticamente constantes para variações de temperatura.

1.8 CONDUTÂNCIA ELÉTRICA

A condutância elétrica é o inverso da resistência elétrica, ou seja, a facilidade com a qual uma corrente elétrica flui em um material. Condutância elétrica não deve ser confundida com condutividade elétrica, que é uma característica específica de um material e inverso à resistividade elétrica.

Essa grandeza é representada pela letra G e sua unidade de medida é o Siemens, simbolizado pela letra S

$$G=1/R$$

Onde:

G= condutância elétrica

R= Resistência elétrica

1.8.1 Condutividade

A condutividade elétrica é simplesmente o inverso da resistividade, uma característica específica do material. Ou seja, quanto maior a resistividade, menor será a condutividade

Os materiais são classificados como condutores quando a sua condutividade é maior que $10^4/\Omega.m$, semicondutores se sua condutividade estiver no intervalo entre $10^{-10}/\Omega.m$ e $10^4/\Omega.m$ e isolantes se sua condutividade for menor que $10^{-10}/\Omega.m$.



Fio de cobre

Os metais geralmente possuem ótima condutividade, na faixa de $10^7/\Omega.m$. Estes são os mais utilizados para as linhas de transmissão de energia elétrica, pois propiciam um menor desperdício. Devido a sua alta condutividade, há menos perdas por aquecimento da rede elétrica. A prata é ótimo condutor, mas o cobre é o mais aplicado pela melhor relação custo/benefício.

1.8 POTÊNCIA ELÉTRICA OU TRABALHO

As cargas elétricas ao se movimentarem ordenadamente nos materiais (corrente elétrica) realizam trabalho elétrico. Este trabalho elétrico produz os efeitos elétricos estudados: térmico, magnético, luminoso, químico e fisiológico. Portanto, o objetivo dos dispositivos elétricos é aproveitar o trabalho da força elétrica sobre os portadores de carga elétrica.

Sabemos do estudo da física que trabalho é a energia transformada, associada ao movimento. Ou seja, a energia é a capacidade de realizar trabalho. Dessa forma, a Potência é definida como a velocidade com que essa energia é transformada, ou seja, é a relação entre a variação da energia (trabalho) e o intervalo de tempo em que ocorre:

$$P = \Delta\omega / \Delta t$$

Como a unidade de trabalho e energia é o Joule (J) e a de tempo o Segundo (s) a unidade de potência é J/s também chamada de Watt (W). Portanto, 1 Watt é a potência que faz com que seja realizado um trabalho de 1 Joule no intervalo de tempo de 1 segundo.

Nos circuitos elétricos a energia potencial da fonte de tensão é transformada em energia cinética no movimento dos elétrons (corrente elétrica) que, por sua vez, é transformada em energia térmica num elemento resistivo, como demonstra a figura 5.8.

Dessa forma podemos entender que:

Potência Elétrica é a velocidade com que se consome ou se fornece energia para realizar um trabalho e produzir um efeito elétrico.

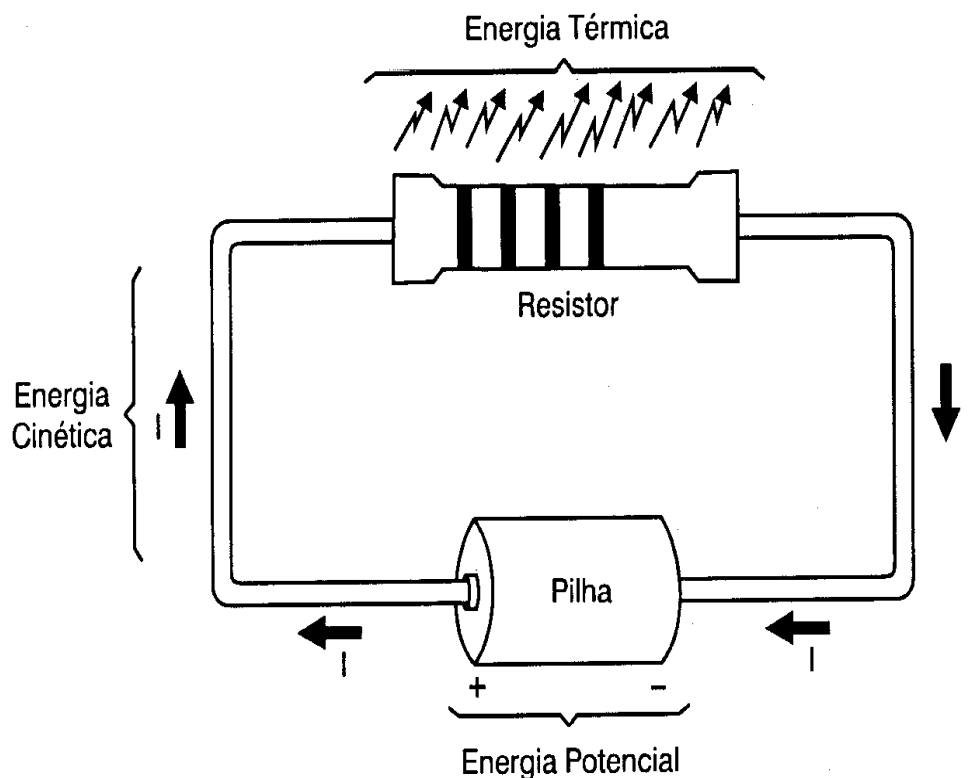


Figura 5.8 – Realização de trabalho elétrico pela transformação de energia.
Fonte: www.saladafisica.cbj.net

A Potência Elétrica entre dois pontos de um circuito elétrico é o produto da tensão pela corrente entre esses dois pontos.

$$P = V \times I$$

Como a unidade de tensão (Volt) é J/C e a de corrente (Ampère) é C/s podemos verificar que o produto V·A dá J/s o que corresponde à unidade Watt.

Também podemos dizer que se uma tensão de 1V produzir uma corrente de 1A entre dois pontos de um circuito elétrico, temos aí uma potência dissipada de 1W.

A unidade da potência elétrica é o Watt, em homenagem a James Watt, inventor da maquia a vapor. Para demonstrar a força de sua maquina James utilizou a comparação com os cavalos que exerciam a força para mover os moinhos na ausência dos ventos. Desta comparação surgiu uma outra unidade que é o cavalo-vapor ou CV que equivalem a 735,5W, existem ainda o HP, uma sigla em inglês para horse-power, que equivale a 745,7W.

O termo Potência Dissipada é usado no sentido de consumir, geralmente para o efeito térmico, ou seja, Potência Térmica Dissipada.

Sabendo-se que $V = R \times I$ temos:

$$P = V \times I = (R \times I) \times I$$

$$P = R \times I^2$$

Como $I=V/R$, temos:

$$P = V \mid V.(V/R)$$

$$P = V^2 / R$$

1.10 Energia Elétrica

Como sabemos que a relação entre energia e tempo é a potência elétrica $P = \Delta\omega / \Delta t$, podemos então concluir que a Energia Elétrica consumida ou fornecida (E_n) é o produto da Potência Elétrica pelo intervalo de tempo:

$$E_n = P \times \Delta t$$

A unidade de Energia Elétrica pode ser o Joule (J) ou também o Wattsegundo (Ws). Ambas são pouco usadas porque são unidades muito pequenas.

Normalmente se utiliza o produto da potência em quilowatts (kW) pelo tempo em horas (h) resultando a unidade mais comum de energia elétrica: o Quilowatt-hora

(kWh). Esta é a unidade usada pelas concessionárias para tarifar a energia que consumimos em nossas casas.

A tabela abaixo apresenta algumas equivalências entre diferentes unidades de energia e potência.

1kWh	3,6.106J
1Cal	4,1868J
1HP	746W
1CV	736W

Equivalência entre diferentes unidades de Energia e Potência

Exemplos

1) Um chuveiro elétrico está ligado a uma tensão de 220V. A corrente que ele absorve é 20A.

a. Determine a potência elétrica dissipada por esse chuveiro:

$$P = V \times I = 220 \times 20 = 4400W\#$$

b. O valor da sua resistência elétrica:

$$R = V^2 / P \rightarrow 220^2 / 4400 \rightarrow R = 11\Omega\#$$

c. A energia elétrica em kWh e em J consumida em 30 dias considerando um uso diário de 30min:

$$\Delta t = 30\text{dias} \times 0,5\text{h} / \text{dia} = 15\text{h}$$

$$15\text{h} \times 3600\text{s} = 54000 \text{ s}$$

$$E_n = P \times \Delta t = 4,4\text{kW} \times 15\text{h} = 66\text{kWh}$$

$$E_n = P \times \Delta t = 4400\text{W} \times 3600 \text{ s} = 237.600.000\text{J}\#$$

d. O gasto com o uso do chuveiro, considerando R\$0,25/kWh:

$$\text{Custo} = E_n(\text{kWh}) \times R\$ / \text{kWh} = 66\text{kWh} \times 0,25\text{R\$} / \text{kWh} = \text{R\$}16,50\#$$

2) Um dado elemento resistivo (resistor) possui uma resistência conhecida de 20Ω e uma potência nominal máxima de 5W. Determine qual a máxima tensão que pode a ele ser aplicada de tal forma que não exceda sua capacidade máxima de dissipação térmica:

$$P = V^2 / R \rightarrow V^2 = P \cdot R \rightarrow V^2 = 5 \cdot 20 \rightarrow V = 10 \text{ V}$$

1.11 CIRCUITOS ELÉTRICOS DE CORRENTE CONTÍNUA E DE CORRENTE ALTERNADA

Recebem o nome de corrente contínua (C.C. ou D.C. no equivalente em inglês) e corrente alternada (C.A. ou A.C. no equivalente em inglês) dois sistemas diferentes de coordenar o fluxo de elétrons dentro de um circuito elétrico.

Uma corrente é considerada contínua quando o fluxo dos elétrons passa pelo fio do circuito sempre em um mesmo sentido; ou seja, é sempre positiva ou sempre negativa, circulando no sentido do polo positivo para o polo negativo, se considerarmos o sentido convencional da corrente, ou circulando do polo negativo para o polo positivo, se considerarmos o sentido da corrente dos elétrons.

A maior parte dos circuitos eletrônicos trabalha com corrente contínua, sendo as pilhas e as baterias os melhores exemplos de onde encontrar esse tipo de corrente.

O problema com o sistema de corrente contínua é que nele não há alternância, não sendo aceito pelos transformadores e assim não consegue ganhar maior voltagem. Desse modo, a energia elétrica não pode seguir muito longe. Por essa razão, a corrente contínua é usada em pilhas e baterias ou para percorrer circuitos internos de aparelhos elétricos, como o de um computador.

O final do século XIX presenciou um episódio curioso em meio à descoberta da energia elétrica e suas propriedades, que foi a chamada "Guerra das Correntes". Gradualmente, os EUA começavam a utilizar a eletricidade para substituir a energia a vapor nas fábricas e o gás na iluminação das casas.

A corrente alternada surgiu quando Nikola Tesla foi contratado por J. Westinghouse para construir uma linha de transmissão entre Niágara e Buffalo. Em

Nova York, Thomas Edison fez o possível para desacreditar Tesla, mas o sistema polifásico de Tesla foi adotado.

A Corrente Alternada é a forma mais eficaz de se transmitir uma corrente elétrica por longas distâncias. Nela os elétrons invertem o seu sentido várias vezes por segundo.

A Corrente Alternada foi adotada para transmissão de energia elétrica a longas distâncias devido à facilidade relativa que ela se apresenta para ter o valor de sua tensão alterada por intermédio de transformadores. Além disso, as perdas em CA são bem menores que em CC. No entanto, as primeiras experiências e transmissões foram feitas com Corrente Contínua (CC).

Corrente Alternada é uma corrente elétrica cujo sentido varia no tempo, ao contrário da corrente contínua cujo sentido permanece constante ao longo do tempo. A forma de onda usual em um circuito de potência CA é senoidal por ser a forma de transmissão de energia mais eficiente. Enquanto a fonte de corrente contínua é constituída pelos polos positivo e negativo, a de corrente alternada é composta por fases (e, muitas vezes, pelo fio neutro).

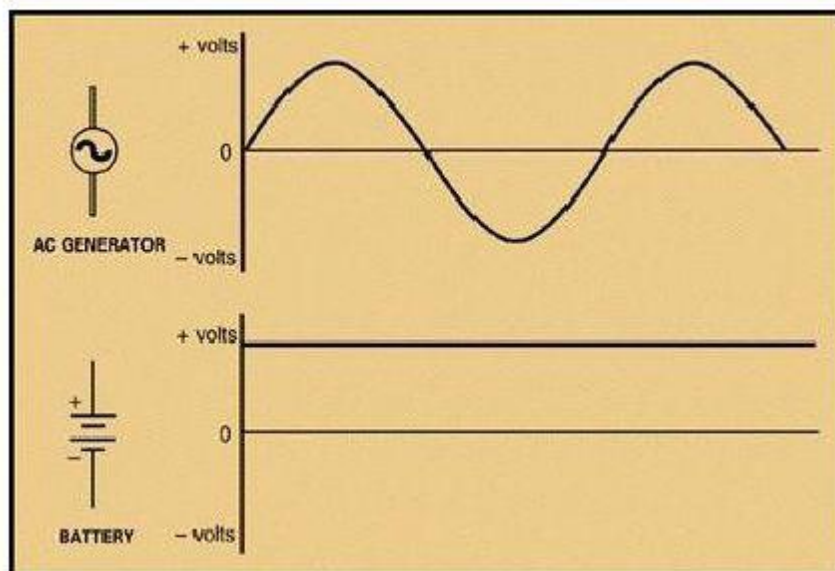


Figura: Corrente alternada e contínua

Fonte: www.manutencaoesuprimentos.com.br

1.11.1 Circuito Elétrico

Circuito elétrico é um conjunto de componentes elétricos ligados entre si que apresenta pelo menos um caminho fechado ao longo das ligações e componentes e no qual flui corrente elétrica.

Fechar um circuito é efetuar a ligação que permite a passagem da corrente elétrica. Abrir um circuito é interromper essa corrente. Tais operações se efetuam, geralmente, através de uma *chave ch*.

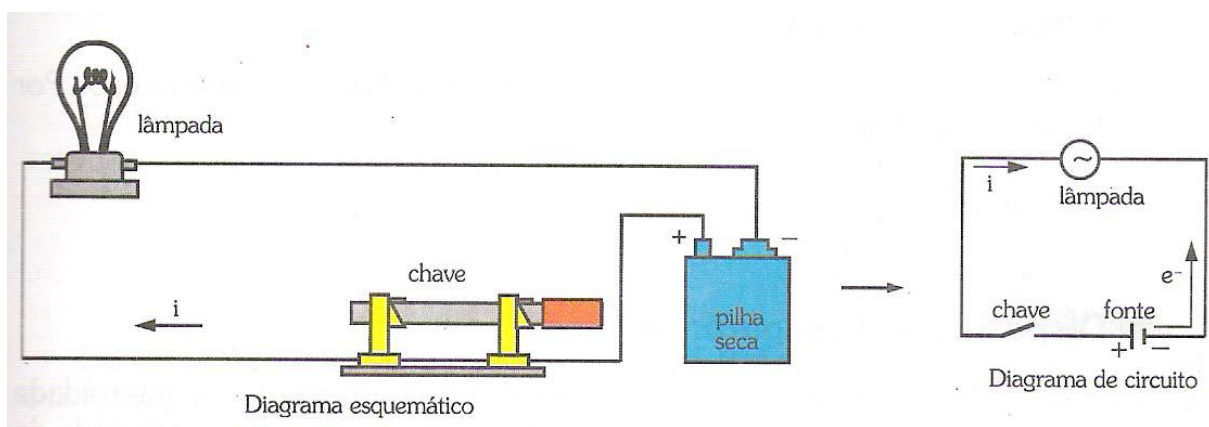


Figura 4.5 – Circuito Elétrico.
Fonte: www.infoescola.com

1.11.1.2 Gerador Elétrico

Gerador elétrico é o aparelho que realiza a transformação de uma forma qualquer de energia em energia elétrica. É um dispositivo capaz de transformar em energia elétrica uma outra modalidade de energia. O gerador não gera ou cria cargas elétricas. Sua função é fornecer energia às cargas elétricas que o atravessam. Industrialmente, os geradores mais comuns são os químicos e os mecânicos.

- Químicos: aqueles que transformam energia química em energia elétrica.

Exemplos: pilha e bateria.

- Mecânicos: aqueles que transformam energia mecânica em elétrica.

Exemplo: Usinas hidrelétricas.

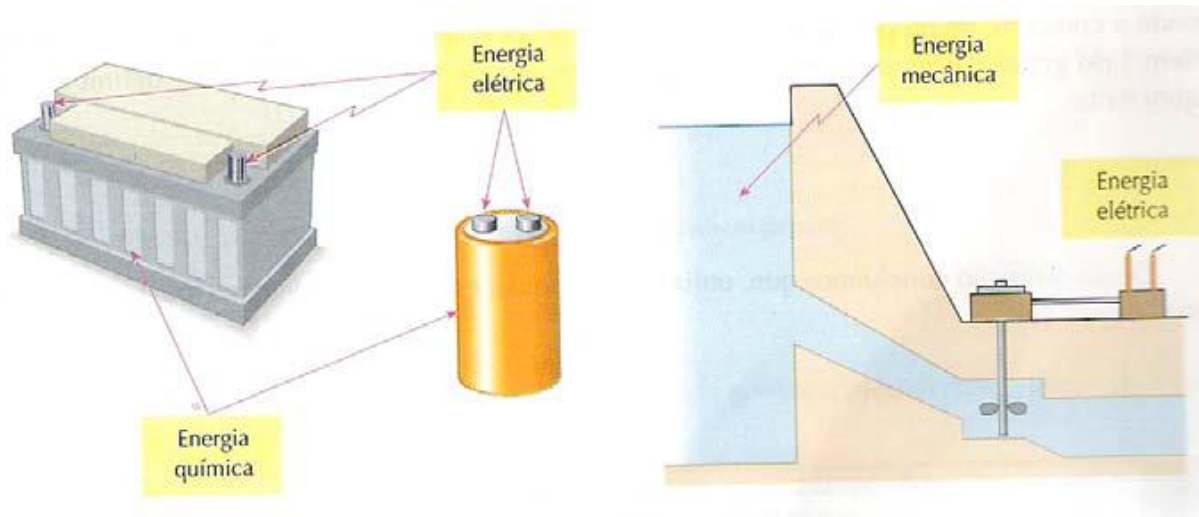


Figura 4.6 – Geradores químicos e geradores mecânicos.
Fonte: www.infoescola.com

Um gerador elétrico possui dois terminais denominado pólos:

Pólo positivo, correspondente ao terminal de potencial elétrico maior.

Pólo negativo, correspondente ao terminal de potencial elétrico menor.

Considerando o sentido convencional da corrente (movimento das cargas positivas), o fornecimento de energia (química, mecânica) causará o movimento dessas cargas do pólo negativo para o pólo positivo, elevando assim, a energia potencial elétrica das cargas.

Uma pilha comum de lanterna é um exemplo de gerador. Os portadores de carga, ao atravessarem a pilha, têm um ganho de energia potencial elétrica por causa da energia química que é transformada. Para cada unidade de carga que atravessa um gerador, existe, em correspondência, uma quantidade de energia de outra modalidade transformada em energia elétrica.

Para um gerador, verifica-se que é constante a relação entre a potência gerada e a intensidade de corrente que o atravessa; essa relação, que corresponde na verdade a uma tensão elétrica, é impropriamente denominada força eletromotriz (fem) do gerador e será representado pela letra E .

No sistema internacional, a unidade de força eletromotriz é o Volt (V), que corresponde a 1 joule por segundo.

A função básica de um gerado é fornecer energia elétrica para um conjunto de dispositivos denominados receptores elétricos, através dos portadores de carga. Nessas condições dizemos que os geradores e receptores formam um circuito elétrico.

1.11.1.2 Receptores

Denomina-se receptor elétrico ao dispositivo capaz de transformar energia elétrica em outra forma de energia que não seja exclusivamente térmica. Como exemplos podemos citar os motores de aparelhos elétricos como os liquidificadores, aspiradores de pó, etc.

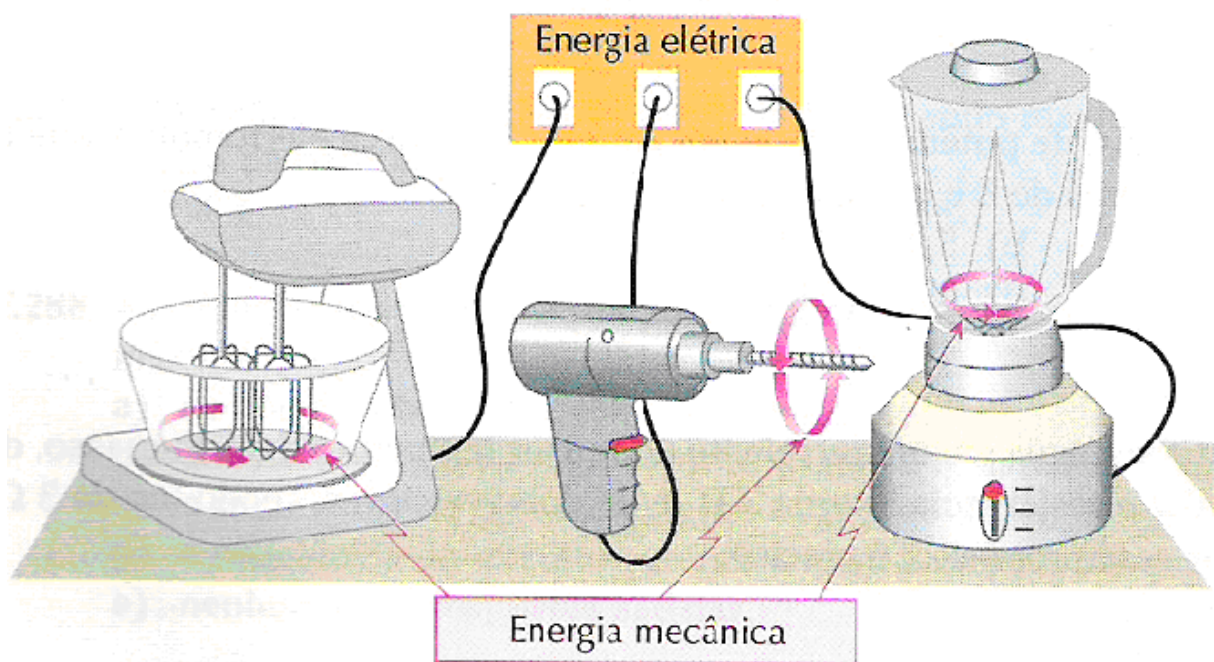
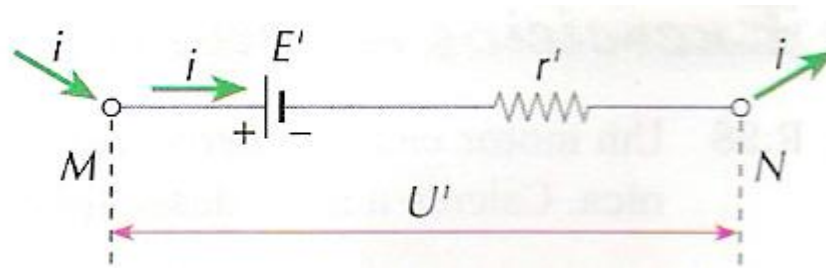


Figura 4.7 – Energia elétrica transformada em energia mecânica.
Fonte: www.infoescola.com

Num receptor, nem toda energia elétrica recebida é utilizada, pois parte dela será dissipada na forma de calor pela resistência interna r' do aparelho. Para um receptor, verifica-se que a relação entre a potência útil e a intensidade de corrente que o atravessa é constante e essa constante é chamada de força contra eletromotriz, fem , que é representado por E .

Simbolicamente um receptor é representado por:



Note que a corrente elétrica através de um receptor caminha do pólo positivo para o pólo negativo, ou seja, o pólo de maior potencial elétrico para o pólo de menor potencial elétrico.

1.11.1.3 Elementos de um circuito elétrico

Para se estabelecer uma corrente elétrica são necessários, basicamente: um gerador de energia elétrica, um condutor em circuito fechado e um elemento para utilizar a energia produzida pelo gerador. A esse conjunto denominamos circuito elétrico.

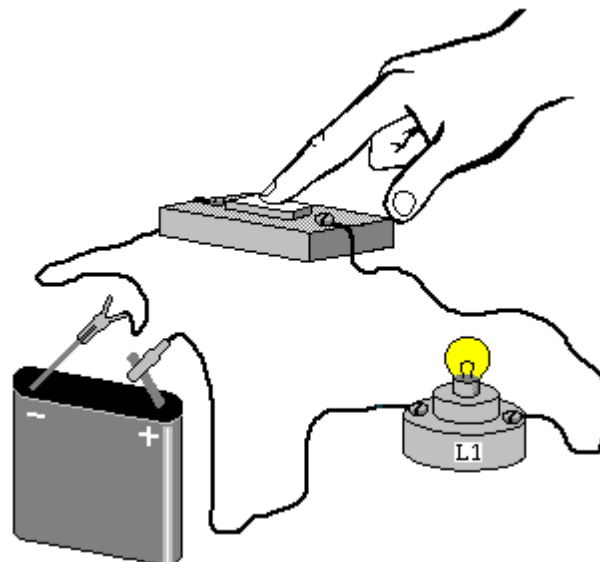


Figura 4.8 – Elementos de um circuito fechado.
Fonte: www.infoescola.com

1.12 ELETROMAGNETISMO

É o estudo dos campos magnéticos e suas interações com as correntes elétricas. Há séculos, o homem observou que determinadas pedras têm a propriedade de atrair pedaços de ferro ou interagir entre si. Essas pedras foram chamadas ímãs e os fenômenos, que de modo espontâneo se manifestam na Natureza, foram denominados fenômenos magnéticos.

Hoje sabemos que essas pedras correspondem a um óxido de ferro (Fe_3O_4), mineral muito encontrado na Suécia, denominado magnetita, constituindo um ímã natural.

Atualmente, são mais utilizados os ímãs artificiais, obtidos a partir de certos processos denominados imantação.

1.12.1 Campos Magnéticos

Os elétrons giram em torno do núcleo dos átomos, mas também em torno de si mesmos (translação), isto é semelhante ao que ocorre com os planetas e o sol. Há diversas camadas de elétrons, e em cada uma, os elétrons se distribuem em orbitais, regiões onde executam a rotação, distribuídos aos pares.

Ao rodarem em torno de si, os elétrons da camada mais externa produzem um campo magnético mínimo, mas dentro do orbital, o outro elétron do par gira também, em sentido oposto, cancelando este campo, na maioria dos materiais.

Porém nos materiais imantados (ferromagnéticos) há regiões, chamadas domínios, onde alguns dos pares de elétrons giram no mesmo sentido, e um campo magnético resultante da soma de todos os pares e domínios é exercido em volta do material: são os ímãs.

1.12.1.1 O que é de fato um Campo Magnético?

A palavra campo significa, na Física, uma tendência de influenciar corpos ou partículas no espaço que rodeia uma fonte.

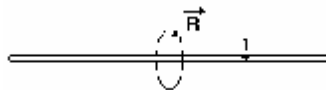
Ex.: O campo gravitacional, próximo à superfície de um planeta, que atrai corpos, produzindo uma força proporcional à massa destes, o peso.

Assim, o campo magnético é a tendência de atrair partículas carregadas, elétrons e prótons, e corpos metálicos magnetizáveis (materiais ferromagnéticos, como o ferro, o cobalto, o níquel e ligas como o alnico).

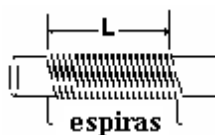
O campo pode ser produzido pôr imãs e eletroímãs, que aproveitam o efeito magnético da corrente elétrica.

1.12.2 Correntes e Eletromagnetismo

A corrente elétrica num condutor produz campo magnético em torno dele, com intensidade proporcional à corrente e inversamente à distância.



Se enrolarmos um condutor, formando um indutor ou bobina, em torno de uma forma, o campo magnético no interior deste será a soma dos produzidos em cada espira, e tanto maior quanto mais espiras e mais juntas estiverem.



L é o comprimento do enrolamento, e o número de espiras, válida o núcleo de ar.

1.12.3 Permeabilidade

Os materiais se comportam de várias maneiras, sob campos magnéticos.

- Os diamagnéticos, como o alumínio e o cobre, os repelem, afastando as linhas de campo.
- Os paramagnéticos se comportam quase como o ar.

- Os ferromagnéticos concentram o campo, atuando como condutores magnéticos.
- A permeabilidade é a propriedade dos materiais de permitir a passagem do fluxo magnético, que é a quantidade de campo que atravessa o material.

Os materiais mais permeáveis são os ferromagnéticos. Eles tem permeabilidades centenas a vários milhares de vezes a do ar, e são usados como núcleos de indutores, transformadores, motores e geradores elétricos, sempre concentrando o fluxo, possibilitando grandes campos (e indutâncias).

Os diamagnéticos são usados como blindagem magnética (ou às ondas eletromagnéticas), pela permeabilidade menor que a do ar.

1.12.4 Indutância

Vimos que os indutores produzem campo magnético ao conduzirem correntes. A indutância é a relação entre o fluxo magnético e a corrente que o produz. É medida em Henry, H.

Uma propriedade importante da indutância, e da qual deriva o nome, é o fato do campo resultante da corrente induzir uma tensão no indutor que se opõe à corrente, esta é chamada a Lei de Faraday.

É interessante observar como isto se relaciona ao conceito de reatância indutiva, a oposição à passagem de corrente pelo indutor.

$$L = f / I$$

L é a indutância, e f a frequência da corrente, em Hz.

A corrente alternada produz no indutor um campo, induzindo uma tensão proporcional à frequência, que se opõe à corrente, reduzindo-a, esta é a explicação da reatância.

As bobinas nos circuitos elétricos são chamadas indutores. Quando usadas para produzir campos magnéticos, chamam-se eletroímãs ou solenóides. Já dentro de máquinas elétricas (motores e geradores), fala-se em enrolamentos.

1.12.5 Campos e Forças

Um campo magnético produz uma força sobre cargas elétricas em movimento, que tende a fazê-las girar. Quando estas cargas deslocam-se em um condutor, este sofre a ação de uma força perpendicular ao plano que contém o condutor e o campo.

F é a força em Newtons, L o comprimento do condutor, em m, e θ o ângulo entre o condutor e as linhas do campo.

É esta força que permite a construção dos motores elétricos. Nestes o ângulo é de 90° , para máximo rendimento, B é produzido pelos enrolamentos, e há N espiras (nos casos em que o rotor, parte rotativa central, é bobinado), somando-se as forças produzidas em cada uma. O núcleo é de material ferromagnético, para que o campo seja mais intenso, e envolve o rotor, com mínima folga, o entreferro, formando um circuito magnético.

O processo é reversível: uma força aplicada a um condutor, movendo-o de modo a “cortar” as linhas de um campo magnético (perpendicularmente), induz uma tensão neste, conforme a Lei de Faraday, proporcional à velocidade e ao comprimento do condutor, e ao campo, é o princípio do gerador elétrico e do microfone dinâmico.

Além desta força, há a de atração exercida por um campo num material ferromagnético, que age orientando os domínios (e os “spins”), podendo imantá-los (conforme a intensidade e a duração). Esta é usada nos eletroímãs, nos relés e contadores (relés de potência usados em painéis de comando de motores), etc.

É também usada na fabricação de ímãs, usados entre outras aplicações nos auto-falantes, microfones e pequenos motores C.C. (campo), como aqueles usados em toca-discos e gravadores.

1.12.6 Magnetismo natural

O nome magnetismo vem de Magnésia, pequena região da Ásia menor, onde foi encontrado em abundância um mineral naturalmente magnético. A pedra desse material é o que chamamos de ímã natural.

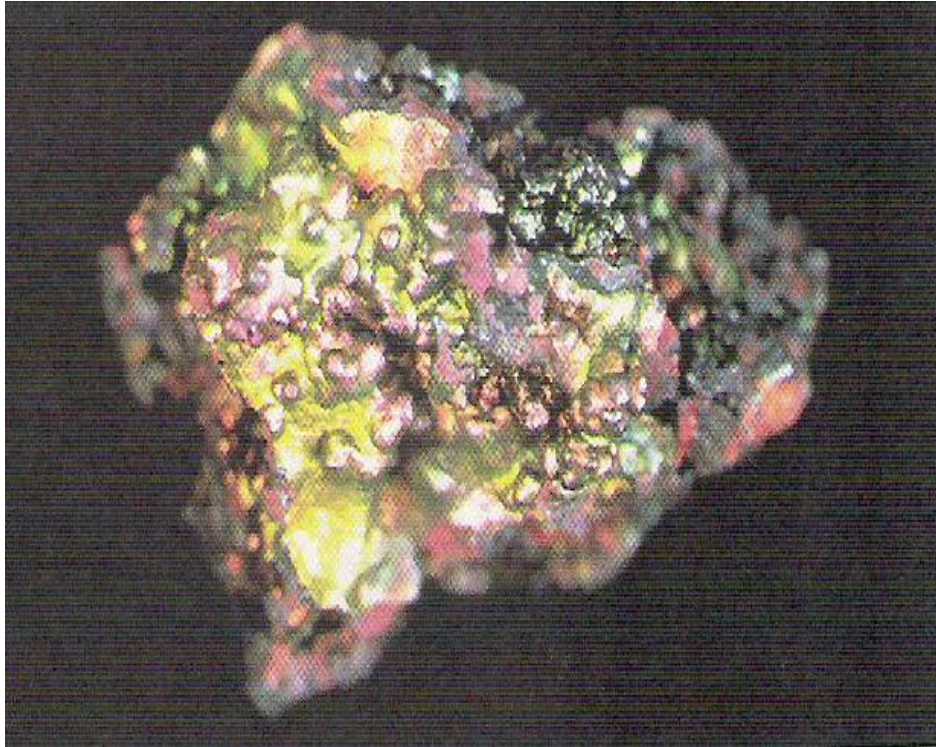
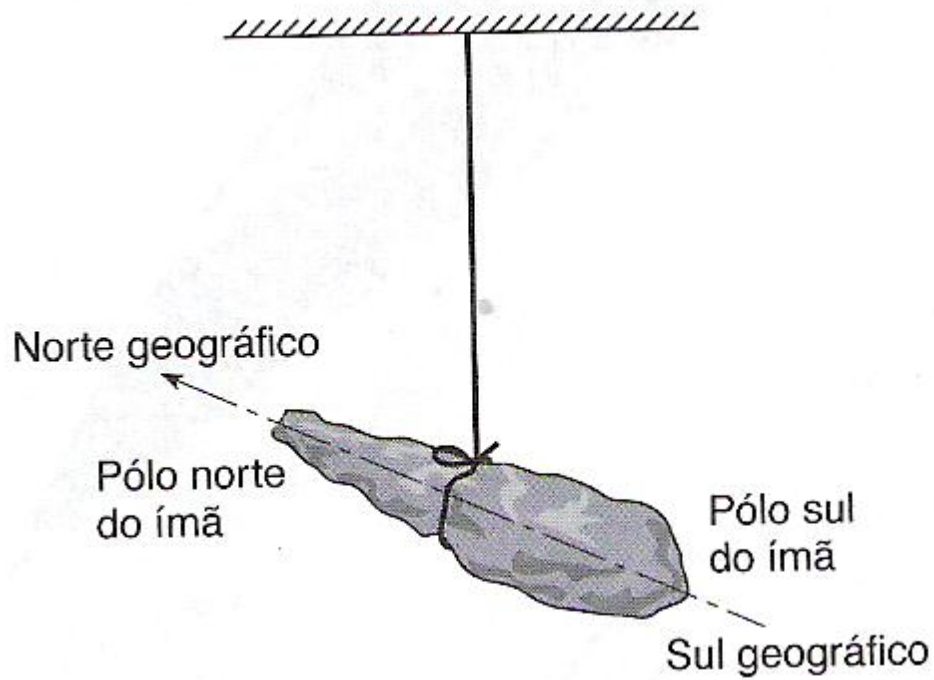


Figura: Ímã Natural
Fonte: www.infoescola.com

Se tomarmos um ímã natural, de formato alongado, e pendurarmos pelo seu centro de massa, veremos que essa pedra fica sempre alinhada na direção norte sul.

A extremidade que aponta para o norte geográfico é chamado de pólo norte do ímã. A outra, apontada para sul geográfico, é denominado pólo sul do ímã.

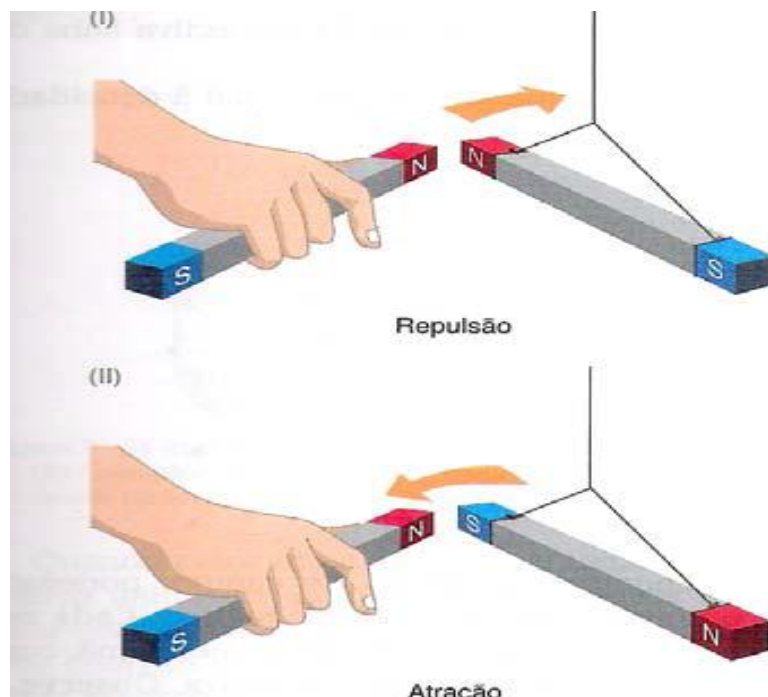


Essa característica passou a ser aproveitada como elemento de orientação náutica. Particularmente nas grandes navegações (século XV e XVI), nas ocasiões em que os astros não eram facilmente observáveis.

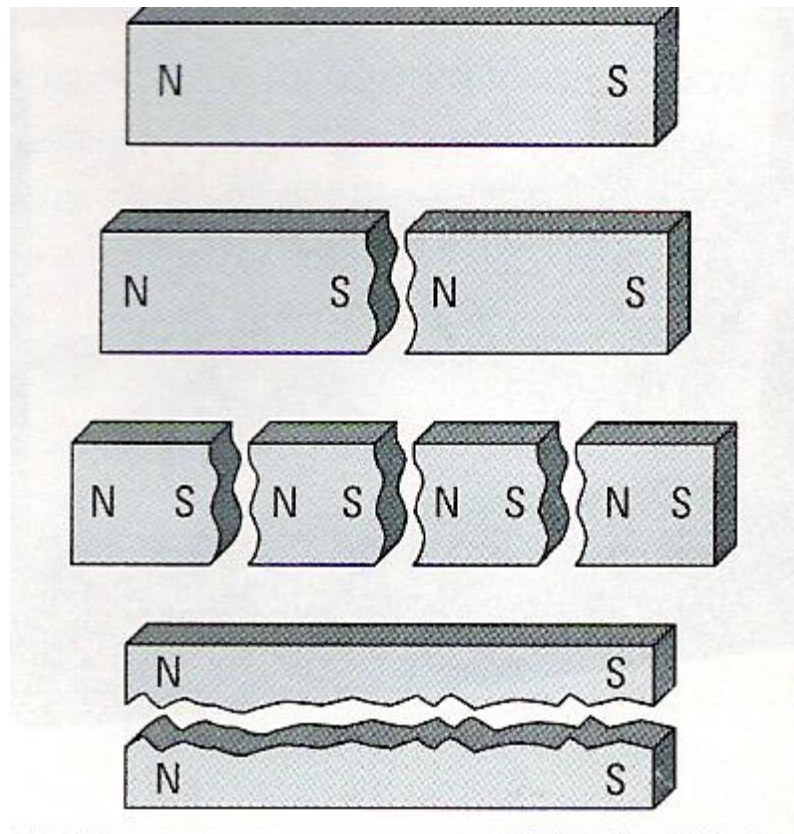
Bússola é o aparelho que explora essa característica, constituído apenas de uma pequena agulha imantada, apoiada em seu centro de massa. Os pólos são as partes do ímã onde os efeitos magnéticos se apresentam mais intensos. Um ímã terá sempre, pelo menos, dois pólos. Contudo, nem sempre podemos dizer que os pólos se localizam nas extremidades do ímã. É o caso, por exemplo, de um ímã esférico.



Experimentalmente, verifica-se que, quando dois ímãs são colocados próximos, o pólo norte de um repele o pólo norte do outro, enquanto que pólo sul de um é atraído pelo pólo norte do outro.



Se partirmos um ímã ao meio em forma de barra, verificaremos que não será obtido um pólo norte e um sul isoladamente. Na região onde o ímã foi rompido, teremos o surgimento de pólos de natureza oposta à extremidade da parte da barra que os contém. O fenômeno é conhecido como inseparabilidade dos pólos. Podemos continuar o processo de divisão da barra indefinidamente, e o fato vai continuar se repetindo.



A primeira explicação clara e consistente para o ocorrido foi elaborada por André Marie Ampère. Ele imaginou que cada ímã fosse constituído de pequenos ímãs elementares, cujo efeito suposto seria o do ímã completo. Hoje, sabemos que cada um desses ímãs elementares corresponde a uma pequena porção da matéria onde os átomos ou moléculas das substâncias têm a mesma orientação magnética, que chamamos de domínios magnéticos.



1.12.6.1 Magnetismo na matéria

Em geral podemos dividir as substâncias em três grandes grupos:

- **Ferromagnéticas**

As substâncias ferromagnéticas – como os elementos ferro, níquel e cobalto, além de alguns compostos e ligas que envolvam esses elementos – tem como propriedade o fato de possuírem domínios magnéticos.

Normalmente esses domínios estão orientados ao acaso, não resultando num magnetismo global. Porém, na presença de um campo magnético externo, os domínios tendem a se alinhar com o campo, tornando-se o corpo, globalmente, um ímã. Os elementos ferro, níquel e cobalto se constituem na matéria-prima dos ímãs permanentes.

- **Paramagnéticas**

Imantam-se fracamente sob o domínio de um campo magnético externo, resultando numa força de atração muito fraca. São exemplos: alumínio, cromo, platina, manganês, estanho, o ar etc.

- **Diamagnéticas**

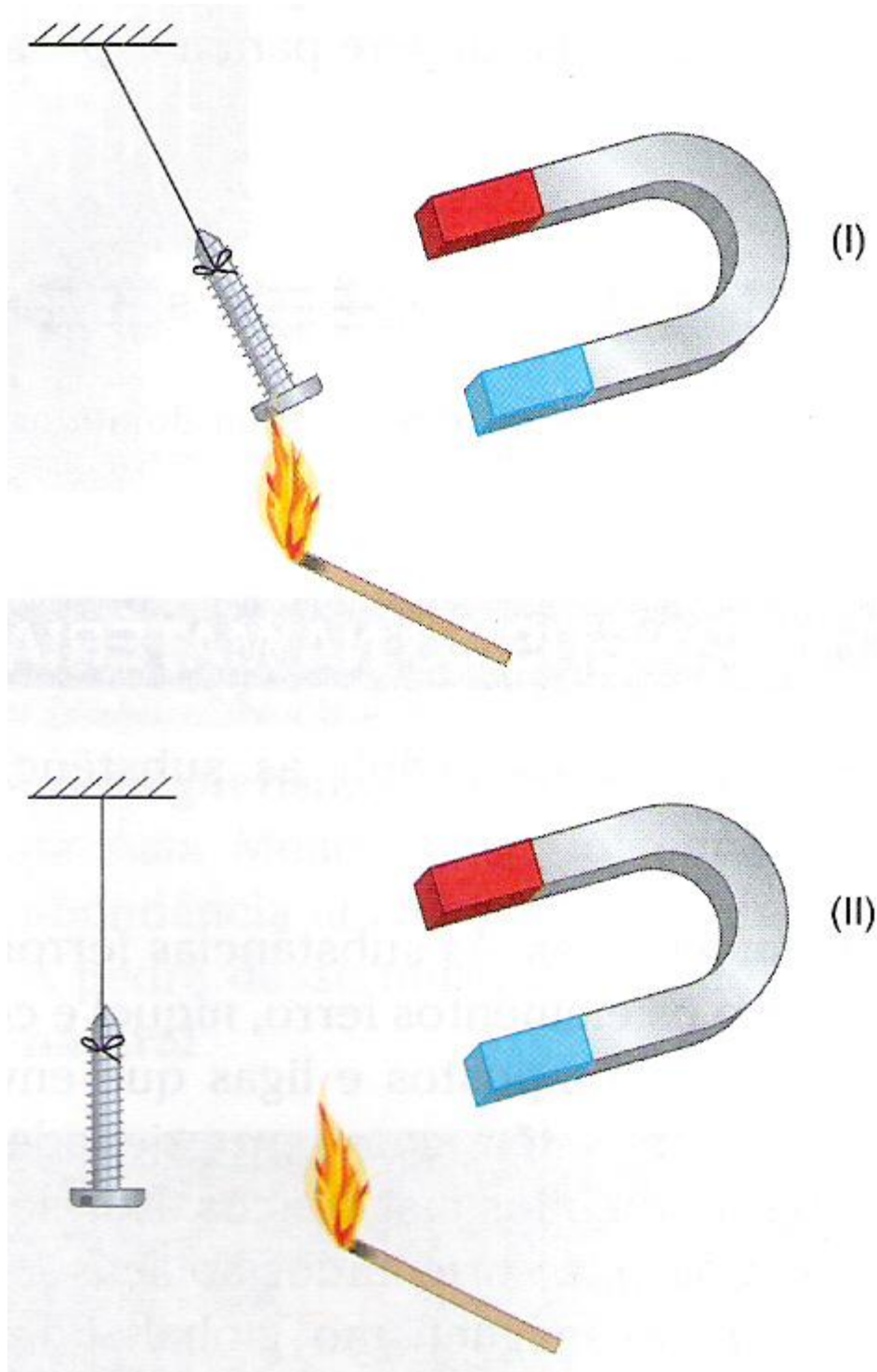
Por razões fora da nossa esfera de interesse no momento, essas substâncias interagem com o campo magnético com uma fraca repulsão. São exemplos: prata, ouro, mercúrio, chumbo, zinco, cobre, antimônio, bismuto, água etc.

1.12.7 Desmagnetização

Há várias maneiras de se desmagnetizar um corpo. Uma delas consiste em dar várias pancadas no corpo, até conseguir o desalinhamento dos ímãs elementares. Ação de um campo externo, oposto ao magnetismo original do corpo, também provoca a desmagnetização.

Um outro processo, por exemplo, um prego sendo atraído por um ímã e depois sendo submetido ao calor de uma chama. Acima de certa temperatura, a agitação térmica é tão intensa que impede a ordenação dos domínios magnéticos. Cessa a imantação por influência, e o prego, deixando de ser atraído, cai.

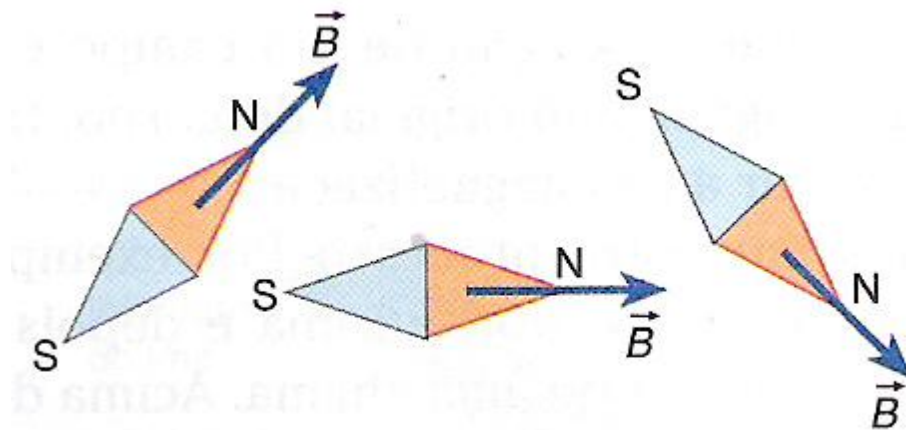
A temperatura mínima em que a magnetização é desfeita é chamada de temperatura de Curie do material, tendo valores diferentes para cada substâncias. Para o ferro essa temperatura é de 770°C .



1.12.8 Campo Magnético

A força magnética é uma força de campo, ou seja, atua mesmo que não haja contato entre os corpos. Sendo assim, é conveniente imaginar a transmissão dessa ação por um agente por um agente que denominamos campo magnético. Campo magnético é uma região do espaço na qual um pequeno corpo de prova fica sujeito a uma força de origem magnética. Esse corpo de prova deve ser um pequeno objeto feito de material que apresente propriedades magnéticas.

Representamos o campo magnético em cada ponto de uma região pelo vetor campo magnético. Para determinar a direção e o sentido desse vetor, usamos uma agulha magnética. Uma pequena bússola funciona como corpo de prova indicando o sentido do campo magnético.



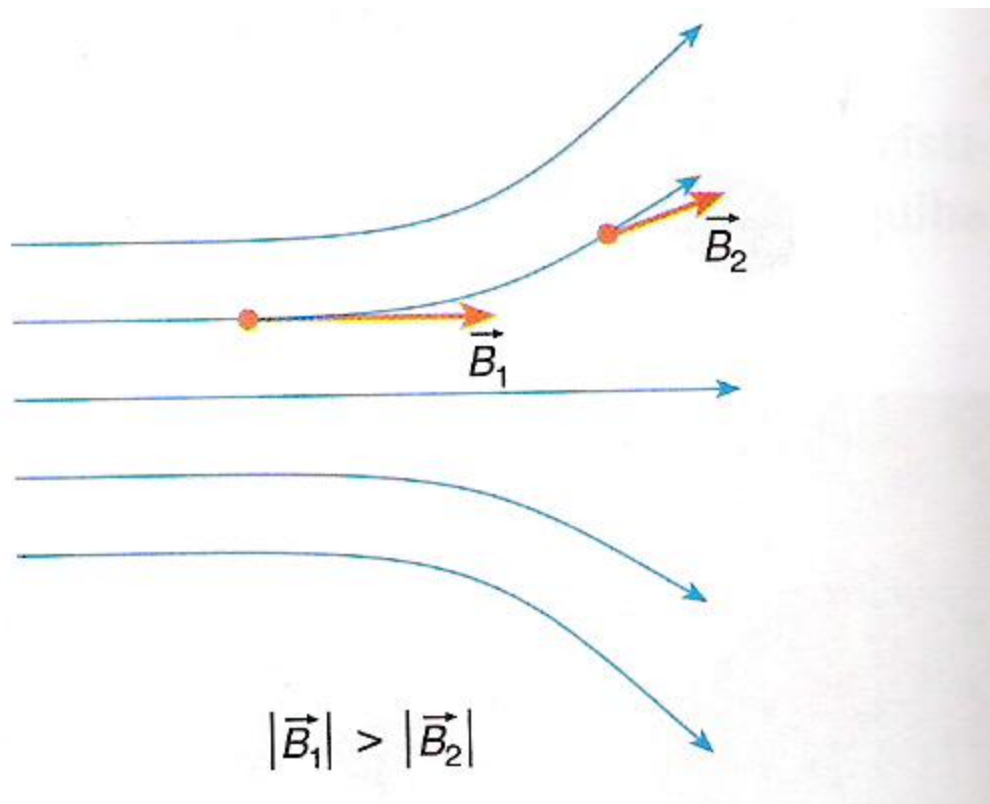
Em um campo magnético as linhas de campo são tais que o vetor campo magnético apresenta as seguintes características.

Sua direção é sempre tangente a cada linha de campo em qualquer ponto dentro do campo magnético;

Seu sentido é o mesmo da respectiva linha de campo;

Sua intensidade é proporcional à densidade das linhas de campo.

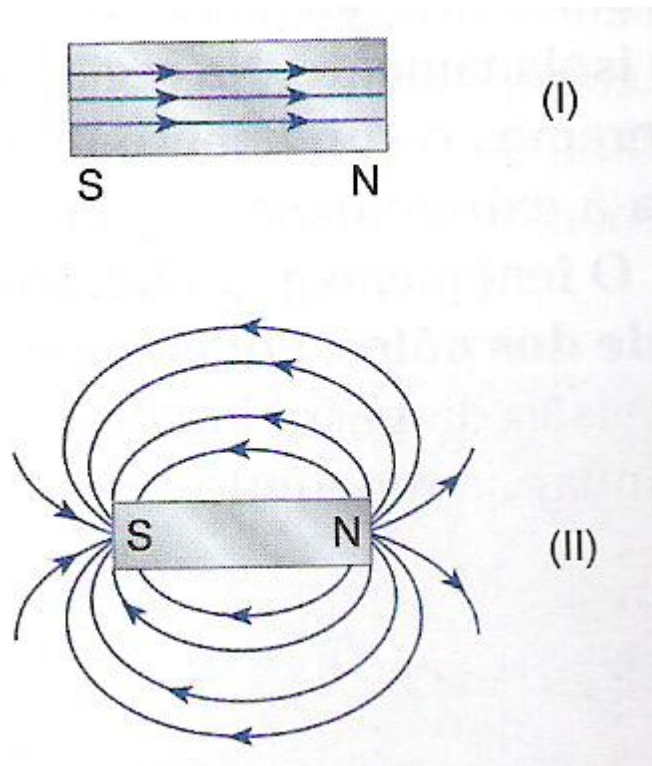
1.12.9 Campo Magnético Uniforme



Para construir as linhas de campo, podemos usar o conceito de domínio magnético. Cada pequeno domínio magnético é um pequeno ímã, considerando um pequeno corpo de prova. Internamente ao ímã, as linhas de campo vão do pólo sul para o pólo norte e externamente, do pólo norte para o pólo sul.

Desse modo as linhas de campo fecham o ciclo.

A figura abaixo mostra a representação das linhas de campo magnético: (I) internamente (II) externamente ao ímã.

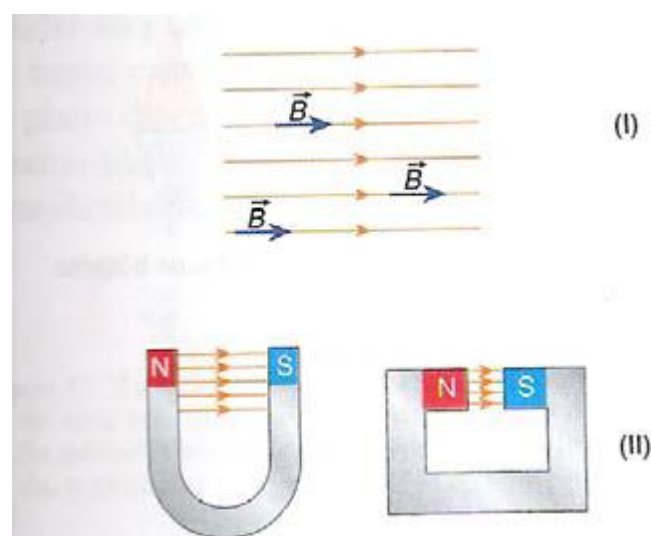


O campo magnético é uniforme em uma determinada região quando, em todos os pontos dessa região, o vetor campo magnético tem a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.

Quando colocamos um ímã em um campo magnético uniforme, as forças em ambos os pólos ficam com a mesma intensidade, porém com sentidos contrários.

Por isso esse ímã tende apenas a girar, mantendo a posição de centro de massa, até se alinhar com o campo.

A figura abaixo mostra a representação de um campo magnético uniforme (I) e exemplo de ímãs em que há campo magnético praticamente uniforme (II).



Quando colocamos um ímã em um campo magnético uniforme, as forças em ambos os pólos ficam com a mesma intensidade, porém com sentidos contrários. Por isso esse ímã tende apenas a girar, mantendo a posição de centro de massa, até se alinhar com o campo.

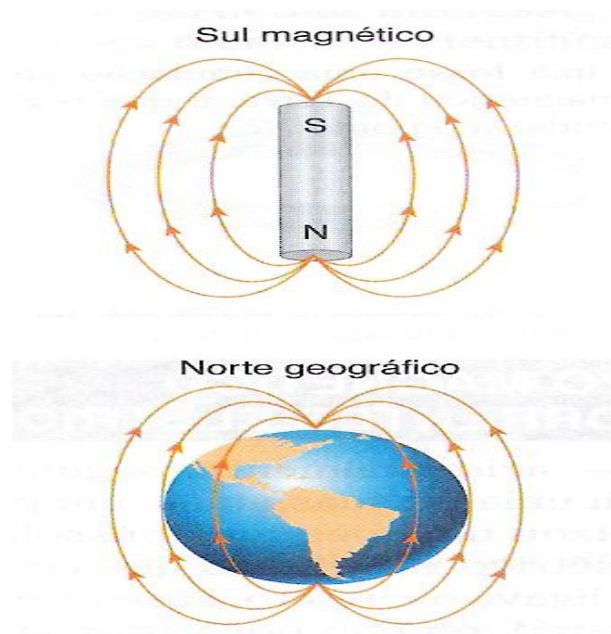
1.12.10 Magnetismo terrestre

O planeta terra é um imenso ímã. Sob influência exclusiva do campo magnético terrestre, a agulha de uma bússola aponta para o pólo norte (região geográfica), que, é um pólo sul em termos magnéticos.

A ação entre os pólos, conforme vimos, é de atração quando os pólos têm nomes diferentes. O local para onde é atraído o norte da bússola deve ser, magneticamente, um pólo sul; assim o norte geográfico de nosso planeta contém o sul magnético do grande ímã terra, e vice-versa.

O outro ponto a ser destacado é o fato de a bússola não se alinhar rigorosamente com os meridianos, existindo, em cada ponto do planeta, um pequeno desvio, chamado declinação magnética.

Veja abaixo na figura a comparação do magnetismo terrestre com o produzido por um grande ímã natural.



1.12.11 Campo magnético das correntes elétricas

Em 1820 – acidentalmente segundo algumas versões – em uma de suas aulas, um professor de Amsterdã, deixou uma pequena bússola abaixo de um circuito elétrico e verificou que ela era defletida quando se ligava o circuito.

Esse professor, Hans Christian Oersted, repetiu várias vezes a experiência e concluiu que toda corrente elétrica gera ao redor de si um campo magnético. Oersted observou que a bússola se orientava de acordo com o campo magnético gerado pela corrente elétrica.

Com essa constatação, ficaram relacionados dois ramos da física, antes estudados separadamente, a eletricidade e o magnetismo, dando origem ao eletromagnetismo.

Na verdade, hoje se sabe que a eletricidade e o magnetismo são aspectos do mesmo fenômeno.

Uma característica importante que os distingue: no magnetismo não existe conceito equivalente à carga elétrica, embora exista conceito de pólo magnético com propriedades parecidas às da carga elétrica; enquanto na eletricidade existem cargas elétricas opostas, positivas e negativas, e partículas elementares portadoras dessa carga, no magnetismo não há pólos magnéticos isolados. Isso se evidencia por um fenômeno simples: a divisão de qualquer ímã sempre dá origem a outros ímãs, por menor que sejam.

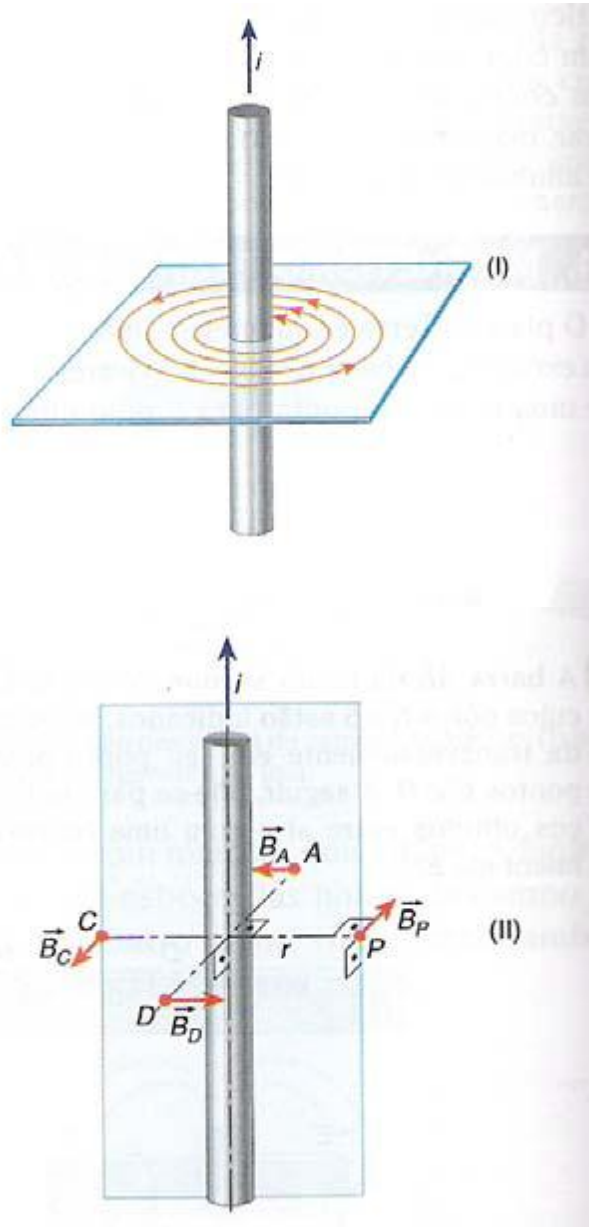
Vamos analisar o campo magnético gerado por condutores percorridos por corrente elétrica, com diferentes geometrias.

1.12.11.1 Fio reto e longo

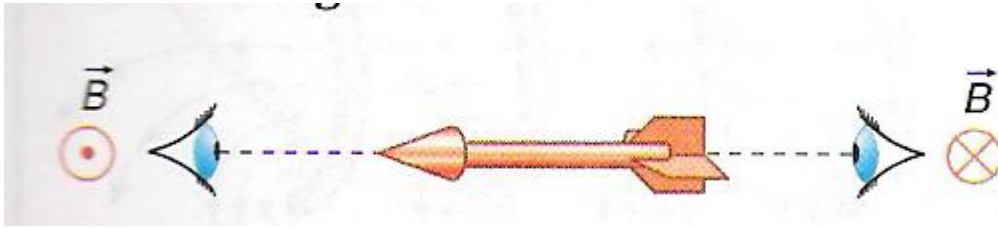
A direção do campo magnético é perpendicular ao plano determinado pelo ponto **P** e a reta que contém o fio. Trata-se de um problema tridimensional que precisamos representar na folha de caderno, uma superfície plana.

Na figura (I) abaixo as linhas de campo magnético gerado por uma corrente elétrica que passa por um fio reto e longo.

Enquanto a figura (II) indica a direção e o sentido do vetor magnético em quatro pontos: A, C, D e P.

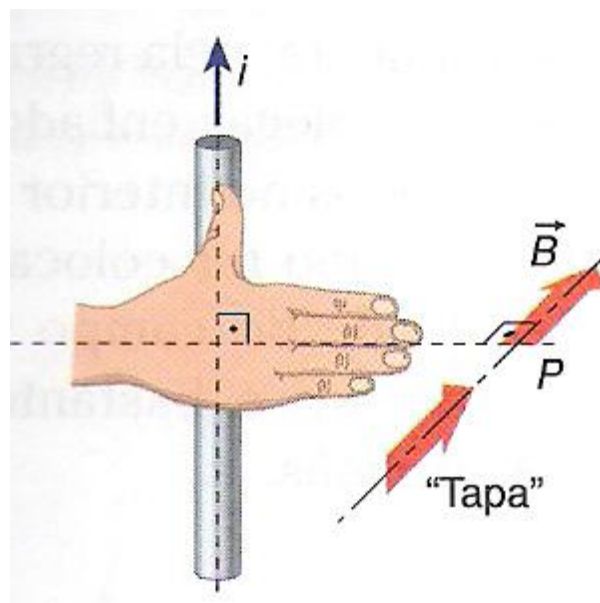


Para fazer a representação de um vetor perpendicular ao plano da página, devemos observar que ele tanto pode estar orientado no sentido de sair do plano da página quanto no sentido de entrar no mesmo plano. A convenção aceita universalmente é mostrada na figura abaixo:

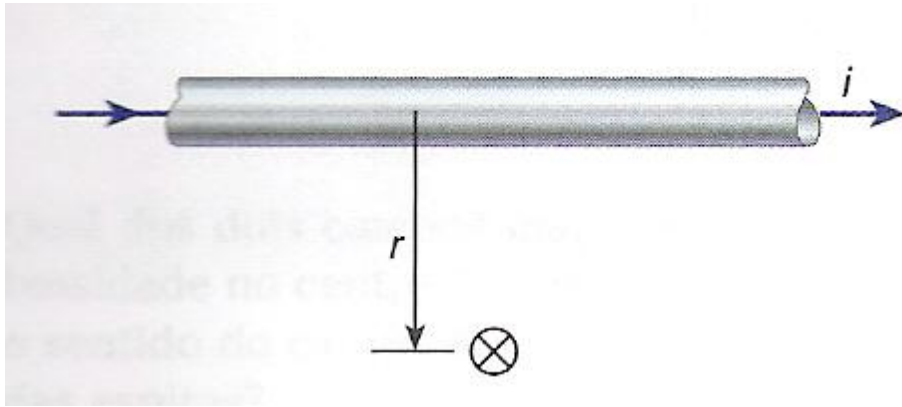


Para se determinar a direção e o sentido do vetor campo magnético gerado por uma corrente elétrica utiliza-se a regra prática conhecida como regra da mão direita.

Devemos imaginar a mão direita espalmada, com o polegar enfiado no fio, acompanhando o sentido da corrente. Os outros dedos devem ser levados para o ponto onde queremos determinar o vetor campo magnético. O empurrão que seria dado, pelos outros quatro dedos, determina o sentido do campo magnético gerado.



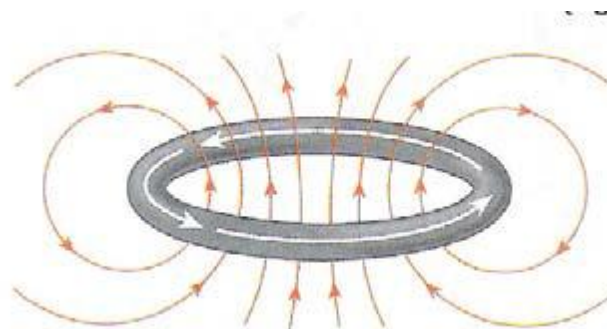
Experimentalmente, verificou-se que a intensidade do campo magnético criado por um fio longo e reto é proporcional à corrente que o atravessa e inversamente proporcional à distância do ponto ao fio.



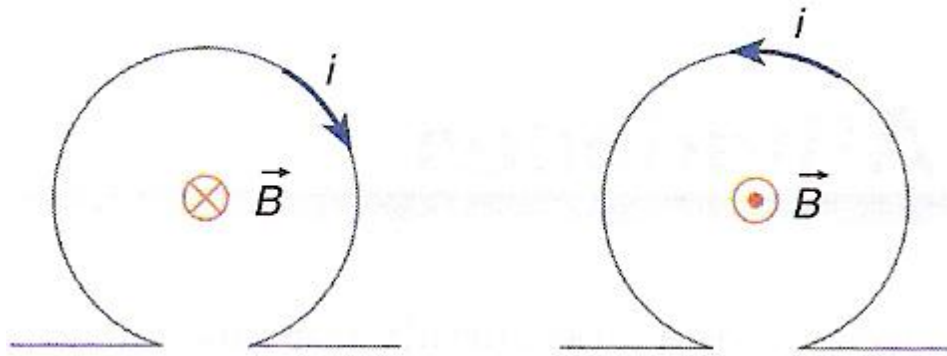
No SI, a unidade de campo magnético é tesla (**T**), em homenagem a Nicola Tesla (1856-1943), mentor, entre outras coisas, do motor elétrico e da corrente alternada.

1.12.11.2 Espira circular

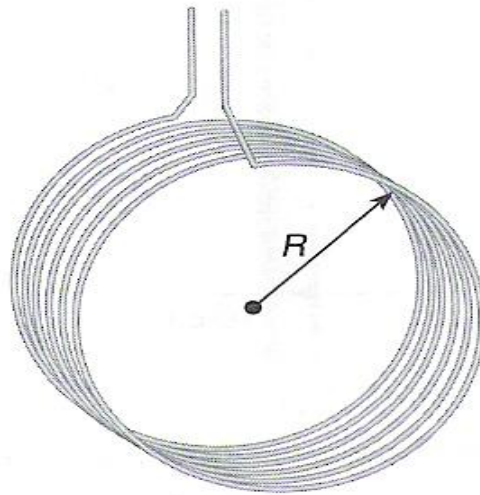
Ao ligar as duas pontas de um fio, estamos fazendo uma espira. Em geral, a espira é uma figura plana, como, por exemplo, um retângulo, um triângulo ou uma elipse. Se a figura perfizer uma circunferência, dizemos tratar-se de uma espira circular. Esta última tem particular interesse, dadas as inúmeras aplicações técnicas científicas.



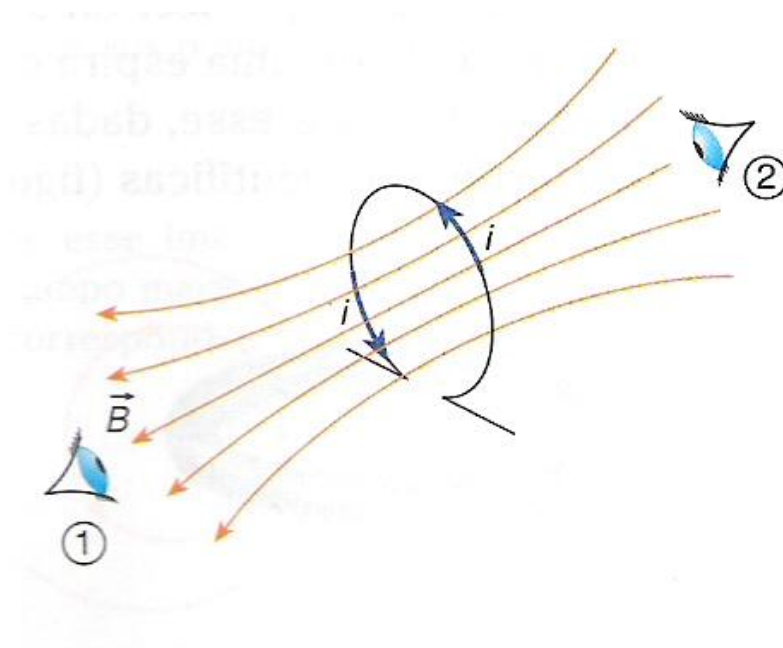
A direção do campo magnético é perpendicular ao plano da espira e, para determinar o sentido do campo magnético, utilizamos a regra da mão direita, imaginando cada trecho da circunferência como um pedaço de fio, reto e longo.



Se enrolarmos várias vezes um fio em torno de uma mesma circunferência, estaremos fazendo uma superposição de várias espiras e a intensidade de campo magnético ficará multiplicada pelo número de voltas efetuadas.

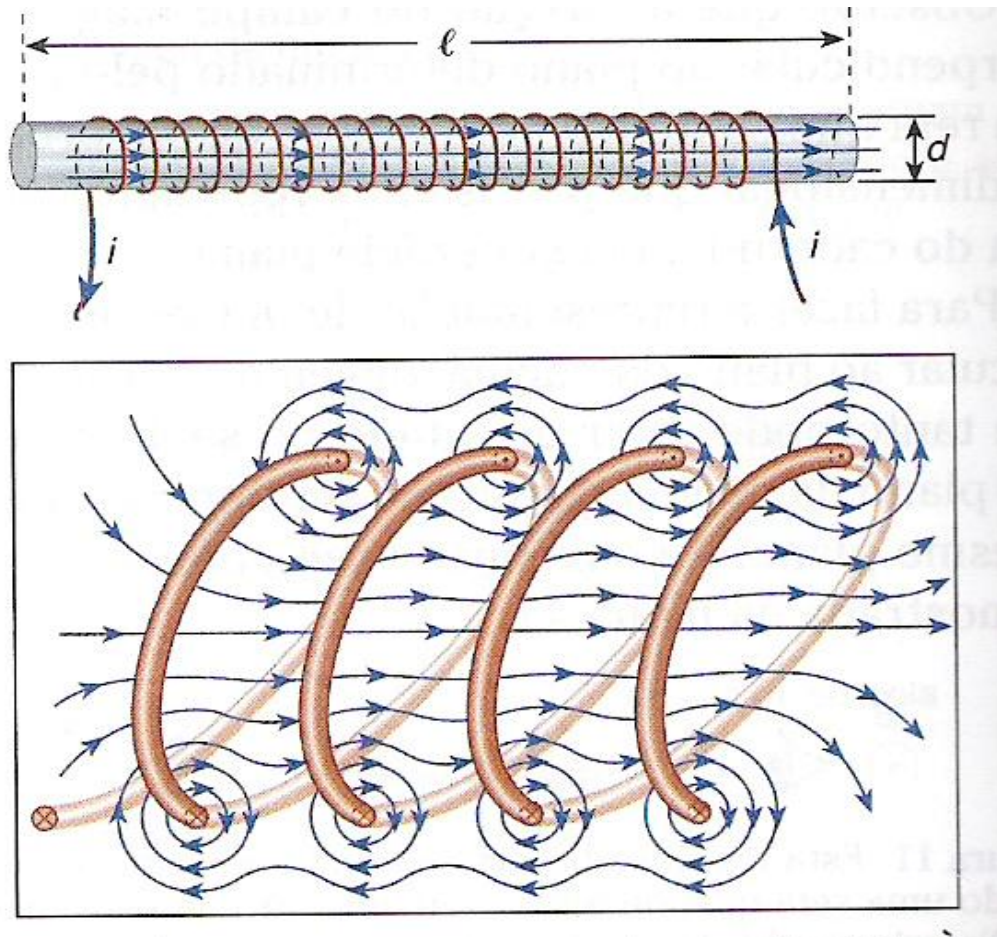


Na afigura a seguir, quando o observador 1 olha para a espira, “vê” linhas de campo saindo dela e a corrente com sentido anti-horário. Essa face corresponde ao pólo norte de um ímã. Já o observador 2 está diante de uma corrente que circula no sentido horário e “vê” linha de campo entrando na espira. Essa face corresponde ao pólo sul.



1.12.11.3 Solenóide

Chamamos de solenóide um enrolamento de fio que acompanha a superfície lateral de um cilindro. A idéia é, assim que terminar uma espira começa outra, e assim vamos enrolando o fio em volta do cilindro. Vamos considerar uma situação em que o comprimento do tubo predomina em relação ao seu diâmetro ($l \ll 10d$). Nesse caso, o campo magnético, no interior do solenóide, é aproximadamente uniforme, havendo apenas uma distorção nas extremidades, conforme a figura.



A direção do vetor campo magnético, no eixo interior do solenóide, é a direção do eixo. Já o sentido obtemos, novamente, pela regra da mão direita, imaginando-se o polegar enfiado num pedaço de fio e os outros dedos no interior do solenóide.

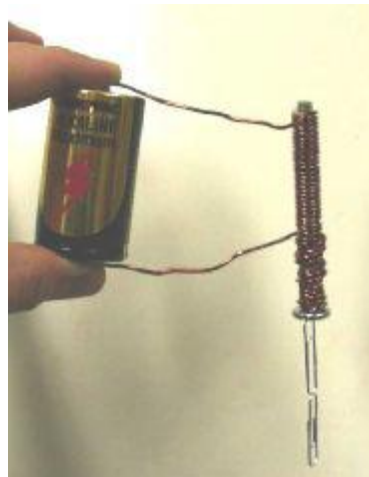
Se no interior do tubo for colocado um núcleo de ferro, a intensidade do campo magnético aumentará. Esse processo é bastante utilizado na construção de eletroímãs.

1.12.11.4 Eletroímã

Denominamos eletroímã um aparelho constituído de ferro doce (ferro que foi inicialmente aquecido e, em seguida esfriado lentamente), ao redor do qual é enrolado um condutor ou bobinas.

Quando há passagem de corrente, o ferro se imanta; quando cessa a corrente, este se desimanta; e, quando se inverte o sentido da corrente, o ferro

também inverte sua polaridade. O material que é atraído pelo eletroímã é chamado de armadura.



Os eletroímãs encontram utilidades práticas muito interessantes, mesmo os de pequenas dimensões, construídos com finalidades inicialmente experimentais ou para as feiras.

Um eletroímã pequeno pode servir para içar objetos de metal que tenham caído em locais inacessíveis. Puxando-o, de modo a arrastá-lo do fundo de um rio ou lagoa, você pode “pescar” objetos de metal perdidos ou pode construir um modelo de guindaste usando do eletroímã para elevar 'cargas ferromagnéticas' (arruelas, parafusos, pregos etc.).

O guindaste eletromagnético, utilizado para levantar peças pesadas de ferro, como lingotes ou sucatas. Outra aplicação importante é a campainha elétrica. A figura abaixo ilustra um guindaste eletromagnético.



1.13 MEDIDAS ELÉTRICAS

Medir é estabelecer uma relação numérica entre uma grandeza e outra, de mesma espécie, tomada como unidade. Medidas elétricas só podem ser realizadas com a utilização de instrumentos medidores, que permitem a quantificação de grandezas cujo valor não poderia ser determinado através dos sentidos humanos.

Comumente são utilizados em circuitos elétricos aparelhos destinados a medidas elétricas, chamados, genericamente por galvanômetros.

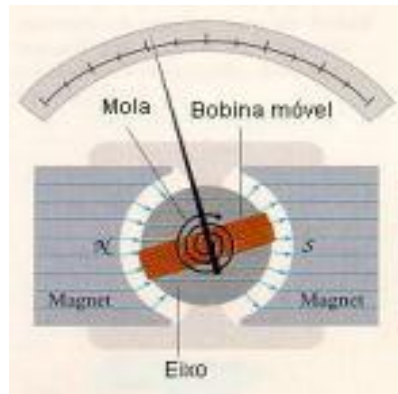


Figura 4.9 – Galvanômetro.

Caso este aparelho seja destinado à medida da intensidade da corrente elétrica num ramo do circuito, ele será chamado de amperímetro.

E no caso querermos medir tensão o aparelho nesse caso é chamado de voltímetro.

1.13.1 Amperímetro

Para medir a intensidade de uma corrente elétrica são construídos aparelhos geralmente denominados amperímetros (ou miliamperímetros, ou ainda microamperímetros). Esses aparelhos possuem dois terminais acessíveis e devem ser colocados no circuito de modo que a corrente a ser medida possa atravessá-los. Sua representação é indicada abaixo e deve ser ligado em série numa associação.

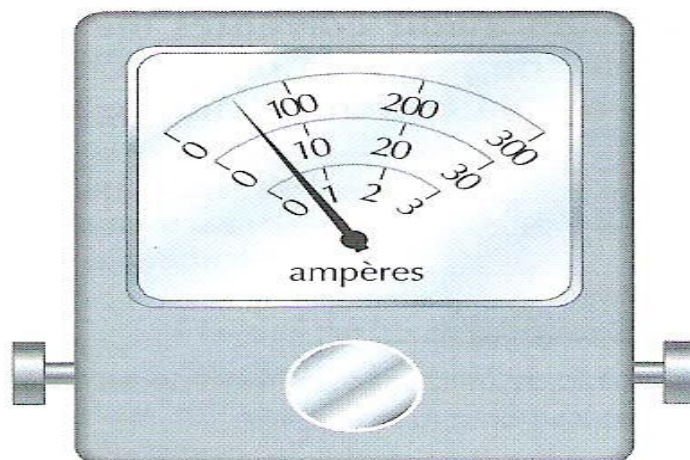


Figura 4.10 – Amperímetro.

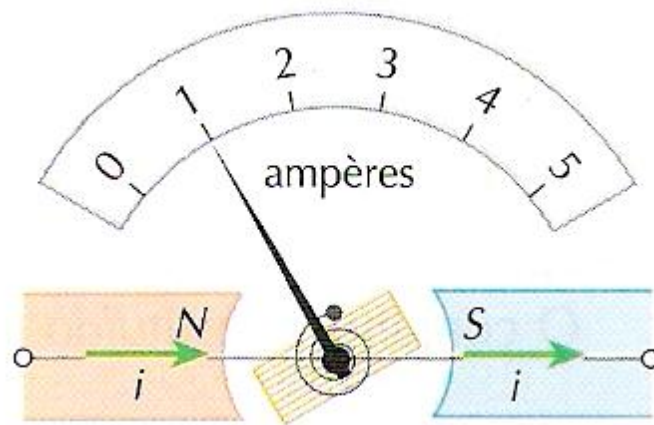


Figura 4.11 – Corrente passando pelo galvanômetro do amperímetro.

1.13.2 Voltímetro

Aparelho utilizado para medir a diferença de potencial (**d.d.p.**) entre dois pontos de um circuito elétrico. Sua representação é indicada abaixo e deve ser ligado em paralelo numa associação.

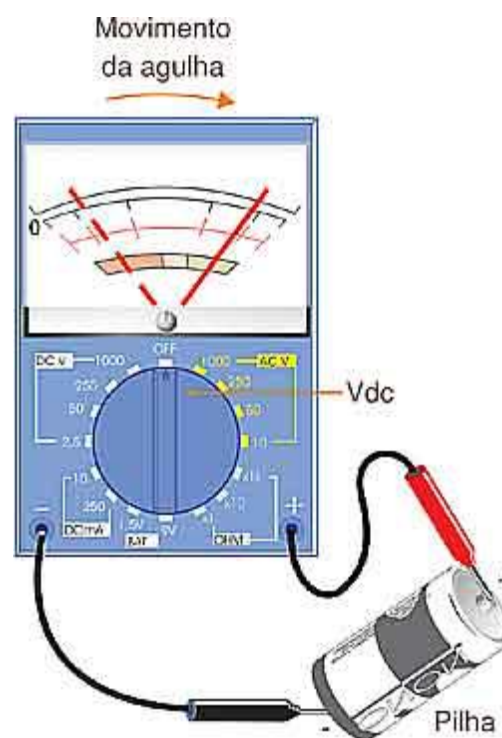


Figura 4.12 – Multímetro na escala de Corrente Contínua.

1.13.3 Ohmímetro

O ohmímetro é o instrumento para a medida da resistência elétrica. Em geral utiliza-se um multímetro numa das escalas de resistência.

Para a medida da resistência elétrica com o ohmímetro analógico ou digital, o dispositivo não pode estar conectado ao circuito (pelo menos um de seus terminais deve estar livre) e nem submetido a qualquer tensão.

O ohmímetro analógico possui uma única escala graduada logaritmicamente, começando em zero (extremidade direita) e terminando em infinito (extremidade esquerda). Nele, as escalas são determinadas por múltiplo de 10 que deve ser multiplicado pelo valor indicado pelo ponteiro, sendo as escalas mais comuns x1, x10, x100, xK, x10K. No ohmímetro digital, por existir escala graduada, o valor da resistência é mostrado diretamente no display, necessitando escolher apenas o fundo de escala mais adequado, sendo os mais comuns: 20W :, 200W :, 2KW :, 20KW :, 200KW : 2MW :.

A medida é realizada ligando-se as pontas de prova do ohmímetro em paralelo com os terminais do resistor.



1.13.4 O Multímetro

Para os eletricitas é muito útil possuir um único aparelho que lhes permita fazer medidas de ddp, de corrente e de resistências elétricas. Tal aparelho existe e é

denominado multímetro. Temos então, num único aparelho, um voltímetro, um amperímetro e um ohmímetro.

Geralmente, o multímetro deve ser usado com cuidado, possuindo uma chave seletora cuja posição determina a grandeza a ser medida, ou uma série de orifícios onde devem ser introduzidos os pinos de ligação. Cada um dos medidores costuma ter mais de um fundo de escala, conforme a ordem de grandeza do valor a ser medido.



Figura 4.14 – Multímetro Analógico.

Como Escolher um Multímetro

Existem no mercado umas variedades de multímetros, mas como escolher os melhores. Há instrumentos menores com uma menor sensibilidade e menor número de escalas, até os maiores, com instrumentos ultra-sensíveis com um elevado numero de escalas, alguns possuindo mais recursos além dos tradicionais.

São os seguintes pontos que você deve observar na escolha de um multímetro:

- Sensibilidade – Multímetros com escalas de correntes menores que $50\mu\text{A}$ são excelentes, entretanto a especificação da sensibilidade não é dada normalmente em termos de corrente de fundo de escala, mas pelas especificações de sensibilidade dadas por Ohms ou Volt. A sensibilidade é o quanto um instrumento pode interferir na medida qualquer que seja. O instrumento será melhor quando menor for sua interferência sobre a medida
- Número de escalas para cada grandeza – Os multímetros devem ser capazes de medir grandezas como tensões contínuas e alternadas, corrente contínuas e resistência. Para as tensões contínuas, os multímetros devem ser capazes de medir valores como 0,5V ou 0,6V encontrados em circuito transistorizados e até 1500V ou 1800V para circuitos de TV, é comum encontrarmos de 3 a 8 escalas de tensões em multímetros comuns. Existem ainda alguns multímetros que possuem a ponta de alta tensão (MAT – Muito alta Tensão) para as medidas acima de 3000V como as encontradas nos tubos de TV. Para as tensões alternadas é muito importante o valor 110V e 220V que será encontrado em qualquer tomada doméstica. Para as correntes teremos de uma a cinco faixas com valores tipicamente não alcançando 1A, já que correntes maiores devem ser medidas por procedimentos especiais. E, finalmente que o multímetro tenha uma escala de resistência até 10k, para podermos ler uma resistência com precisão.

Como usar um Multímetro

O uso de um multímetro é muito simples. Não importa se ele é analógico ou digital, o processo é o mesmo. Olhando para um multímetro típico temos uma chave seletora de escalas. Esta chave tem a função de selecionar a grandeza a ser medida (corrente, tensão, resistência) e também o valor do fundo de escala – valor máximo de cada escala – assim colocando o multímetro na escala de 10VDC será possível realizar medidas de tensão até 10V.

São usados normalmente conectores fêmeas, onde são encaixados as pontas de prova do multímetro, você deverá observar que um conector tem marcado as letras COM(de comum). Nesse conector devemos encaixar a ponta de prova preta e no conector que tem marcado as letras V-: -A ou V-: deve-se encaixar a ponta vermelha.

Recomendações Básicas

- Ao medir uma grandeza de cujo valor você não tem a menor idéia, o ideal é sempre posicionar o multímetro na maior escala da grandeza no qual se deseja medir e ir abaixando a escala até que tenha uma leitura precisa e agradável;
- Deve-se selecionar a escala antes de conectar o multímetro no circuito a ser medido. Podendo danificar o aparelho (ou um pequeno fusível de vidro de proteção que o mesmo possui internamente) caso utilize ele na escala errada como, por exemplo, tentar medir corrente ou tensão na escala para resistência.

REFERENCIAS

BOYLESTAD, Robert L. NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e teoria de circuitos. Local: São Paulo, 8ª edição.

CREDER, Helio. Instalações Elétricas. 12 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.

NISKIER, J; MACINTYRE, AJ. Instalações Elétricas. 2. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1992.

<www.saladefisica.cbj.net>

<www.eletronicapro.com.br> .

<www.portaldofrancisco.com.br>.

<www.infoescola.com>

<www.oocities.org>.