



Centro de Formação Profissional “Fidélis Reis”

Curso de Eletricidade Básica

FIEMG

CIEMG

SESI

SENAI

IEL

Sistema FIEMG



Presidente da FIEMG

Robson Braga de Andrade

Gestor do SENAI

Petrônio Machado Zica

Diretor Regional do SENAI e

Superintendente de Conhecimento e Tecnologia

Alexandre Magno Leão dos Santos

Gerente de Educação e Tecnologia

Edmar Fernando de Alcântara

Unidade Operacional

Centro de Formação Profissional “Fidélis Reis”

FIEMG

CIEMG

SESI

SENAI

IEL

Sistema FIEMG



Sumário

APRESENTAÇÃO.....	1
1 - ENERGIA.....	2
2 - MATÉRIA.....	6
2.1 - COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA	6
2.2 - MOLÉCULA.....	7
2.3 - ÁTOMO	7
2.4 - CONSTITUIÇÃO DO ÁTOMO.....	8
2.5 - ÍONS	9
2.6 - EXERCÍCIOS	10
3 - FUNDAMENTOS DA ELETROSTÁTICA.....	12
3.1 - TIPOS DE ELETRICIDADE.....	12
3.2 - ELETROSTÁTICA.....	12
3.3 - DESCARGAS ELÉTRICAS	14
3.4 - RELAÇÃO ENTRE DESEQUILÍBRIO E POTENCIAL ELÉTRICO.....	15
3.5 - CARGA ELÉTRICA.....	15
3.6 - DIFERENÇA DE POTENCIAL	16
3.7 - UNIDADE DE MEDIDA DE TENSÃO ELÉTRICA.....	17
3.8 - PILHA OU BATERIA ELÉTRICA.....	18
3.10 - EXERCÍCIOS	20
4 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	23
4.1 - FONTES GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA	23
4.2 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR AÇÃO TÉRMICA	24
4.3 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR AÇÃO DE LUZ	24
4.4 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR AÇÃO MECÂNICA	25
4.5 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR AÇÃO QUÍMICA.....	25
4.6 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR AÇÃO MAGNÉTICA	26
4.7 - EXERCÍCIOS	27
5 - CORRENTE ELÉTRICA.....	28
5.1 - CORRENTE ELÉTRICA	28
5.2 - DESCARGAS ELÉTRICAS	28
5.3 - UNIDADE DE MEDIDA DE CORRENTE	29
5.4 - AMPERÍMETRO	31

FIEMG

CIEMG

SESI

SENAI

IEL

5.5 - CORRENTE CONTÍNUA	31
5.6 - EXERCÍCIOS	31
6 - RESISTÊNCIA ELÉTRICA	33
6.1 - RESISTÊNCIA ELÉTRICA	33
6.2 - UNIDADE DE MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA	34
6.3 - SEGUNDA LEI DE OHM	36
6.3.1 - Resistividade Elétrica	37
6.3.2 - Influência da Temperatura sobre a Resistência	38
6.4 - EXERCÍCIOS	40
7 - CIRCUITOS ELÉTRICOS	42
7.1 - MATERIAIS CONDUTORES	42
7.2 - MATERIAIS ISOLANTES	44
7.3 - CIRCUITO ELÉTRICO	45
7.4 - SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA	47
7.5 - SIMBOLOGIA DOS COMPONENTES DE UM CIRCUITO	48
7.6 - TIPOS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS	49
7.6.1 - Circuito Série	49
7.6.2 - Circuito Paralelo	49
7.6.3 - Circuito Misto	50
7.7 - EXERCÍCIOS	50
8 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS	53
8.1 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS	53
8.2 - TIPOS DE ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS	53
8.2.1 - Associação em Série	54
8.2.2 - Associação em Paralelo	54
8.2.3 - Associação Mista	55
8.3 - RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE UMA ASSOCIAÇÃO SÉRIE	55
8.4 - RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE UMA ASSOCIAÇÃO EM PARALELO	56
8.5 - RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE UMA ASSOCIAÇÃO MISTA	60
8.6 - EXERCÍCIOS	63
9 - LEI DE OHM	71
9.1 - DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA PRIMEIRA LEI DE OHM	71
9.2 - APLICAÇÃO DA LEI DE OHM	74
9.3 - EXERCÍCIOS	76
10 - POTÊNCIA ELÉTRICA EM CC	79
10.1 - POTÊNCIA ELÉTRICA EM CC	79
10.2 - TRABALHO ELÉTRICO	80
10.3 - POTÊNCIA ELÉTRICA	80
10.4 - UNIDADE DE MEDIDA DA POTÊNCIA ELÉTRICA	81

10.5 - DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE UM CONSUMIDOR EM CC	82
10.6 - POTÊNCIA NOMINAL	86
10.7 - LIMITE DE DISSIPACÃO DE POTÊNCIA	86
10.8 - EXERCÍCIOS	87
11 - PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF	92
11.1 - PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF	92
11.1.1 - Características do Circuito em Paralelo	93
11.1.2 - As correntes na Associação em Paralelo	93
11.1.3 - Demonstração da 1ª Lei de Kirchhoff	96
11.2 - EXERCÍCIOS	97
11.3 - SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF	102
11.3.1 - Características do Circuito Série	102
11.3.2 - Corrente na Associação em Série	103
11.3.3 - Tensões no Circuito em Série	104
11.3.4 - Determinação da Queda de Tensão	105
11.3.5 - Aplicação	106
11.4 - LEIS DE KIRCHHOFF E DE OHM EM CIRCUITOS MISTOS	106
11.4.1 - Determinação da Resistência Equivalente	107
11.4.2 - Determinação da Corrente Total	107
11.4.3 - Determinação das Tensões e Correntes Individuais	108
11.5 - EXERCÍCIOS	114
12 - CAPACITORES	120
12.1 - CAPACITOR	120
12.2 - ARMAZENAMENTO DE CARGA	121
12.3 - DESCARGA DO CAPACITOR	122
12.4 - CAPACITÂNCIA	123
12.5 - TENSÃO DE TRABALHO	124
12.6 - ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES	124
12.6.1 - Associação Paralela de Capacitores Polarizados	126
12.6.2 - Associação Série de Capacitores	126
12.6.3 - Tensão de Trabalho da Associação Série	128
12.6.4 - Associação Série de Capacitores Polarizados	129
12.7 - EXERCÍCIOS	129
13 - MAGNETISMO	132
13.1 - MAGNETISMO	132
13.2 - ÍMÃS	133
13.3 - PÓLOS MAGNÉTICOS DE UM ÍMÃ	133
13.4 - ORIGEM DO MAGNETISMO	134
13.5 - INSEPARABILIDADE DOS PÓLOS	135
13.6 - INTERAÇÃO ENTRE ÍMÃS	135
13.7 - CAMPO MAGNÉTICO - LINHAS DE FORÇA	135

13.8 - CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME	137
13.8.1 - Fluxo da Indução Magnética.....	137
13.8.2 - Densidade de Fluxo ou Indução Magnética.....	137
13.9 - IMANTAÇÃO OU MAGNETIZAÇÃO	139
13.10 - EXERCÍCIOS.....	141
14 - ELETROMAGNETISMO.....	143
14.1 - ELETROMAGNETISMO	143
14.1.1 - Campo magnético em um condutor	143
14.2 - CAMPO MAGNÉTICO EM UMA BOBINA (OU SOLENÓIDE)	145
14.3 - MAGNETISMO REMANENTE	146
14.4 - EXERCÍCIOS	147
15 - INDUTORES.....	150
15.1 - INDUÇÃO.....	150
15.2 - AUTO-INDUÇÃO.....	151
15.3 - INDUTÂNCIA	154
15.4 - ASSOCIAÇÃO DE INDUTORES	156
15.4.1 - Associação em Série	156
15.4.2 - Associação em Paralelo	156
15.5 - EXERCÍCIOS.....	157

FIEMG

CIEMG

SESI

SENAI

IEL

Apresentação

“Muda a forma de trabalhar, agir, sentir, pensar na chamada sociedade do conhecimento. “

Peter Drucker

O ingresso na sociedade da informação exige mudanças profundas em todos os perfis profissionais, especialmente naqueles diretamente envolvidos na produção, coleta, disseminação e uso da informação.

O **SENAI**, maior rede privada de educação profissional do país, sabe disso, e, consciente do seu papel formativo, educa o trabalhador sob a égide do conceito da competência: **“formar o profissional com responsabilidade no processo produtivo, com iniciativa na resolução de problemas, com conhecimentos técnicos aprofundados, flexibilidade e criatividade, empreendedorismo e consciência da necessidade de educação continuada.”**

Vivemos numa sociedade da informação. O conhecimento, na sua área tecnológica, amplia-se e se multiplica a cada dia. Uma constante atualização se faz necessária. Para o **SENAI**, cuidar do seu acervo bibliográfico, da sua infraestrutura, da conexão de suas escolas à rede mundial de informações – internet - é tão importante quanto zelar pela produção de material didático.

Isto porque, nos embates diários, instrutores e alunos, nas diversas oficinas e laboratórios do **SENAI**, fazem com que as informações, contidas nos materiais didáticos, tomem sentido e se concretizem em múltiplos conhecimentos.

O **SENAI** deseja, por meio dos diversos materiais didáticos, aguçar a sua curiosidade, responder às suas demandas de informações e construir *links* entre os diversos conhecimentos, tão importantes para sua formação continuada!

Gerência de Educação e Tecnologia

1 - Energia

Freqüentemente usamos a palavra energia. Às vezes, ouvimos dizer que determinado alimento é rico em energia, que recebemos energia do sol ou então, que o custo da energia elétrica aumentou. Fala-se também em energia térmica, química, nuclear... A energia está presente em quase todas as atividades do homem moderno.

Por isso, para o profissional da área eletroeletrônica, é primordial conhecer os segredos da energia elétrica.

Neste primeiro capítulo, estudaremos algumas formas de energia que se conhece, sua conservação e unidades de medida.

1.1 - Energia e Trabalho

A energia está sempre associada a um trabalho. Por isso, dizemos que energia é a capacidade que um corpo possui de realizar um trabalho. Como exemplo de energia, pode-se citar uma mola comprimida ou estendida, e a água, represada ou corrente.

Assim como há vários modos de realizar um trabalho, também há várias formas de energia. Em nosso curso, falaremos mais sobre a energia elétrica e seus efeitos, porém devemos ter conhecimentos sobre outras formas de energia.

Dentre as muitas formas de energia que existem, podemos citar:

- energia potencial;
- energia cinética;
- energia mecânica;
- energia térmica;
- energia química;
- energia elétrica.

A energia é **potencial** quando se encontra em repouso, ou seja, armazenada em um determinado corpo. Como exemplo de energia potencial, pode-se citar um veículo no topo de uma ladeira e a água de uma represa.

A energia **cinética** é a consequência do movimento de um corpo. Como exemplos de energia cinética pode-se citar um esquetista em velocidade que aproveita a energia cinética para subir uma rampa ou a abertura das comportas de uma represa que faz girarem as turbinas dos geradores das hidroelétricas.

A energia **mecânica** é a soma da energia potencial com a energia cinética presentes em um determinado corpo. Ela se manifesta pela produção de um trabalho mecânico, ou seja, o deslocamento de um corpo. Como exemplo de energia mecânica podemos citar um operário empurrando um carrinho ou um torno em movimento.

A energia **térmica** se manifesta através da variação da temperatura nos corpos. A máquina a vapor, que usa o calor para aquecer a água transformando-a em vapor que acionará os pistões, pode ser citada como exemplo de energia térmica.

A energia **química** manifesta-se quando certos corpos são postos em contato, proporcionando reações químicas. O exemplo mais comum de energia química é a pilha elétrica.

A energia **elétrica** manifesta-se por seus efeitos magnéticos, térmicos, luminosos, químicos e fisiológicos. Como exemplo desses efeitos, podemos citar:

- a rotação de um motor (efeito magnético),
- o aquecimento de uma resistência para esquentar a água do chuveiro (efeito térmico),
- a luz de uma lâmpada (efeito luminoso),
- a eletrólise da água (efeito químico),
- a contração muscular de um organismo vivo ao levar um choque elétrico (efeito fisiológico).

1.2 - Conservação de Energia

A energia não pode ser criada, nem destruída. Ela nunca desaparece, apenas se transforma, ou seja, passa de uma forma de energia para outra.

Há vários tipos de transformação de energia e vamos citar os mais comuns:

transformação de energia química em energia elétrica por meio da utilização de baterias ou acumuladores que, por meio de uma reação química geram ou armazenam energia elétrica.

Transformação de energia mecânica em energia elétrica, quando a água de uma represa flui através das comportas e aciona as turbinas dos geradores da hidroelétrica.

Transformação de energia elétrica em mecânica que acontece nos motores elétricos que, ao receberem a energia elétrica em seu enrolamento, transformam-na em energia mecânica pela rotação de seu eixo.

1.3 - Unidades de Medida de Energia

Para melhor conhecermos as grandezas físicas, é necessário medi-las. Há grandezas cuja medição é muito simples. Por exemplo, para se medir o comprimento, basta apenas uma régua ou uma trena. Outras grandezas, porém exigem aparelhos complexos para sua medição.

As unidades de medida das grandezas físicas são agrupadas em sistemas de unidades onde as medidas foram reunidas e padronizadas no **Sistema Internacional de Unidades**, abreviado para a sigla **SI**.

A unidade de medida de energia é chamada **joule**, representada pela letra **J**, e corresponde ao trabalho realizado por uma força constante de um newton (unidade de medida de força) que desloca seu ponto de aplicação de um metro na sua direção.

As grandezas formadas com prefixos SI têm múltiplos e submúltiplos. Os principais são apresentados na tabela a seguir.

Prefixo SI	Símbolo	Fator multiplicador
Giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
Mega	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$
Quilo	K	$10^3 = 1\ 000$
Mili	m	$10^{-3} = 0,001$
Micro	μ	$10^{-6} = 0,000\ 001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
Pico	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$

Você deve se familiarizar com todas as unidades com os prefixos SI e suas unidades

derivadas, pois elas serão usadas durante todo o curso.

1.4 - Exercícios

Responda às seguintes perguntas:

a) O que é energia?

b) Cite dois tipos de transformação de energia.

c) Cite três formas de energia.

d) Dê um exemplo prático de energia cinética, não citado no texto.

e) Qual é a unidade de medida de energia?

f) Cite um efeito fisiológico da energia elétrica.

2 - Matéria

O estudo da matéria e sua composição é fundamental para a compreensão da teoria eletrônica. Por isso, neste capítulo estudaremos o arranjo físico das partículas que compõem o átomo e a maneira como essas partículas se comportam. Isso facilitará muito o estudo dos fenômenos que produzem a eletricidade.

2.1 - Composição da Matéria

Matéria é tudo aquilo que nos cerca e que ocupa um lugar no espaço. Ela se apresenta em porções limitadas que recebem o nome de corpos. Estes podem ser **simples** ou **compostos**.

Observação

Existem coisas com as quais temos contato na vida diária que não ocupam lugar no espaço, não sendo, portanto, matéria. Exemplos desses fenômenos são o som, o calor e a eletricidade.

Corpos simples são aqueles formados por um único átomo. São também chamados de elementos. O ouro, o cobre, o hidrogênio são exemplos de elementos.

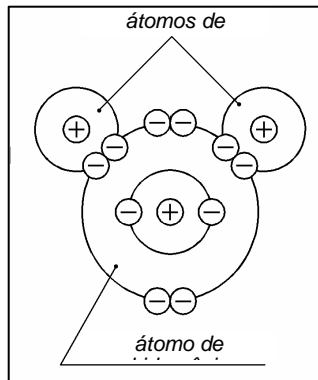
Corpos compostos são aqueles formados por uma combinação de dois ou mais elementos. São exemplos de corpos compostos o cloreto de sódio (ou sal de cozinha) que é formado pela combinação de cloro e sódio, e a água, formada pela combinação de oxigênio e hidrogênio.

A matéria e, conseqüentemente, os corpos compõem-se de **moléculas** e **átomos**.

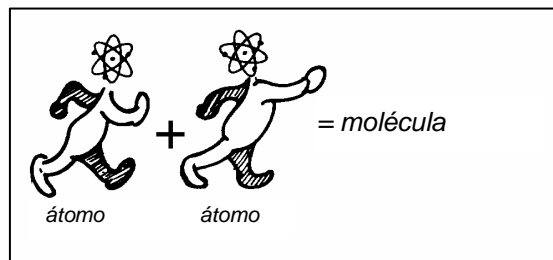
2.2 - Molécula

Molécula é a menor partícula em que se pode dividir uma substância de modo que ela mantenha as mesmas características da substância que a originou.

Tomemos como exemplo uma gota de água: se ela for dividida continuamente, tornar-se-á cada vez menor, até chegarmos à menor partícula que conserva as características da água, ou seja, a **molécula de água**. Veja, na ilustração a seguir, a representação de uma molécula de água.



As moléculas se formam porque, na natureza, todos os elementos que compõem a matéria tendem a procurar um equilíbrio elétrico.



2.3 - Átomo

Os animais, as plantas, as rochas, as águas dos rios, lagos e oceanos e tudo o que nos cerca é composto de **átomos**.

O átomo é a **menor** partícula em que se pode dividir um elemento e que, ainda assim, conserva as propriedades físicas e químicas desse elemento.

Observação

Os átomos são tão pequenos que, se forem colocados 100 milhões deles um ao lado do outro, formarão uma reta de apenas 10 mm de comprimento.

O átomo é formado de numerosas partículas. Todavia, estudaremos somente aquelas que mais interessam à teoria eletrônica.

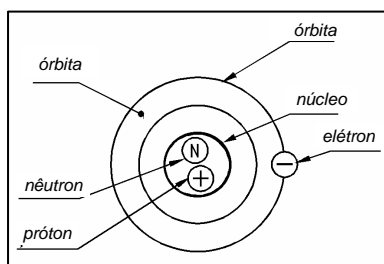
Existem átomos de materiais como o cobre, o alumínio, o neônio, o xenônio, por exemplo, que já apresentam o equilíbrio elétrico, não precisando juntar-se a outros átomos. Esses átomos, sozinhos, são considerados moléculas também.

2.4 - Constituição do Átomo

O átomo é formado por uma parte central chamada **núcleo** e uma parte periférica formada pelos **elétrons** e denominada **eletrosfera**.

O núcleo é constituído por dois tipos de partículas: os **prótons**, com carga **positiva**, e os **nêutrons**, que são eletricamente neutros.

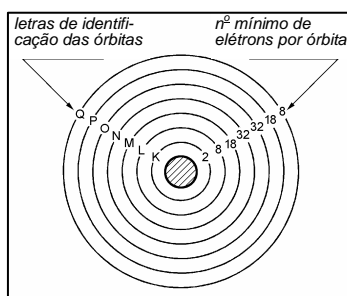
Veja a representação esquemática de um átomo na ilustração a seguir.



Os prótons, juntamente com os nêutrons, são os responsáveis pela parte mais pesada do átomo.

Os elétrons possuem carga **negativa**. Como os planetas do sistema solar, eles giram na eletrosfera ao redor do núcleo, descrevendo trajetórias que se chamam **órbitas**.

Na eletrosfera os elétrons estão distribuídos em camadas ou níveis energéticos. De acordo com o número de elétrons, ela pode apresentar de 1 a 7 níveis energéticos, denominados K, L, M, N, O, P e Q.



Os átomos podem ter uma ou várias órbitas, dependendo do seu número de elétrons. Cada órbita contém um número específico de elétrons.

A distribuição dos elétrons nas diversas camadas obedece a regras definidas. A regra mais importante para a área eletroeletrônica refere-se ao nível energético mais distante do núcleo, ou seja, a camada externa: o número **máximo** de elétrons nessa camada é de oito elétrons.

Os elétrons da órbita externa são chamados elétrons livres, pois têm uma certa facilidade de se desprenderem de seus átomos. Todas as reações químicas e elétricas acontecem nessa camada externa, chamada de **nível** ou **camada de valência**.

A teoria eletrônica estuda o átomo só no aspecto da sua eletrosfera, ou seja, sua região periférica ou orbital.

2.5 - Íons

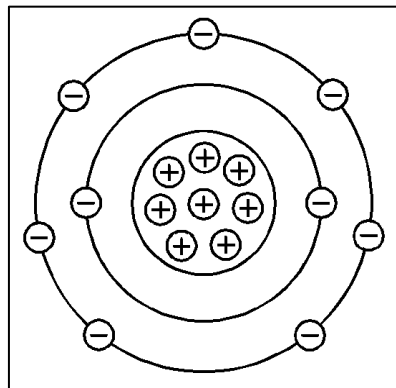
No seu estado natural, o átomo possui o número de prótons igual ao número de elétrons. Nessa condição, dizemos que o átomo está **em equilíbrio** ou **eletricamente neutro**.

O átomo está em desequilíbrio quando tem o número de elétrons **maior** ou **menor** que o número de prótons. Esse desequilíbrio é causado sempre por forças externas que podem ser **magnéticas, térmicas** ou **químicas**.

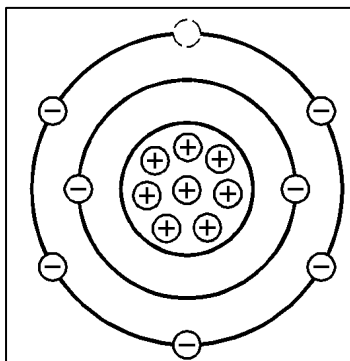
O átomo em **desequilíbrio** é chamado de **íon**. O íon pode ser negativo ou positivo. Os **íons negativos** são os **ânions** e os **íons positivos** são os **cátions**.

Íons negativos, ou seja, ânions, são átomos que **receberam** elétrons.

Prótons = +8
Elétrons = -9
Resultado = -1



Íons positivos, ou seja, cátions, são átomos que **perderam** elétrons.



Prótons = +8

Elétrons = -7

Resultado = +1

A transformação de um átomo em íon ocorre devido a forças externas ao próprio átomo. Uma vez cessada a causa externa que originou o íon, a tendência natural do átomo é atingir o equilíbrio elétrico. Para atingir esse equilíbrio, ele cede elétrons que estão em excesso ou recupera os elétrons em falta.

2.6 - Exercícios

Resolva as seguintes questões:

a) Quais as partículas subatômicas que constituem o átomo?

b) Relacione a segunda coluna com a primeira.

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Região central do átomo, formada pelo agrupamento dos prótons e dos nêutrons | () camada de valência |
| 2. Região do espaço onde os elétrons se movimentam | () camadas ou níveis energéticos |
| 3. Os elétrons que orbitam ao redor do núcleo do átomo estão distribuídos em | () núcleo |
| 4. Camada externa de eletrosfera onde se realizam as reações químicas e elétricas | () eletrosfera |
| | () prótons |

c) Qual a condição necessária para que um átomo esteja em equilíbrio elétrico?

d) Como se denomina um átomo que perdeu elétrons na sua camada de valência?

e) Como se denomina um átomo que recebeu elétrons na camada de valência?

f) O que se pode afirmar a respeito do número de elétrons e prótons de um íon positivo?

g) Quais elétrons são denominados de elétrons livres?

h) Qual é a carga elétrica dos prótons, nêutrons e elétrons?

i) O que é molécula?

j) O que é camada de valência?

k) Qual é a diferença entre ânions e cátions?

l) Cite algo que não seja matéria.

3 - Fundamentos da Eletrostática

Quando ligamos um aparelho de televisão, rádio ou máquina de calcular, estamos utilizando eletricidade e, como vimos no capítulo anterior, a eletricidade é uma forma de energia que está presente em tudo o que existe na natureza.

Para compreender o que são os fenômenos elétricos e suas aplicações, neste capítulo estudaremos o que é eletricidade estática; o que é tensão, suas unidades de medida e as fontes geradoras de tensão.

Para estudar este capítulo com mais facilidade, você deve ter bons conhecimentos anteriores sobre o comportamento do átomo e suas partículas.

3.1 - Tipos de Eletricidade

A eletricidade é uma forma de energia que faz parte da constituição da matéria. Existe, portanto, em todos os corpos.

O estudo da eletricidade é organizado em dois campos: a **eletrostática** e a **eletrodinâmica**.

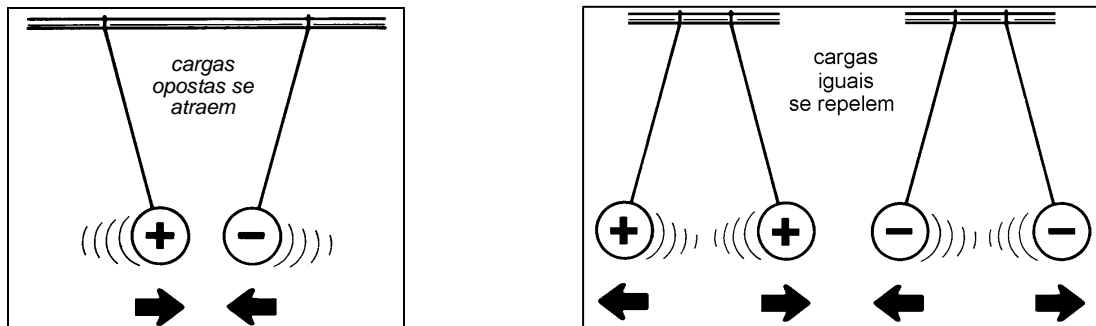
3.2 - Eletrostática

Eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a **eletricidade estática**. Dá-se o nome de eletricidade estática à eletricidade produzida por cargas elétricas **em repouso** em um corpo.

Na eletricidade estática, estudamos as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso nos corpos eletrizados.

Um corpo se eletriza **negativamente (-)** quando **ganha** elétrons e **positivamente (+)** quando **perde** elétrons.

Entre corpos eletrizados, ocorre o efeito da **atração** quando as cargas elétricas têm **sinais contrários**. O efeito da **repulsão** acontece quando as cargas elétricas dos corpos eletrizados têm **sinais iguais**.

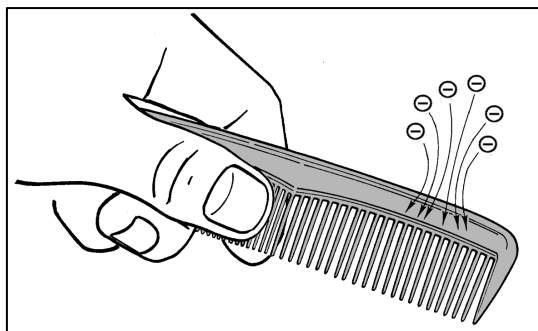


No estado natural, qualquer porção de matéria é eletricamente **neutra**. Isso significa que, se nenhum agente externo atuar sobre uma determinada porção da matéria, o número total de prótons e elétrons dos seus átomos será **igual**.

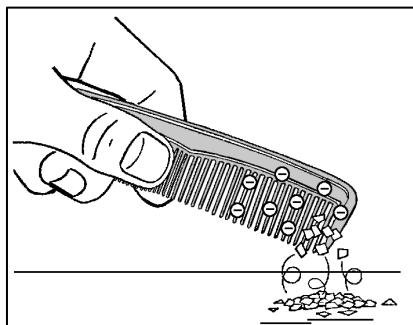
Essa condição de equilíbrio elétrico natural da matéria pode ser desfeita, de forma que um corpo deixe de ser neutro e fique carregado eletricamente.

O processo pelo qual se faz com que um corpo eletricamente neutro fique carregado é chamado **eletrização**.

A maneira mais comum de se provocar eletrização é por meio de **atrito**. Quando se usa um pente, por exemplo, o atrito provoca uma **eletrização negativa** do pente, isto é, o pente **ganha** elétrons.



Ao aproximarmos o pente eletrizado positivamente de pequenos pedaços de papel, estes são atraídos momentaneamente pelo pente, comprovando a existência da eletrização.

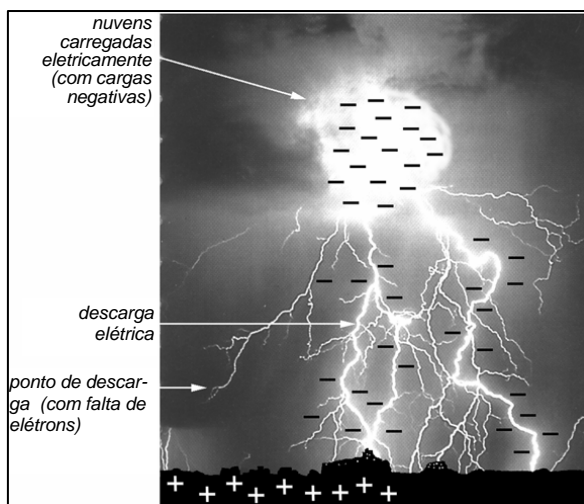


A eletrização pode ainda ser obtida por outros processos como, por exemplo, por contato ou por indução. Em qualquer processo, contudo, obtém-se corpos carregados eletricamente.

3.3 - Descargas Elétricas

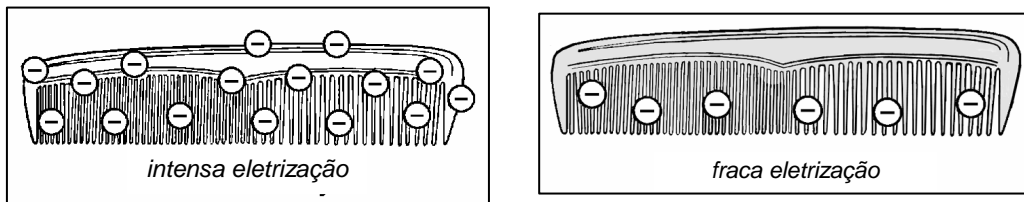
Sempre que dois corpos com cargas elétricas **contrárias** são colocados próximos um do outro, em condições favoráveis, o **excesso de elétrons** de um deles **é atraído** na direção daquele que está com falta de elétrons, sob a forma de uma descarga elétrica. Essa descarga pode se dar por contato ou por arco.

Quando dois materiais possuem grande diferença de cargas elétricas, uma grande quantidade de carga elétrica negativa pode passar de um material para outro pelo ar. Essa é a descarga elétrica por arco. O raio, em uma tempestade, é um bom exemplo de descarga por arco.

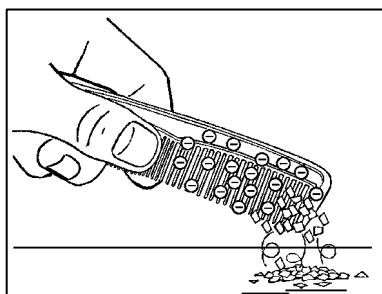


3.4 - Relação entre Desequilíbrio e Potencial Elétrico

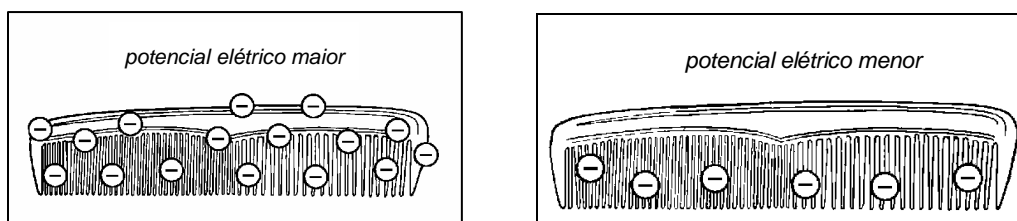
Por meio dos processos de eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem **intensamente** ou **fracamente** eletrizados. Um pente fortemente atritado fica intensamente eletrizado. Se ele for fracamente atritado, sua eletrização será fraca.



O pente **intensamente** atritado tem **maior** capacidade de realizar trabalho, porque é capaz de atrair maior quantidade de partículas de papel.



Como a maior capacidade de realizar trabalho significa **maior potencial**, conclui-se que o pente intensamente eletrizado tem **maior** potencial elétrico.



O potencial elétrico de um corpo depende diretamente do desequilíbrio elétrico existente nesse corpo. Assim, um corpo que tenha um desequilíbrio elétrico **duas vezes maior** que outro, tem um potencial elétrico **duas vezes maior**.

3.5 - Carga Elétrica

Como certos átomos são forçados a **ceder** elétrons e outros a **receber** elétrons, é possível produzir uma transferência de elétrons de um corpo para outro. Quando isso ocorre, a distribuição igual das cargas positivas e negativas em cada átomo deixa de existir. Portanto, um corpo conterà excesso de elétrons e a sua carga terá uma

polaridade **negativa (-)**. O outro corpo, por sua vez, conterà excesso de prótons e a sua carga terá polaridade **positiva (+)**.

Quando um par de corpos contém a **mesma carga**, isto é, ambas positivas (+) ou ambas negativas (-), diz-se que eles apresentam **cargas iguais**.

Quando um par de corpos contém cargas diferentes, ou seja, um corpo é positivo (+) e o outro é negativo (-), diz-se que eles apresentam cargas desiguais ou opostas.

A quantidade de carga elétrica que um corpo possui, é determinada pela **diferença** entre o número de prótons e o número de elétrons que o corpo contém.

O símbolo que representa a quantidade de carga elétrica de um corpo é **Q** e sua unidade de medida é o coulomb (**c**).

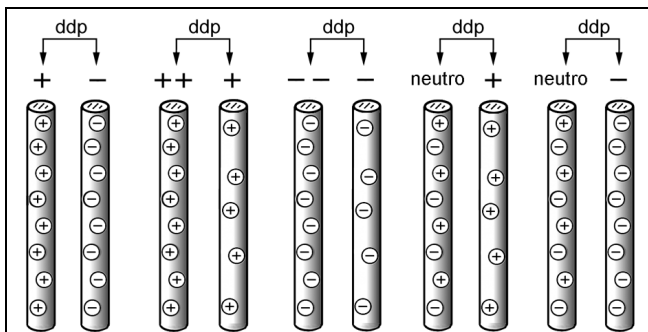
Observação

$$1 \text{ coulomb} = 6,25 \times 10^{18} \text{ elétrons}$$

3.6 - Diferença de Potencial

Quando se compara o trabalho realizado por dois corpos eletrizados, automaticamente está se comparando os seus potenciais elétricos. A diferença entre os trabalhos expressa diretamente a diferença de potencial elétrico entre esses dois corpos.

A diferença de potencial (abreviada para ddp) existe entre corpos eletrizados com cargas **diferentes** ou com o **mesmo** tipo de carga.



A diferença de potencial elétrico entre dois corpos eletrizados também é denominada de **tensão elétrica**, importantíssima nos estudos relacionados à eletricidade e à eletrônica.

Observação

No campo da eletrônica e da eletricidade, utiliza-se exclusivamente a palavra **tensão** para indicar a **ddp** ou **tensão elétrica**.

3.7 - Unidade de medida de tensão elétrica

A tensão (ou ddp) entre dois pontos pode ser medida por meio de instrumentos. A unidade de medida de tensão é o **volt**, que é representado pelo símbolo **V**.

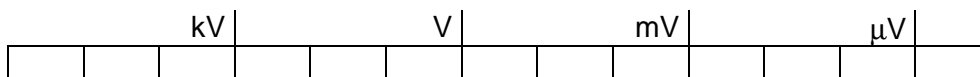
Como qualquer outra unidade de medida, a unidade de medida de tensão (volt) também tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. Veja tabela a seguir:

Denominação		Símbolo	Valor com relação ao volt
Múltiplos	megavolt	MV	10^6V ou 1000000V
	quilovolt	kV	10^3V ou 1000V
Unidade	volt	V	-
Submúltiplos	milivolt	mV	$10^{-3}V$ ou 0,001V
	microvolt	μV	$10^{-6}V$ ou 0,000001V

Observação

Em eletricidade empregam-se mais freqüentemente o *volt* e o *quilovolt* como unidades de medida, ao passo que em eletrônica as unidades de medida mais usadas são o *volt*, o *milivolt* e o *microvolt*.

A conversão de valores é feita de forma semelhante a outras unidades de medida.



Exemplos de conversão:

a) $3,75V = \text{---} \text{ mV}$

V		mV
3		7 5 -

↑(posição da vírgula)

V		mV
3		7 5 0

↑ (nova posição da vírgula)

$3,75V = 3750 \text{ mV}$

b) $0,6V = \text{---} \text{ mV}$

V		mV
0		6

↑

V		mV
0		6 0 0

↑

$0,6V = 600 \text{ mV}$

c) $200 \text{ mV} = \text{---} \text{ V}$

V	-----			mV
	2	0	0	

V	-----			mV
0	2	0	0	

$200 \text{ mV} = 0,2\text{V}$

d) $0,05\text{V} = \text{---} \text{ mV}$

V	-----			mV
0	0	5		

V	-----			mV
0	0	5	0	

$0,05\text{V} = 50 \text{ mV}$

e) $1,5 \text{ mV} = \text{---} \mu\text{V}$

mV	-----			μV
1	5			

mV		μV		
1	5	0	0	0

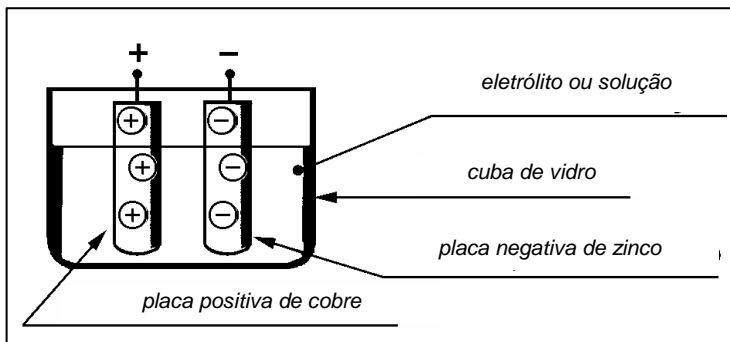
$1,5 \text{ mV} = 15000\mu\text{V}$

3.8 - Pilha ou Bateria Elétrica

A existência de tensão é imprescindível para o funcionamento dos aparelhos elétricos. Para que eles funcionem, foram desenvolvidos dispositivos capazes de criar um desequilíbrio elétrico entre dois pontos, dando origem a uma tensão elétrica. Genericamente esses dispositivos são chamados fontes geradoras de tensão. As pilhas, baterias ou acumuladores e geradores são exemplos desse tipo de fonte.

As pilhas são fontes geradoras de tensão constituídas por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico. Esse preparado químico reage com os metais, retirando elétrons de um e levando para o outro. Um dos metais fica com potencial elétrico positivo e o outro fica com potencial elétrico negativo. Entre os dois metais existe portanto uma **ddp** ou uma **tensão elétrica**.



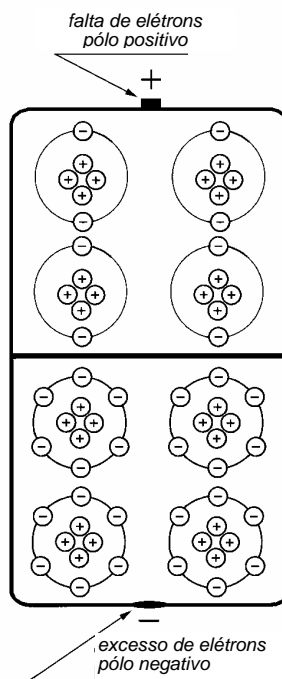


A ilustração a seguir representa esquematicamente as polaridades de uma pilha em relação aos elétrons.

Pela própria característica do funcionamento das pilhas, um dos metais torna-se positivo e o outro negativo. Cada um dos metais é chamado pólo. Portanto, as pilhas dispõem de um pólo positivo e um pólo negativo. Esses pólos nunca se alteram, o que faz com que a polaridade da pilha seja invariável.

Daí a tensão fornecida chamar-se tensão contínua ou tensão CC, que é a tensão elétrica entre dois pontos de polaridades invariáveis.

A tensão fornecida por uma pilha comum não depende de seu tamanho pequeno, médio ou grande nem de sua utilização nesse ou naquele aparelho. É sempre uma tensão contínua de aproximadamente 1,5V.



3.10 - Exercícios

1. Responda:

a) O que é eletrização?

b) Em que parte dos átomos o processo de eletrização atua?

2. Resolva as seguintes questões.

a) Relacione a segunda coluna com a primeira:

- 1) Processo que retira elétrons de um material neutro. () Eletrização
- 2) Processo através do qual um corpo neutro fica eletricamente carregado. () Eletrização positiva () Eletrização negativa
- 3) Processo que acrescenta elétrons a um material neutro. () Neutralização

b) Como se denomina a eletricidade de um corpo obtida por eletrização?

c) Assinale **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) em cada uma das afirmativas:

- 1) () Dois corpos eletrizados negativamente quando aproximados um do outro, se repelem.
- 2) () Dois corpos eletrizados, um positivamente e outro negativamente, quando aproximados um do outro, se atraem.
- 3) () Dois corpos eletrizados positivamente, quando aproximados um do outro se atraem.

d) Que tipos de potencial elétrico um corpo eletrizado pode apresentar?

e) Que tipo de potencial elétrico tem um corpo que apresente excesso de elétrons?

f) Que relação existe entre a intensidade de eletrização de um corpo e seu potencial elétrico?

g) Pode existir **ddp** entre dois corpos eletrizados negativamente? Justifique a sua resposta.

h) Defina tensão elétrica.

i) Qual é a unidade de medida de tensão elétrica?

j) Qual é a unidade de medida da carga elétrica?

3. Resolva as seguintes questões.

a) Escreva o nome dos múltiplos, submúltiplos e respectivos símbolos da unidade de medida da tensão elétrica.

Múltiplos:

Submúltiplos:

b) Faça as conversões:

0,7V = mV

150 μ V = V

1,4V = mV

6200 μ V = mV

150 mV =V

1,65V = mV

10 mV =V

0,5 mV = μ V

c) O que são fontes geradoras? Cite dois exemplos.

d) Quantos e quais são os pólos de uma pilha?

e) O que se pode afirmar sobre a polaridade de uma fonte de CC?

f) As pilhas fornecem tensão contínua? Justifique.

g) Qual é o valor de tensão presente entre os pólos de uma pilha comum?

4 - Geração de Energia Elétrica

Como já vimos, a eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a eletricidade estática. Esta, por sua vez, refere-se às cargas armazenadas em um corpo, ou seja, sua energia potencial.

Por outro lado, a eletrodinâmica estuda a eletricidade dinâmica que se refere ao **movimento** dos elétrons livres de um átomo para outro.

Para haver movimento dos elétrons livres em um corpo, é necessário aplicar nesse corpo uma tensão elétrica. Essa tensão resulta na formação de um polo com **excesso de elétrons** denominado **pólo negativo** e de outro com **falta** de elétrons denominado de **pólo positivo**. Essa tensão é fornecida por uma fonte geradora de eletricidade.

4.1 - Fontes Geradoras de Energia Elétrica

A existência da tensão é condição fundamental para o funcionamento de todos os aparelhos elétricos. As fontes geradoras são os meios pelos quais se pode fornecer a tensão necessária ao funcionamento desses consumidores.

Essas fontes geram energia elétrica de vários modos:

- por ação térmica;
- por ação da luz;
- por ação mecânica;
- por ação química;
- por ação magnética.

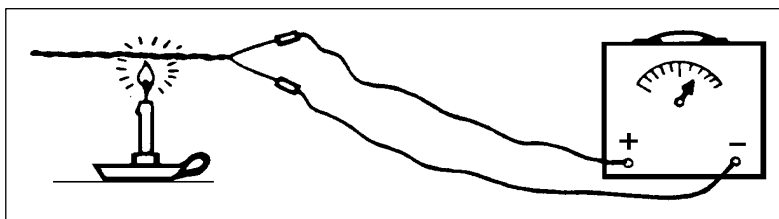
4.2 - Geração de Energia Elétrica por Ação Térmica

Pode-se obter energia elétrica por meio do aquecimento direto da junção de dois metais diferentes.

Por exemplo, se um fio de cobre e outro de constantan (liga de cobre e níquel) forem unidos por uma de suas extremidades e se esses fios forem aquecidos nessa junção, aparecerá uma tensão elétrica nas outras extremidades. Isso acontece porque o aumento da temperatura acelera a movimentação dos elétrons livres e faz com que eles passem de um material para outro, causando uma diferença de potencial.

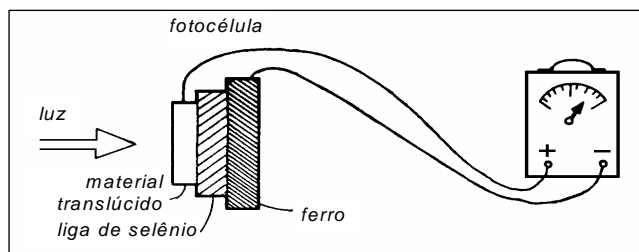
À medida que aumentamos a temperatura na junção, aumenta também o valor da tensão elétrica na outra extremidade.

Esse tipo de geração de energia elétrica por ação térmica é utilizado num dispositivo chamado par termoeletrico, usado como elemento sensor nos pirômetros que são aparelhos usados para medir temperatura de fornos industriais.



4.3 - Geração de Energia Elétrica por Ação de Luz

Para gerar energia elétrica por ação da luz, utiliza-se o efeito fotoelétrico. Esse efeito ocorre quando irradiações luminosas atingem um fotoelemento. Isso faz com que os elétrons livres da camada semicondutora se desloquem até seu anel metálico.



Dessa forma, o anel se torna negativo e a placa-base, positiva. Enquanto dura a incidência da luz, uma tensão aparece entre as placas.

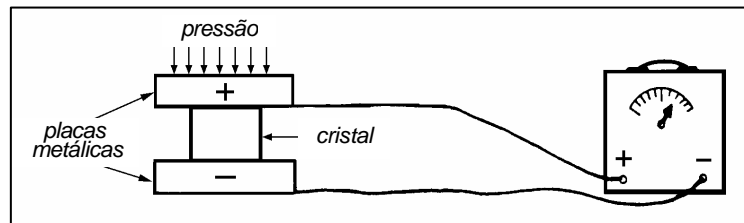
O uso mais comum desse tipo de célula fotoelétrica é no armazenamento de energia

elétrica em acumuladores e baterias solares.

4.4 - Geração de Energia Elétrica por Ação Mecânica

Alguns cristais, como o quartzo, a turmalina e os sais de Rochelle, quando submetidos a ações mecânicas como compressão e torção, desenvolvem uma diferença de potencial.

Se um cristal de um desses materiais for colocado entre duas placas metálicas e sobre elas for aplicada uma variação de pressão, obteremos uma ddp produzida por essa variação. O valor da diferença de potencial dependerá da pressão exercida sobre o conjunto.

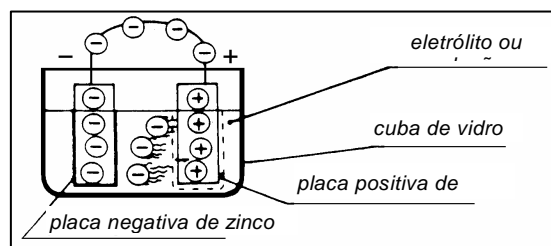


Os cristais como fonte de energia elétrica são largamente usados em equipamentos de pequena potência como toca-discos, por exemplo. Outros exemplos são os isqueiros chamados de "eletrônicos" e os acendedores do tipo Magiclick.

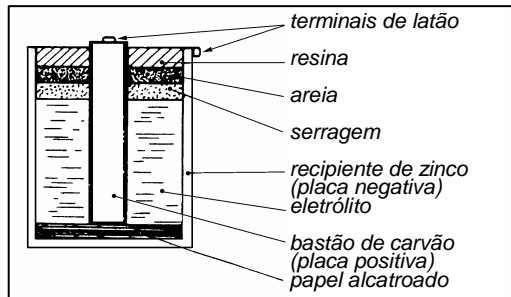
4.5 - Geração de Energia Elétrica por Ação Química

Outro modo de se obter eletricidade é por meio da ação química. Isso acontece da seguinte forma: dois metais diferentes como cobre e zinco são colocados dentro de uma solução química (ou eletrólito) composta de sal ($H_2O + NaCl$) ou ácido sulfúrico ($H_2O + H_2SO_4$), constituindo-se de uma célula primária.

A reação química entre o eletrólito e os metais vai retirando os elétrons do zinco. Estes passam pelo eletrólito e vão se depositando no cobre. Dessa forma, obtém-se uma diferença de potencial, ou tensão, entre os bornes ligados no zinco (negativo) e no cobre (positivo).



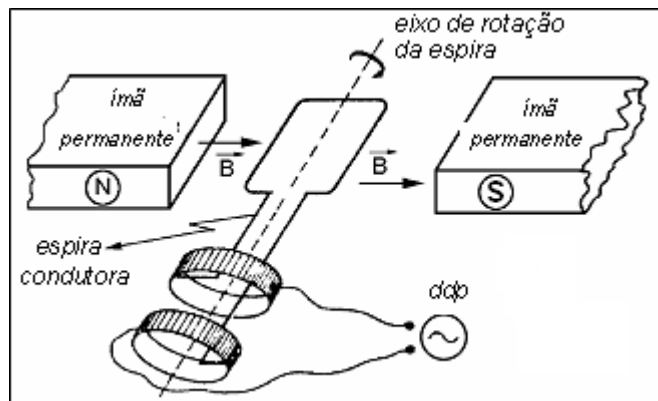
A pilha de lanterna funciona segundo o princípio da célula primária que acabamos de descrever. Ela é constituída basicamente por dois tipos de materiais em contato com um preparado químico.



4.6 - Geração de Energia Elétrica por Ação Magnética

O método mais comum de produção de energia elétrica em larga escala é por ação magnética.

A eletricidade gerada por ação magnética é produzida quando um condutor é movimentado dentro do raio de ação de um campo magnético. Isso cria uma ddp que aumenta ou diminui com o aumento ou a diminuição da velocidade do condutor ou da intensidade do campo magnético.



A tensão gerada por este método é chamada de tensão alternada, pois suas polaridades são variáveis, ou seja, se alternam.

Os alternadores e dínamos são exemplos de fontes geradoras que produzem energia elétrica segundo o princípio que acaba de ser descrito.

4.7 - Exercícios

Responda às questões a seguir:

a) Defina eletrodinâmica com suas palavras.

b) Qual é o método de geração de energia elétrica mais comum e que, por causa disso, é utilizado em larga escala?

c) Cite dois exemplos práticos de equipamentos que se utilizam da geração de energia elétrica por ação mecânica.

2. Relacione a segunda coluna com a primeira.

1. Geração de energia elétrica por ação química. () Tensão alternada () Bateria solar
2. Geração de energia elétrica por ação térmica. () Pilha elétrica () Elemento sensor dos pirômetros
3. Geração de energia elétrica por ação magnética

5 - Corrente Elétrica

A eletricidade está presente diariamente em nossa vida, seja na forma de um relâmpago seja no simples ato de ligar uma lâmpada. À nossa volta fluem cargas elétricas que produzem luz, som, calor... Para entender como são obtidos tais efeitos é preciso, em primeiro lugar, compreender o movimento das cargas elétricas e suas particularidades.

Este capítulo vai tratar do conceito de fluxo das cargas elétricas. Vai tratar também das grandezas que medem a corrente.

Para desenvolver os conteúdos e atividades aqui apresentadas você já deverá ter conhecimentos anteriores sobre estrutura da matéria, e diferença de potencial entre dois pontos.

5.1 - Corrente Elétrica

A corrente elétrica consiste em um movimento orientado de cargas, provocado pelo desequilíbrio elétrico (ddp) entre dois pontos. A corrente elétrica é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer o equilíbrio elétrico.

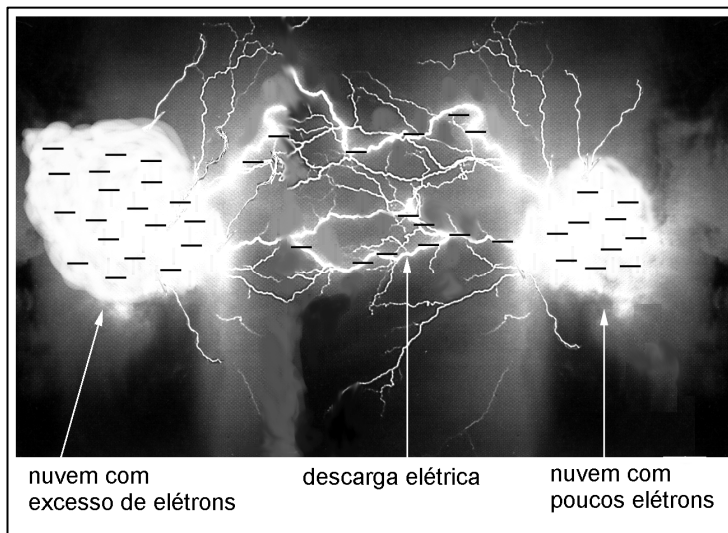
Para que haja corrente elétrica, é necessário que haja ddp e que o circuito esteja fechado. Logo, pode-se afirmar que existe **tensão sem corrente**, mas **nunca** existirá **corrente sem tensão**. Isso acontece porque a tensão orienta as cargas elétricas.

O símbolo para representar a intensidade da corrente elétrica é a letra **I**.

5.2 - Descargas Elétricas

Como já foi estudado, as descargas elétricas são fenômenos comuns na natureza. O raio, por exemplo, é um exemplo típico de descarga elétrica. O atrito contra o ar faz com

que as nuvens fiquem altamente eletrizadas e adquiram um potencial elevado. Quando duas nuvens com potencial elétrico **diferente** se aproximam, ocorre uma descarga elétrica, ou seja, um raio.



O que ocorre não passa de uma **transferência orientada** de cargas elétricas de uma nuvem para outra.

Durante a descarga, numerosas cargas elétricas são transferidas, numa única direção, para diminuir o desequilíbrio elétrico entre dois pontos. Os elétrons em **excesso** em uma nuvem deslocam-se para a nuvem que tem **poucos** elétrons.

Como já foi visto, também, o deslocamento de cargas elétricas entre dois pontos onde existe ddp é chamado de corrente elétrica. Desse modo, explica-se o relâmpago como uma **corrente elétrica** provocada pela tensão elétrica existente entre duas nuvens.

Durante o curto tempo de duração de um relâmpago, grande quantidade de cargas elétricas flui de uma nuvem para outra. Dependendo da grandeza do desequilíbrio elétrico entre as duas nuvens, a corrente elétrica, ou seja, a descarga elétrica entre elas pode ter maior ou menor intensidade.

5.3 - Unidade de Medida de Corrente

Corrente é uma grandeza elétrica e, como toda a grandeza, pode ter sua intensidade medida por meio de instrumentos. A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é o **ampère**, que é representado pelo símbolo **A**.

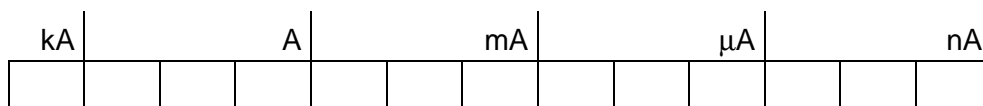
Como qualquer outra unidade de medida, a unidade da corrente elétrica tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. Veja tabela a seguir.

Denominação		Símbolo	Valor com relação ao ampère
Múltiplo	Quiloampère	kA	10^3 A ou 1000 A
Unidade	Ampère	A	-
Submúltiplos	Miliampère	mA	10^{-3} A ou 0,001 A
	Microampère	μ A	10^{-6} A ou 0,000001 A
	Nanoampère	nA	10^{-9} A ou 0,000000001 A

Observação

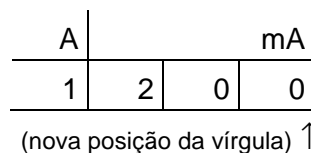
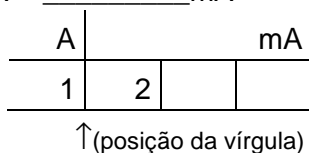
No campo da eletrônica empregam-se mais os termos ampère (A), miliampère (mA) e o microampère (μ A).

Faz-se a conversão de valores de forma semelhante a outras unidades de medida.



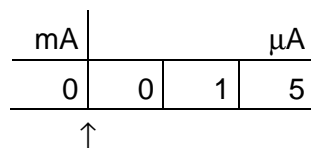
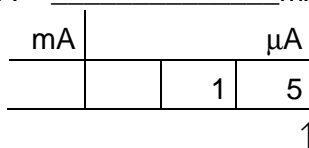
Observe a seguir alguns exemplos de conversão.

a) $1,2 \text{ A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$



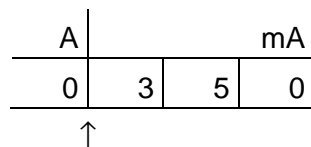
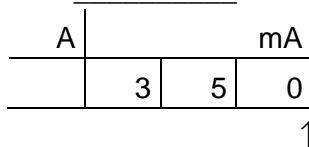
$1,2\text{A} = 1200 \text{ mA}$

b) $15 \mu\text{A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$



$15 \mu\text{A} = 0,015 \text{ mA}$

c) $350 \text{ mA} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$



$350 \text{ mA} = 0,35\text{A}$

5.4 - Amperímetro

Para medir a intensidade de corrente, usa-se o amperímetro. Além do amperímetro, usam-se também os instrumentos a seguir:

- miliamperímetro: para correntes da ordem de miliampères;
- microamperímetro: para correntes da ordem de microampères;

5.5 - Corrente Contínua

A corrente elétrica é o movimento de cargas elétricas. Nos materiais sólidos, as cargas que se movimentam são os elétrons; nos líquidos e gases o movimento pode ser de elétrons ou íons positivos.

Quando o movimento de cargas elétricas formadas por íons ou elétrons ocorre sempre em um sentido, a corrente elétrica é chamada de corrente contínua e é representada pela sigla **CC**.

5.6 - Exercícios

1. Resolva as seguintes questões.

a) O que é corrente elétrica?

b) O que acontece com as cargas elétricas em uma descarga elétrica entre dois corpos eletrizados?

c) Pode existir corrente elétrica entre dois pontos igualmente eletrizados (mesmo tipo e mesma quantidade de cargas em excesso)? Por quê?

d) Qual é a unidade de medida da intensidade da corrente elétrica? Faça o símbolo da unidade.

e) Quais são os submúltiplos e os respectivos símbolos da unidade de medida da intensidade de corrente elétrica mais utilizadas no ramo da eletrônica?

f) Faça as seguintes conversões:

0,5 A = _____ mA

1,65 A = _____ mA

5,0 μ A = _____ mA

250 μ A = _____ nA

0,03 mA = _____ μ A

1200 nA = _____ μ A

g) Que partículas se movimentam nos materiais sólidos, dando origem à corrente elétrica?

h) A intensidade da corrente elétrica de um relâmpago é maior se a ddp entre as nuvens é maior ou menor?

i) Qual é a condição para que uma corrente elétrica seja denominada de **corrente contínua** (CC)?

6 - Resistência Elétrica

Nas lições anteriores, você aprendeu que para haver tensão, é necessário que haja uma diferença de potencial entre dois pontos. Aprendeu também, que corrente elétrica é o movimento orientado de cargas provocado pela ddp. Ela é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer o equilíbrio elétrico.

Além da ddp, para que haja corrente elétrica, é preciso que o circuito esteja fechado. Por isso, você viu que existe tensão sem corrente, mas não é possível haver corrente sem tensão.

Esta aula vai tratar do conceito de resistência elétrica. Vai tratar também das grandezas da resistência elétrica e seus efeitos sobre a circulação da corrente.

Para desenvolver os conteúdos e atividades aqui apresentadas você já deverá ter conhecimentos anteriores sobre estrutura da matéria, tensão e corrente.

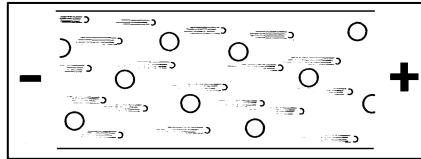
6.1 - Resistência Elétrica

Resistência elétrica é a **oposição** que um material apresenta ao fluxo de corrente elétrica. Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam certa oposição à passagem da corrente elétrica.

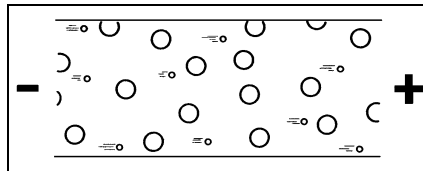
A resistência dos materiais à passagem da corrente elétrica tem origem na sua estrutura atômica.

Para que a aplicação de uma ddp a um material origine uma corrente elétrica, é necessário que a estrutura desse material permita a existência de elétrons livres para movimentação.

Quando os átomos de um material **liberam** elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui **facilmente** através dele. Nesse caso, a resistência elétrica desses materiais é **pequena**.



Por outro lado, nos materiais cujos átomos **não** liberam elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui com **dificuldade**, porque a resistência elétrica desses materiais é **grande**.



Portanto, a resistência elétrica de um material depende da facilidade ou da dificuldade com que esse material libera cargas para a circulação.

O efeito causado pela resistência elétrica tem muitas aplicações práticas em eletricidade e eletrônica. Ele pode gerar, por exemplo, o aquecimento no chuveiro, no ferro de passar, no ferro de soldar, no secador de cabelo. Pode gerar também iluminação por meio das lâmpadas incandescentes.

6.2 - Unidade de Medida de Resistência Elétrica

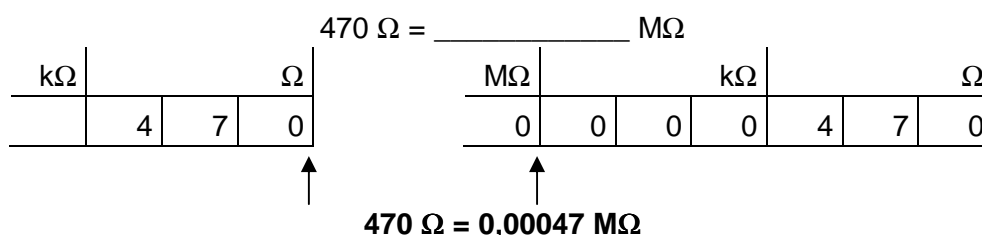
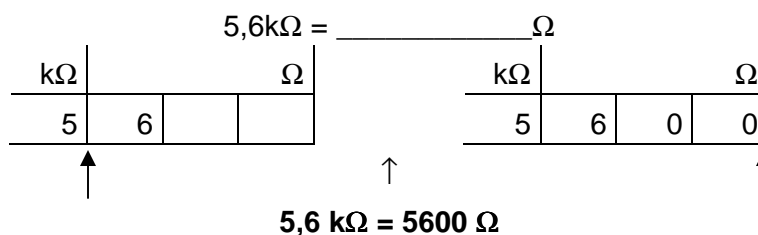
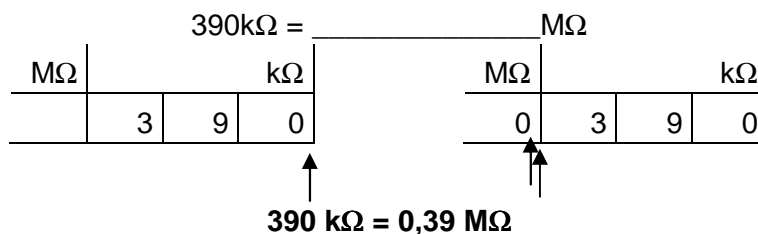
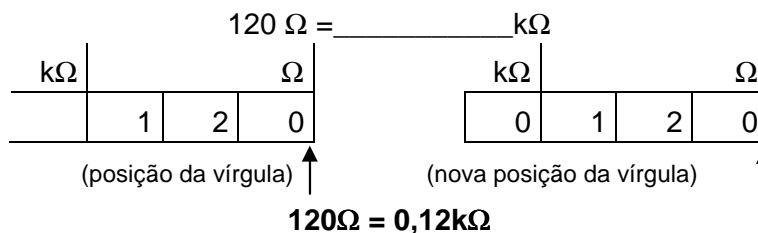
A unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, representado pela letra grega Ω (Lê-se *ômega*). A tabela a seguir mostra os múltiplos do ohm, que são os valores usados na prática.

Denominação		Símbolo	Valor em relação à unidade
Múltiplo	megohm	$M\Omega$	$10^6 \Omega$ ou 1000000Ω
	quilohm	$k\Omega$	$10^3 \Omega$ ou 1000Ω
Unidade	ohm	Ω	---

Para fazer a conversão dos valores, emprega-se o mesmo procedimento usado para outras unidades de medida.



Observe a seguir alguns exemplos de conversão.



Observação

O instrumento de medição da resistência elétrica é o **ohmímetro** porém, geralmente, mede-se a resistência elétrica com o **multímetro**.

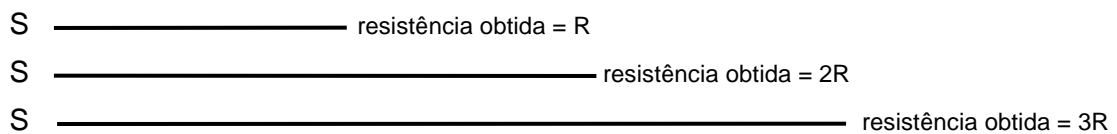
6.3 - Segunda Lei de Ohm

George Simon Ohm foi um cientista que estudou a resistência elétrica do ponto de vista dos elementos que têm influência sobre ela. Por esse estudo, ele concluiu que a resistência elétrica de um condutor depende fundamentalmente de quatro fatores a saber:

1. material do qual o condutor é feito;
2. comprimento (L) do condutor;
3. área de sua seção transversal (S);
4. temperatura no condutor.

Para que se pudesse analisar a influência de cada um desses fatores sobre a resistência elétrica, foram realizadas várias experiências variando-se apenas um dos fatores e mantendo constantes os três restantes.

Assim, por exemplo, para analisar a influência do **comprimento** do condutor, manteve-se constante o tipo de material, sua temperatura e a área da seção transversal e variou-se seu comprimento.



Com isso, verificou-se que a resistência elétrica **aumentava** ou **diminuía** na **mesma proporção** em que aumentava ou diminuía o comprimento do condutor.

Isso significa que: “A resistência elétrica é **diretamente** proporcional ao comprimento do condutor”.

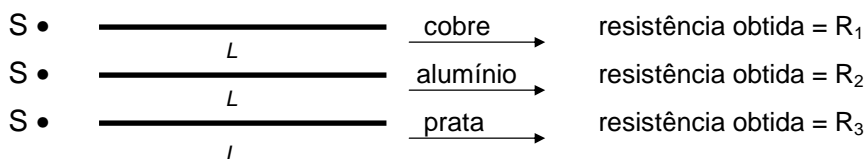
Para verificar a influência da **seção transversal**, foram mantidos constantes o comprimento do condutor, o tipo de material e sua temperatura, variando-se apenas sua seção transversal.



Desse modo, foi possível verificar que a resistência elétrica **diminuiu** à medida que se **aumentava a seção transversal** do condutor. Inversamente, a resistência elétrica **aumentava**, quando se diminuía a seção transversal do condutor.

Isso levou à conclusão de que: “A resistência elétrica de um condutor é **inversamente proporcional** à sua área de seção transversal”.

Mantidas as constantes de comprimento, seção transversal e temperatura, variou-se o tipo de material:



Utilizando-se materiais diferentes, verificou-se que não havia relação entre eles. Com o mesmo material, todavia, a resistência elétrica mantinha sempre o mesmo valor.

A partir dessas experiências, estabeleceu-se uma constante de proporcionalidade que foi denominada de **resistividade elétrica**.

6.3.1 - Resistividade Elétrica

Resistividade elétrica é a resistência elétrica específica de um certo condutor com 1 metro de comprimento, 1 mm² de área de seção transversal, medida em temperatura ambiente constante de 20°C.

A unidade de medida de resistividade é o Ω mm²/m, representada pela letra grega ρ (lê-se “rô”).

A tabela a seguir apresenta alguns materiais com seu respectivo valor de resistividade.

Material	ρ (Ω mm ² /m) a 20°C
Alumínio	0,0278
Cobre	0,0173
Estanho	0,1195
Ferro	0,1221
Níquel	0,0780
Zinco	0,0615
Chumbo	0,21
Prata	0,30

Diante desses experimentos, George Simon OHM estabeleceu a sua segunda lei que diz que:

“A resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional ao produto da resistividade específica pelo seu comprimento, e inversamente proporcional à sua área de seção transversal.”

Matematicamente, essa lei é representada pela seguinte equação:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Nela, **R** é a resistência elétrica expressa em Ω ; **L** é o comprimento do condutor em metros (m); **S** é a área de seção transversal do condutor em milímetros quadrados (mm^2) e **ρ** é a resistividade elétrica do material em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

6.3.2 - Influência da Temperatura sobre a Resistência

Como já foi visto, a resistência elétrica de um condutor depende do tipo de material de que ele é constituído e da mobilidade das partículas em seu interior.

Na maior parte dos materiais, o aumento da temperatura significa maior resistência elétrica. Isso acontece porque com o aumento da temperatura, há um aumento da agitação das partículas que constituem o material, aumentando as colisões entre as partículas e os elétrons livres no interior do condutor.

Isso é particularmente verdadeiro no caso dos metais e suas ligas. Neste caso, é necessário um grande aumento na temperatura para que se possa notar uma pequena variação na resistência elétrica. É por esse motivo que eles são usados na fabricação de resistores.

Conclui-se, então, que em um condutor, a variação na resistência elétrica relacionada ao aumento de temperatura depende **diretamente** da variação de resistividade elétrica própria do material com o qual o condutor é fabricado.

Assim, uma vez conhecida a resistividade do material do condutor em uma determinada temperatura, é possível determinar seu novo valor em uma nova temperatura. Matematicamente faz-se isso por meio da expressão:

$$\rho_f = \rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Nessa expressão, ρ_f é a resistividade do material na temperatura final em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; ρ_o é a resistividade do material na temperatura inicial (geralmente 20°C) em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; α é o coeficiente de temperatura do material (dado de tabela) e $\Delta\theta$ é a variação de temperatura, ou seja, temperatura final - temperatura inicial, em $^\circ\text{C}$.

A tabela a seguir mostra os valores de coeficiente de temperatura dos materiais que correspondem à variação da resistência elétrica que o condutor do referido material com resistência de 1Ω sofre quando a temperatura varia de 1°C .

Material	Coeficiente de temperatura α ($^\circ\text{C}^{-1}$)
Cobre	0,0039
Alumínio	0,0032
Tungstênio	0,0045
Ferro	0,005
Prata	0,004
Platina	0,003
Nicromo	0,0002
Constantan	0,00001

Como exemplo, vamos determinar a resistividade do cobre na temperatura de 50°C , sabendo-se que à temperatura de 20°C , sua resistividade corresponde a $0,0173 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

$$\rho_o = 0,0173$$

$$\alpha$$
 ($^\circ\text{C}^{-1}$) = 0,0039 . (50 - 20)

$$\rho_f = ?$$

Como $\rho_f = \rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$, então:

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot (50 - 20))$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot 30)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,117)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot 1,117$$

$$\rho_f = 0,0193 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

6.4 - Exercícios

1. Responda às seguintes questões.

a) O que é resistência elétrica?

b) Qual é a unidade de medida da resistência elétrica? Desenhe o símbolo da unidade.

c) Faça as seguintes conversões:

$$680\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \text{ k}\Omega \quad 3,3\text{k}\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$1,5\text{M}\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega \quad 180\text{k}\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \text{M}\Omega$$

$$2,7\text{k}\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega \quad 0,15\text{K}\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$3,9\text{K}\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \text{M}\Omega \quad 0,0047\text{M}\Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

d) Qual a denominação do instrumento destinado à medição de resistência elétrica?

e) Cite duas aplicações práticas para a resistência elétrica.

2. Responda às seguintes perguntas:

a) Calcule a seção de um fio de alumínio com resistência de 2Ω e comprimento de 100m.

b) Determine o material que constitui um fio, sabendo-se que seu comprimento é de 150 m, sua seção é de 4 mm^2 e sua resistência é de $0,6488 \Omega$.

c) Qual é o enunciado da Segunda Lei de Ohm?

3. Resolva os seguintes exercícios.

a) Determinar a resistência elétrica de um condutor de cobre na temperatura de 20°C , sabendo-se que sua seção é de $1,5 \text{ mm}^2$ para os seguintes casos.

1) $L = 50 \text{ cm}$

2) $L = 100 \text{ m}$

3) $L = 3 \text{ km}$

b) Determine o comprimento de um fio de estanho com seção transversal de 2 mm^2 e resistência de 3Ω .

c) Determine a resistividade do alumínio na temperatura de 60°C .

7 - Circuitos Elétricos

Empregamos a eletricidade das mais diversas formas. A partir da energia elétrica movimentam-se motores, acendem-se luzes, produz-se calor... Embora os efeitos sejam os mais diversos, todas as aplicações da eletricidade têm um ponto em comum: implicam na existência de um circuito elétrico.

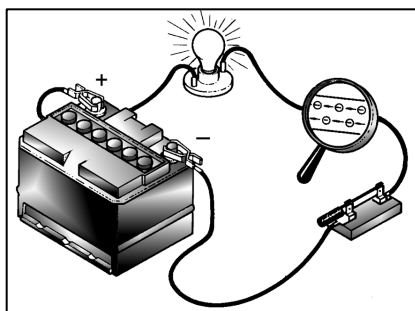
Portanto, o circuito elétrico é indispensável para que a energia elétrica possa ser utilizada. Conhecer e compreender suas características é fundamental para assimilar os próximos conteúdos a serem estudados.

Este capítulo vai tratar das particularidades e das funções dos componentes do circuito elétrico. Ao estudá-lo, você será capaz de reconhecer um circuito elétrico, identificar seus componentes e representá-los com símbolos.

Para acompanhar bem os conteúdos e atividades deste capítulo, é preciso que você já conheça a estrutura da matéria; corrente e resistência elétrica.

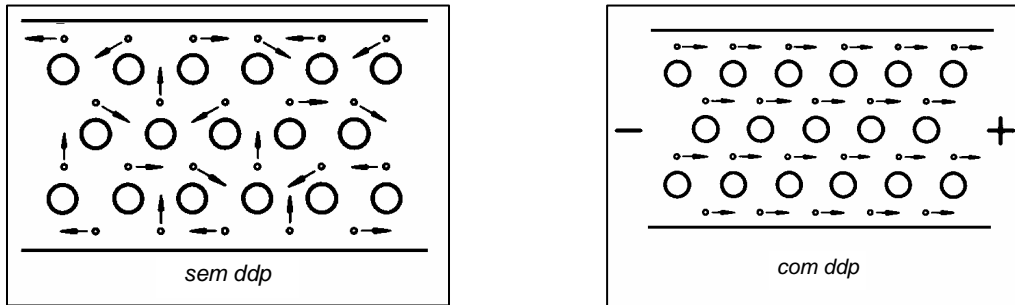
7.1 - Materiais Condutores

Os materiais condutores caracterizam-se por permitirem a existência de corrente elétrica toda a vez que se aplica uma ddp entre suas extremidades. Eles são empregados em todos os dispositivos e equipamentos elétricos e eletrônicos.



Existem materiais sólidos, líquidos e gasosos que são condutores elétricos. Entretanto, na área da eletricidade e eletrônica, os materiais sólidos são os mais importantes.

As cargas elétricas que se movimentam no interior dos materiais sólidos são os **elétrons livres**.



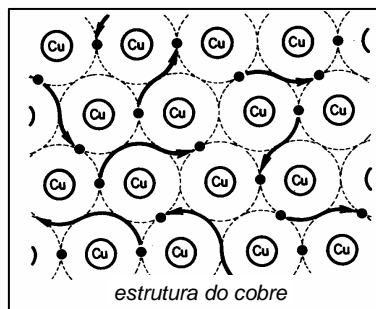
Como já vimos, os elétrons livres que se movimentam **ordenadamente** formam a **corrente elétrica**.

O que faz um material sólido ser condutor de eletricidade é a intensidade de atração entre o núcleo e os elétrons livres. Assim, quanto **menor** for a atração, **maior** será sua capacidade de deixar fluir a corrente elétrica.

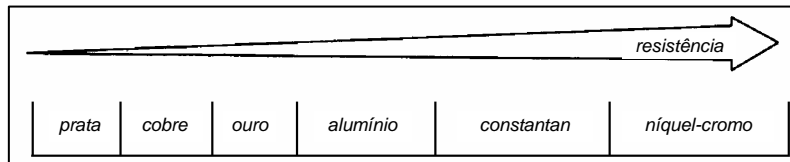
Os metais são excelentes condutores de corrente elétrica, porque os elétrons da última camada da eletrosfera (elétrons de valência) estão **fracamente** ligados ao núcleo do átomo. Por causa disso, desprendem-se com facilidade o que permite seu movimento ordenado.

Vamos tomar como exemplo a estrutura atômica do cobre. Cada átomo de cobre tem 29 elétrons; desses apenas um encontra-se na última camada. Esse elétron desprende-se do núcleo do átomo e vaga livremente no interior do material.

A estrutura química do cobre compõe-se, pois, de numerosos núcleos fixos, rodeados por elétrons livres que se movimentam intensamente de um núcleo para o outro.



A intensa mobilidade ou liberdade de movimentação dos elétrons no interior da estrutura química do cobre faz dele um material de grande condutividade elétrica. Assim, os bons condutores são também materiais com baixa resistência elétrica. O quadro a seguir mostra, em ordem crescente, a resistência elétrica de alguns materiais condutores.

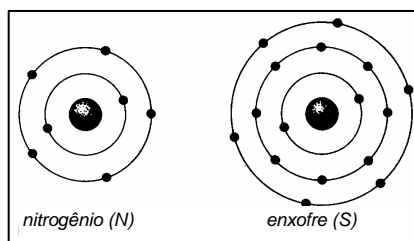


Depois da prata, o cobre é considerado o melhor condutor elétrico. Ele é o metal mais usado na fabricação de condutores para instalações elétricas.

7.2 - Materiais Isolantes

Materiais isolantes são os que apresentam forte oposição à circulação de corrente elétrica no interior de sua estrutura. Isso acontece porque os elétrons livres dos átomos que compõem a estrutura química dos materiais isolantes são **fortemente ligados** a seus núcleos e dificilmente são liberados para a circulação.

A estrutura atômica dos materiais isolantes compõe-se de átomos com cinco ou mais elétrons na última camada energética.



Em condições anormais, um material isolante pode tornar-se condutor. Esse fenômeno chama-se **ruptura dielétrica**. Ocorre quando grande quantidade de energia transforma um material normalmente isolante em condutor. Essa carga de energia aplicada ao material é tão elevada que os elétrons, normalmente presos aos núcleos dos átomos, são arrancados das órbitas, provocando a circulação de corrente.

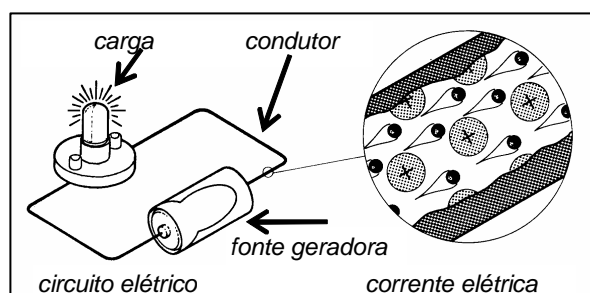
A formação de faíscas no desligamento de um interruptor elétrico é um exemplo típico de ruptura dielétrica. A tensão elevada entre os contatos no momento da abertura fornece uma grande quantidade de energia que provoca a ruptura dielétrica do ar, gerando a faísca.

7.3 - Circuito Elétrico

O circuito elétrico é o caminho **fechado** por onde circula a corrente elétrica. Dependendo do efeito desejado, o circuito elétrico pode fazer a eletricidade assumir as mais diversas formas: luz, som, calor, movimento.

O circuito elétrico mais simples que se pode montar constitui-se de três componentes:

- fonte geradora;
- carga;
- condutores.



Todo o circuito elétrico necessita de uma fonte geradora. A **fonte geradora** fornece a tensão necessária à existência de corrente elétrica. A bateria, a pilha e o alternador são exemplos de fontes geradoras.

A **carga** é também chamada de **consumidor** ou **receptor** de energia elétrica. É o componente do circuito elétrico que transforma a energia elétrica fornecida pela fonte geradora em outro tipo de energia. Essa energia pode ser mecânica, luminosa, térmica, sonora.

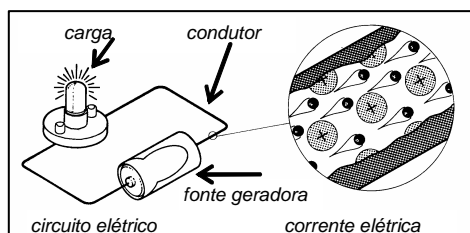
Exemplos de cargas são as lâmpadas que transformam energia elétrica em energia luminosa; o motor que transforma energia elétrica em energia mecânica; o rádio que transforma energia elétrica em sonora.

Observação

Um circuito elétrico pode ter uma ou mais cargas associadas.

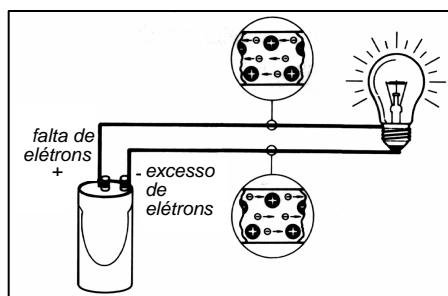
Os **condutores** são o elo de ligação entre a **fonte geradora** e a **carga**. Servem de meio de transporte da corrente elétrica.

Uma lâmpada, ligada por condutores a uma pilha, é um exemplo típico de circuito elétrico simples, formado por três componentes.



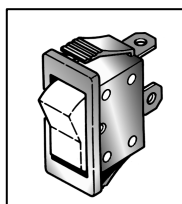
A lâmpada traz no seu interior uma resistência, chamada filamento. Ao ser percorrida pela corrente elétrica, essa resistência fica incandescente e gera luz. O filamento recebe a tensão através dos terminais de ligação. E quando se liga a lâmpada à pilha, por meio de condutores, forma-se um circuito elétrico. Os elétrons, em excesso no pólo negativo da pilha, movimentam-se pelo condutor e pelo filamento da lâmpada, em direção ao pólo positivo da pilha.

A figura a seguir ilustra o movimento dos elétrons livres. Esses elétrons saem do pólo negativo, passam pela lâmpada e dirigem-se ao pólo positivo da pilha.

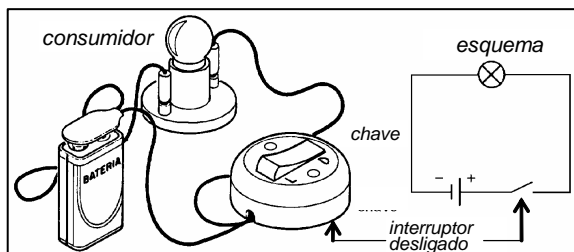


Enquanto a pilha for capaz de manter o excesso de elétrons no pólo negativo e a falta de elétrons no pólo positivo, haverá corrente elétrica no circuito; e a lâmpada continuará acesa.

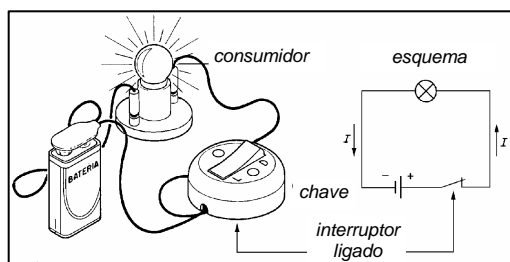
Além da fonte geradora, do consumidor e condutor, o circuito elétrico possui um componente adicional chamado de **interruptor** ou **chave**. A função desse componente é **comandar** o funcionamento dos circuitos elétricos.



Quando aberto ou desligado, o interruptor provoca uma abertura em um dos condutores. Nesta condição, o circuito elétrico não corresponde a um caminho fechado, porque um dos pólos da pilha (positivo) está desconectado do circuito, e não há circulação da corrente elétrica.



Quando o interruptor está ligado, seus contatos estão fechados, tornando-se um condutor de corrente contínua. Nessa condição, o circuito é novamente um caminho fechado por onde circula a corrente elétrica.



7.4 - Sentido da Corrente Elétrica

Antes que se compreendesse de forma mais científica a natureza do fluxo de elétrons, já se utilizava a eletricidade para iluminação, motores e outras aplicações. Nessa época, foi estabelecido por convenção, que a corrente elétrica se constituía de um movimento de cargas elétricas que fluía do pólo positivo para o pólo negativo da fonte geradora. Este sentido de circulação (do + para o -) foi denominado de **sentido convencional da corrente**.

Com o progresso dos recursos científicos usados explicar os fenômenos elétricos, foi possível verificar mais tarde, que nos condutores sólidos a corrente elétrica se constitui de elétrons em movimento do pólo negativo para o pólo positivo. Este sentido de circulação foi denominado de **sentido eletrônico da corrente**.

O sentido de corrente que se adota como referência para o estudo dos fenômenos elétricos (eletrônico ou convencional) não interfere nos resultados obtidos. Por isso, ainda hoje, encontram-se defensores de cada um dos sentidos.

Observação

Uma vez que toda a simbologia de componentes eletroeletrônicos foi desenvolvida a partir do sentido **convencional** da corrente elétrica, ou seja **do + para o -**, as informações deste material didático seguirão o modelo convencional: do **positivo** para o **negativo**.

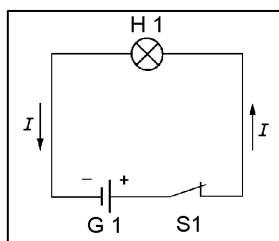
7.5 - Simbologia dos Componentes de um Circuito

Por facilitar a elaboração de esquemas ou diagramas elétricos, criou-se uma simbologia para representar graficamente cada componente num circuito elétrico.

A tabela a seguir mostra alguns símbolos utilizados e os respectivos componentes.

Designação	Figura	Símbolo
Condutor		
Cruzamento sem conexão		
Cruzamento com conexão		
Fonte, gerador ou bateria		
Lâmpada		
Interruptor		

O esquema a seguir representa um **circuito elétrico** formado por **lâmpada**, **condutores**, **interruptor** e **pilha**. Deve-se observar que nele a corrente elétrica é representada por uma seta acompanhada pela letra **I**.



7.6 - Tipos de Circuitos Elétricos

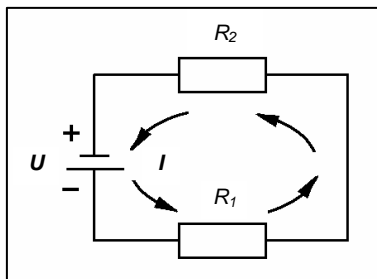
Os tipos de circuitos elétricos são determinados pela maneira como seus componentes são ligados. Assim, existem três tipos de circuitos:

- série;
- paralelo;
- misto.

7.6.1 - Circuito Série

Circuito série é aquele cujos componentes (cargas) são ligados um após o outro.

Desse modo, existe um único caminho para a corrente elétrica que sai do pólo positivo da fonte, passa através do primeiro componente (R_1), passa pelo seguinte (R_2) e assim por diante até chegar ao pólo negativo da fonte. Veja representação esquemática do circuito série no diagrama a seguir.



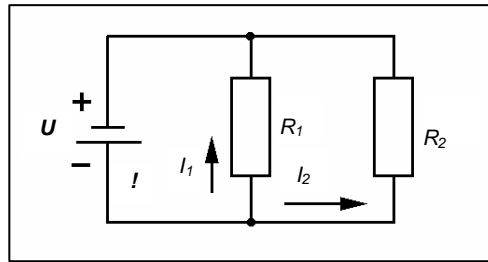
Num circuito série, o valor da corrente é **sempre** o **mesmo** em qualquer ponto do circuito. Isso acontece porque a corrente elétrica tem apenas **um** único caminho para percorrer.

Esse circuito também é chamado de **dependente** porque, se houver falha ou se qualquer um dos componentes for retirado do circuito, cessa a circulação da corrente elétrica.

7.6.2 - Circuito Paralelo

O circuito paralelo é aquele cujos componentes estão ligados em paralelo entre si.

Veja circuito abaixo.

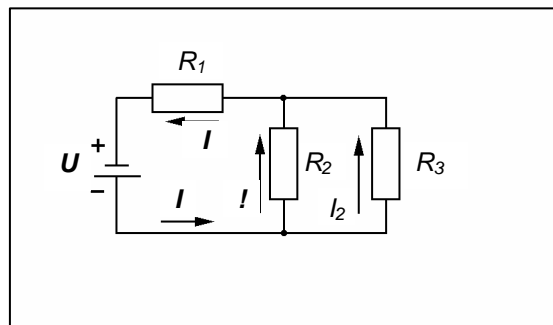


No circuito paralelo, a corrente é **diferente** em cada ponto do circuito porque ela depende da resistência de cada componente à passagem da corrente elétrica e da tensão aplicada sobre ele. **Todos** os componentes ligados em paralelo recebem a **mesma** tensão.

7.6.3 - Circuito Misto

No circuito misto, os componentes são ligados em série e em paralelo.

Veja esquema a seguir.



No circuito misto, o componente R1 ligado em série, ao ser atravessado por uma corrente, causa uma queda de tensão porque é uma resistência. Assim sendo, os resistores R2 e R3 que estão ligados em paralelo, receberão a tensão da rede **menos** a queda de tensão provocada por R1.

7.7 - Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas.

a) Por que os metais são bons condutores de corrente elétrica?

b) Qual é a condição fundamental para que um material seja isolante elétrico?

c) O que acontece na estrutura de um isolante quando ocorre a ruptura dielétrica?

d) Qual é a condição fundamental para que um material seja bom condutor de eletricidade?

e) O que é circuito elétrico?

f) Quais são os componentes essenciais para que haja um circuito elétrico?

g) Qual é a finalidade de um consumidor de energia elétrica dentro do circuito?

h) Como se denomina a parte da lâmpada que quando é incandescente gera luz?

i) O que acontece quando se introduz em um circuito elétrico uma chave na posição desligada?

j) Desenhe os símbolos da pilha, condutor, lâmpada e chave (ou interruptor).

k) Por que não circula corrente elétrica em um circuito que tem um interruptor desligado?

l) O que estabelece o "sentido convencional" da corrente elétrica?

m) Explique com suas palavras o que é **ruptura dielétrica**.

2. Relacione a coluna da esquerda com a coluna da direita. Atenção! **Uma** das alternativas **não** tem correspondente!

- a) Circuito série () O elétron livre é fracamente atraído pelo núcleo.
- b) Circuito paralelo () A corrente flui do pólo positivo para o negativo.
- c) Circuito misto () A tensão elétrica é a mesma em todos os componentes.
- d) Material condutor () A corrente elétrica é a mesma em qualquer ponto do circuito.
- e) Material isolante () Apresenta forte oposição à passagem da corrente elétrica.
() Apresenta ligações em série e em paralelo

8 - Associação de Resistências

As resistências entram na constituição da maioria dos circuitos eletrônicos formando associações de resistências.

É importante, pois, conhecer os tipos e características elétricas destas associações, que são a base de qualquer atividade ligada à eletroeletrônica.

Esse capítulo vai ajudá-lo a identificar os tipos de associação e determinar suas resistências equivalentes. Para entender uma associação de resistências, é preciso que você já conheça o que são resistências.

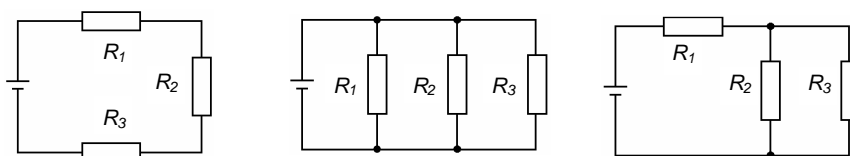
8.1 - Associação de Resistências

Associação de resistências é uma reunião de duas ou mais resistências em um circuito elétrico, considerando-se resistência como qualquer dificuldade à passagem da corrente elétrica.

Na associação de resistências é preciso considerar duas coisas: os **terminais** e os **nós**. **Terminais** são os pontos da associação conectados à fonte geradora. **Nós** são os pontos em que ocorre a interligação de três ou mais resistências.

8.2 - Tipos de associação de resistências

As resistências podem ser associadas de modo a formar diferentes circuitos elétricos, conforme mostram as figuras a seguir.



Observação

A porção do circuito que liga dois nós consecutivos é chamada de **ramo** ou **braço**.

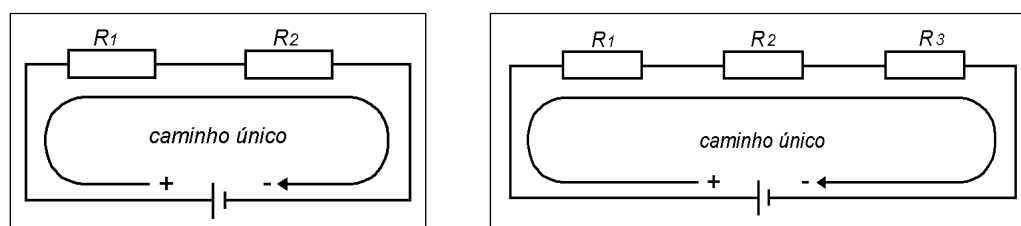
Apesar do número de associações diferentes que se pode obter interligando resistências em um circuito elétrico, todas essas associações classificam-se a partir de três designações básicas:

- associação em série;
- associação em paralelo;
- associação mista.

Cada um desses tipos de associação apresenta características específicas de comportamento elétrico.

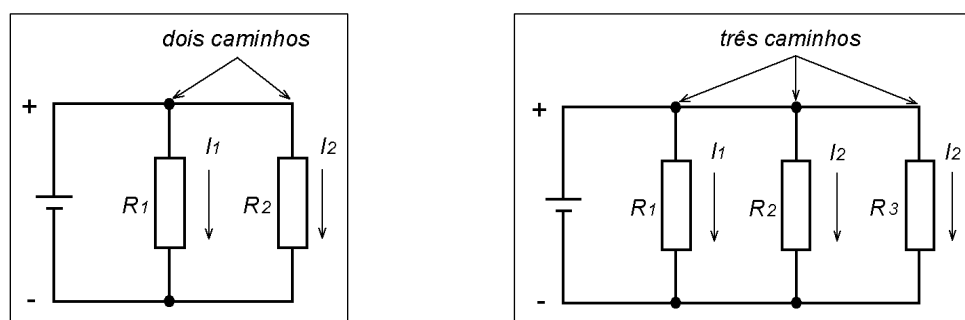
8.2.1 - Associação em Série

Nesse tipo de associação, as resistências são interligadas de forma que exista **apenas um caminho** para a circulação da corrente elétrica entre os terminais.



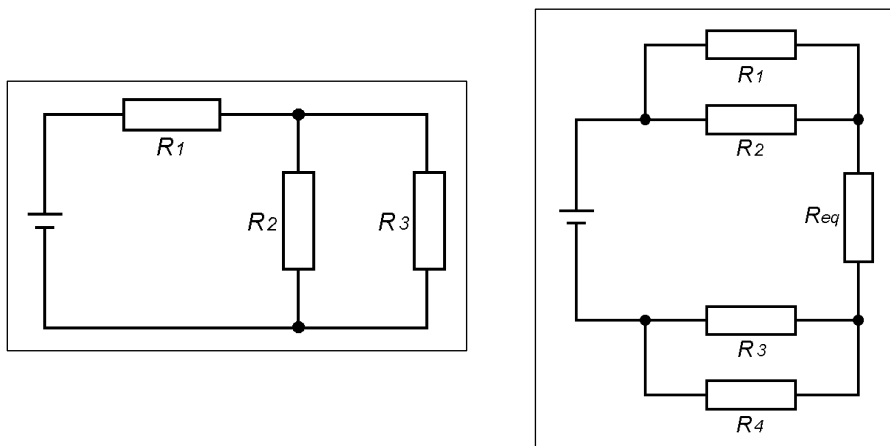
8.2.2 - Associação em Paralelo

Trata-se de uma associação em que os terminais das resistências estão interligados de forma que exista **mais de um caminho** para a circulação da corrente elétrica.



8.2.3 - Associação Mista

É a associação que se compõe por grupos de resistências **em série** e **em paralelo**.



8.3 - Resistência Equivalente de uma Associação Série

Quando se associam resistências, a resistência elétrica entre os terminais é diferente das resistências individuais. Por essa razão, a resistência de uma associação de resistências recebe uma denominação específica: **resistência total** ou **resistência equivalente** (R_{eq}).

A resistência equivalente de uma associação depende das resistências que a compõem e do tipo de associação. Ao longo de todo o circuito, a resistência total é a **soma** das resistências parciais.

Matematicamente, obtém-se a resistência equivalente da associação em série pela seguinte fórmula:

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

Convenção

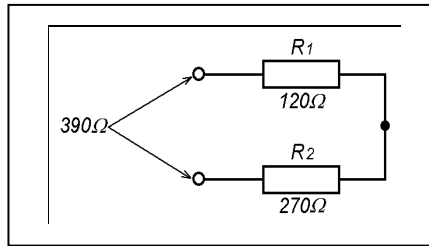
$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ são os valores ôhmicos das resistências associadas em série.

Vamos tomar como exemplo de associação em série uma Resistência de 120Ω e outra de 270Ω . Nesse caso, a resistência equivalente entre os terminais é obtida da seguinte forma:

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

$$R_{eq} = 120\Omega + 270\Omega$$

$$R_{eq} = 390\Omega$$



O valor da resistência equivalente de uma associação de resistências em série é sempre **maior** que a resistência de maior valor da associação.

8.4 - Resistência Equivalente de uma Associação em Paralelo

Na associação em paralelo há **dois** ou **mais caminhos** para a circulação da corrente elétrica.

A resistência equivalente de uma associação **em paralelo** de resistências é dada pela equação:

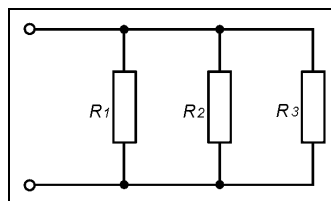
$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Convenção

R_1, R_2, \dots, R_n são os valores ôhmicos das resistências associadas.

Vamos tomar como exemplo a associação em paralelo a seguir.

- $R_1 = 10\Omega$
- $R_2 = 25\Omega$
- $R_3 = 20\Omega$



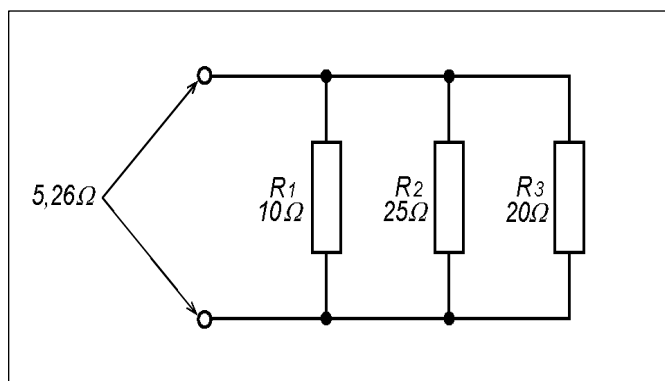
Para obter a resistência equivalente, basta aplicar a equação mostrada anteriormente, ou seja:

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

Desse modo temos:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{25} + \frac{1}{20}} = \frac{1}{0,1 + 0,04 + 0,05} = \frac{1}{0,19} = 5,26$$

$R_{eq} = 5,26\Omega$



O resultado encontrado comprova que a resistência equivalente da associação em paralelo (5,26Ω) é **menor** que a resistência de **menor** valor (10Ω).

Para associações em paralelo com apenas duas resistências, pode-se usar uma equação mais simples, deduzida da equação geral.

Tomando-se a equação geral, com apenas duas resistências, temos:

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

Invertendo ambos os membros, obtém-se:

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

Colocando o denominador comum no segundo membro, temos:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2}$$

Invertendo os dois membros, obtemos:

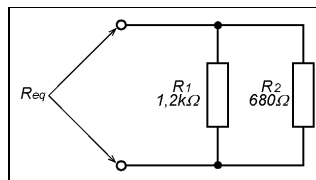
$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Portanto, R_1 e R_2 são os valores ôhmicos das resistências associadas.

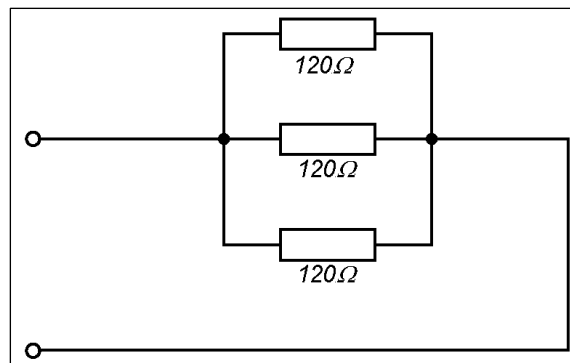
Observe no circuito a seguir um exemplo de associação em paralelo em que se emprega a fórmula para duas resistências.

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1200 \times 680}{1200 + 680} = \frac{816000}{1880} = 434\Omega$$

Req = 434Ω



Pode-se também associar em paralelo duas ou mais resistências, todas de mesmo valor.



Nesse caso, emprega-se uma terceira equação, específica para associações em paralelo na qual todas as resistências têm o **mesmo** valor. Esta equação também é deduzida da equação geral.

Vamos tomar a equação geral para "n" resistências. Nesse caso temos:

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

Como R_1, R_2, \dots e R_n têm o mesmo valor, podemos reescrever:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R}} = \frac{1}{n\left(\frac{1}{R}\right)}$$

Operando o denominador do segundo membro, obtemos:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{n}{R}}$$

O segundo membro é uma divisão de frações. De sua resolução resulta:

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

Convenção

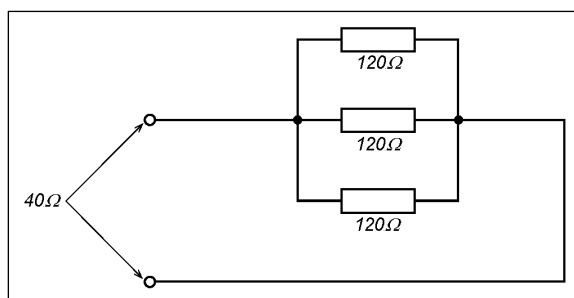
R é o valor de uma resistência (todas têm o mesmo valor).

n é o número de resistências de mesmo valor associadas em paralelo.

Portanto, as três resistências de 120Ω associadas em paralelo têm uma resistência equivalente a:

$$R_{eq} = \frac{R}{n} = \frac{120}{3} = 40\Omega$$

$R_{eq} = 40\Omega$

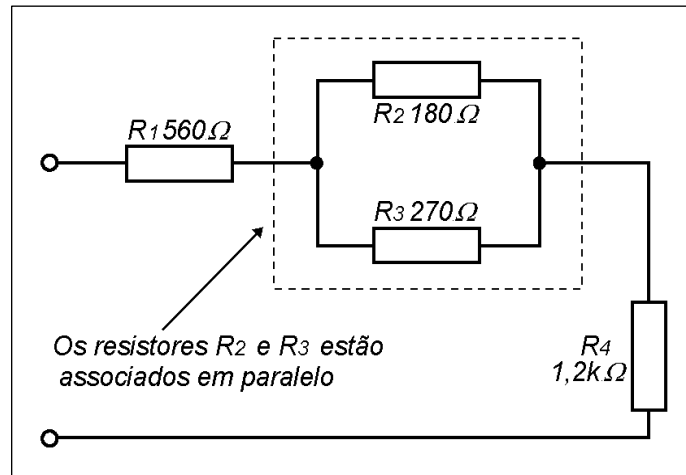


Desse modo, o valor da resistência equivalente de uma associação de resistências em paralelo é sempre **menor** que a resistência de menor valor da associação.

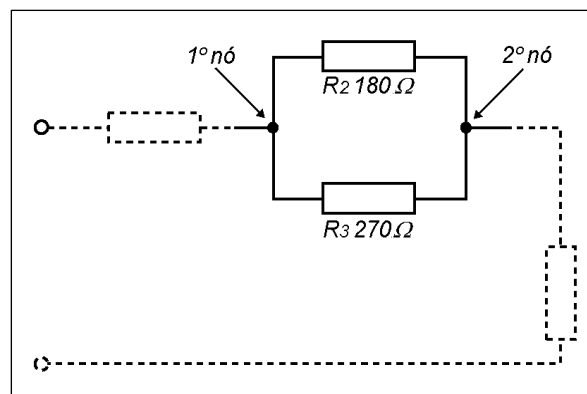
8.5 - Resistência Equivalente de uma Associação Mista

Para determinar a resistência equivalente de uma associação mista, procede-se da seguinte maneira:

1. A partir dos nós, divide-se a associação em pequenas partes de forma que possam ser calculadas como associações em série ou em paralelo.

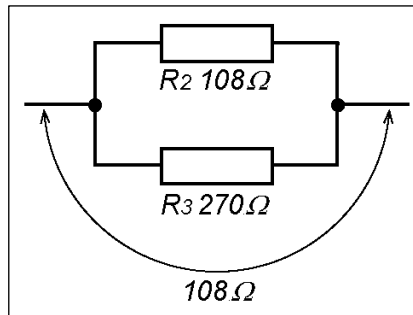


2. Uma vez identificados os nós, procura-se analisar como estão ligados as resistências entre cada dois nós do circuito. Nesse caso, as resistências R_2 e R_3 estão **em paralelo**.
3. Desconsidera-se, então, tudo o que está **antes e depois** desses nós e examina-se a forma como R_2 e R_3 estão associadas para verificar se se trata de uma associação em paralelo de duas resistências.



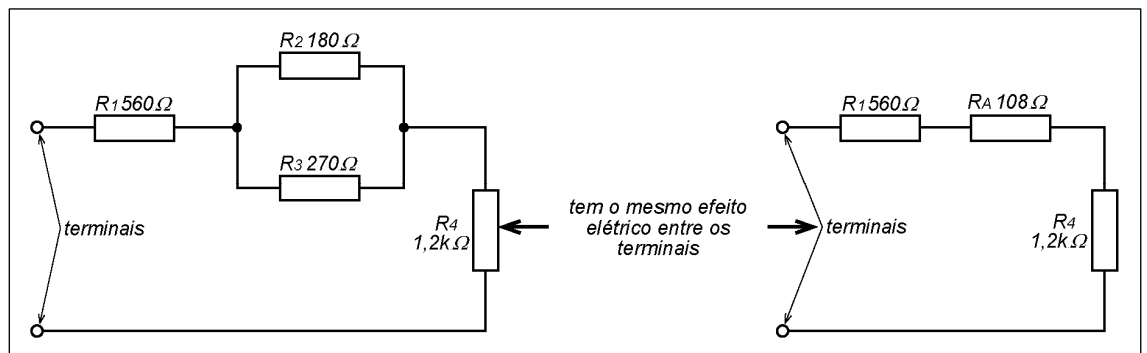
4. Determina-se então a Req dessas duas resistências associadas em paralelo, aplicando-se a fórmula a seguir.

$$R_{eq} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{180 \times 270}{180 + 270} = \frac{48600}{450} = 108 \Omega$$



Portanto, as resistências associadas R_2 e R_3 apresentam 108Ω de resistência à passagem da corrente no circuito.

Se as resistências R_2 e R_3 em paralelo forem substituídos por uma resistência de 108Ω , identificada por exemplo por R_A , o circuito não se altera.



Ao substituir a associação mista original, torna-se uma associação em série simples, constituída pelas resistências R_1 , R_A e R_4 .

Determina-se a resistência equivalente de toda a associação pela equação da associação em série:

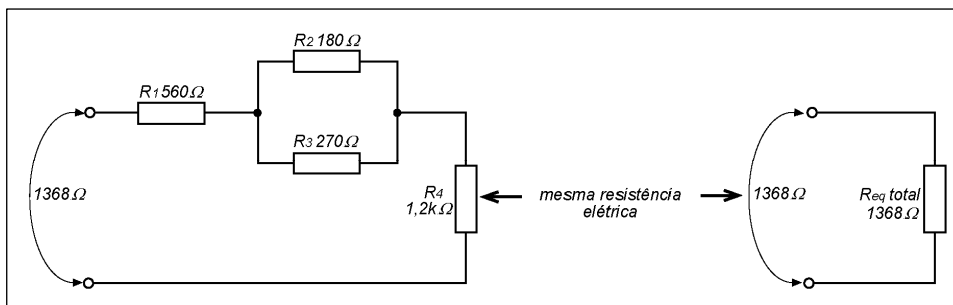
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Usando os valores do circuito, obtém-se:

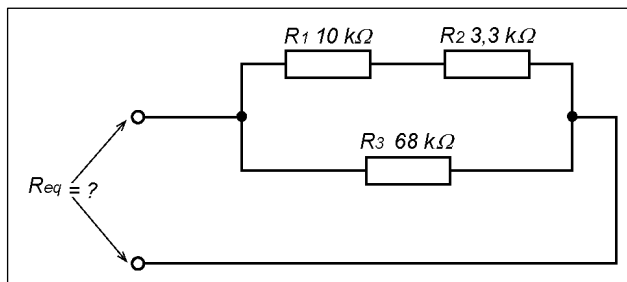
$$R_{eq} = R_1 + R_A + R_4$$

$$R_{eq} = 560 + 108 + 1200 = 1868 \Omega$$

O resultado significa que toda a associação mista original tem o mesmo efeito para a corrente elétrica que uma única resistência de 1868Ω .



A seguir, apresentamos um exemplo de circuito misto, com a seqüência de procedimentos para determinar a resistência equivalente.



Da análise do circuito, deduz-se que as resistências R_1 e R_2 estão em série e podem ser substituídas por um única resistência R_A que tenha o mesmo efeito resultante. Na associação em série emprega-se a fórmula a seguir.

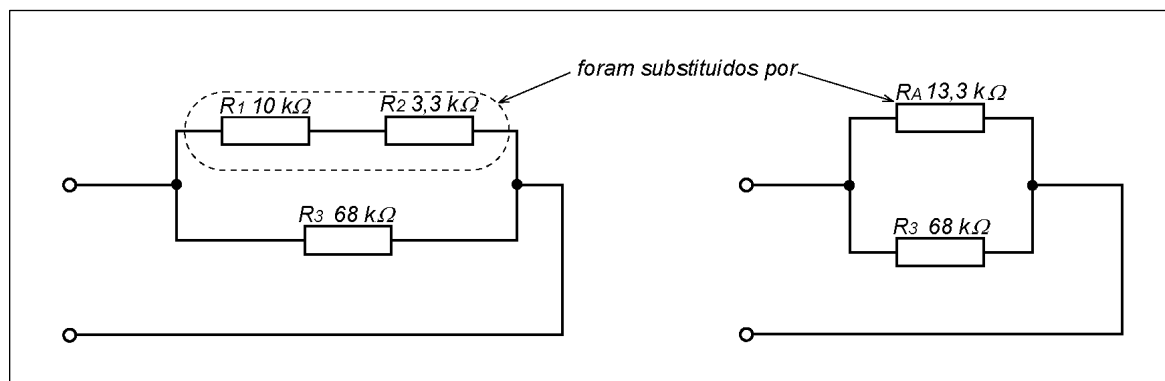
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots$$

Portanto:

$$R_A = R_1 + R_2$$

$$R_A = 10000 + 3300 = 13300\Omega$$

Substituindo R_1 e R_2 pelo seu valor equivalente no circuito original, obtemos o que mostra a figura a seguir.



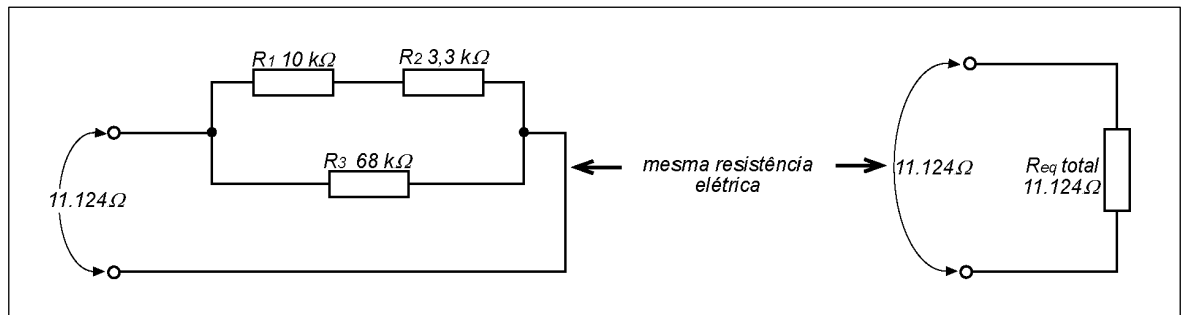
Da análise do circuito formado por R_A e R_3 , deduz-se que essas resistências estão em paralelo e podem ser substituídas por uma única resistência, com o mesmo efeito. Para a associação em paralelo de duas resistências, emprega-se a fórmula a seguir.

$$R_{e q} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

ou

$$R_{e q} = \frac{R_A \times R_3}{R_A + R_3} = \frac{13300 \times 68000}{13300 + 68000} = 11124 \Omega$$

Portanto, toda a associação mista pode ser substituída por uma única resistência de **11.124 Ω** .



Aplicando-se a associação de resistências ou uma única resistência de 11.124 Ω a uma fonte de alimentação, o resultado em termos de corrente é o **mesmo**.

8.6 - Exercícios

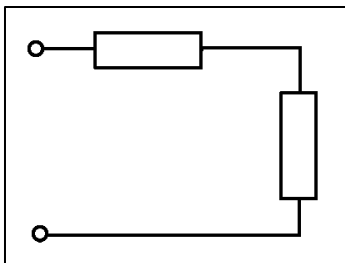
1. Responda às seguintes perguntas:

a) Qual é a característica fundamental de uma associação série com relação aos caminhos para a circulação da corrente elétrica?

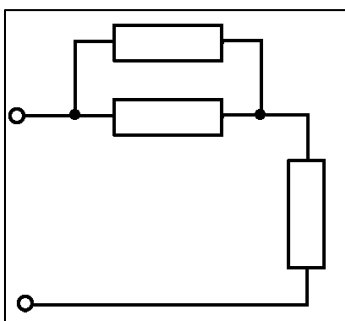
b) Qual é a característica fundamental de uma associação em paralelo com relação aos caminhos para a circulação da corrente elétrica?

c) Identifique os tipos de associação (série, em paralelo ou mista) nos circuitos a seguir.

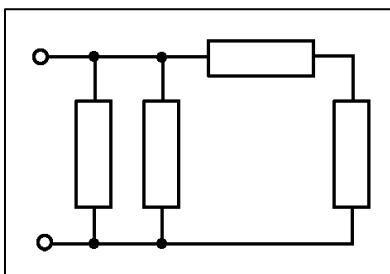
1)



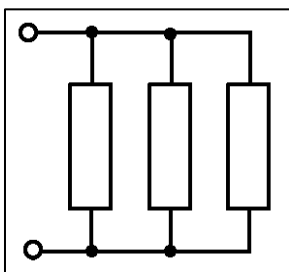
2)



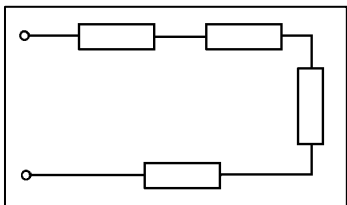
3)



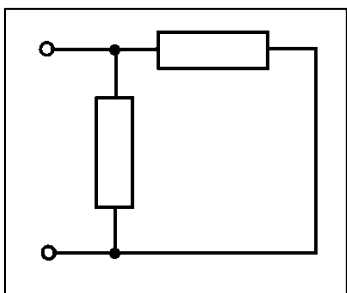
4)



5)



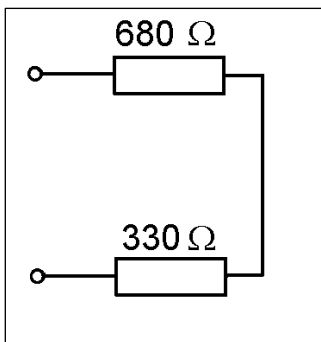
6)



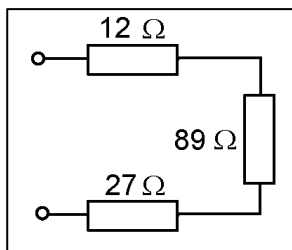
2. Faça o que se pede.

a) Determine a resistência equivalente das seguintes associações em série.

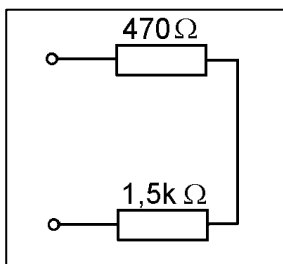
1)



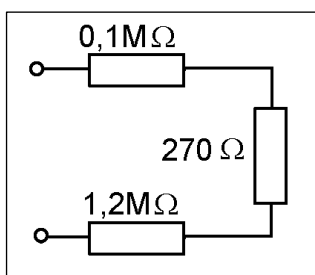
2)



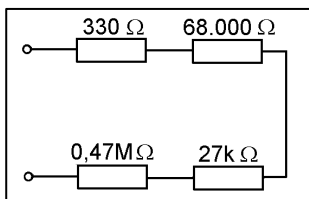
3)



4)

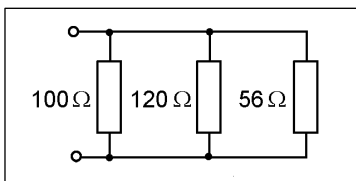


5)

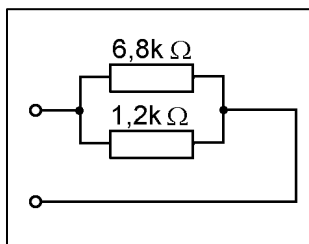


b) Determine a resistência equivalente das associações em paralelo a seguir.

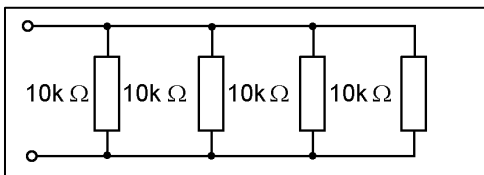
1)



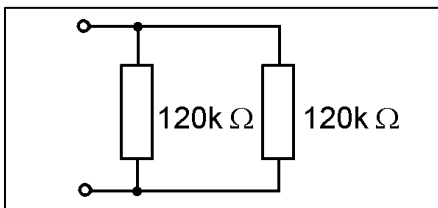
2)



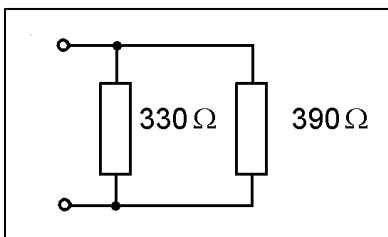
3)



4)

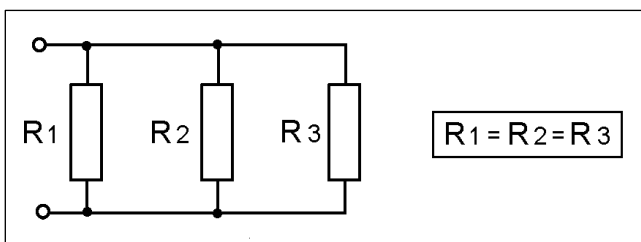


5)

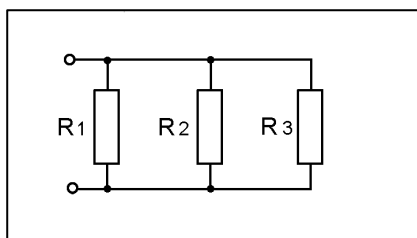


a) Registre ao lado de cada associação a equação mais adequada para o cálculo da resistência equivalente.

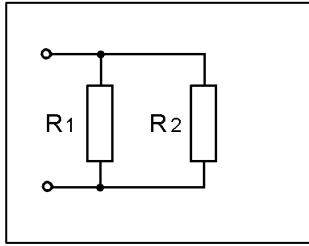
1)



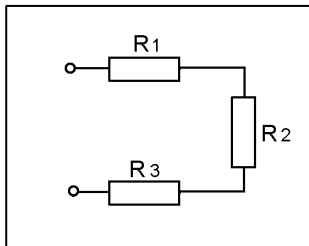
2)



3)

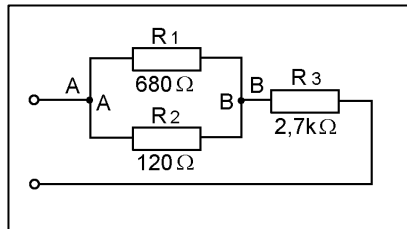


4)

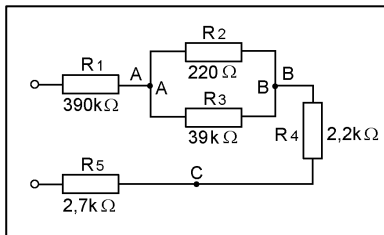


d) Determine a resistência equivalente entre os nós indicados em cada uma das associações de resistências.

1 - Entre os nós A e B

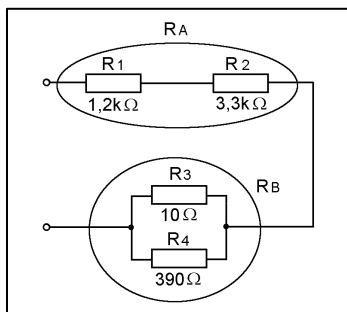


2 - Entre os nós B e C

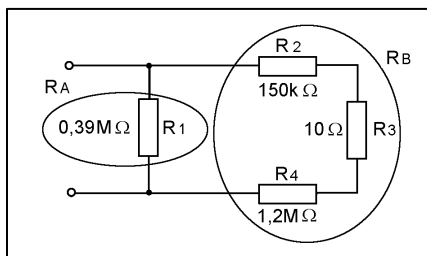


d) Determine, na seqüência, os valores R_A , R_B e R_{eq} em cada uma das associações.

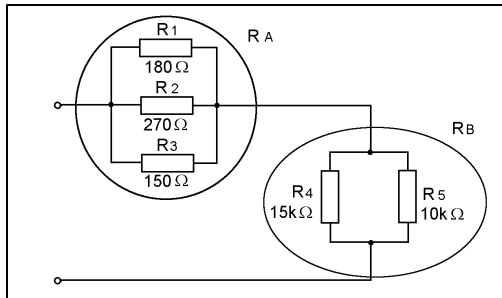
1)



2)

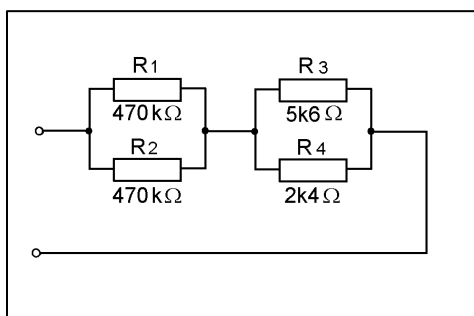


3)

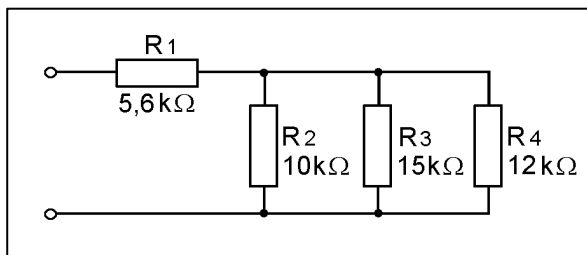


f) Determine, na seqüência, as resistências equivalentes totais de cada uma das associações a seguir.

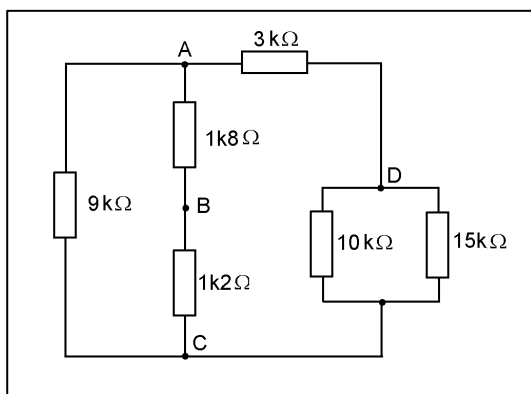
1)



2)



d) Tomando como base o conjunto de resistências abaixo, determine os valores pedidos a seguir.



⇒ A resistência equivalente, vista dos pontos A e C (ou seja, considerando os pontos A e C como terminais do circuito).

ReqTC = _____ Ω

⇒ A resistência equivalente, vista dos pontos D e C.

ReqDC = _____ Ω

⇒ A resistência equivalente vista dos pontos B e C.

ReqBC = _____ Ω

⇒ A resistência equivalente, vista dos pontos A e D.

ReqAD = _____ Ω

9 - Lei de Ohm

Muitos cientistas têm se dedicado ao estudo da eletricidade. Georg Simon Ohm, por exemplo, estudou a corrente elétrica e definiu uma relação entre corrente, tensão e resistência elétricas em um circuito. Foi a partir dessas descobertas que se formulou a Lei de Ohm.

Embora os conhecimentos sobre eletricidade tenham sido ampliados, a Lei de Ohm continua sendo uma lei básica da eletricidade e eletrônica, por isso conhecê-la é fundamental para o estudo e compreensão dos circuitos eletroeletrônicos.

Esta aula vai tratar da Lei de Ohm e da forma como a corrente elétrica é medida. Desse modo, você será capaz de determinar matematicamente e medir os valores das grandezas elétricas em um circuito.

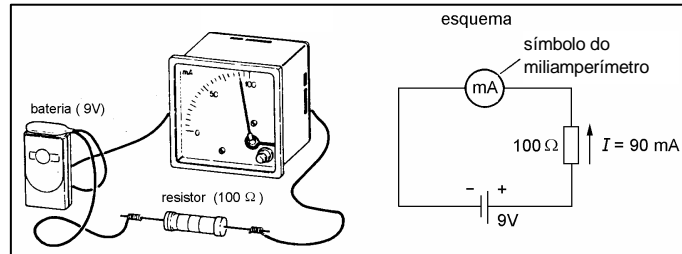
Para desenvolver de modo satisfatório os conteúdos e atividades aqui apresentados, você já deverá conhecer tensão elétrica, corrente e resistência elétrica e os respectivos instrumentos de medição.

9.1 - Determinação Experimental da Primeira Lei de Ohm

A Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas: tensão (V), corrente (I) e resistência (R) em um circuito.

Verifica-se a Lei de Ohm a partir de medições de tensão, corrente e resistência realizadas em circuitos elétricos simples, compostos por uma fonte geradora e um resistor.

Montando-se um circuito elétrico com uma fonte geradora de 9V e um resistor de 100 Ω, notamos que no multímetro, ajustado na escala de miliamperímetro, a corrente circulante é de 90 mA.



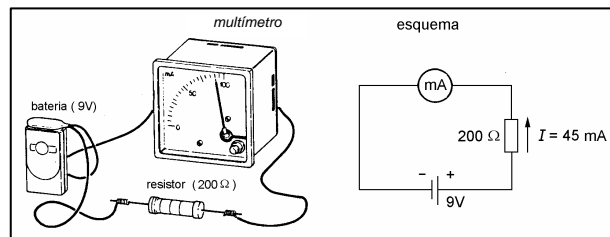
Formulando a questão, temos:

$$V = 9 \text{ V}$$

$$R = 100 \text{ } \Omega$$

$$I = 90 \text{ mA}$$

Vamos substituir o resistor de 100Ω por outro de 200Ω. Nesse caso, a resistência do circuito torna-se maior. O circuito impõe uma oposição **mais intensa** à passagem da corrente e faz com que a corrente circulante seja **menor**.



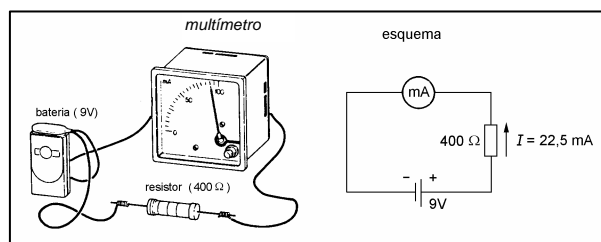
Formulando a questão, temos:

$$V = 9 \text{ V}$$

$$R = 200 \text{ } \Omega$$

$$I = 45 \text{ mA}$$

À medida que aumenta o valor do resistor, aumenta também a oposição à passagem da corrente que decresce na mesma proporção.



Formulando a questão, temos:

$$V = 9 \text{ V}$$

$$R = 400 \text{ } \Omega$$

$$I = 22,5 \text{ mA}$$

Colocando em tabela os valores obtidos nas diversas situações, obtemos:

Situação	Tensão (V)	Resistência (R)	Corrente (I)
1	9V	100 Ω	90 mA
2	9V	200 Ω	45 mA
3	9V	400 Ω	22,5 mA

Analisando-se a tabela de valores, verifica-se:

- A tensão aplicada ao circuito é sempre a mesma; portanto, as variações da corrente são provocadas pela mudança de resistência do circuito. Ou seja, quando a resistência do circuito aumenta, a corrente no circuito diminui.
- Dividindo-se o valor de tensão aplicada pela resistência do circuito, obtém-se o valor da intensidade de corrente:

Tensão aplicada	Resistência	Corrente
9V ÷	100 Ω	= 90 mA
9V ÷	200 Ω	= 45 mA
9V ÷	400 Ω	= 22,5 mA

A partir dessas observações, conclui-se que o valor de corrente que circula em um circuito pode ser encontrado dividindo-se o valor de tensão aplicada pela sua resistência. Transformando esta afirmação em equação matemática, tem-se a Lei de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}$$

Com base nessa equação, enuncia-se a Lei de Ohm:

“A intensidade da corrente elétrica em um circuito é **diretamente proporcional** à tensão aplicada e **inversamente proporcional** à sua resistência.”

9.2 - Aplicação da Lei de Ohm

Utiliza-se a Lei de Ohm para determinar os valores de tensão (V), corrente (I) ou resistência (R) em um circuito. Portanto, para obter em um circuito o valor desconhecido, basta conhecer dois dos valores da equação da Lei de Ohm: V e I , I e R ou V e R .

Para determinar um valor desconhecido, a partir da fórmula básica, usa-se as operações matemáticas e isola-se o termo procurado .

Fórmula básica:

$$I = \frac{V}{R}$$

Fórmulas derivadas:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$V = R \cdot I$$

Para que as equações decorrentes da Lei de Ohm sejam utilizadas, os valores das grandezas elétricas devem ser expressos nas unidades fundamentais:

- volt (V) \Rightarrow tensão
- ampère (A) \Rightarrow corrente
- ohm (Ω) \Rightarrow resistência

Observação

Caso os valores de um circuito estejam expressos em múltiplos ou submúltiplos das unidades, esses valores devem ser convertidos para as unidades fundamentais antes de serem usados nas equações.

Estude a seguir alguns exemplos de aplicação da Lei de Ohm

Exemplo 1 - Vamos supor que uma lâmpada utiliza uma alimentação de 6V e tem 120Ω de resistência. Qual o valor da corrente que circula pela lâmpada quando ligada?

Formulando a questão, temos:

$$V = 6V$$

$$R = 120\Omega$$

$$I = ?$$

Como os valores de V e R já estão nas unidades fundamentais volt e ohm, basta aplicar os valores na equação:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6}{120} = 0,05A$$

O resultado é dado também na unidade fundamental de intensidade de corrente. Portanto, circulam 0,05 A ou 50 mA quando se liga a lâmpada.

Exemplo 2 - Vamos supor também que o motor de um carrinho de autorama atinge a rotação máxima ao receber 9 V da fonte de alimentação. Nessa situação a corrente do motor é de 230 mA. Qual é a resistência do motor?

Formulando a questão, temos:

$$V = 9V$$

$$I = 230 \text{ mA (ou } 0,23A)$$

$$R = ?$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9}{0,23} = 39,1\Omega$$

Exemplo 3 - Por fim, vamos supor que um resistor de 22 kΩ foi conectado a uma fonte cuja tensão de saída é desconhecida. Um miliamperímetro colocado em série no circuito indicou uma corrente de 0,75 mA. Qual a tensão na saída da fonte?

Formulando a questão, temos:

$$I = 0,75 \text{ mA (ou } 0,00075A)$$

$$R = 22 \text{ k}\Omega \text{ (ou } 22000\Omega)$$

$$R = ?$$

$$V = R \cdot I$$

$$V = 22000 \cdot 0,00075 = 16,5 \text{ V}$$

Portanto, **V = 16,5V**

9.3 - Exercícios

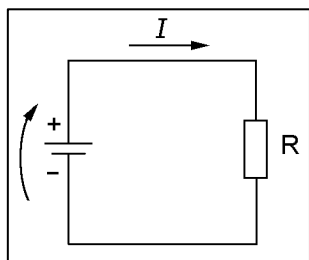
1. Responda às seguintes questões.

a) Qual é a equação da Lei de Ohm?

b) Dê as equações para o cálculo da corrente, tensão e resistência, segundo a Lei de Ohm.

c) Enuncie a Lei de Ohm.

d) No circuito a seguir calcule os valores, segundo a Lei de Ohm.



a) $V = 5V$

$R = 330\Omega$

$I =$ _____

b) $I = 15 \text{ mA}$

$R = 1,2K\Omega$

$V =$ _____

c) $V = 30V$

$I = 0,18A$

$R =$ _____

d) $I = 750\mu A$

$R = 0,68M\Omega$

$V =$ _____

e) $V = 600 \text{ mV}$

$R = 48\Omega$

$I =$ _____

f) $V = 12V$

$I = 1250\mu A$

$R =$ _____

g) $V = 5V$
 $I = 170 \text{ mA}$
 $R = \underline{\hspace{2cm}}$

h) $I = 300\mu\text{A}$
 $R = 47\text{k}\Omega$
 $V = \underline{\hspace{2cm}}$

i) $V = 60V$
 $R = 680\Omega$
 $I = \underline{\hspace{2cm}}$

j) $V = 12V$
 $R = 400\Omega$
 $I = \underline{\hspace{2cm}}$

h) $I = 1,2A$
 $V = 30V$
 $R = \underline{\hspace{2cm}}$

$R = 390\text{k}\Omega$
 $I = 540\mu\text{A}$
 $V = \underline{\hspace{2cm}}$

2. Resolva os problemas a seguir usando a Lei de Ohm.

a) Um componente eletrônico absorve uma corrente de 10 mA quando a tensão nos seus terminais é 1,7V. Qual é a resistência do componente?

b) Um alarme eletrônico anti-roubo para automóveis funciona com uma tensão de 12V. Sabendo-se que, enquanto o alarme não é disparado, sua resistência é de 400Ω, calcule a corrente que circula no aparelho.

c) O mesmo alarme do problema anterior (alimentação 12V), quando disparado, absorve 2A da bateria. Qual é a sua resistência quando disparado?

- d) Um toca-fitas de automóvel exige 0,6A da bateria. Sabendo-se que, nesta condição, sua resistência interna é de 10Ω , determinar pela Lei de Ohm se o automóvel tem bateria de 6 ou 12V.

10 - Potência Elétrica em CC

Certos conceitos de física já fazem parte do nosso dia-a-dia. Quando se opta, por exemplo, por uma lâmpada de menor potência para gastar menos energia elétrica, está-se aplicando um conceito de física chamado potência.

Potência é um conceito que está diretamente ligado à idéia de força, produção de som, calor, luz e até mesmo ao gasto de energia.

Estudando esta unidade sobre a potência elétrica em CC, você terá oportunidade de aprender como se determina a potência dissipada por uma carga ligada a uma fonte de energia elétrica.

Para desenvolver satisfatoriamente os conteúdos e atividades aqui apresentadas, você deverá conhecer resistores e Lei de Ohm.

10.1 - Potência Elétrica em CC

Ao passar por uma carga instalada em um circuito, a corrente elétrica produz, entre outros efeitos, calor, luz e movimento. Esses efeitos são denominados de **trabalho**.

O trabalho de transformação de energia elétrica em outra forma de energia é realizado pelo **consumidor** ou pela **carga**. Ao transformar a energia elétrica, o consumidor realiza um **trabalho elétrico**.

O tipo de trabalho depende da natureza do consumidor de energia. Um aquecedor, por exemplo, produz calor; uma lâmpada, luz; um ventilador, movimento.

A capacidade de cada consumidor produzir trabalho, em determinado tempo, a partir da energia elétrica é chamada de potência elétrica, representada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{\tau}{t}$$

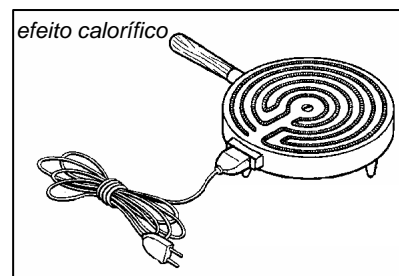
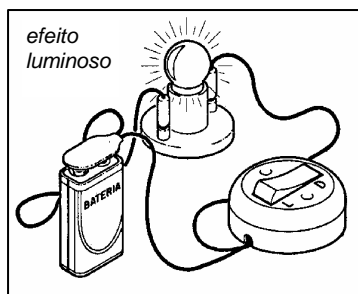
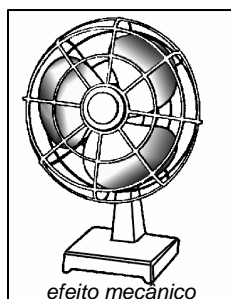
Onde **P** é a potência; τ (lê-se “tal”) é o trabalho e **t** é o tempo.

Para dimensionar corretamente cada componente em um circuito elétrico é preciso conhecer a sua potência.

10.2 - Trabalho Elétrico

Os circuitos elétricos são montados visando ao aproveitamento da energia elétrica. Nesses circuitos a energia elétrica é convertida em *calor*, *luz* e *movimento*. Isso significa que o trabalho elétrico pode gerar os seguintes efeitos:

- **Efeito calorífico** - Nos fogões, chuveiros, aquecedores, a energia elétrica converte-se em calor.
- **Efeito luminoso** - Nas lâmpadas, a energia elétrica converte-se em luz (e também uma parcela em calor).
- **Efeito mecânico** - Os motores convertem energia elétrica em força motriz, ou seja, em movimento.



10.3 - Potência Elétrica

Analisando um tipo de carga como as lâmpadas, por exemplo, vemos que nem todas produzem a mesma quantidade de luz. Um produz grandes quantidades de luz e outras, pequenas quantidades.

Da mesma forma, existem aquecedores que ferver um litro de água em 10 min e outros que o fazem em apenas cinco minutos. Tanto um quanto outro aquecedor realizam o mesmo trabalho elétrico: aquecer um litro de água à temperatura de 100° C.

A única diferença é que um deles é mais rápido, realizando o trabalho em menor tempo.

A partir da potência, é possível relacionar trabalho elétrico realizado e tempo necessário para sua realização.

Potência elétrica é, pois, a capacidade de realizar um trabalho numa unidade de tempo, a partir da energia elétrica.

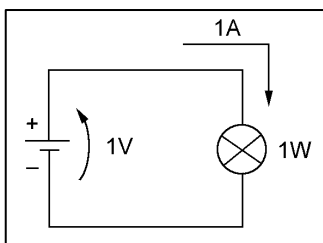
Assim, pode-se afirmar que são de potências diferentes:

- ⇒ as lâmpadas que produzem intensidade luminosa diferente;
- ⇒ os aquecedores que levam tempos diferentes para ferver uma mesma quantidade de água;
- ⇒ motores de elevadores (grande potência) e de gravadores (pequena potência).

10.4 - Unidade de Medida da Potência Elétrica

A potência elétrica é uma grandeza e, como tal, pode ser medida. A unidade de medida da potência elétrica é o **watt**, simbolizado pela letra **W**.

Um **watt** (1W) corresponde à potência desenvolvida no tempo de um segundo em uma carga, alimentada por uma tensão de 1V, na qual circula uma corrente de 1A.



A unidade de medida da potência elétrica **watt** tem múltiplos e submúltiplos como mostra a tabela a seguir.

Denominação			Valor em relação ao watt
Múltiplo	quilowatt	KW	10^3 W ou 1000 W
Unidade	Watt	W	1 W
Submúltiplos	miliwatt	mW	10^{-3} W ou 0,001 W
	microwatt	μ W	10^{-6} ou 0,000001 W

Na conversão de valores, usa-se o mesmo sistema de outras unidades.

KW		W			mW		μW		

Observe a seguir alguns exemplos de conversão

a) 1,3W = _____ mW

W		mW	
1	3		

↑ (posição inicial da vírgula)

1,3 W = 1300 mW

W		mW	
1	3	0	0

↑ (posição atual da vírgula)

b) 350W = _____ KW

KW		W	
	3	5	0

↑

350 W = 0,35 KW

KW		W	
0	3	5	

↑

c) 640 mW = _____ W

W		mW	
	6	4	0

↑

640 mW = 0,64 W

W		mW	
0	6	4	0

↑

d) 2,1 KW = _____ W

KW		W	
2	1		

↑

2,1 KW = 2100 W

KW		W	
2	1	0	0

↑

10.5 - Determinação da Potência de um Consumidor em CC

A potência elétrica (P) de um consumidor depende da tensão aplicada e da corrente que circula nos seus terminais. Matematicamente, essa relação é representada pela seguinte fórmula: **P = V . I**.

Nessa fórmula **V** é a tensão entre os terminais do consumidor expressa em **volts (V)**; **I** é a corrente circulante no consumidor, expressa em **ampéres (A)** e **P** é a potência dissipada expressa em **watts (W)**.

Exemplo - Uma lâmpada de lanterna de 6 V solicita uma corrente de 0,5 A das pilhas. Qual a potência da lâmpada?

Formulando a questão, temos:

$V = 6V \Rightarrow$ tensão nos terminais da lâmpada

$I = 0,5A \Rightarrow$ corrente através da lâmpada

$P = ?$

Como $P = V \cdot I \Rightarrow P = 6 \cdot 0,5 = 3W$

Portanto, **$P = 3W$**

A partir dessa fórmula inicial, obtém-se facilmente as equações de corrente para o cálculo de qualquer das três grandezas da equação. Desse modo temos:

- cálculo da potência quando se dispõe da tensão e da corrente:

$$P = V \cdot I.$$

- cálculo da corrente quando se dispõe da potência e da tensão:

$$I = \frac{P}{V}$$

- cálculo da tensão quando se dispõe da potência e da corrente:

$$V = \frac{P}{I}$$

Muitas vezes é preciso calcular a potência de um componente e não se dispõe da tensão e da corrente. Quando não se dispõe da tensão (V) não é possível calcular a potência pela equação $P = V \cdot I$. Esta dificuldade pode ser solucionada com auxílio da Lei de Ohm.

Para facilitar a análise, denomina-se a fórmula da Primeira Lei de Ohm, ou seja, $V = R \cdot I$, da **equação I** e a fórmula da potência, ou seja, $P = V \cdot I$, de **equação II**. Em seguida, substitui-se V da equação II pela definição de V da equação I:

$$V = R \cdot I \rightarrow \text{equação I}$$

$$P = V \cdot I \rightarrow \text{equação II}$$

Assim sendo, pode-se dizer que $P = R \cdot I \cdot I$, ou

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

Esta equação pode ser usada para determinar a potência de um componente. É conhecida como equação da potência por *efeito joule*.

Observação

Efeito joule é o efeito térmico produzido pela passagem de corrente elétrica através de uma resistência

Pode-se realizar o mesmo tipo de dedução para obter uma equação que permita determinar a potência a partir da tensão e resistência.

Assim, pela Lei de Ohm, temos:

$$I = \frac{V}{R} \rightarrow \text{equação I}$$

$$P = V \cdot I \rightarrow \text{equação II}$$

Fazendo a substituição, obtém-se:

$$P = V \cdot \frac{V}{R}$$

Que pode ser escrita da seguinte maneira:

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

A partir das equações básicas, é possível obter outras equações por meio de operações matemáticas.

Fórmulas básicas

Fórmulas derivadas

$$P = R \cdot I^2 \begin{cases} \rightarrow R = \frac{P}{I^2} \\ \rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} \end{cases}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \begin{cases} \rightarrow V = \sqrt{P \cdot R} \\ \rightarrow R = \frac{V^2}{P} \end{cases}$$

A seguir são fornecidos alguns exemplos de como se utilizam as equações para determinar a potência.

Exemplo 1 - Um aquecedor elétrico tem uma resistência de 8Ω e solicita uma corrente de 10 A. Qual é a sua potência?

Formulando a questão, temos:

$$I = 10 \text{ A}$$

$$R = 8 \Omega$$

$$P = ?$$

Aplicando a fórmula $P = I^2 \cdot R$, temos:

$$P = 10^2 \cdot 8 \Rightarrow P = 800 \text{ W}$$

Exemplo 2 - Um isqueiro de automóvel funciona com 12 V fornecidos pela bateria. Sabendo que a resistência do isqueiro é de 3Ω , calcular a potência dissipada.

Formulando a questão, temos:

$$V = 12 \text{ V}$$

$$R = 3 \Omega$$

$$P = ?$$

Aplicando a fórmula:

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow P = \frac{12^2}{3} \Rightarrow P = 48 \text{ W}$$

10.6 - Potência Nominal

Certos aparelhos como chuveiros, lâmpadas e motores têm uma característica particular: seu funcionamento obedece a uma tensão previamente estabelecida. Assim, existem chuveiros para 110V ou 220V; lâmpadas para 6V, 12V, 110V, 220V e outras tensões; motores, para 110V, 220V, 380V, 760V e outras.

Esta tensão, para a qual estes consumidores são fabricados, chama-se *tensão nominal de funcionamento*. Por isso, os consumidores que apresentam tais características devem sempre ser ligados na tensão correta (nominal), normalmente especificada no seu corpo.

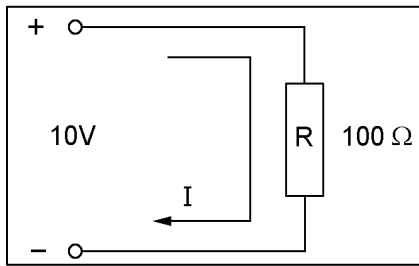


Quando esses aparelhos são ligados corretamente, a quantidade de calor, luz ou movimento produzida é exatamente aquela para a qual foram projetados. Por exemplo, uma lâmpada de 110 V/60 W ligada corretamente (em 110 V) produz 60 W entre luz e calor. A lâmpada, nesse caso, está dissipando a sua potência nominal. Portanto, potência nominal é a potência para qual um consumidor foi projetado. Enquanto uma lâmpada, aquecedor ou motor trabalha dissipando sua potência nominal, sua condição de funcionamento é ideal.

10.7 - Limite de Dissipação de Potência

Há um grande número de componentes eletrônicos que se caracteriza por não ter uma tensão de funcionamento especificada. Estes componentes podem funcionar com os mais diversos valores de tensão. É o caso dos resistores que não trazem nenhuma referência quanto à tensão nominal de funcionamento.

Entretanto, pode-se calcular qualquer potência dissipada por um resistor ligado a uma fonte geradora. Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura a seguir.



A potência dissipada é

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{10^2}{100} = \frac{100}{100} = 1$$

$$\Rightarrow P = 1 \text{ W}$$

Como o resistor não produz luz ou movimento, esta potência é dissipada em forma de calor que aquece o componente. Por isso é necessário verificar se a quantidade de calor produzida pelo resistor não é excessiva a ponto de danificá-lo

Desse modo podemos estabelecer a seguinte relação:

maior potência dissipada \Rightarrow **maior aquecimento**
menor potência dissipada \Rightarrow **menor aquecimento**

Portanto, se a dissipação de potência for limitada, a produção de calor também o será.

10.8 - Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas.

a) O que se pode dizer sobre a potência de dois aquecedores, sabendo-se que um deles produz maior quantidade de calor que o outro no mesmo tempo?

b) Cite dois exemplos de efeitos que podem ser obtidos a partir da energia elétrica

c) O que é potência elétrica? Qual a sua unidade de medida?

d) Faça as conversões:

0,25 W = _____ mW

1 kW = _____ W

180 mW = _____ W

35 W = _____ KW

200 W = _____ mW

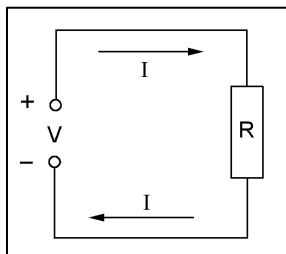
0,07 W = _____ mW

2. Resolva as seguintes questões.

a) Qual é a equação para determinar a potência de um consumidor?

b) Dê a equação conhecida como potência elétrica por efeito Joule.

c) Determine os valores solicitados em cada uma das situações a seguir, tomando o circuito desenhado abaixo como referência.



$V = 10 \text{ V}$

$R = 56 \Omega$

$I = \underline{\hspace{2cm}}$

$P = \underline{\hspace{2cm}}$

$P = 0,3 \text{ W}$

$V = 12 \text{ V}$

$I = \underline{\hspace{2cm}}$

$R = \underline{\hspace{2cm}}$

$P = 1 \text{ W}$

$I = 0,25 \text{ A}$

$V = \underline{\hspace{2cm}}$

$R = \underline{\hspace{2cm}}$

$I = 120 \text{ mA}$

$V = 5 \text{ V}$

$R = \underline{\hspace{2cm}}$

$P = \underline{\hspace{2cm}}$

$R = 89 \Omega$

$I = 0,35 \text{ A}$

$P = \underline{\hspace{2cm}}$

$V = \underline{\hspace{2cm}}$

$V = 30 \text{ V}$

$R = 4,7 \text{ k}\Omega$

$I = \underline{\hspace{2cm}}$

$P = \underline{\hspace{2cm}}$

3. Resolva os seguintes problemas.

a) O motor de partida de automóvel de 12 V solicita uma corrente de 50 A. Qual a potência do motor de partida?

b) Uma lâmpada tem as seguintes características 110 V - 100 W. Que corrente esta lâmpada solicita da rede elétrica, quando ligada?

c) Um sistema de aquecedores se compõe de dois resistores de 15 Ω ligados em série. Sabendo-se que, quando ligado, a corrente do sistema é de 8 A, determinar a sua potência (use a equação da resistência total e posteriormente a da potência por efeito joule).

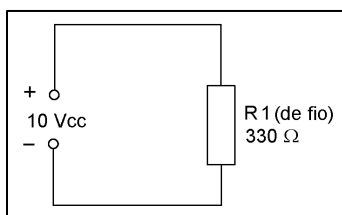
4. Responda às seguintes perguntas.

a) O que é potência nominal de um aparelho elétrico?

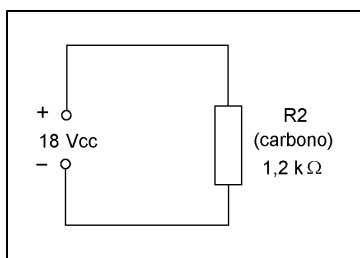
b) Por que é importante conhecer a tensão nominal de funcionamento de um aparelho antes de conectá-lo à rede elétrica?

c) A placa de especificação de um aquecedor apresenta os seguintes dados: 5 A, 600 W. Qual a tensão nominal do aquecedor?

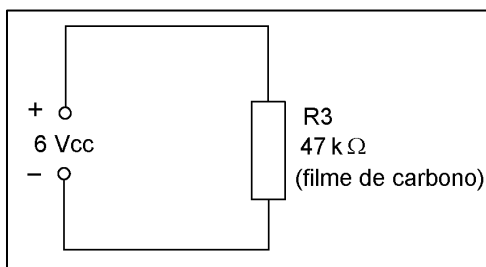
d) Nos circuitos abaixo, determine a potência real dissipada nos resistores R_1 , R_2 e R_3 .



$P_1 =$ _____



$P_2 =$ _____



$P_3 =$ _____

e) Considerando os resultados da questão anterior, complete a especificação de cada um dos resistores para que trabalhem frios ($P_{\text{Real}} \leq 30\%$ de P_{nominal}).

$R_1 =$ _____ $330 \Omega \pm 10\%$ _____
Tipo P_{nominal}

$R_2 =$ _____ $1,2 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ _____
Tipo P_{nominal}

$R_3 =$ _____ $47 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ _____
Tipo P_{nominal}

11 - Primeira Lei de Kirchhoff

Em geral, os circuitos eletrônicos constituem-se de vários componentes, todos funcionando simultaneamente. Ao abrir um rádio portátil ou outro aparelho eletrônico qualquer, observamos quantos componentes são necessários para fazê-lo funcionar.

Ao ligar um aparelho, a corrente flui por muitos caminhos; e a tensão fornecida pela fonte de energia distribui-se pelos componentes. Esta distribuição de corrente e tensão obedece a duas leis fundamentais formuladas por Kirchhoff.

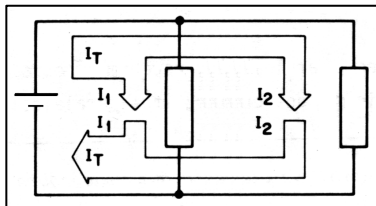
Entretanto, para compreender a distribuição das correntes e tensões em circuitos que compõem um rádio portátil, por exemplo, precisamos compreender antes como ocorre esta distribuição em circuitos simples, formados apenas por resistores, lâmpadas, etc...

Esta lição vai tratar das Leis de Kirchhoff e da medição da tensão e da corrente em circuitos com mais de uma carga, visando capacitá-lo a calcular e medir tensões e correntes em circuitos desse tipo.

Para desenvolver satisfatoriamente os conteúdos e as atividades aqui apresentados, você deverá saber previamente o que é associação de resistores e Lei de Ohm.

11.1 - Primeira Lei de Kirchhoff

A Primeira Lei de Kirchhoff, também chamada de Lei das Correntes de Kirchhoff (LCK) ou Lei dos Nós, refere-se à forma como a corrente se distribui nos circuitos em paralelo.



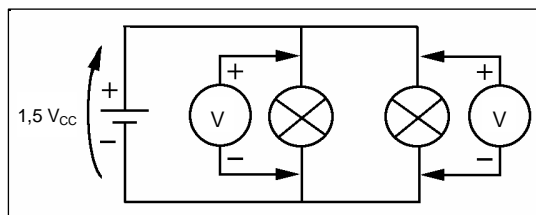
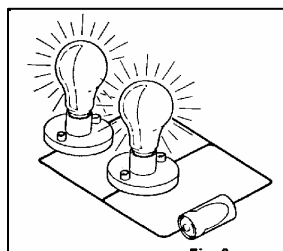
A partir da Primeira Lei de Kirchhoff e da Lei de Ohm, podemos determinar a corrente em cada um dos componentes associados em paralelo. Para compreender essa primeira lei, precisamos conhecer algumas características do circuito em paralelo.

11.1.1 - Características do Circuito em Paralelo

O circuito em paralelo apresenta três características fundamentais:

- fornece mais de um caminho à circulação da corrente elétrica;
- a tensão em todos os componentes associados é a mesma;
- as cargas são independentes.

Estas características são importantes para a compreensão das leis de Kirchhoff. Podem ser constatadas tomando como ponto de partida o circuito abaixo.



Observe que tanto a primeira como a segunda lâmpada têm um dos terminais ligado diretamente ao pólo positivo e o outro, ao pólo negativo. Dessa forma, cada lâmpada conecta-se diretamente à pilha e recebe $1,5 V_{CC}$ nos seus terminais.

11.1.2 - As correntes na Associação em Paralelo

A função da fonte de alimentação nos circuitos é fornecer aos consumidores a corrente necessária para seu funcionamento.

Quando um circuito possui apenas uma fonte de alimentação, a corrente fornecida por essa fonte chama-se corrente total. Nos esquemas, é representada pela notação I_T .

Em relação à fonte de alimentação não importa que os consumidores sejam lâmpadas, resistores ou aquecedores. O que importa é a tensão e a resistência total dos consumidores que determinam a corrente total (I_T) fornecida por essa mesma fonte.

A corrente total é dada pela divisão entre tensão total e resistência total. Matematicamente, a corrente total é obtida por:

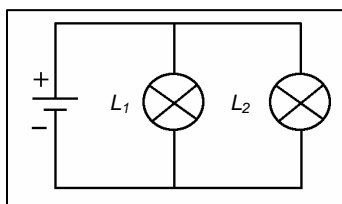
$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

Observação

Chega-se a esse resultado aplicando a Lei de Ohm ao circuito:

$$I = \frac{V}{R}$$

No exemplo a seguir, a corrente total depende da tensão de alimentação (1,5 V) e da resistência total das lâmpadas (L_1 e L_2 em paralelo).

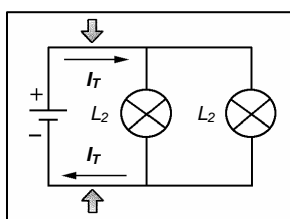


$$R_T = \frac{R_{L1} \cdot R_{L2}}{R_{L1} + R_{L2}} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = \frac{60000}{500} = 120 \Omega$$

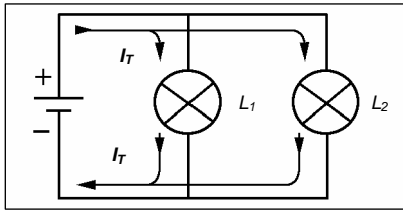
Portanto, a corrente total será:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{1,5}{120} = 0,0125A \text{ ou } 12,5 \text{ mA}$$

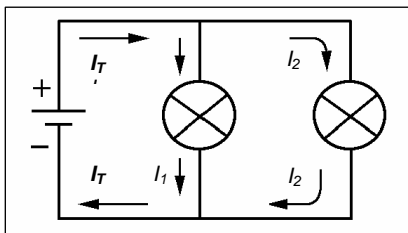
Este valor de corrente circula em toda a parte do circuito que é comum às duas lâmpadas.



A partir do nó (no terminal positivo da pilha), a corrente total (I_T) divide-se em duas partes.

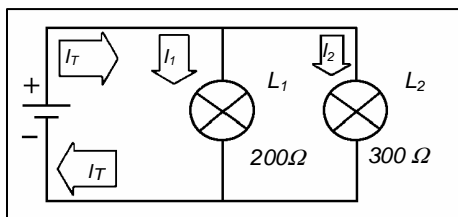


Essas correntes são chamadas de correntes parciais e podem ser denominadas I_1 (para a lâmpada 1) e I_2 (para a lâmpada 2).



A forma como a corrente I_T se divide a partir do nó depende unicamente da resistência das lâmpadas. Assim, a lâmpada de menor resistência permitirá a passagem de maior parcela da corrente I_T .

Portanto, a corrente I_1 na lâmpada 1 (de menor resistência) será **maior** que a corrente I_2 na lâmpada 2.



$$I_1 > I_2$$

Pode-se calcular o valor da corrente que circula em cada ramal a partir da Lei de Ohm. Para isso basta conhecer a tensão aplicada e a resistência de cada lâmpada. Desse modo, temos:

- **Lâmpada 1**

$$I_1 = \frac{V_{L_1}}{R_{L_1}} = \frac{1,5}{200} = 0,0075 \text{ A ou } 7,5 \text{ mA}$$

- Lâmpada 2

$$I_2 = \frac{V_{L2}}{R_{L2}} = \frac{1,5}{300} = 0,005 \text{ A} , \text{ ou seja, } 5 \text{ mA}$$

Com essas noções sobre o circuito em paralelo, podemos compreender melhor a Primeira Lei de Kirchhoff que diz: "A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem."

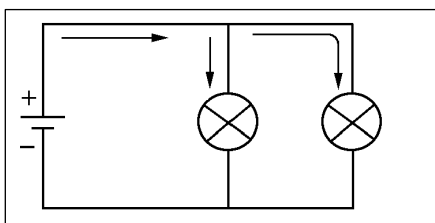
Matematicamente, isso resulta na seguinte equação:

$$I_T = I_1 + I_2$$

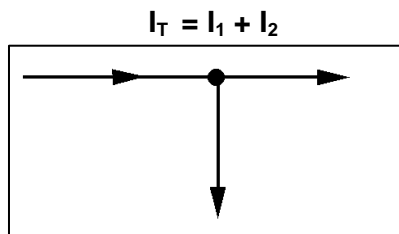
A partir desse enunciado, é possível determinar um valor de corrente desconhecida, bastando para isso que se disponha dos demais valores de corrente que chegam ou saem de um nó.

11.1.3 - Demonstração da 1ª Lei de Kirchhoff

Para demonstrar essa 1ª Lei de Kirchhoff, vamos observar os valores já calculados do circuito em paralelo mostrado a seguir.



Vamos considerar o nó superior: neste caso, temos o que mostra a figura a seguir.



Observando os valores de corrente no nó, verificamos que realmente as correntes que saem, somadas, originam um valor igual ao da corrente que entra.

11.2 - Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas.

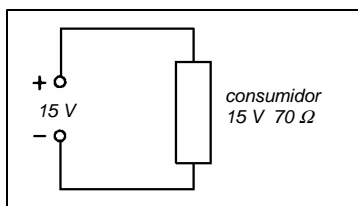
a) A que se refere a primeira Lei de Kirchhoff?

b) O que pode se afirmar a respeito da tensão presente sobre dois componentes A e B ligados em paralelo?

c) Quais são as duas características fundamentais dos circuitos paralelos?

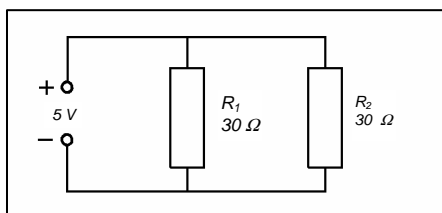
d) O que é corrente total?

e) Determine a corrente total no circuito a seguir.

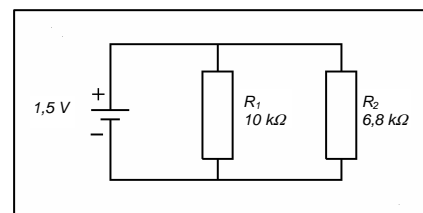


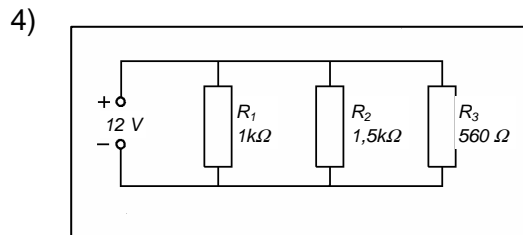
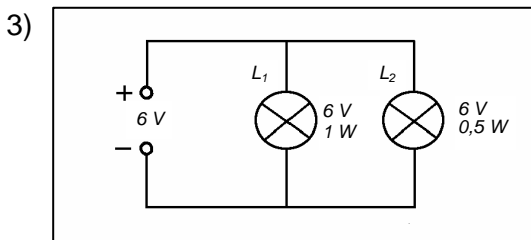
f) Determine I_T nos circuitos que seguem.

1)

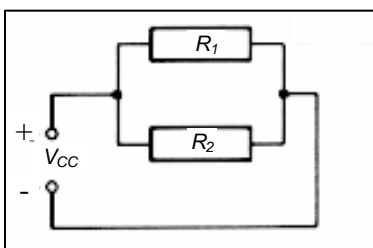


2)



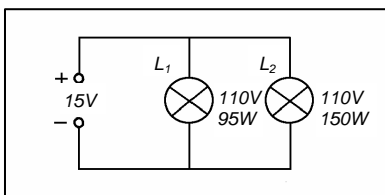
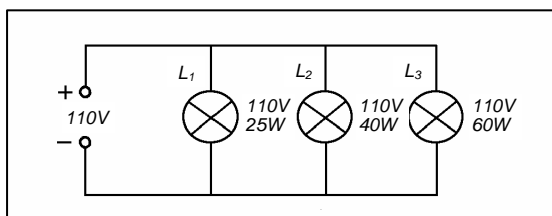
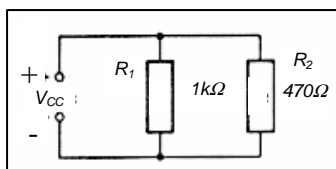


g) Identifique as partes do circuito por onde circula a corrente I_T e a parte por onde circulam correntes parciais.



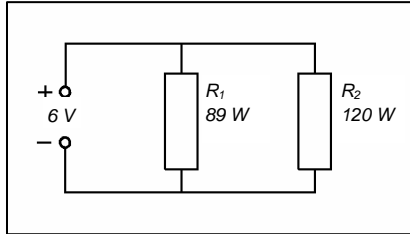
h) Indique e justifique os consumidores, por onde circulam

- 1) a maior corrente parcial
- 2) a menor corrente parcial

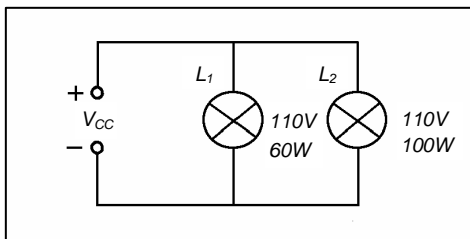


i) Determine os valores de corrente (I_T , I_1 , I_2 , ...) nos seguintes circuitos:

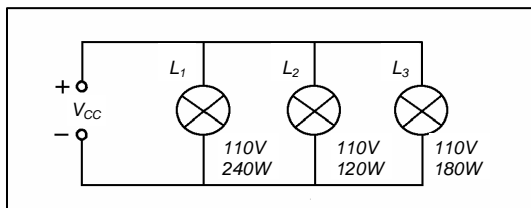
1)



2)

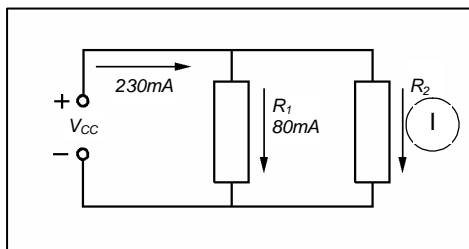


3)

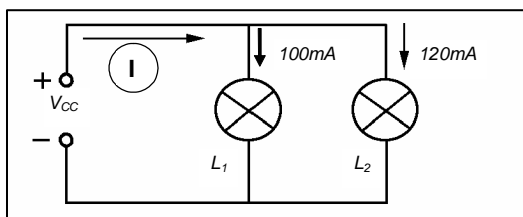


j) Determine as correntes que estão indicadas por um círculo, em cada um dos circuitos, usando a Primeira Lei de Kirchhoff.

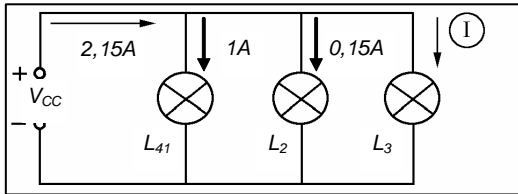
1)



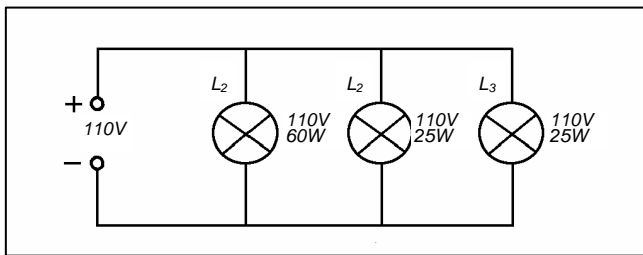
2)



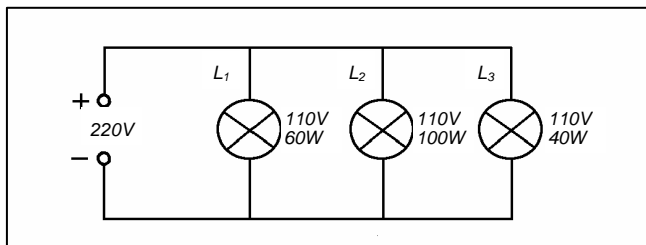
3)



k) Redesenhe o circuito abaixo acrescentando três interruptores no circuito, de forma que cada lâmpada possa ser comandada independentemente.

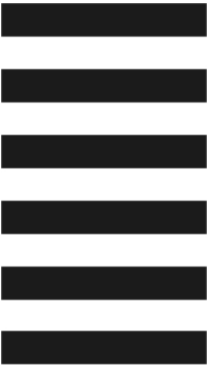


l) Redesenhe o circuito abaixo acrescentando dois interruptores no circuito, de forma que um comande apenas a lâmpada L₁ e o outro comande as lâmpadas L₂ e L₃ juntas.



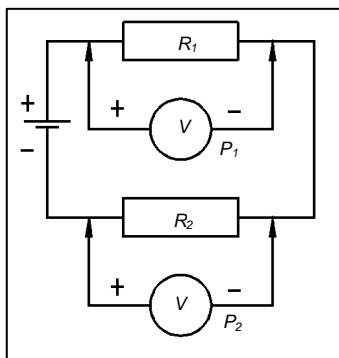
m) O que diz a Primeira Lei de Kirchhoff?

n) Quais são os outros nomes usados para denominar a Primeira Lei de Kirchhoff.



11.3 - Segunda Lei de Kirchhoff

A 2ª Lei de Kirchhoff, também conhecida como Lei das Malhas ou Lei das Tensões de Kirchhoff (LTK), refere-se à forma como a tensão se distribui nos circuitos em série.



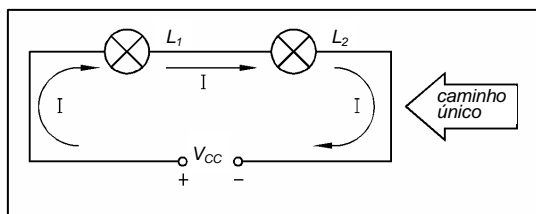
Por isso, para compreender essa lei, é preciso conhecer antes algumas características do circuito em série.

11.3.1 - Características do Circuito Série

O circuito série apresenta três características importantes:

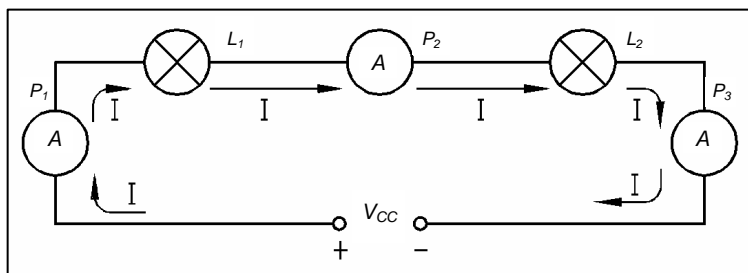
1. fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica;
2. a intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito em série;
3. o funcionamento de qualquer um dos consumidores depende do funcionamento dos consumidores restantes.

O circuito ao lado ilustra a primeira característica: como existe um único caminho, a mesma corrente que sai do pólo positivo da fonte passa pela lâmpada L1 e chega à lâmpada L2 e retorna à fonte pelo pólo negativo.



Isso significa que um medidor de corrente (amperímetro, miliamperímetro...) pode ser colocado em qualquer parte do circuito. Em qualquer posição, o valor indicado

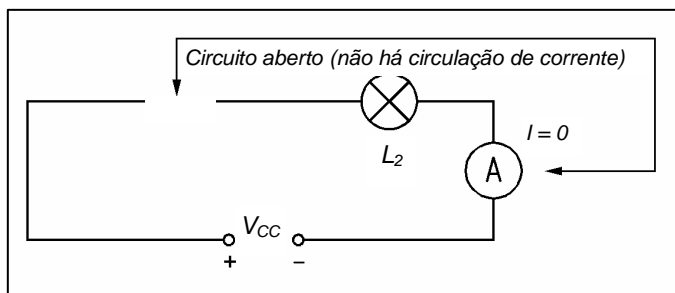
pele instrumento será o mesmo. A figura a seguir ajuda a entender a segunda característica do circuito em série.



Observação

A corrente que circula em um circuito em série é designada simplesmente pela notação I .

A forma de ligação das cargas, uma após a outra, mostradas na figura abaixo, ilustra a terceira característica. Caso uma das lâmpadas (ou qualquer tipo de carga) seja retirada do circuito, ou tenha o filamento rompido, o circuito elétrico fica aberto, e a corrente cessa.



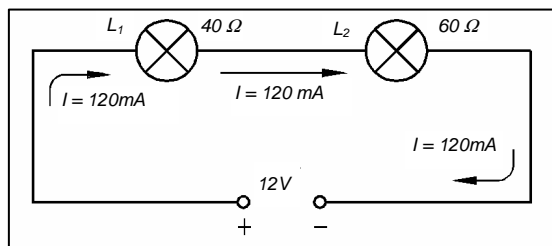
Pode-se dizer, portanto, que num circuito em série o funcionamento de cada componente depende dos restantes.

11.3.2 - Corrente na Associação em Série

Pode-se determinar a corrente de igual valor ao longo de todo o circuito em série, com o auxílio da Lei de Ohm. Nesse caso, deve-se usar a tensão nos terminais da associação e a sua resistência total será como é mostrado na expressão a seguir.

$$I = \frac{V_T}{R_T}$$

Observe o circuito a seguir.



Tomando-o como exemplo, temos:

$$R_T = 40\Omega + 60\Omega = 100\Omega$$

$$V_T = 12V$$

$$I = \frac{12}{100} = 0,12A \text{ ou } 120mA$$

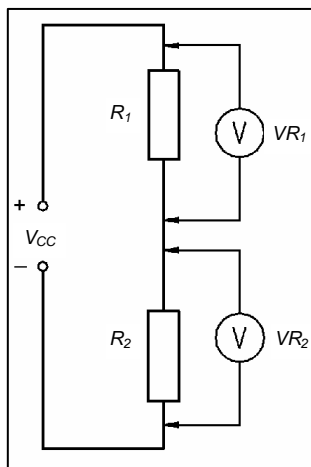
11.3.3 - Tensões no Circuito em Série

Como os dois terminais da carga não estão ligados diretamente à fonte, a tensão nos componentes de um circuito em série difere da tensão da fonte de alimentação.

O valor de tensão em cada um dos componentes é sempre **menor** que a tensão de alimentação.

A parcela de tensão que fica sobre cada componente do circuito denomina-se queda de tensão no componente. A queda de tensão é representada pela notação **V**.

Observe no circuito a seguir o voltímetro que indica a queda de tensão em R₁ (V_{R1}) e o voltímetro que indica a queda de tensão em R₂ (V_{R2}).

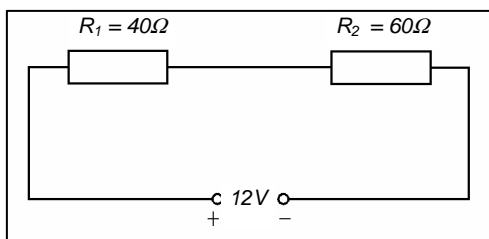


11.3.4 - Determinação da Queda de Tensão

A queda de tensão em cada componente da associação em série pode ser determinada pela Lei de Ohm. Para isso é necessário dispor-se tanto da corrente no circuito como dos seus valores de resistência.

$$V_R = R \times I \begin{cases} \rightarrow V_{R_1} = R_1 \times I \\ \rightarrow V_{R_2} = R_2 \times I \\ \rightarrow V_{R_n} = R_n \times I \end{cases}$$

Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura abaixo.



$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{100} = 0,12A$$

$$V = R \cdot I \begin{cases} \rightarrow \text{queda de tensão em } R_1: V_{R_1} = R_1 \cdot I = 40 \cdot 0,12 = \mathbf{4,8V} \\ \rightarrow \text{queda de tensão em } R_2: V_{R_2} = R_2 \cdot I = 60 \cdot 0,12 = \mathbf{7,2V} \end{cases}$$

Observando os valores de resistência e a queda de tensão, notamos que:

- o resistor de **maior resistência** fica com uma parcela **maior** de tensão;
- o resistor de **menor resistência** fica com a **menor** parcela de tensão.

Pode-se dizer que, em um circuito em série, a queda de tensão é proporcional ao valor do resistor, ou seja

maior resistência → *maior queda de tensão*

menor resistência → *menor queda de tensão*

Com essas noções sobre o circuito em série, fica mais fácil entender a 2ª Lei de Kirchhoff que diz que: "A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação em série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos."

Chega-se a essa lei tomando-se como referência os valores de tensão nos resistores do circuito determinado anteriormente e somando as quedas de tensão nos dois resistores ($V_{R1} + V_{R2}$). Disso resulta: $4,8V + 7,2V = 12V$, que é a tensão de alimentação.

11.3.5 - Aplicação

Geralmente a 2ª Lei de Kirchhoff serve de "ferramenta" para determinar quedas de tensão desconhecidas em circuitos eletrônicos.

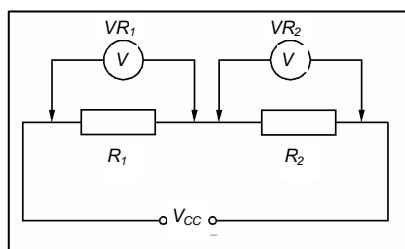
O circuito em série, formado por dois ou mais resistores, divide a tensão aplicada na sua entrada em duas ou mais partes. Portanto, o circuito em série é um **divisor de tensão**.

Observação

O **divisor de tensão** é usado para diminuir a tensão e para "polarizar" componentes eletrônicos, tornando a tensão adequada quanto à polaridade e quanto à amplitude.

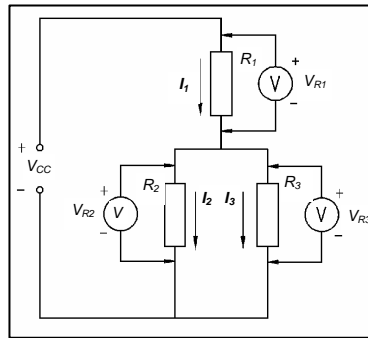
É também usado em medições de tensão e corrente, dividindo a tensão em amostras conhecidas em relação à tensão medida.

Quando se dimensionam os valores dos resistores, pode-se dividir a tensão de entrada da forma que for necessária.



11.4 - Leis de Kirchhoff e de Ohm em Circuitos Mistos.

As Leis de Kirchhoff e de Ohm permitem determinar as tensões ou correntes em cada componente de um circuito misto.



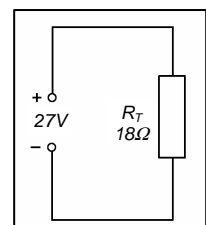
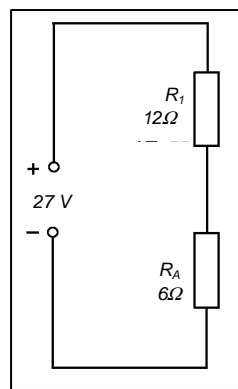
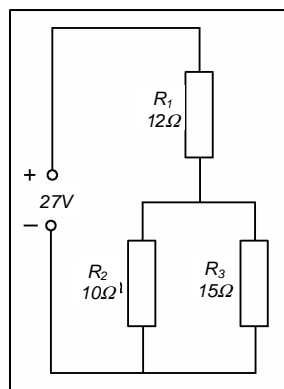
Os valores elétricos de cada componente do circuito podem ser determinados a partir da execução da seqüência de procedimentos a seguir:

- determinação da resistência equivalente;
- determinação da corrente total;
- determinação das tensões ou correntes nos elementos do circuito.

11.4.1 - Determinação da Resistência Equivalente

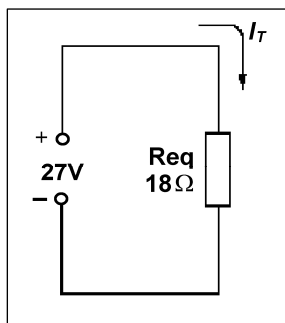
Para determinar a resistência equivalente, ou total (R_T) do circuito, empregam-se os "circuitos parciais". A partir desses circuitos, é possível reduzir o circuito original e simplificá-lo até alcançar o valor de um único resistor.

Pela análise dos esquemas dos circuitos abaixo fica clara a determinação da resistência equivalente.



11.4.2 - Determinação da Corrente Total

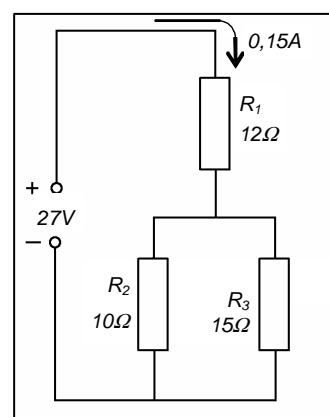
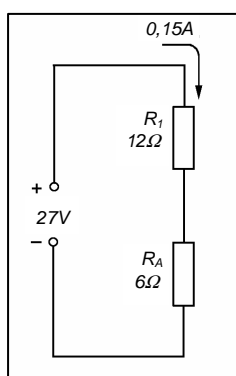
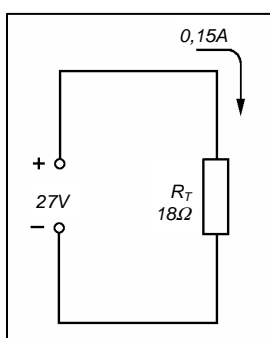
Pode-se determinar a corrente total aplicando ao circuito equivalente final a Lei de Ohm.



$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{27V}{18\Omega} = 1,5 A$$

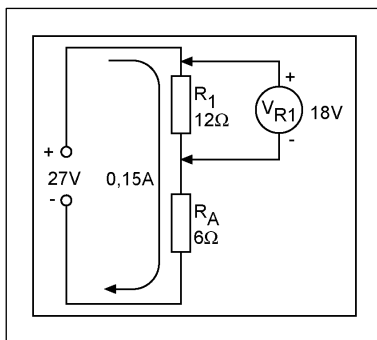
$$I_T = 1,5 A$$

O circuito equivalente final é uma representação simplificada do circuito original (e do circuito parcial). Conseqüentemente, a corrente calculada também é válida para esses circuitos, conforme mostra a seqüência dos circuitos abaixo.

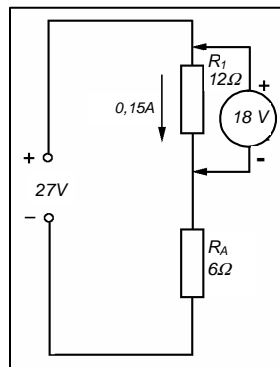


11.4.3 - Determinação das Tensões e Correntes Individuais

A corrente total, aplicada ao “circuito parcial”, permite determinar a queda de tensão no resistor R_1 . Observe que $V_{R1} = I_{R1} \cdot R_1$. Como I_{R1} é a mesma I , $V_{R1} = 0,15A \cdot 12\Omega = 18 V$ **$V_{R1} = 18 V$** .



Pode-se determinar a queda de tensão em R_A pela 2ª Lei de Kirchhoff: a soma das quedas de tensão num circuito em série equivale à tensão de alimentação.



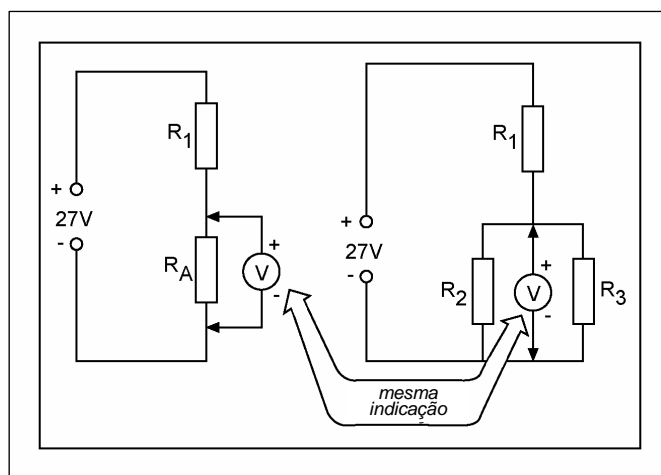
$$V_T = V_{R1} + V_{RA}$$

$$V_{RA} = V_T - V_{R1} = 27 \text{ V} - 18 \text{ V} = 9 \text{ V}$$

Observação

Determina-se também a queda de tensão em R_A pela Lei de Ohm: $V_{RS} = I \cdot R_A$, porque os valores de I (0,15 A) e R_A (6 Ω) são conhecidos. Ou seja: $V_{RA} = 0,15 \text{ A} \cdot 6 \Omega = 9 \text{ V}$.

Calculando a queda de tensão em R_A , obtém-se na realidade a queda de tensão na associação em paralelo $R_2 \ R_3$.



$$V_{RA} = V_{R2} = V_{R3}$$

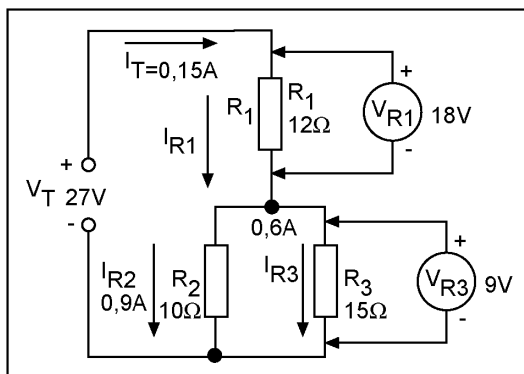
Os últimos dados ainda não determinados são as correntes em R_2 (I_{R2}) e R_3 (I_{R3}). Estas correntes podem ser calculadas pela Lei de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}$$

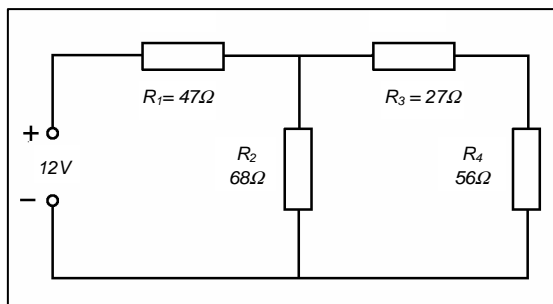
$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{9 \text{ V}}{10 \Omega} = 0,9 \text{ A}$$

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{9 \text{ V}}{15 \Omega} = 0,6 \text{ A}$$

A figura a seguir mostra o circuito original com todos os valores de tensão e corrente.



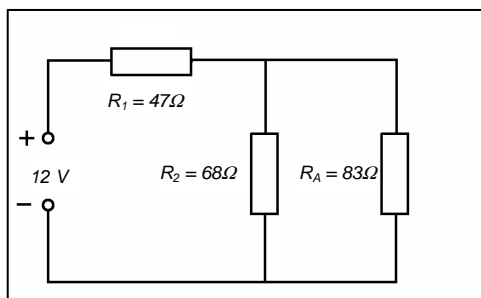
A seguir, é apresentado outro circuito como mais um exemplo de desenvolvimento desse cálculo.



O cálculo deve ser feito nas seguintes etapas:

a) Determinação da resistência equivalente

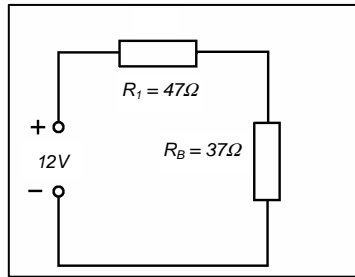
Para determinar a resistência equivalente, basta substituir R_3 e R_4 em série no circuito por R_A .



$$R_A = R_3 + R_4 = 27 + 56 = 83$$

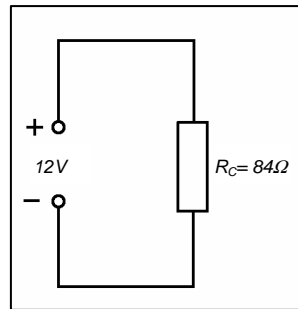
$$R_A = 83\Omega$$

Substituindo a associação de $R_2//R_A$ por um resistor R_B , temos:



$$R_B = \frac{R_A \times R_2}{R_A + R_2} = \frac{68 \times 83}{68 + 83} = 37 \Omega$$

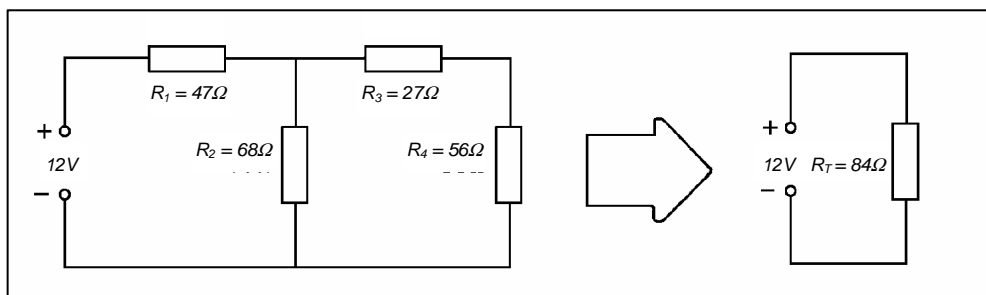
Substituindo a associação em série de R_1 e R_B por um resistor R_C , temos o que mostra a figura a seguir.



$$R_C = R_1 + R_B = 47 + 37 = 84\Omega$$

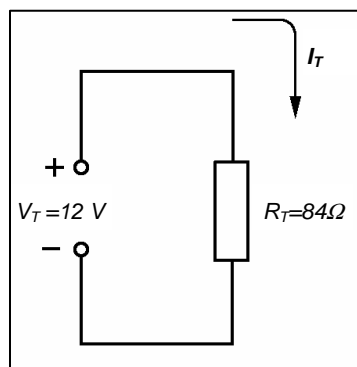
$$R_C = 84\Omega$$

Determina-se R_T a partir de R_C , uma vez que representa a resistência total do circuito.



b) Determinação da corrente total

Para determinar a corrente total, usa-se a tensão de alimentação e a resistência equivalente.

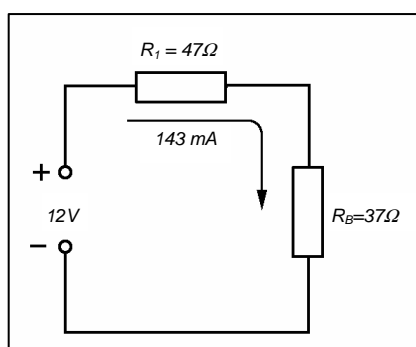


$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12 \text{ V}}{84 \Omega} = 0,143 \text{ A ou } 143 \text{ mA}$$

$$I_T = 143 \text{ mA}$$

c) Determinação da queda de tensão em R_1 e R_B

Para determinar a queda de tensão, usa-se a corrente I_T no segundo circuito parcial, conforme mostra figura a seguir.



$$V_{R1} = I_{R1} \cdot R_1$$

Como $I_{R1} = I_T = 143 \text{ mA}$

$$V_{R1} = 0,143 \cdot 47 = 6,7 \text{ V}$$

$$V_{R1} = 6,7 \text{ V}$$

Determina-se a queda no resistor R_B pela Lei de Kirchhoff:

$$V = V_{R1} + V_{RB}$$

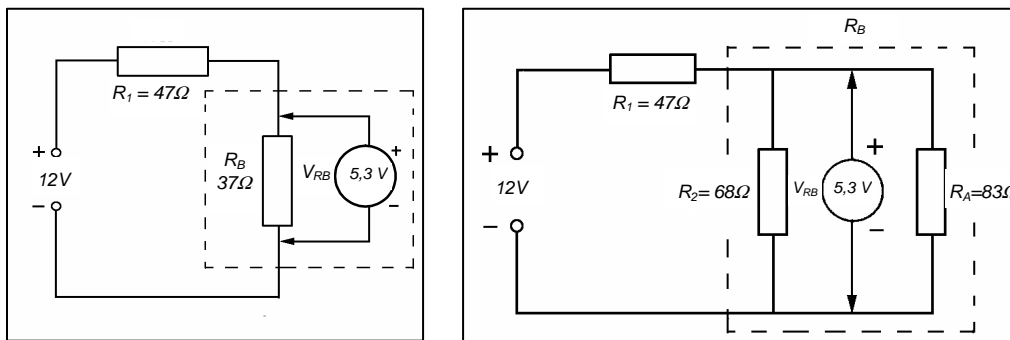
$$V_{RB} = V - V_{R1}$$

$$V_{RB} = 12 - 6,7 = 5,3 \text{ V}$$

$$V_{RB} = 5,3 \text{ V}$$

d) Determinação das correntes em R_2 e R_A

O resistor R_B representa os resistores R_2 e R_A em paralelo (primeiro circuito parcial); portanto, a queda de tensão em R_B é, na realidade, a queda de tensão na associação $R_2//R_A$.



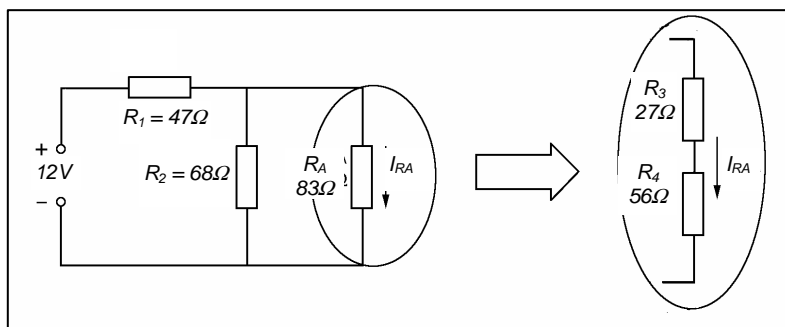
Aplicando a Lei de Ohm, pode-se calcular a corrente em R_2 e R_A .

$$I_{R1} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{5,3}{68} = 0,078A =$$

$$I_{RA} = \frac{V_{RA}}{R_A} = \frac{5,3}{83} = 0,064 A$$

e) Determinação das quedas de tensão em R_3 e R_4

O resistor R_A representa os resistores R_3 e R_4 em série.



Assim, a corrente denominada I_{RA} é, na realidade, a corrente que circula nos resistores R_3 e R_4 em série. Com o valor da corrente I_{RA} e as resistências de R_3 e R_4 , calculam-se as suas quedas de tensão pela Lei de Ohm.

$$V_{R3} = R_3 \cdot I_{RA} = 27 \cdot 0,064 = 1,7 V$$

$$V_{R4} = R_4 \cdot I_{RA} = 56 \cdot 0,064 = 3,6 V$$

11.5 - Exercícios

1. Responda às seguintes questões.

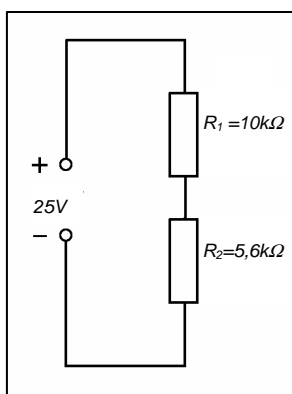
a) A que se refere a Segunda Lei de Kirchhoff?

b) Quais são as características fundamentais do circuito série?

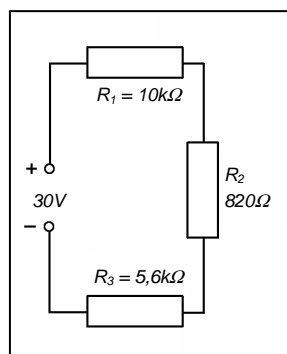
c) Dê a fórmula para a determinação da corrente em uma associação série?

d) Determine a corrente nos circuitos a seguir.

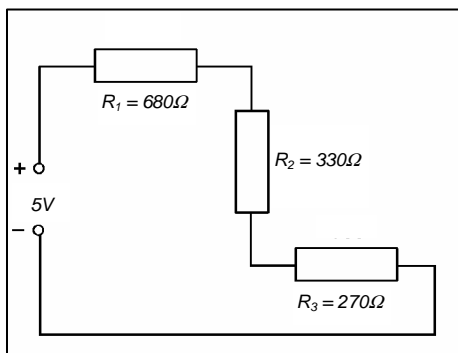
1)



2)



3)



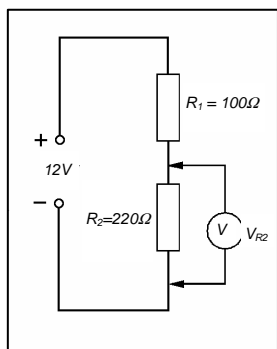
e) Observando as polaridades, desenhe novamente os três circuitos da questão d acrescentando um medidor de corrente em cada um.

f) Como se denomina tecnicamente a parcela de tensão que fica sobre um componente de uma associação série?

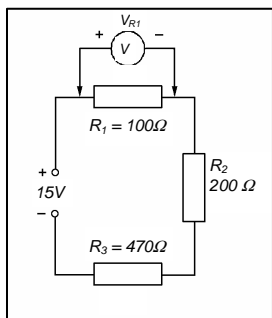
g) Qual é a equação para determinar a queda de tensão em um resistor?

h) Determine as quedas de tensão nos circuitos a seguir.

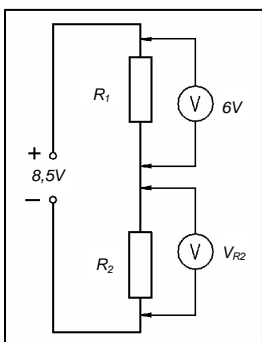
1)



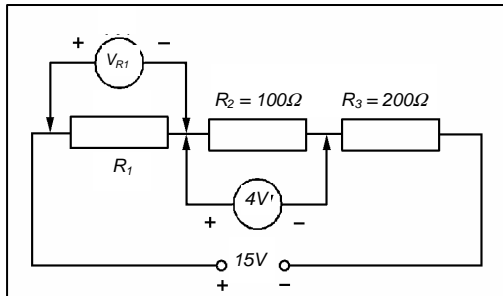
2)



3)

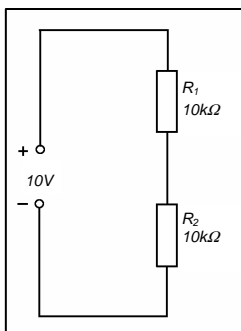


4)

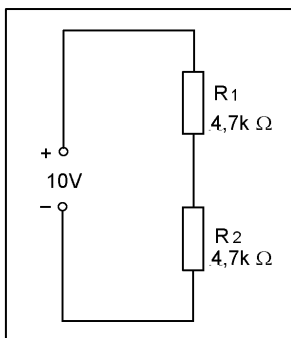


f) Determine as quedas de tensão nos resistores R_2 dos circuitos a seguir (sem usar cálculos).

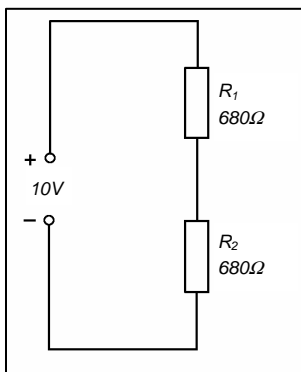
1)



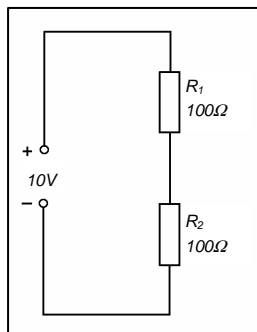
2)



3)



4)

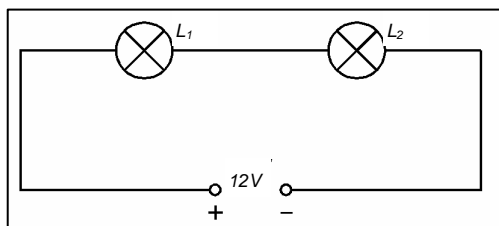


f) Comparando a queda de tensão em R₂ nos circuitos do exercício anterior, pode-se afirmar que em um circuito série de dois resistores R₁ e R₂ de **mesmo** valor (R₁ = R₂), a queda de tensão em cada resistor é a **metade** da tensão de alimentação? Justifique.

() Sim

() Não

g) Caso seja montado o circuito a seguir, a lâmpada L_1 queimará. Por quê?

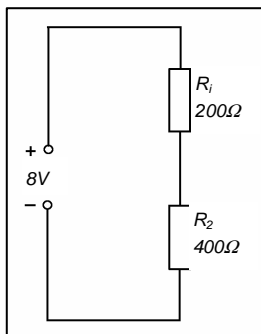


Especificações nominais das lâmpadas:

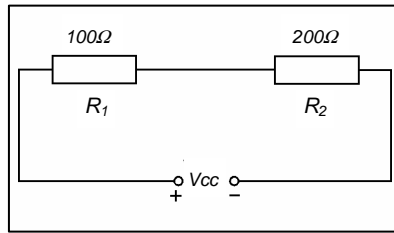
$L_1 = 6V, 200\Omega$

$L_2 = 6V, 50\Omega$

f) Sem realizar cálculos, pode-se afirmar que, no circuito a seguir, a queda de tensão em R_2 será maior que em R_1 ? Justifique.



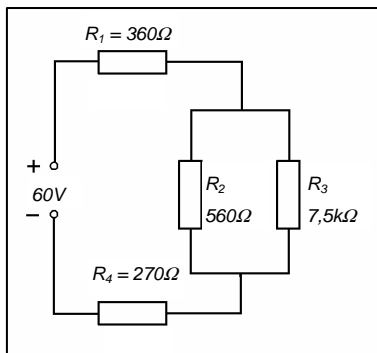
- a) Com base no circuito a seguir, escreva **V** (verdadeiro) para a afirmação correta e **F** (falso) para a afirmação errada.



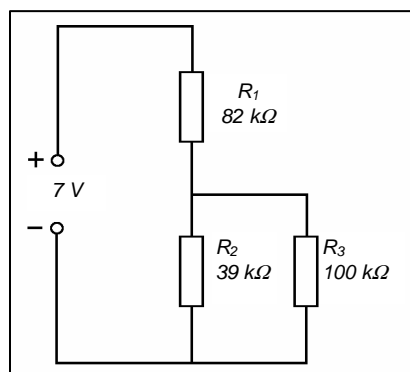
- 1) () A corrente no circuito é V_{CC}/R_T , seja qual for o valor de V_{CC} .
- 2) () A corrente em R_2 é menor que em R_1 .
- 3) () A queda de tensão em R_2 será sempre o dobro da queda de tensão em R_1 ($V_{R2} = 2 \cdot V_{R1}$).
- 4) () A queda de tensão em R_2 será sempre $2/3$ de V_{CC} .
- 5) () A corrente (convencional) entra no circuito pelo lado de R_1 .
- 6) () A resistência total do circuito é de 300Ω .

- a) Determine a queda de tensão e a corrente em cada um dos componentes dos circuitos a seguir.

1)



2)



12 - Capacitores

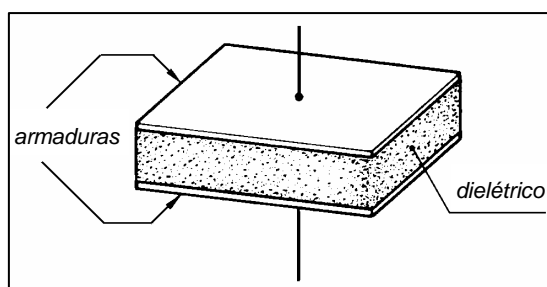
Os capacitores são componentes largamente empregados nos circuitos eletrônicos. Eles podem cumprir funções tais como o armazenamento de cargas elétricas ou a seleção de frequências em filtros para caixas acústicas.

Este capítulo vai falar sobre o capacitor: sua constituição, tipos, características. Ele falará também sobre a capacitância que é a característica mais importante desse componente.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você já deverá ter conhecimentos relativos a condutores, isolantes e potencial elétrico.

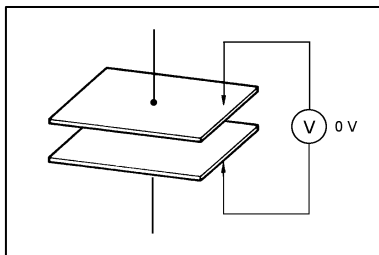
12.1 - Capacitor

O capacitor é um componente capaz de **armazenar cargas elétricas**. Ele se compõe basicamente de duas placas de material condutor, denominadas de **armaduras**. Essas **placas** são **isoladas** eletricamente **entre si** por um material isolante chamado **dielétrico**.



Observações

- I. O material condutor que compõe as armaduras de um capacitor é **eletricamente neutro** em seu **estado natural**;
- II. em cada uma das armaduras o número total de **prótons e elétrons é igual**, portanto as placas **não têm potencial elétrico**. Isso significa que entre elas não há diferença de potencial (tensão elétrica).



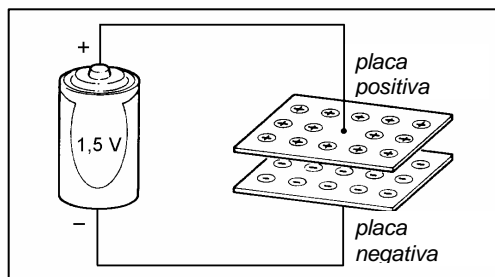
12.2 - Armazenamento de Carga

Conectando-se os terminais do capacitor a uma fonte de CC, ele fica sujeito à diferença de potencial dos pólos da fonte.

O **potencial** da bateria aplicado a cada uma das **armaduras** faz surgir entre elas uma força chamada **campo elétrico**, que nada mais é do que uma **força de atração** (cargas de sinal diferente) ou **repulsão** (cargas de mesmo sinal) entre **cargas** elétricas.

O pólo positivo da fonte absorve elétrons da armadura à qual está conectado enquanto o pólo negativo fornece elétrons à outra armadura.

A armadura que fornece elétrons à fonte fica com íons positivos adquirindo um potencial positivo. A armadura que recebe elétrons da fonte fica com íons negativos adquirindo potencial negativo.

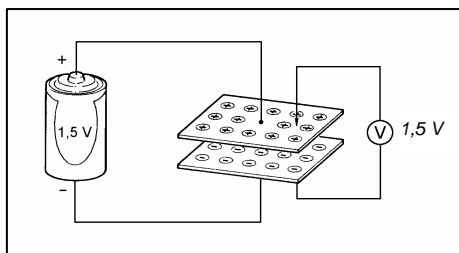


Observação

Para a análise do movimento dos elétrons no circuito usou-se o **sentido eletrônico** da corrente elétrica.

Isso significa que ao conectar o capacitor a uma fonte CC surge uma diferença de potencial entre as armaduras.

A tensão presente nas armaduras do capacitor terá um valor tão próximo ao da tensão da fonte que, para efeitos práticos, podem ser considerados iguais.



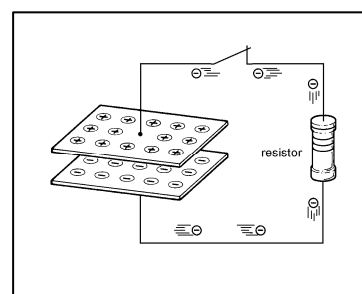
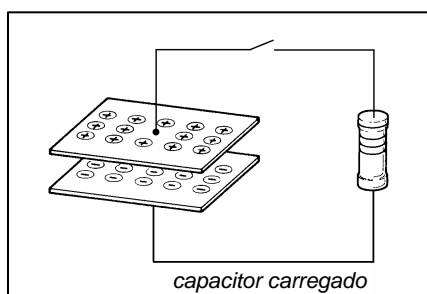
Quando o **capacitor** assume a **mesma tensão da fonte** de alimentação diz-se que o capacitor está "**carregado**".

Se, após ter sido carregado, o capacitor for desconectado da fonte de CC, suas armaduras permanecem com os potenciais adquiridos.

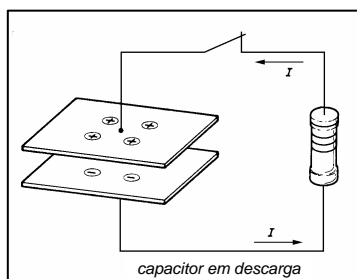
Isso significa, que, mesmo após ter sido desconectado da fonte de CC, ainda existe tensão presente entre as placas do capacitor. Assim, essa energia armazenada pode ser reaproveitada.

12.3 - Descarga do Capacitor

Tomando-se um **capacitor carregado** e conectando seus terminais a uma **carga** haverá uma **circulação de corrente**, pois o capacitor atua como fonte de tensão.



Isso se deve ao fato de que através do circuito fechado inicia-se o estabelecimento do equilíbrio elétrico entre as armaduras. Os elétrons em excesso em uma das armaduras, se movimentam para a outra onde há falta de elétrons, até que se **restabeleça o equilíbrio de potencial entre elas**.



Durante o tempo em que o **capacitor se descarrega**, a **tensão entre suas armaduras diminui**, porque o número de íons restantes em cada armadura é cada vez menor. Ao fim de algum tempo, a tensão entre as armaduras é tão pequena que pode ser considerada zero.

12.4 - Capacitância

A **capacidade de armazenamento** de cargas de um capacitor depende de alguns fatores:

- **área das armaduras**, ou seja, quanto maior a área das armaduras, maior a capacidade de armazenamento de um capacitor;
- **espessura do dielétrico**, pois, quanto mais fino o dielétrico, mais próximas estão as armaduras. O campo elétrico formado entre as armaduras é maior e a capacidade de armazenamento também;
- **natureza do dielétrico**, ou seja, quanto maior a capacidade de isolamento do dielétrico, maior a capacidade de armazenamento do capacitor.

Essa **capacidade de um capacitor de armazenar cargas** é denominada de **capacitância**, que é um dos fatores elétricos que identifica um capacitor.

A **unidade de medida** de capacitância é o **farad**, representado pela letra **F**. Por ser uma unidade muito "grande", apenas seus submúltiplos são usados. Veja tabela a seguir.

Unidade	Símbolo	Valor com relação ao farad
microfarad	μF	10^{-6} F ou 0,000001 F
nanofarad	nF (ou KpF)	10^{-9} F ou 0,000000001 F
picofarad	pF	10^{-12} F ou 0,000000000001 F

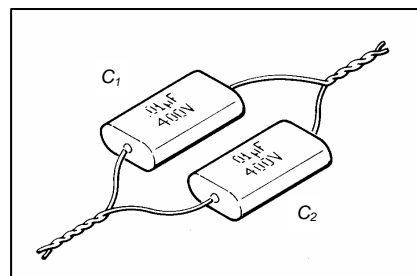
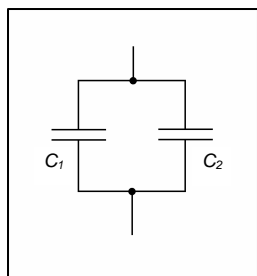
12.5 - Tensão de Trabalho

Além da capacitância, os capacitores têm ainda outra característica elétrica importante: a **tensão de trabalho**, ou seja, a **tensão máxima** que o capacitor pode suportar entre as armaduras. A aplicação no capacitor de uma tensão superior à sua tensão máxima de trabalho provoca o rompimento do dielétrico e faz o capacitor entrar em curto. Na maioria dos capacitores, isso danifica permanentemente o componente.

12.6 - Associação de Capacitores

Os **capacitores**, assim como os resistores podem ser **conectados entre si** formando uma associação série, paralela e mista. As associações paralela e série são encontradas na prática. As mistas raramente são utilizadas.

A **associação paralela** de capacitores tem por objetivo obter **maiores valores de capacitância**.



Essa associação tem características particulares com relação à capacitância total e à tensão de trabalho.

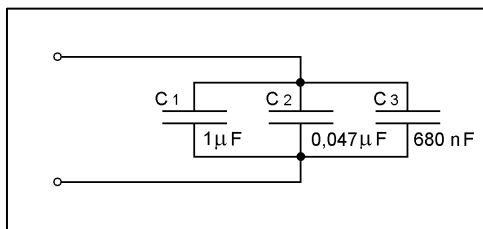
A **capacitância total** (C_T) da associação paralela é a **soma das capacitâncias individuais**. Isso pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \dots + C_n$$

Para executar a soma, todos os valores devem ser convertidos para a mesma unidade.

Exemplo:

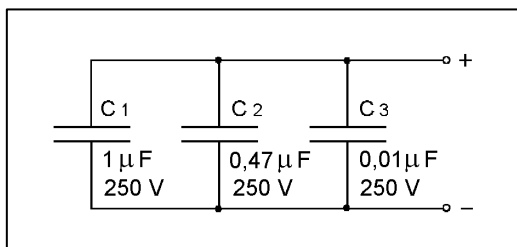
Qual a capacitância total da associação paralela de capacitores mostrada a seguir:



$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 0,047 + 0,68 = 1,727$$

$$C_T = 1,727 \mu F$$

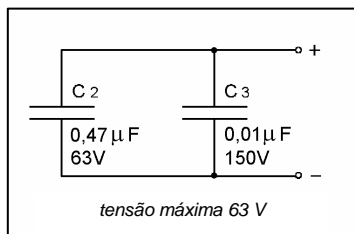
A **tensão de trabalho** de todos os **capacitores** associados em paralelo corresponde à **mesma tensão aplicada** ao conjunto.



Assim, a **máxima tensão** que pode ser **aplicada** a uma associação paralela é a do **capacitor** que tem **menor tensão** de trabalho.

Exemplo:

A máxima tensão que pode ser aplicada nas associações apresentadas nas figuras a seguir é **63 V**.

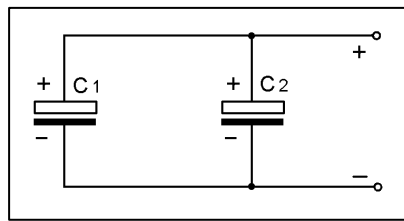
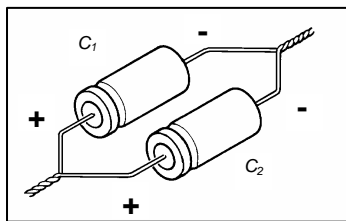


É importante ainda lembrar dois aspectos:

- deve-se evitar aplicar sobre um capacitor a tensão máxima que ele suporta;
- em **CA**, a tensão máxima é a **tensão de pico**. Um capacitor com tensão de trabalho de 100 V pode ser aplicado a uma tensão eficaz máxima de 70 V, pois 70 V eficazes correspondem a uma tensão CA com pico de 100 V.

12.6.1 - Associação Paralela de Capacitores Polarizados

Ao associar capacitores polarizados em paralelo, tanto os terminais positivos dos capacitores quanto os negativos devem ser ligados em conjunto entre si.

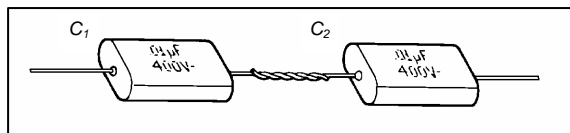
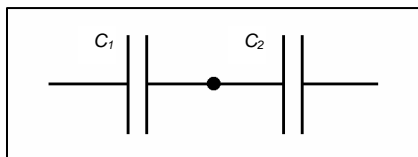


Observação

Deve-se lembrar que **capacitores polarizados** só podem ser usados em **CC** porque não há troca de polaridade da tensão.

12.6.2 - Associação Série de Capacitores

A associação série de capacitores tem por objetivo obter **capacitâncias menores** ou **tensões de trabalho maiores**.



Quando se associam capacitores em série, a capacitância total é **menor** que o valor do menor capacitor associado. Isso pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Essa expressão pode ser desenvolvida (como a expressão para R_T de resistores em paralelo) para duas situações particulares:

a) Associação série de dois capacitores:

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

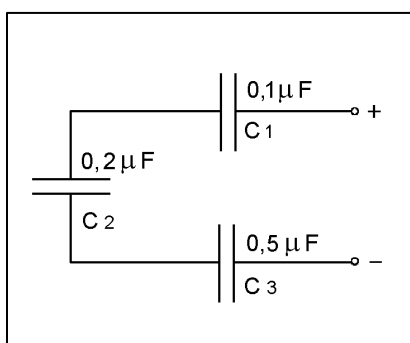
b) Associação série de "n" capacitores de mesmo valor:

$$C_T = \frac{C}{n}$$

Para a utilização das equações, **todos os valores** de capacitância devem ser convertidos para a **mesma unidade**.

Exemplos de cálculos

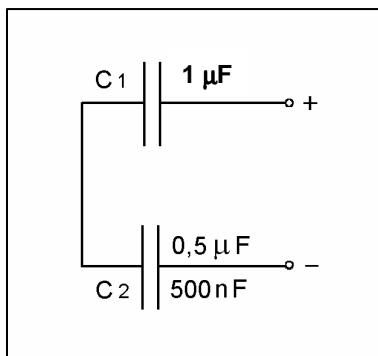
1)



$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,5}} = \frac{1}{10 + 5 + 2} = \frac{1}{17} = 0,059$$

$$C_T = 0,059 \mu F$$

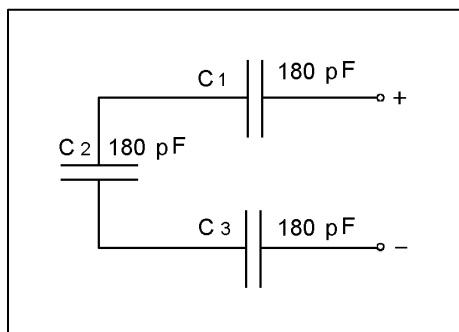
2)



$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1 \times 0,5}{1 + 0,5} = \frac{0,5}{1,5} = 0,33$$

$$C_T = 0,33 \mu F$$

3)



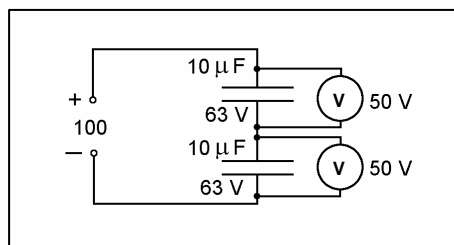
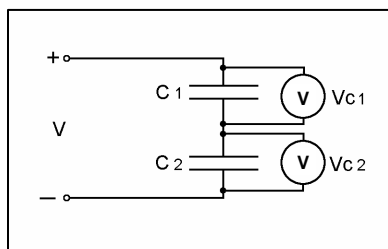
$$C_1 = C_2 = C_3 = C = 180 \text{ pF}$$

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{180}{3} = 60$$

$$C_T = 60 \text{ pF}$$

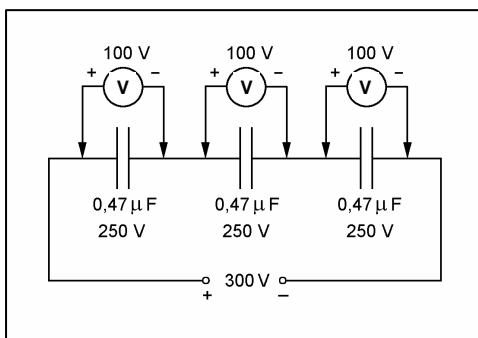
12.6.3 - Tensão de Trabalho da Associação Série

Quando se aplica tensão a uma associação série de capacitores, a **tensão aplicada se divide** entre os dois capacitores.



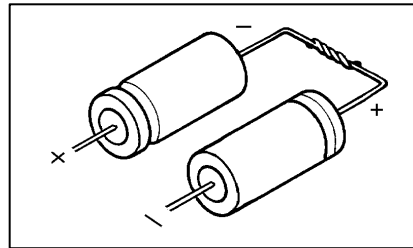
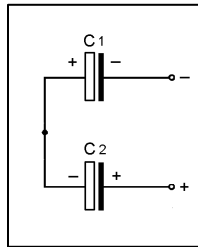
A **distribuição da tensão** nos capacitores ocorre de forma **inversamente proporcional à capacitância**, ou seja, quanto maior a capacitância, menor a tensão; quanto menor a capacitância, maior a tensão.

Como forma de simplificação pode-se adotar um procedimento simples e que evita a aplicação de tensões excessivas a uma associação série de capacitores. Para isso, associa-se em série **capacitores de mesma capacitância e mesma tensão de trabalho**. Desta forma, a tensão aplicada se distribui igualmente sobre todos os capacitores.



12.6.4 - Associação Série de Capacitores Polarizados

Ao associar capacitores polarizados em série, o **terminal positivo** de um capacitor é conectado ao **terminal negativo** do outro.



É importante lembrar que **capacitores polarizados** só devem ser ligados em **CC**.

12.7 - Exercícios

1. Responda as seguintes questões.

a) O que é capacitor e qual a composição básica?

b) Em estado natural, qual é a carga elétrica da placa de um capacitor ?

c) Quando se diz que um capacitor está carregado ?

d) O que ocorre quando é conectado uma carga aos terminais de um capacitor ?

e) O que ocorre com o valor da tensão do capacitor quando está se descarregando ?

f) Defina capacitância.

g) Quais fatores influenciam no valor da capacitância de um capacitor ?

h) Qual é a unidade de medida da capacitância, e por qual letra é representada ?

i) Associe a coluna da direita com a coluna da esquerda.

1. Associação série de capacitores () Somente em CC.
2. Associação paralela de () Capacitância total é soma das capacitores parciais.
3. Capacitores polarizados () A tensão aplicada se divide.

2. Resolva os problemas que seguem. Monte os respectivos diagramas.

a) Qual é a capacitância total em uma associação de capacitores em série com os seguintes valores.

$$C_1 = 1200 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 60 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 560 \mu\text{F}$$

b) Determine a capacitância total de uma associação de capacitores em paralelo, cujos valores são:

$$C_1 = 2200 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 2200 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 2200 \mu\text{F}$$

c) Uma associação de capacitores em paralelo é formada por dois capacitores, com valores de $0,01 \mu\text{F}$ e $0,005 \mu\text{F}$. Qual é o valor de capacitância equivalente desta associação em KpF?

d) Qual o valor da capacitância equivalente, em nF, de uma associação de capacitores em paralelo com os seguintes valores:

$$C_1 = 20 \text{ nF}$$

$$C_2 = 0,047 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 200 \text{ pF}$$

$$C_4 = 0,0000570 \text{ F}$$

e) Qual deve ser o valor máximo da tensão aplicada a um circuito com os seguintes capacitores associados em paralelo.

$$C_1 = 0,0037 \mu\text{F} - 200\text{V}$$

$$C_2 = 1200 \mu\text{F} - 63 \text{ V}$$

3. Responda:

a) Um capacitor não polarizado, construído para uma tensão de trabalho de 220 V pode ser ligado a uma rede de tensão alternada de $220 V_{\text{EF}}$? Justifique.

13 - Magnetismo

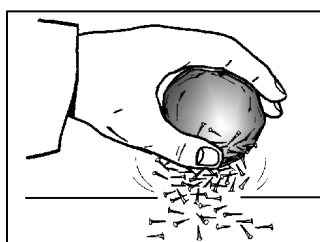
O magnetismo impressionou o homem desde a antigüidade, quando foi percebido pela primeira vez. A magnetita instigava a curiosidade porque atraía certos materiais.

Muitos cientistas dedicaram anos ao estudo do magnetismo até que o fenômeno fosse completamente conhecido e pudesse ser aplicado proveitosamente.

Este capítulo, que tratará do magnetismo natural, visa o conhecimento da origem e das características do magnetismo e dos ímãs.

13.1 - Magnetismo

O magnetismo é uma propriedade que certos materiais têm de exercer uma **atração** sobre **materiais ferrosos**.



As propriedades dos corpos magnéticos são grandemente utilizadas em eletricidade, em motores e geradores, por exemplo, e em eletrônica, nos instrumentos de medição e na transmissão de sinais.

13.2 - Ímãs

Alguns materiais encontrados na natureza apresentam propriedades magnéticas naturais. Esses materiais são denominados de **ímãs naturais**. Como exemplo de ímã natural, pode-se citar a **magnetita**.

É possível também obter um ímã de forma artificial. Os ímãs obtidos dessa maneira são denominados **ímãs artificiais**. Eles são compostos por barras de materiais ferrosos que o homem **magnetiza** por **processos artificiais**.

Os ímãs artificiais são muito empregados porque podem ser fabricados com os mais diversos formatos, de forma a atender às mais variadas necessidades práticas, como por exemplo, nos pequenos motores de corrente contínua que movimentam os carrinhos elétricos dos brinquedos do tipo "Autorama".

Os **ímãs artificiais** em geral têm **propriedades magnéticas mais intensas** que os naturais.

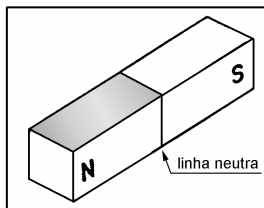
13.3 - Pólos magnéticos de um ímã

Externamente, as forças de atração magnética de um ímã se manifestam com maior intensidade nas suas extremidades. Por isso, as **extremidades do ímã** são denominadas de **pólos magnéticos**.

Cada um dos pólos apresenta propriedades magnéticas específicas. eles são denominados de **pólo sul** e **pólo norte**.

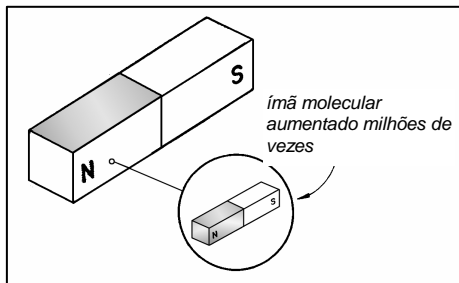
Uma vez que as forças magnéticas dos ímãs são mais concentradas nos pólos, é possível concluir que a intensidade dessas propriedades decresce para o centro do ímã.

Na região central do ímã, estabelece-se uma linha onde as forças de **atração magnética** do pólo sul e do pólo norte são iguais e **se anulam**. Essa linha é denominada de linha neutra. A **linha neutra** é, portanto, a linha **divisória** entre os pólos do ímã.

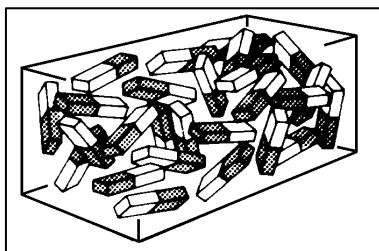


13.4 - Origem do Magnetismo

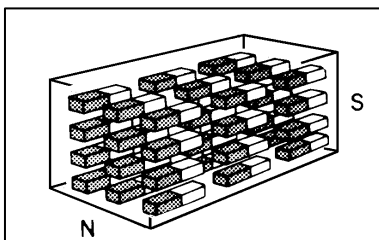
O magnetismo origina-se na organização atômica dos materiais. Cada **molécula** de um material é um **pequeno ímã** natural, denominado de ímã molecular ou domínio.



Quando, durante a formação de um material, as **moléculas** se orientam em **sentidos diversos**, os efeitos magnéticos dos ímãs moleculares se anulam, resultando em um material **sem** magnetismo natural.



Se, durante a formação do material, as **moléculas** assumem uma **orientação única** ou predominante, os efeitos magnéticos de cada ímã molecular se somam, dando **origem** a um **ímã com propriedades magnéticas** naturais.

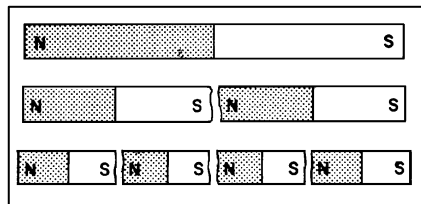


Observação

Na fabricação de ímãs artificiais, as moléculas desordenadas de um material sofrem um processo de orientação a partir de forças externas.

13.5 - Inseparabilidade dos Pólos

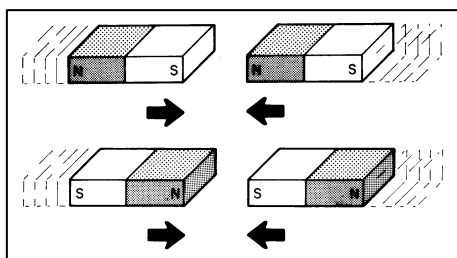
Os ímãs têm uma propriedade característica: por mais que se divida um ímã em partes menores, as partes sempre terão um pólo norte e um pólo sul.



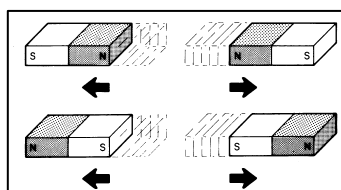
Esta propriedade é denominada de inseparabilidade dos pólos.

13.6 - Interação entre Ímãs

Quando os pólos magnéticos de dois ímãs estão próximos, as forças magnéticas dos dois ímãs reagem entre si de forma singular. Se **dois pólos** magnéticos **diferentes** forem aproximados (norte de um, com sul de outro), haverá uma **atração** entre os dois ímãs.



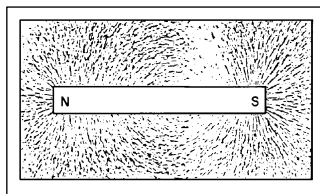
Se dois **pólos** magnéticos **iguais** forem aproximados (por exemplo, norte de um próximo ao norte do outro), haverá uma **repulsão** entre os dois.



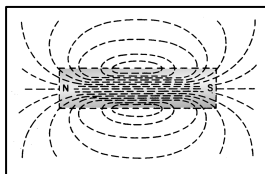
13.7 - Campo Magnético - Linhas de Força

O **espaço** ao redor do ímã em que existe atuação das **forças magnéticas** é chamado de **campo magnético**. Os efeitos de atração ou repulsão entre dois ímãs, ou de atração de um ímã sobre os materiais ferrosos se devem à existência desse campo magnético.

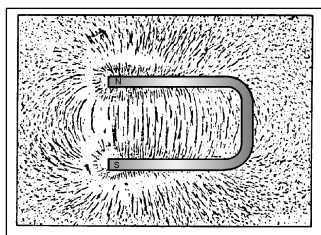
Como artifício para estudar esse campo magnético, admite-se a existência de **linhas de força magnética** ao redor do ímã. Essas linhas são **invisíveis**, mas podem ser visualizadas com o auxílio de um recurso. Colocando-se um ímã sob uma lâmina de vidro, e espalhando limalha de ferro sobre essa lâmina, as limalhas se orientam conforme as linhas de força magnética.



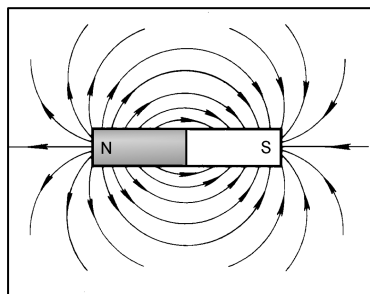
O formato característico das limalhas sobre o vidro, denominado de espectro magnético, é representado na ilustração a seguir.



Essa experiência mostra também a **maior concentração** de limalhas na região dos pólos do ímã. Isso é devido à maior intensidade de magnetismo nas **regiões polares**, pois aí se concentram as linhas de força.



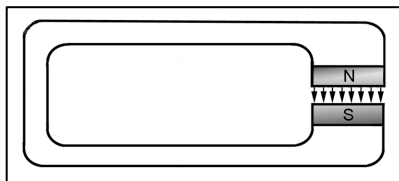
Com o objetivo de padronizar os estudos relativos ao magnetismo e às **linhas de força**, por **convenção** estabeleceu-se que as linhas de força de um campo magnético se dirigem do **pólo norte para o pólo sul**.



13.8 - Campo Magnético Uniforme

Campo magnético uniforme é aquele em que o vetor de indução magnética B tem o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido em todos os pontos do meio, homogêneo por hipótese.

No campo magnético uniforme, as **linhas de indução** são retas paralelas igualmente espaçadas e orientadas. O campo magnético na região destacada na ilustração a seguir, por exemplo, é aproximadamente uniforme.



Essa convenção se aplica às linhas de força externas ao ímã.

13.8.1 - Fluxo da Indução Magnética

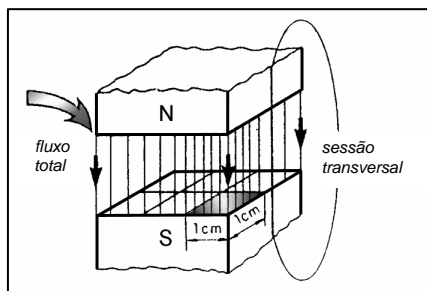
Fluxo da indução magnética é a quantidade total de linhas de um ímã que constituem o campo magnético. É representado graficamente pela letra grega ϕ (lê-se "fi").

O **fluxo da indução magnética** é uma grandeza e, como tal, pode ser medido. No **SI** (Sistema Internacional de Medidas), sua unidade de medida é o **weber** (Wb). No Sistema **CGS** de medidas, sua unidade é o **maxwell** (Mx).

Para transformar weber em maxwell, usa-se a seguinte relação: $1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb}$

13.8.2 - Densidade de Fluxo ou Indução Magnética

Densidade de fluxo ou indução magnética é o número de linhas por centímetro quadrado de seção do campo magnético em linhas/cm².



A densidade de fluxo ou indução magnética é representada graficamente pela letra maiúscula **B** e sua unidade de medida no sistema **SI** é o **tesla** (T) e no **CGS** é o **Gauss** (G).

Para transformar gauss em tesla, usa-se a seguinte relação: $1\text{G} = 10^{-4}\text{T}$.

Conhecendo-se o valor da superfície (seção transversal **A**) em que estão concentradas as linhas de força e a densidade do fluxo magnético **B**, pode-se enunciar a fórmula do fluxo de indução magnética como o produto da densidade do fluxo **B** pela seção transversal **A**. Assim, matematicamente temos: $\Phi = B \times A$

Nessa fórmula, Φ é o fluxo de indução magnética em Mx; **B** é a densidade de fluxo magnético em G; e **A** é a seção transversal em centímetros quadrados.

Exemplos de Cálculos

1. Calcular o fluxo de indução magnética onde a densidade de fluxo é 6000 G, concentrada em uma seção de 6 cm².

Aplicando-se a fórmula $\Phi = B \times A$, temos:

$$\Phi = 6000 \times 6$$

$$\Phi = 36000 \text{ Mx}$$

Transformando-se Mx em Wb, temos:

$$36000 \times 10^{-8} = 0,00036 \text{ Wb}$$

Se, para calcular o fluxo de indução magnética temos a fórmula $\Phi = B \times A$, para calcular a densidade do fluxo (B) temos:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

2. Calcular a densidade de fluxo em uma seção de 6 cm², sabendo-se que o fluxo magnético é de 36000 Mx (ou linhas).

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{36000}{6} = 6000 \text{ G}$$

Transformando gauss em tesla, temos:

$$G = 6000 \times 10^{-4} = 0,6 \text{ T}$$

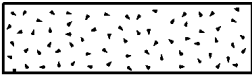
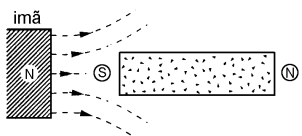
13.9 - Imantação ou magnetização

Imantação ou magnetização é o processo pelo qual os ímãs atômicos (ou dipolos magnéticos) de um material são alinhados. Isso é obtido pela **ação** de um **campo magnético externo**.

É possível classificar os materiais de acordo com a intensidade com que eles se imantam, isto é, o modo como ordenam seus ímãs atômicos sob a ação de um campo magnético. Assim, esses materiais podem ser classificados em:

- paramagnéticos;
- diamagnéticos;
- ferromagnéticos.


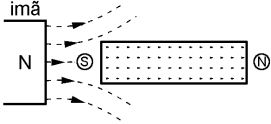
Experimentalmente, é possível verificar que certos materiais, quando colocados no interior de uma bobina (ou indutor) ligada em C.C., ou próximos de um ímã, têm seus átomos fracamente orientados no mesmo sentido do campo magnético. Esses materiais são denominados de **paramagnéticos**.

Material paramagnético sem a ação de um campo magnético	
Material paramagnético sob a ação de um campo magnético	

Materiais como o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, a platina, o estanho, o cromo e suas respectivas ligas são exemplos de materiais paramagnéticos. Eles são caracterizados por possuírem átomos que têm um campo magnético **permanente**.

Dentre os materiais paramagnéticos, o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, e suas ligas constituem uma classe especial. Com efeito, alguns materiais provocam no indutor que os tem como núcleo, um aumento de indutância muito maior que o aumento provocado pelos demais materiais paramagnéticos. Esses materiais, são denominados de **ferromagnéticos**.

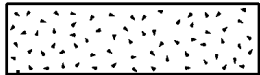
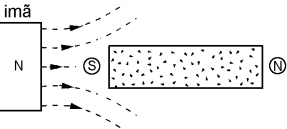
Por serem também paramagnéticos, esses materiais apresentam campo magnético **permanente**, pois os campos magnéticos de seus átomos estão alinhados de tal forma que produzem um campo magnético mesmo na ausência de um campo externo.

Material ferromagnético sem a ação de um campo magnético	
Material ferromagnético sob a ação de um campo magnético	

Os materiais ferromagnéticos, por serem um caso particular dentre os materiais paramagnéticos, apresentam a densidade do fluxo magnético B , presente no interior do indutor, **maior** do que quando há ar ou vácuo no seu interior.

Embora os materiais ferromagnéticos possuam imantação mesmo na ausência de um campo externo (o que os caracteriza como ímãs permanentes), a manutenção de suas propriedades magnéticas depende muito de sua temperatura. Quando **umenta** a temperatura, as propriedades magnéticas se tornam **menos** intensas.

O ouro, a prata, o cobre, o zinco, o antimônio, o chumbo, o bismuto, a água, o mercúrio, ao serem introduzidos no interior de um indutor, ou próximos de um ímã, provocam a **diminuição** de seu campo magnético. Esses materiais são denominados de **diamagnéticos**.

Material diamagnético sem a ação de um campo magnético	
Material diamagnético sob a ação de um campo magnético	

Esses materiais caracterizam-se por possuírem átomos que **não** produzem um campo magnético permanente, ou seja, o campo resultante de cada átomo é nulo.

Aplicando-se um campo magnético a esses materiais, pequenas correntes são produzidas por indução no interior dos átomos. Essas correntes se opõem ao crescimento do campo externo, de modo que o magnetismo induzido nos átomos estará orientado em sentido oposto ao do campo externo.

A densidade do fluxo magnético B no interior do indutor é menor do que se não existisse o núcleo, ou seja, é menor do que quando há vácuo ou ar em seu interior.

13.10 - Exercícios

1. Responda às seguintes questões:

a) Defina magnetismo.

b) Quais são os tipos de ímãs existentes?

2. Preencha as lacunas com **V** para as afirmações **verdadeiras** e **F** para as afirmações **falsas**.

- a) () A linha neutra de um ímã é o ponto no qual a tensão elétrica é neutra.
- b) () As extremidades do ímã são chamadas de pólos magnéticos.
- c) () Um ímã com moléculas em orientação única possui propriedades magnéticas.
- d) () Pólos de mesmo nome se atraem.
- e) () As linhas de força compõem o campo magnético de um ímã.

3. Resolva os problemas que seguem.

a) Qual é o fluxo de indução magnética em um material no qual a densidade de fluxo é 800 G, concentrada em uma seção de 10 cm^2 ?

b) Calcular a densidade de fluxo em uma seção de 8 cm^2 , sabendo-se que o fluxo magnético é de 28000 Mx .

c) Transforme as unidades de medidas que seguem:

- 1) 5000 G = T
- 2) 20 000 Mx = Wb
- 3) 1200 T= G
- 4) 200 Wb = Mx

4. Relacione a segunda coluna com a primeira.

- a) Por convenção, o campo() tem como unidade de medida o weber no magnético S.I.
- b) O fluxo de indução magnética () tem como unidade de medida o tesla no S.I.
- c) A densidade de fluxo () apresenta campo magnético permanente.
- d) Um material ferromagnético () dirige-se do pólo norte para o polo sul.
- e) Um material diamagnético () opõe-se ao campo magnético.
- () tem como unidade de medida o Gauss no S.I.

14 - Eletromagnetismo

No capítulo anterior estudamos o magnetismo. Esse conhecimento é muito importante para quem precisa aprender eletromagnetismo, que por sua vez, é de fundamental importância para quem quer compreender o funcionamento de motores, geradores, transformadores...

Neste capítulo estudaremos o eletromagnetismo que explica os fenômenos magnéticos originados pela circulação da corrente elétrica em um condutor.

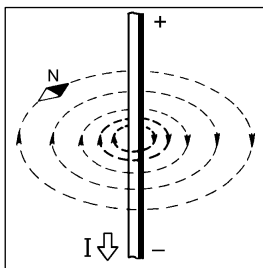
14.1 - Eletromagnetismo

Eletromagnetismo é um **fenômeno magnético** provocado pela circulação de uma corrente elétrica. O termo eletromagnetismo aplica-se a todo fenômeno magnético que tenha **origem** em uma **corrente elétrica**.

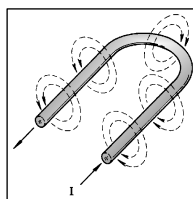
14.1.1 - Campo magnético em um condutor

A circulação de corrente elétrica em um condutor origina um campo magnético ao seu redor.

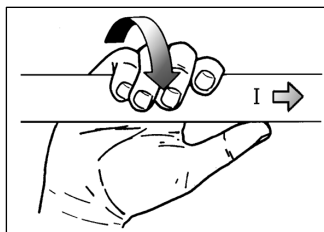
Quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, ocorre uma orientação no movimento das partículas no seu interior. Essa orientação do movimento das partículas tem um efeito semelhante ao da orientação dos ímãs moleculares. Como consequência dessa orientação, surge um campo magnético ao redor do condutor.



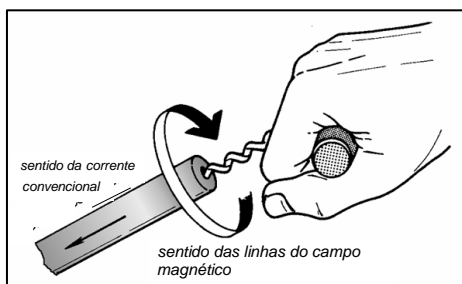
As linhas de força do campo magnético criado pela corrente elétrica que passa por um condutor, são circunferências concêntricas num plano perpendicular ao condutor.



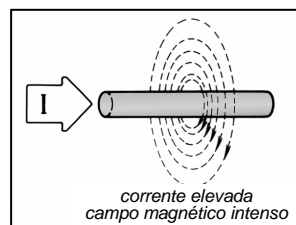
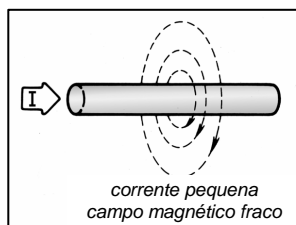
Para o sentido convencional da corrente elétrica, o sentido de deslocamento das linhas de força é dado pela **regra da mão direita**. Ou seja, envolvendo o condutor com os quatro dedos da mão direita de forma que o dedo polegar indique o sentido da corrente (convencional). O sentido das linhas de força será o mesmo dos dedos que envolvem o condutor.



Pode-se também utilizar a **regra do saca-rolhas** como forma de definir o sentido das linhas de força. Por essa regra, ele é dado pelo movimento do cabo de um saca-rolhas, cuja ponta avança no condutor, no mesmo sentido da corrente elétrica (convencional).



A intensidade do campo magnético ao redor do condutor depende da intensidade da corrente que nele flui. Ou seja, a **intensidade do campo magnético** ao redor de um condutor é **diretamente proporcional à corrente** que circula neste condutor.

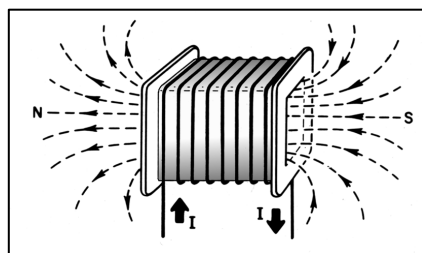


14.2 - Campo Magnético em uma Bobina (ou Solenóide)

Para obter campos magnéticos de maior intensidade a partir da corrente elétrica, basta enrolar o condutor em forma de espiras, constituindo uma bobina. A tabela a seguir mostra uma bobina e seus respectivos símbolos conforme determina a NBR 12521.

Bobina, enrolamento ou indutor	Símbolo (forma preferida)	Símbolo (outra forma)

As bobinas permitem um acréscimo dos efeitos magnéticos gerados em cada uma das espiras. A figura a seguir mostra uma bobina constituída por várias espiras, ilustrando o efeito resultante da soma dos efeitos individuais.

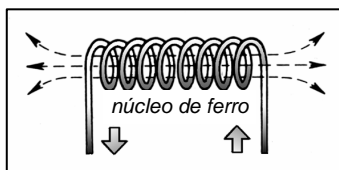


Os pólos magnéticos formados pelo campo magnético de uma bobina têm características semelhantes àsquelas dos pólos de um ímã natural. A **intensidade do campo magnético** em uma bobina **depende** diretamente da **intensidade da corrente** e do **número de espiras**.

O **núcleo** é a parte central das bobinas, e pode ser de **ar** ou de **material ferroso**. O núcleo é de ar quando nenhum material é colocado no interior da bobina. O núcleo é de material ferroso quando se coloca um material ferroso (ferro, aço...) no interior da bobina. Usa-se esse recurso para obter maior intensidade de campo magnético a partir de uma mesma bobina. Nesse caso, o **conjunto bobina-núcleo** de ferro é chamado **eletroímã**.

Observação

A maior intensidade do campo magnético nos eletroímãs é devida ao fato de que os materiais ferrosos provocam uma concentração das linhas de força.

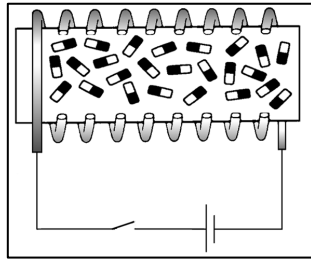


Quando uma bobina tem um núcleo de material ferroso, seu símbolo expressa essa condição (NBR 12521).

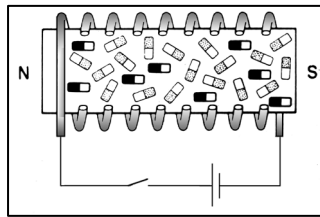
Indutor com núcleo magnético	Núcleo de ferrite com um enrolamento

14.3 - Magnetismo Remanente

Quando se coloca um núcleo de ferro em uma bobina, em que circula uma corrente elétrica, o núcleo torna-se imantado, porque as suas moléculas se orientam conforme as linhas de força criadas pela bobina.



Cessada a passagem da corrente, alguns ímãs moleculares permanecem na posição de orientação anterior, fazendo com que o núcleo permaneça ligeiramente imantado.



Essa pequena imantação é chamada magnetismo remanente ou residual. O magnetismo residual é importante, principalmente para os geradores de energia elétrica. Este tipo de ímã chama-se ímã temporário.

14.4 - Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas.

a) O que é eletromagnetismo?

b) Desenhe um condutor com as linhas de força ao seu redor, observando a orientação das linhas segundo a regra da mão direita ou do sacarroalha.

a) O que acontece com o sentido das linhas de força quando se inverte a polaridade da tensão aplicada a um condutor?

b) O que se pode afirmar sobre a intensidade do campo magnético em um condutor em que a corrente circulante se torna cada vez maior?

c) O que é bobina ou solenóide?

d) Do que depende a intensidade do campo magnético em um condutor?

e) Do que depende a intensidade do campo magnético em uma bobina?

f) O que é eletroímã?

g) O que acontece com o campo magnético gerado por uma bobina quando se coloca um núcleo de ferro no seu interior?

i) O que é magnetismo remanente? Por que ele ocorre?

15 - Indutores

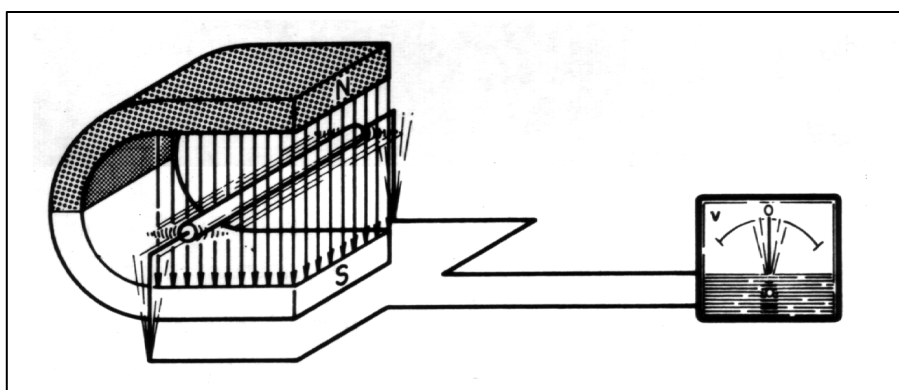
Neste capítulo, é iniciado o estudo de um novo componente: o indutor. Seu campo de aplicação se estende desde os filtros para caixas acústicas até circuitos industriais, passando pela transmissão de sinais de rádio e televisão.

O capítulo falará dos indutores, dos fenômenos ligados ao magnetismo que ocorrem no indutor e de seu comportamento em CA.

Para ter sucesso no desenvolvimento desses conteúdos, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre magnetismo e eletromagnetismo.

15.1 - Indução

O princípio da geração de energia elétrica baseia-se no fato de que toda a vez que um **condutor se movimenta** no interior de um **campo magnético** aparece neste condutor uma **diferença de potencial**.



Essa tensão gerada pelo movimento do condutor no interior de um campo magnético é denominada de **tensão induzida**.

Michael Faraday, cientista inglês, ao realizar estudos com o eletromagnetismo, determinou as condições necessárias para que uma tensão seja induzida em um condutor. Suas observações podem ser resumidas em duas conclusões que compõem as leis da auto-indução:

1. Quando um condutor elétrico é sujeito a um campo magnético variável, uma tensão induzida tem origem nesse condutor.

Observação

Para ter um campo magnético variável no condutor, pode-se manter o campo magnético estacionário e movimentar o condutor perpendicularmente ao campo, ou manter o condutor estacionário e movimentar o campo magnético.

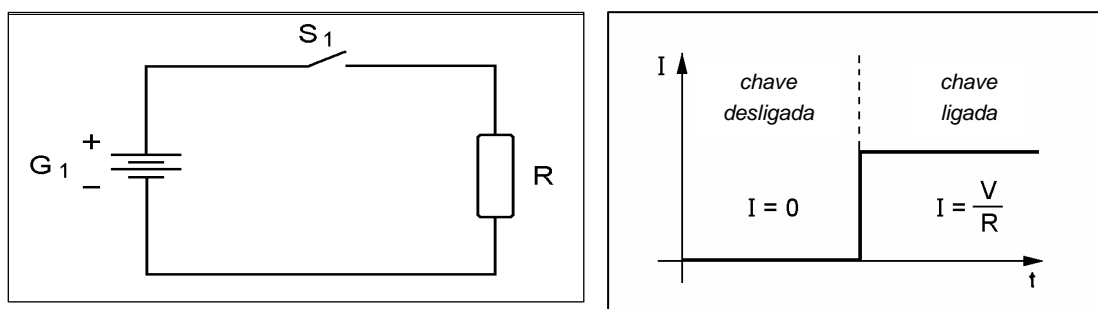
2. A magnitude da tensão induzida é diretamente proporcional à intensidade do fluxo magnético e à velocidade de sua variação. Isso significa que quanto mais intenso for o campo, maior será a tensão induzida e quanto mais rápida for a variação do campo, maior será a tensão induzida.

Para seu funcionamento, os geradores de energia elétrica se baseiam nesses princípios.

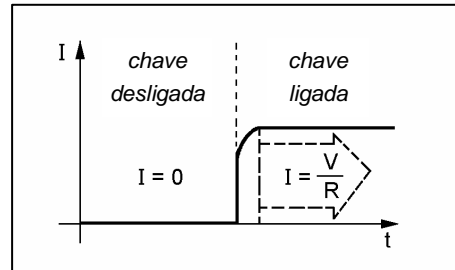
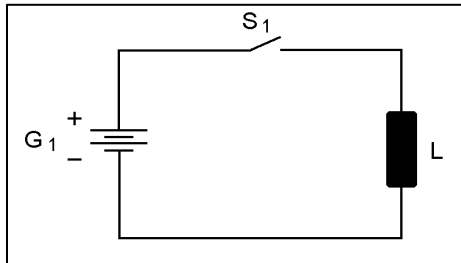
15.2 - Auto-Indução

O fenômeno da indução faz com que o comportamento das bobinas seja diferente do comportamento dos resistores em um circuito de CC.

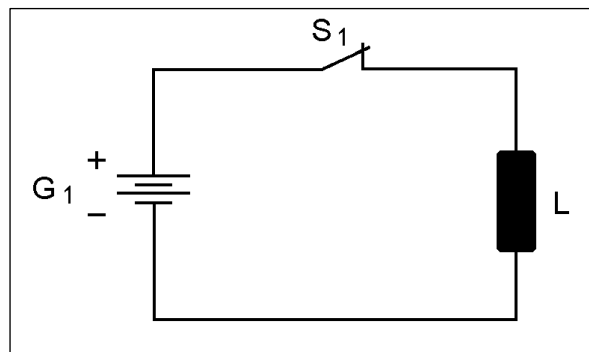
Em um circuito formado por uma fonte de CC, um resistor e uma chave, a corrente atinge seu valor máximo instantaneamente, no momento em que o interruptor é ligado.



Se, nesse mesmo circuito, o **resistor** for substituído por uma **bobina**, o comportamento será diferente. A corrente atinge o valor máximo algum tempo após a ligação do interruptor.

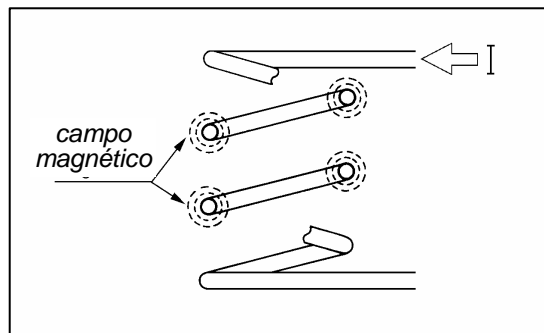


Esse atraso para atingir a corrente máxima se deve à indução e pode ser melhor entendido se imaginarmos passo a passo o comportamento de um circuito composto por uma **bobina**, uma fonte de CC e uma chave.

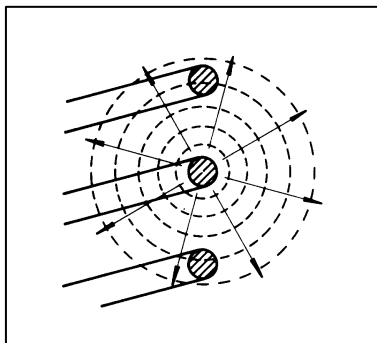


Enquanto a chave está desligada, não há campo magnético ao redor das espiras porque não há corrente circulante. No momento em que a chave é fechada, inicia-se a circulação de corrente na bobina.

Com a **circulação da corrente** surge o **campo magnético** ao redor de suas espiras.



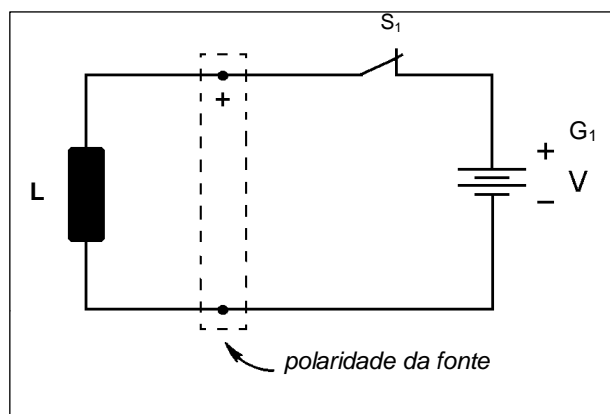
À medida que a **corrente cresce** em direção ao valor máximo, o **campo magnético** nas espiras se **expande**. Ao se expandir, o campo magnético em movimento gerado em uma das espiras corta a espira colocada ao lado.



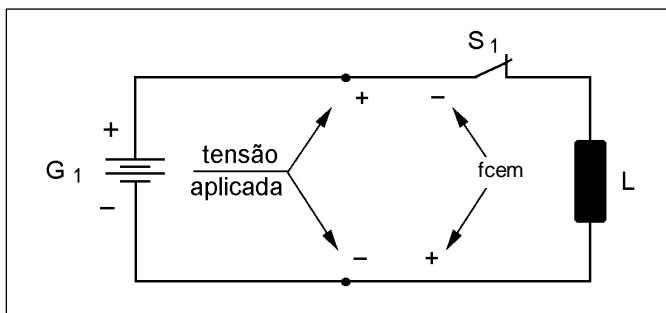
Conforme Faraday enunciou, induz-se uma determinada tensão nesta espira cortada pelo campo magnético em movimento. E **cada espira** da bobina **induz** uma **tensão elétrica** nas **espiras vizinhas**. Assim, a aplicação de tensão em uma bobina provoca o aparecimento de um campo magnético em expansão que gera na **própria bobina** uma **tensão induzida**. Este fenômeno é denominado de **auto-indução**.

A **tensão gerada** na bobina por auto-indução tem **polaridade oposta** à da tensão que é aplicada aos seus terminais, por isso é denominada de **força contra-eletromotriz** ou **fcem**.

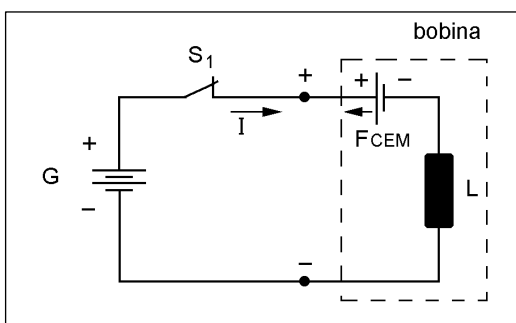
Resumindo, quando a chave do circuito é ligada, uma tensão com uma determinada polaridade é aplicada à bobina.



A auto-indução gera na bobina uma tensão induzida (fcem) de polaridade oposta à da tensão aplicada.



Se representarmos a fcem como uma "bateria" existente no interior da própria bobina, o circuito se apresenta conforme mostra a figura a seguir.



Como a fcem atua contra a tensão da fonte, a tensão aplicada à bobina é, na realidade:

$$V_{\text{RESULTANTE}} = V_{\text{FONTE}} - fcem.$$

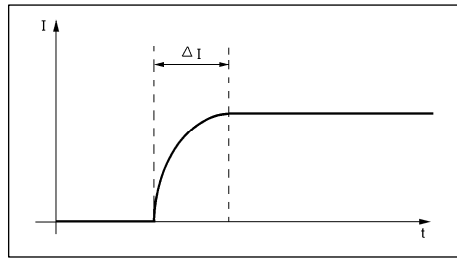
A corrente no circuito é causada por essa tensão resultante, ou seja:

$$I = \frac{(V - fcem)}{R}$$

15.3 - Indutância

Como a **fcem** existe **apenas** durante **a variação do campo magnético** gerado na bobina, quando este atinge o **valor máximo**, a fcem **deixa de existir** e a corrente atinge seu valor máximo.

O gráfico a seguir ilustra detalhadamente o que foi descrito.



O mesmo fenômeno ocorre quando a chave é **desligada**. A contração do campo induz uma fcm na bobina, retardando o decréscimo da corrente. Essa capacidade de se opor às variações da corrente é denominada de **indutância** e é representada pela letra **L**.

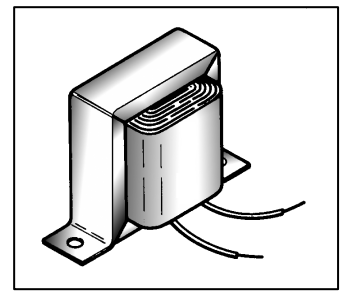
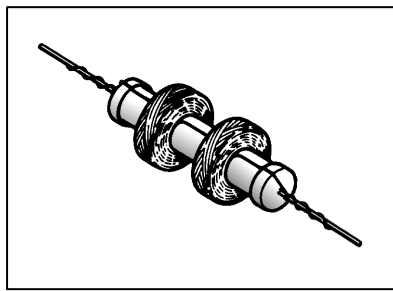
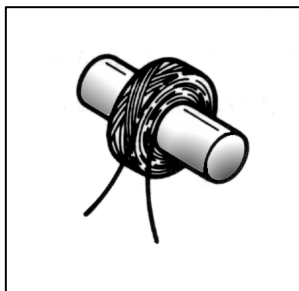
A unidade de medida da indutância é o **henry**, representada pela letra **H**. Essa unidade de medida tem submúltiplos muito usados em eletrônica. Veja tabela a seguir.

Denominação		Símbolo	Valor com relação ao henry
Unidade	henry	H	1
Submúltiplos	milihenry	mH	10^{-3} ou 0,001
	microhenry	μ H	10^{-6} ou 0,000001

A indutância de uma bobina depende de diversos fatores:

- material, seção transversal, formato e tipo do núcleo;
- número de espiras;
- espaçamento entre as espiras;
- tipo e seção transversal do condutor.

Como as **bobinas** apresentam indutância, elas também são chamadas de **indutores**. Estes podem ter as mais diversas formas e podem inclusive ser parecidos com um transformador. Veja figura a seguir.

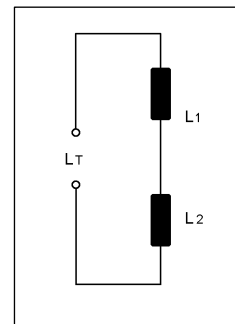
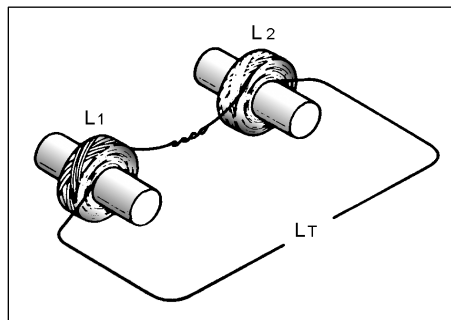


15.4 - Associação de Indutores

Os indutores podem ser associados **em série**, **em paralelo** e até mesmo de forma **mista**, embora esta última não seja muito utilizada.

15.4.1 - Associação em Série

As ilustrações a seguir mostram uma associação série de indutores e sua representação esquemática.

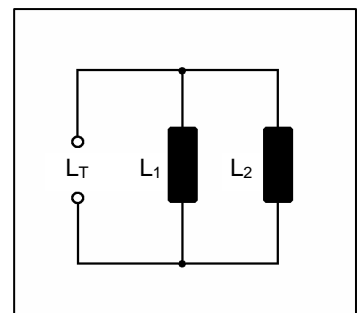
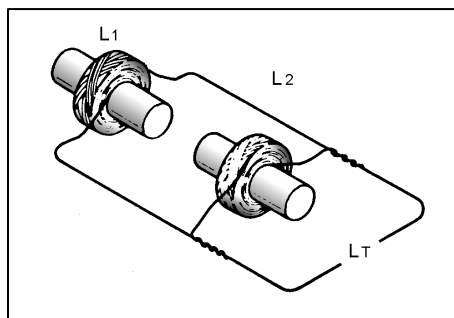


A representação matemática desse tipo de associação é:

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

15.4.2 - Associação em Paralelo

A associação paralela pode ser usada como forma de obter indutâncias menores ou como forma de dividir uma corrente entre diversos indutores.



A indutância total de uma associação paralela é representada matematicamente por:

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}}$$

Nessa expressão, L_T é a indutância total e L_1, L_2, \dots, L_n são as indutâncias associadas.

Essa expressão pode ser desenvolvida para duas situações particulares:

a) Associação paralela de dois indutores:

$$L_T = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$

b) Associação paralela de “n” indutores de mesmo valor (L):

$$L_T = \frac{L}{n}$$

Para utilização das equações, **todos os valores** de indutâncias devem ser convertidos para a **mesma unidade**.

15.5 - Exercícios

1. Responda às questões a seguir.

a) O que ocorre quando um condutor é movimentado no interior de um campo magnético?

b) O que é tensão induzida ?

c) Qual a relação entre a magnitude da tensão induzida, a intensidade de fluxo magnético e a variação ?

d) Defina auto-indução .

e) O que é força contra eletromotriz induzida ?

f) O que é indutância e qual sua unidade de medida ?

g) Qual a função dos indutores ?

2. Resolva os exercícios que seguem e monte o diagrama de cada questão.

a) Qual é a indutância total em uma associação de indutores em série com os seguintes valores.

$$L_1 = 8 \text{ H}$$

$$L_2 = 72 \text{ H}$$

$$L_3 = 1500 \text{ mH}$$

b) Determine a indutância total de uma associação de indutores em paralelo, que apresenta os seguintes valores:

$$L_1 = 0,27 \text{ H}$$

$$L_2 = 0,85 \text{ H}$$

$$L_3 = 3 \text{ H}$$

b) Uma associação de indutores em paralelo é formada por dois indutores, com valores de 120 H e 214 H. Qual é o valor da indutância equivalente desta associação ?

c) Qual o valor da indutância equivalente em mH de uma associação série que apresenta os seguintes valores:

$$L_1 = 15 \text{ mH}$$

$$L_2 = 0,26 \text{ H}$$

$$L_3 = 230 \mu\text{H}$$

$$L_4 = 72 \text{ mH}$$