

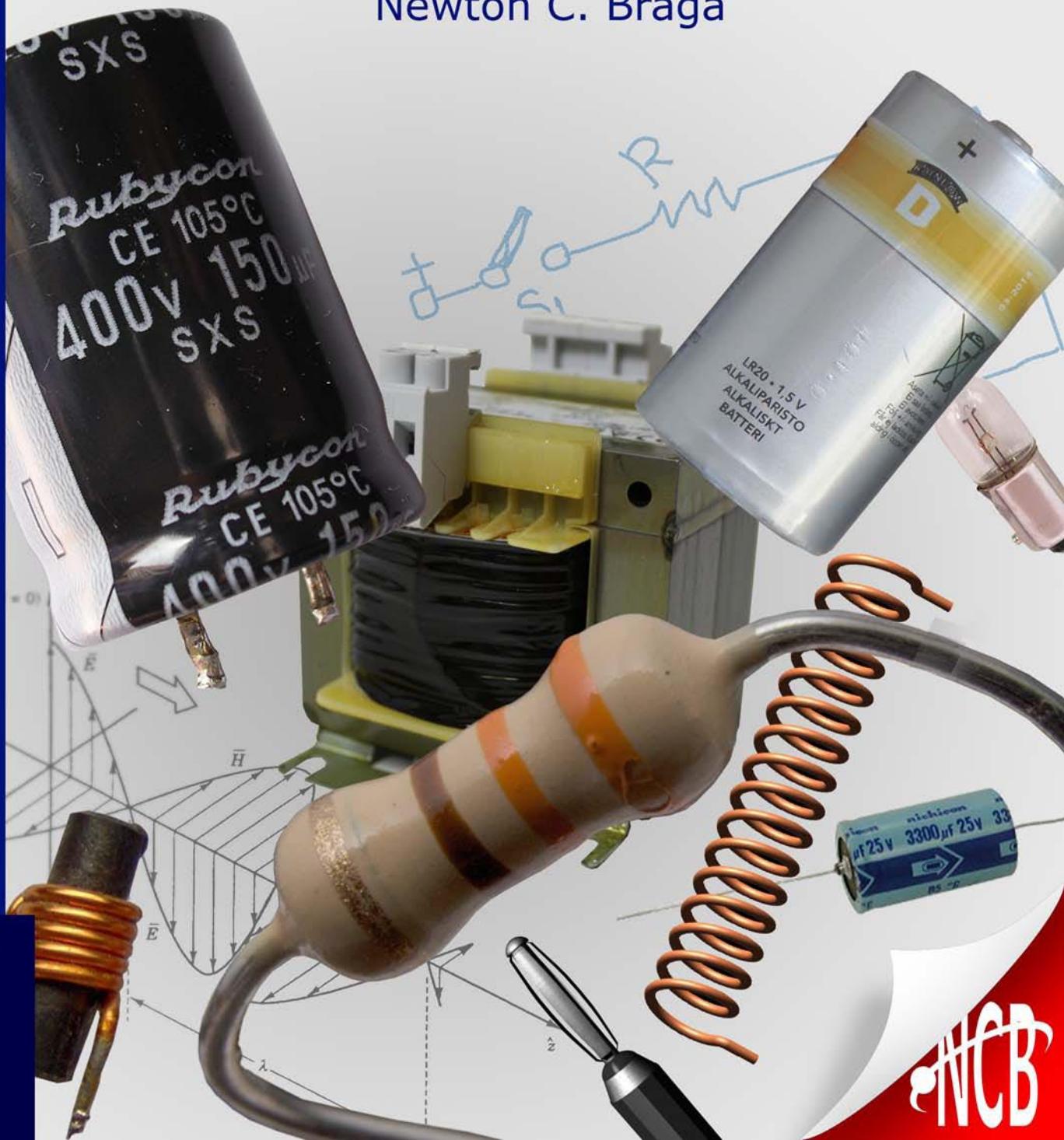
# CURSO DE ELETROÔNICA

VOLUME

**1**

# ELETROÔNICA BÁSICA

Newton C. Braga



**CURSO DE ELETRÔNICA  
ELETRÔNICA BÁSICA**

---

**NEWTON C. BRAGA**



**Instituto NCB**  
[www.newtoncbraga.com.br](http://www.newtoncbraga.com.br)  
[contato@newtoncbraga.com.br](mailto:contato@newtoncbraga.com.br)

**CURSO DE ELETRÔNICA -  
Conceitos Básicos de Eletrônica**

**Autor:** Newton C. Braga

São Paulo - Brasil - 2012

**Palavras-chave:** Eletrônica - Engenharia Eletrônica  
- Componentes - Educação Tecnológica

**Diretor responsável:** Newton C. Braga

**Diagramação e Coordenação:** Renato Paiotti

**Revisão:** Marcelo Braga

## **MAIS INFORMAÇÕES**

### **INSTITUTO NEWTON C. BRAGA**

<http://www.newtoncbraga.com.br>

## **NOTA IMPORTANTE**

Esta série de livros fornece conhecimentos básicos de eletrônica para cursos regulares, cursos a distância e para autodidatas consistindo, portanto numa literatura cuja finalidade é apoio, iniciação ou complementação de conhecimentos. Sua aquisição não implica no direito a obtenção de certificados ou diplomas os quais devem ser emitidos pelas instituições que adotam o livro ou ainda ministram cursos de outras formas. Da mesma forma o autor ou a editora não se responsabilizam por eventuais problemas que possam ser causados pelo uso indevido das informações nele contidas como o não funcionamento de projetos, ferimentos ou danos causados a terceiros de forma accidental ou proposital, ou ainda prejuízos de ordem moral ou financeira. Os eventuais experimentos citados quando realizados por menores devem ter sempre a supervisão de um adulto. Todo cuidado foi tomado para que o material utilizado seja encontrado com facilidade na época da edição do livro, mas as mudanças tecnológicas são muito rápidas o que nos leva a não nos responsabilizarmos pela eventual dificuldade em se obter componentes para os experimentos quando indicados em outros livros desta série.

Copyright by  
INTITUTO NEWTON C. BRAGA  
1ª edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Estas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

# ÍNDICE

---

<b>1 - Matéria e Energia, A Natureza da Eletricidade, Eletricidade Estática .....</b>	<b>9</b>
1.1 – A Matéria .....	10
1.2 – Energia .....	12
1.2.1 – Princípio da Conservação da Energia .....	13
1.2.2 – Equivalência entre Matéria e Energia .....	15
1.3 - A Natureza da Eletricidade .....	15
1.4 - Eletrostática .....	16
1.4.1 – Eletrização .....	17
1.4.2 – Força Elétrica - Lei de Coulomb .....	19
1.4.3 – Campo Elétrico .....	21
1.5 – A Eletrostática na Prática .....	23
1.6 – Condutores .....	25
1.7 – Corrente e Tensão, Unidades .....	28
1.7.1 – Unidade de Tensão .....	29
1.7.2 – Unidade de Corrente .....	29
1.7.3 – Unidade de Resistência .....	30
<b>2 - Energia Elétrica, Corrente e Tensão, O Circuito Elétrico .....</b>	<b>33</b>
2.1 - Os Geradores .....	33
2.1.1 – Tipos de Geradores .....	35
2.2 – Os Receptores .....	37
2.3 - Conversão de Energia Elétrica .....	37
2.4 – Os Condutores .....	38
2.5 - O Circuito Elétrico .....	39
2.5.1 - Interruptores e Chaves.....	40
2.6 - Corrente Convencional e Corrente Eletrônica.	42
2.7 – Lâmpadas incandescentes .....	43
2.8 - Curto-Círculo, Fusíveis e Disjuntores.....	45
2.9- Os Efeitos da Corrente Elétrica.....	46
<b>3 - Resistência Elétrica, Resistores, Lei de Ohm, Lei de Joule .....</b>	<b>55</b>
3.1 - Resistividade .....	55
3.2 - Resistores.....	57
3.2.1 – Fusistores.....	63
3.3 - Lei de Ohm.....	64
3.3.1 – Curva Característica de uma Lâmpada.....	66
3.4 – O Conceito de Calor e Temperatura.....	66
3.4.1 - Radiadores de calor.....	69
3.4.2 - Zero Absoluto.....	70
3.5 - Lei de Joule.....	71
3.6 - Associação de Resistores.....	72
3.6.1 - Associação de Resistores em Série.....	72
3.6.2 - Associação de Resistores em paralelo.....	74
3.6.3 - Associação Série-Paralelo de Resistores...	75
3.7 - Potenciômetros e Trimpots.....	76
3.8 – Transdutores e sensores.....	78
<b>4 - Tipos de Geradores, Rendimento e Equação do Gerador .....</b>	<b>83</b>
4.1 - Pilhas e Acumuladores .....	83
4.1.2 – Densidade de Energia e Autonomia .....	86
4.1.3 – Armazenamento e Descarga.....	88
4.1.4 – Efeito Memória.....	89
4.1.5 – Energia à vontade.....	90
4.2 - Dínamos e Alternadores.....	90
4.3 - Geradores Alternativos.....	91
4.4 - Rendimento de um Gerador - Equação do Gerador.....	94
4.4.1 - Rendimento de um Gerador.....	97
4.4.2 – Curto Circuito – Perigo de Explosão.....	97
4.5 - Circuitos Complexos - Leis de Kirchhoff.....	98
4.5.1 - Ligação em Série.....	99
4.5.2 - Ligação em Paralelo.....	101
4.5.3 - Leis de Kirchhoff.....	102
<b>5 - Capacitores .....</b>	<b>107</b>
5.1 - O que são capacitores .....	107
5.1.1- Eletretos .....	108
5.2 - Unidades de Capacitância.....	109
5.3 - Tipos de Capacitores.....	109
5.3.1 – Super e Hiper Capacitores.....	112
5.3.2 – Energia Armazenada.....	112
5.4 - Códigos de Valores.....	114
5.4.1 – Capacitores SMD.....	119
5.4.2 - Códigos Muito Antigos.....	120
5.5 - Associação de Capacitores.....	121
5.5.1 - Capacitores em Paralelo.....	121
5.5.2 - Capacitores em série.....	123
5.6 - Capacitores Variáveis e Ajustáveis.....	124
5.6.1 - Capacitores de Estado Sólido.....	124
5.7 - Circuitos de Tempo RC.....	125
5.8 - Blindagens.....	126
5.9 - Capacitâncias Parasitas.....	128
5.9.1 - Capacitância do Corpo.....	129
5.9.2 - A Terra é um capacitor.....	129
<b>6 - Magnetismo, Eletromagnetismo .....</b>	<b>133</b>
6.1 - Imãs permanentes .....	133
6.1.1 – Materiais Diamagnéticas, Paramagnéticas e Ferromagnéticos .....	135

# ÍNDICE

---

6.2 – Indutância e Indução.....	138
6.3 – Medida da Indutância.....	140
6.4 - Associação de Indutores.....	141
6.4.1 - Associação Série de Indutores.....	141
6.4.2 - Associação Paralelo de Indutores.....	141
6.5 - Circuitos LR.....	142
6.6 - Solenóides, Relés e Motores.....	144
6.6.1 - Solenóides.....	144
6.6.2 - Relés.....	146
6.6.3 - Motores.....	147
6.6.5 – Motores sem escovas.....	150
6.7 - Sensores Magnéticos.....	151
6.7.1 - Microfones.....	152
6.8 - Instrumentos Indicadores.....	153
6.8.1 - O Galvanômetro.....	153
6.8.2 - Multímetros Digitais.....	154
6.8.3 - Voltímetros e Amperímetros.....	155
 <b>7 - Corrente Alternada .....</b>	<b>159</b>
7.1 - O que é corrente alternada.....	159
7.2 - formas de onda, freqüência, fase e valores... ..	163
7.2.1- Sinal.....	166
7.3 - Alternadores.....	166
7.4 - Energia bifásica e trifásica.....	167
7.5 - Capacitores e Indutores em	
Corrente alternada.....	169
7.5.2 - Reatância Indutiva.....	172
7.5.3 - Fator de Potência.....	174
7.5.4 – Potência Ativa e Potência reativa.....	174
7.6 - Transformadores .....	177
7.6.1 - Cálculo de Transformadores.....	179
7.6.2 - Tipos de Transformador.....	179
7.6.3 - O Transformador de Força.....	180
7.7 - Impedância.....	182
 <b>8 - Som e Acústica .....</b>	<b>187</b>
8.1 - A Natureza do Som.....	187
8.2 - Espectro Audível.....	189
8.3 - Características dos Sons.....	190
8.3.1 - Altura de um Som.....	190
8.3.2 - Volume ou Intensidade.....	191
8.3.3 - Timbre.....	191
8.3.4 - Comprimento de Onda.....	192
8.4 - Propriedades dos Sons.....	194
8.4.1 - Reflexão.....	194
8.4.2 - Difração.....	195
8.5 - O Decibel.....	195
8.6 - Ressonância.....	197
8.7 - Aplicações para os Ultrassons.....	198
8.8 - Efeito Doppler.....	200
8.9 - Som Estereofônico.....	201
 <b>9 - Ondas Eletromagnéticas.....</b>	<b>207</b>
9.1 - Ondas Eletromagnéticas.....	207
9.1.1 – Faixas de Rádio.....	210
9.2 - Características das ondas de rádio.....	211
9.2.1 - Comprimento de onda.....	211
9.2.2 - Amplitude.....	213
9.2.3 - Polarização.....	213
9.3 - Propriedades das Ondas Eletromagnéticas....	214
9.3.1 - Velocidade e Propagação.....	214
9.3.2 - Reflexão.....	214
9.3.3 - Refração.....	217
9.3.4 - Difração.....	218
9.4 - Transmissores .....	218
9.4.1 - Modulação.....	219
9.5 - Receptores.....	221
9.6 - Interferências e Ruídos.....	221
9.6.1 – Utilização das ondas de rádio.....	223
9.7 - Antenas.....	224
 <b>Anexos</b>	
<b>RESPOSTAS.....</b>	<b>231</b>
<b>LINKS UTEIS.....</b>	<b>231</b>

## APRESENTAÇÃO

---

Em 1972, já com experiência no ensino de eletrônica em cursos presenciais, fui contratado por uma grande organização de ensino por correspondência para renovar seu curso prático de eletrônica. Completado esse trabalho, fui trabalhar na Editora Saber em 1976 onde passei a publicar nas páginas da Revista Saber Eletrônica o primeiro Curso de Eletrônica em Instrução Programada, uma novidade que atraiu a atenção de milhares de leitores que tiveram sua formação inicial totalmente apoiada nos ensinamentos que então disponibilizamos.

O sucesso desse curso fez com que em diversas ocasiões posteriores o curso fosse repetido e atualizado nas páginas da mesma revista e na revista Eletrônica Total. Neste intervalo publicamos a primeira edição completa desse curso que recebeu o nome de Curso Básico de Eletrônica e chegou até sua quinta edição, posteriormente sendo em 2009 transformado numa apostila. No entanto, desde a primeira edição e o primeiro curso na revista, muita coisa mudou, e se bem que diversas atualizações fossem feitas, chegou o momento de se fazer algo novo, adaptado aos novos tempos da eletrônica, num formato mais atual e com conteúdo que seja mais útil a todos que desejarem aprender o básico da eletrônica. Desta forma o conteúdo do curso anterior foi separado em dois, Curso Básico de Eletrônica e Curso de Eletrônica Analógica, para serem completados com a versão já existente do Curso de Eletrônica Digital que deve ser remodelado, E, num quarto volume teremos a parte prática. Além disso, a série terá diversos outros volumes de temas importantes como telecomunicações, matemática para eletrônica, inglês para eletrônica, projetos, etc. Assim, nesta primeira edição de Eletrônica Básica, um verdadeiro curso de conceitos de eletrônica, abordamos todo o conhecimento daquelas edições e mais informações atuais sobre novas tecnologias, novos componentes e novas aplicações.

Podemos dizer que este livro, como os demais, podem ser considerados a plataforma de iniciação ideal para muitos cursos, dos técnicos às disciplinas eletivas, da reciclagem de conhecimentos até aqueles que desejam ter na eletrônica uma segunda atividade ou precisam deles para o seu trabalho em área relacionada.

Newton C. Braga

## INTRODUÇÃO

---

Desde 1976, quando criamos a primeira versão de um Curso de Eletrônica básico que pudesse servir de iniciação aos que desejassem ter conhecimentos da eletrônica, essa ciência passou por grandes transformações. Do fim da válvula ao transistor, quando começamos e os primeiros circuitos integrados, a eletrônica evoluiu para a tecnologia dos CIs de alto grau de integração, os FPGAs, os DSPs, microcontroladores e as montagens em superfície. Assim, nosso livro Curso Básico de Eletrônica, pode ser considerado um curso atualizado com finalidades um pouco diferentes das que visava na época de sua criação original. A eletrônica em nossos dias não é propriamente um fim, onde uma vez domada ela por si só, já permite que as pessoas encontrem uma atividade direta que lhes dê renda ou possam almejar um emprego. A eletrônica hoje é um meio de se alcançar qualificações em outras áreas como as telecomunicações, informática, automação, segurança, eletrônica embarcada e muito mais. Assim, nosso curso visando justamente às necessidades de conhecimento que a preparação para essas áreas pedem, tem uma abordagem direta e rápida de conceitos que, em princípio, não exigem conhecimento prévio dos que desejam aprender.

Na lição 1 estudaremos a natureza da eletricidade, e também alguns fenômenos que ocorrem no átomo e que hoje, na eletrônica mais avançada começam a ser utilizados, o que não ocorria há bem poucos anos.

Na lição 2 tomaremos contato com os conceitos de energia, além das primeiras grandezas elétricas importantes que são a corrente e a tensão. Também teremos o conceito de energia e aprenderemos como funciona um circuito elétrico simples. Veremos ainda o que são LEDs e lâmpadas e como os efeitos da corrente elétrica podem ser aproveitados na prática.

A terceira lição abordará o conceito de resistividade e resistência elétrica introduzindo o resistor. Veremos o que ocorre quando associamos resistores em série e em paralelo e ainda analisaremos seu comportamento elétrico ditado pela Lei de Ohm e Lei de Joule e analisaremos também diversos tipos de resistores especiais que vão dos potenciômetros e trimports até os LDRs, NTCs e outros.

Na quarta lição trataremos dos geradores, que são as fontes de energia dos circuitos eletrônicos. Veremos os principais tipos de geradores, começando pelas pilhas e acumuladores, passando pelos dinâmicos e alternadores e chegando aos geradores alternativos, muito importantes em nossos dias. Analisaremos matemática o funciona-

mento dos geradores com a equação do gerador e as Leis de Kirchoff. Terminaremos esta lição analisando o fusível e o disjuntor.

A quinta lição de nosso curso é dedicada aos capacitores. Estudaremos este componente partindo de seu princípio de funcionamento, as unidades de medidas e os códigos que são usados para suas especificações. Também estudaremos o que ocorre quando ligamos capacitores em série e em paralelo e os chamados circuitos de tempo RC.

A sexta lição é dedicada ao magnetismo e eletromagnetismo. Componentes que se baseiam na produção de campos são muito importantes na eletrônica. São os chamados componentes indutivos representados pelas bobinas e indutores. Veremos também outros componentes desta família como os solenóides, relés e motores, além daqueles que são usados como sensores.

Na sétima lição trataremos de uma forma muito importante de corrente elétrica que é a corrente alternada. Presente na forma de alimentação ou sinal, ela é fundamental para o funcionamento de muitos circuitos eletrônicos. Veremos o que é corrente alternada, suas características e propriedades, além do modo como ela é gerada. Falaremos do fator de potência e como se comportam indutores e capacitores em sua presença. A qualidade de energia será um item importante desta lição.

A oitava lição do curso trata do som, com a análise da natureza deste tipo de vibração assim como suas características e propriedades. Veremos como podemos ouvir estas vibrações analisaremos a sua medida em decibéis e o que são os ultrassons. O Efeito Doppler também será estudado.

Na nona lição trataremos das ondas eletromagnéticas, que são as ondas de rádio usadas numa infinidade de sistemas de comunicações. Veremos suas características e propriedades e como podem ser usadas.

Terminamos este curso de eletrônica básica com a análise das ondas eletromagnéticas na nona lição. Fundamental para as telecomunicações, o conhecimento da natureza, características e propriedades dessas ondas será o tema central da lição. Veremos ainda o que são as ondas de rádio e como funcionam os transmissores e os receptores. O conceito de interferências e ruídos também será abordado.

Enfim, o conteúdo estudado pode ser considerado como os primeiros degraus de uma escada que levará os interessados a um mundo de conhecimento técnico capaz de significar sua realização profissional e muito mais que isso, a satisfação pessoal de dominar as mais importantes tecnologias de nosso tempo.

Newton C. Braga



## » Matéria e Energia

## » A Natureza da Eletricidade

## » Eletricidade Estática

### 1. O que você vai aprender

Nesta lição você vai aprender o que é a eletricidade, como ela pode ser gerada e usada. Veremos também como a eletricidade pode transportar energia e o que é a corrente elétrica. Para isso também entenderemos o que é energia e como ela pode realizar o que se denomina trabalho conceito muito importante na física e na engenharia. Aprenderemos também como a eletricidade pode ser medida e o conceito de terra. Os itens que formam essa lição teórica são os seguintes:

- 1.1 - A Matéria – Átomos e outras partículas
- 1.2 - Energia – equivalência entre matéria e energia
- 1.3 - A natureza da eletricidade
- 1.4 - Eletrostática – Lei de Coulomb
- 1.5 - A Eletrostática na Prática
- 1.6 - Condutores
- 1.7 - Corrente e Tensão – Unidades

### Objetivos

Depois de estudar esta lição, você vai ter uma visão diferente da intimidade da matéria e das manifestações elétricas que ocorrem em seu interior. Vai entender melhor a diferença entre matéria e energia e saber como a eletricidade pode se manifestar nos corpos.

#### Termos em destaque

- Átomo
- Elétrons, prótons e nêutrons
- Carga elétrica
- Lei de Coulomb
- Energia
- Massa
- Eletrostática
- Eletrização
- Corrente elétrica
- Tensão elétrica

## Introdução

Os fenômenos elétricos têm sido observados desde os primeiros tempos do homem, quando ainda vivendo em cavernas ele teve sua atenção chamada pelos raios. Talvez seja nessa época que pela primeira vez ele usou indiretamente a eletricidade, aproveitando o fogo que uma descarga provocou em gravetos o qual ele passou a utilizar para iluminação, aquecimento e para cozinhar alimentos.

Nos milhares de anos seguintes certamente outras manifestações elétricas chamaram a atenção do homem. Ele deve ter observado as faíscas produzidas ao se atritar uma pele de animal num dia seco, ao limpá-la e até mesmo deve ter levado sustos tocando em objetos carregados de eletricidade com boas descargas.

Indiretamente alguns fenômenos elétricos devem ter sido utilizados em inovações tecnológicas da época, mas sem que seus usuários soubessem exatamente o que estava acontecendo. É o caso das pilhas da Babilônia de 4 000 anos atrás que eram usadas em trabalhos de galvanoplastia. Certamente sua construção envolvia algum ritual, para que os poderes “mágicos” fossem conseguidos.

O magnetismo foi descoberto na Magnésia através de suas pedras-ímã (magnetita), mas foi somente depois de muito tempo é que suas propriedades foram explicadas.

A eletricidade como ciência começou na idade moderna com a sua produção de forma artificial e depois explicações que culminaram no século passado com o conhecimento da estrutura da matéria, formada por átomos e depois avançou com teorias como a relatividade a teoria quântica até chegar a nossos dias, com avanços de que trataremos oportunamente.

A unificação da física e as novas teorias das supercordas e outras que começam a influenciar nos conceitos de diversos dispositivos eletrônicos modernos devem fazer parte de um curso moderno.

De fato, fugimos um pouco de muitos dos conceitos dos “velhos e desatualizados” cursos de eletrônica, partindo do mesmo ponto em que todos devem partir, mas indo além até o que realmente o profissional precisa saber em nossos dias.

### 1.1 – A Matéria

Para entender a natureza da eletricidade devemos antes compreender a natureza da própria matéria.

Todos os corpos que nos cercam são feitos de minúsculas partículas denominadas átomos. Os átomos são feitos de partículas ainda menores, que se organizam de forma bem definida.

Costumamos representar o átomo conforme mostra a figura 1, em que as partículas que o formam são pequenas esferas, agrupadas de forma bem definida, como os primeiros pesquisadores imaginaram que fossem.

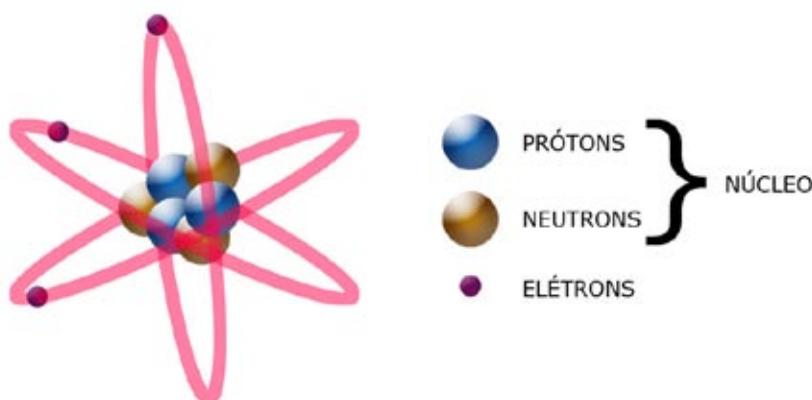


Figura 1 – Representação didática do átomo

Essas partículas, denominadas elétrons, prótons e nêutrons, possuem propriedades que denominamos “elétricas”. Elas são dotadas de cargas elétricas e, por convenção, as cargas dos elétrons são ditas negativas (-) enquanto que as cargas dos prótons são ditas positivas (+). Os nêutrons não possuem cargas elétricas.

### Propriedade:

Uma propriedade importante das cargas elétricas, e que deve ser sempre lembrada, é que cargas de mesmo sinal (ambas positivas, ou ambas negativas) se repelem, e cargas de sinais opostos (positivas e negativas), se atraem. A figura 2 mostra isso.

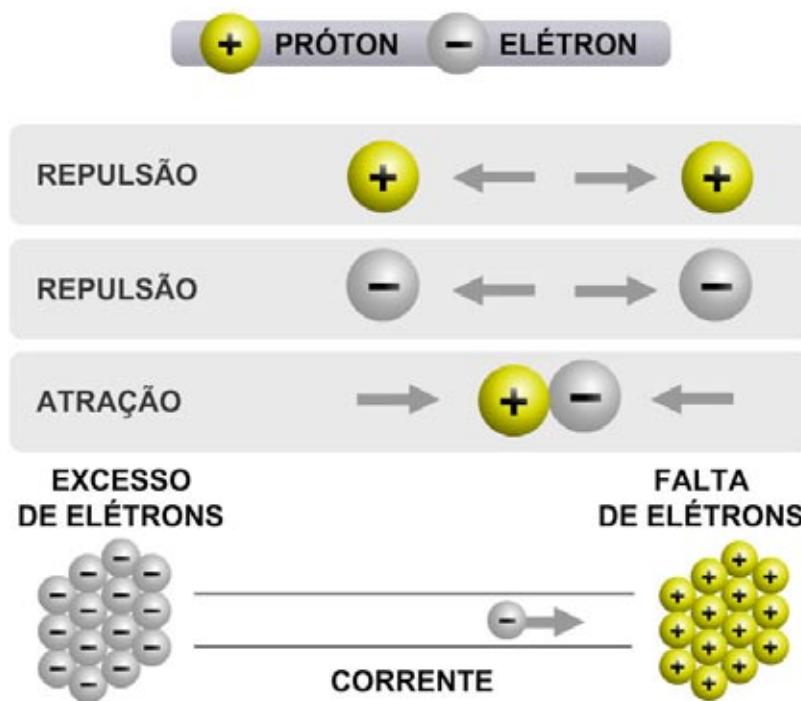


Figura 2 – Cargas de mesmo sinal se repele e cargas de sinais opostos se atraem.

### NOTA

Hoje sabemos que essa representação não corresponde à realidade, pois as partes constituintes dos átomos não têm realmente o que podemos denominar forma, conforme veremos mais adiante, mas para efeito de estudo, esta representação tem sido adotada nas escolas por seu aspecto didático. Adotaremos esta representação por comodidade.

### Supercordas

A teoria das supercordas parte da idéia de que as menores partículas que formam o universo são entidades que possuem apenas uma dimensão, comprimento, e que vibram de diversas formas possíveis. Conforme o modo como elas vibram e as dimensões em que fazem isso, elas dão origem a uma infinidade de partículas elementares como os quarks, hadrons, elétrons, prótons e muitas outras, formando o que se denomina de zoológico das partículas. Ainda há muito para se pesquisar nesse campo, que tenta fazer a unificação da física quântica com a teoria da relatividade. Segundo os físicos conseguem prever através de suas fórmulas o universo deve ter pelo menos 11 dimensões para explicar os fenômenos observados com as partículas elementares.

A “quantidade” de carga elétrica que uma partícula possui pode ser medida.

Verificamos então que a carga do elétron é exatamente a mesma, em quantidade que a do próton, apesar de serem de polaridades opostas e do elétron e do próton ter massas diferentes.

Verifica-se também que os elétrons, sob determinadas condições podem ser retirados dos átomos em torno dos quais giram, e com isso se movimentar através dos materiais dando origem a fenômenos especiais que são muito importantes para os nossos estudos e para a própria existência da ciência eletrônica, conforme veremos nos itens seguintes.

Da mesma forma, podemos acrescentar elétrons a um átomo dotando-os de propriedades especiais, igualmente importantes para nossos estudos.

## 1.2 – Energia

Um conceito muito importante no estudo da física e consequentemente da eletricidade que é um de seus ramos é o de energia.

Conforme estudamos o item anterior, a matéria é formada de átomos e ela tem como principal propriedade o fato de ter massa e ocupar um lugar no espaço. A massa de um objeto é o que lhe confere a propriedade que denominamos peso. Peso é a força com que a terra atrai um objeto, e que depende de sua massa, conforme mostra a figura 3.

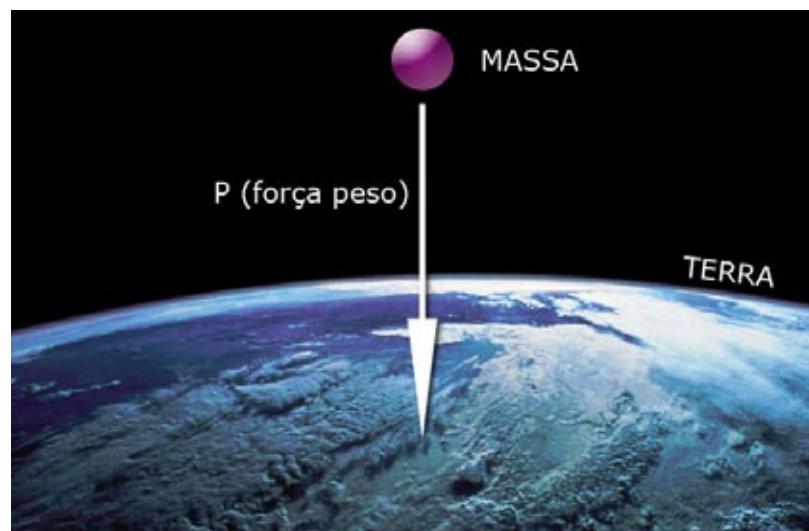


Figura 3 – A força com que um objeto é atraído pela terra é o seu peso

Energia é outro conceito muito importante para o entendimento dos fenômenos elétricos. Não temos uma definição do que seja energia, pois ela não pode ser vista. Dizemos que algo tem energia quando tem a capacidade de executar um trabalho.

A energia armazenada nos combustíveis pode realizar um tra-

balho, que é movimentar um veículo. A energia armazenada nos alimentos é usada para o funcionamento dos nossos órgãos. A energia liberada em reações químicas no interior de uma pilha é usada para acender uma lâmpada ou acionar um pequeno motor.

Veja na figura 4 que, para deslocar um objeto de um ponto A até um ponto B, o que corresponde a um trabalho, precisamos dispender energia.



$$\text{Trabalho} = \text{Força} \times \text{Deslocamento}$$

$$T = f \times d$$

Figura 4 – O trabalho mede o dispêndio de energia ao se deslocar um corpo

A energia é uma grandeza física e como tal pode ser medida. Mais adiante quando estudarmos a energia envolvida em processos elétricos veremos como isso é feito.

### 1.2.1 – Princípio da Conservação da Energia

Um princípio muito importante, que frequentemente será lembrado ao estudarmos fenômenos elétricos, é o da conservação da energia. Este princípio afirma que a energia não pode ser criada nem destruída, ela sempre se conserva.

Assim, quando uma pilha alimenta uma lâmpada, a luz produzida tem a mesma quantidade de energia que a pilha gasta para isso. Da mesma forma, se você tem um amplificador, a quantidade de som obtida (energia) é a mesma que a quantidade de energia elétrica que ele consome ao ser ligado na tomada.

Em outras palavras, nos processos que estudaremos envolvendo eletricidade, quantidade de energia presente será sempre a mesma. Ela apenas passará de um tipo para outro, ou seja, se transformará.

Veja na figura 5 um exemplo, em que a energia química liberada no interior da pilha se transforma em energia elétrica que, depois alimenta uma lâmpada se transformando em energia luminosa (luz) e calor (a lâmpada esquenta). Se medirmos a quantidade de luz e calor produzidos pela lâmpada veremos que é exatamente igual à quantidade de energia liberada no processo químico no interior da pilha.

"Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma"  
Lavoisier (1743 – 1794)

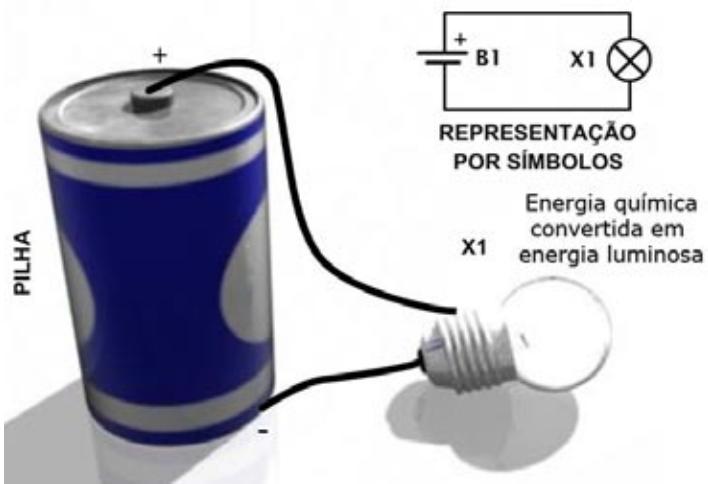


Figura 5 – Exemplo de conversão de energia

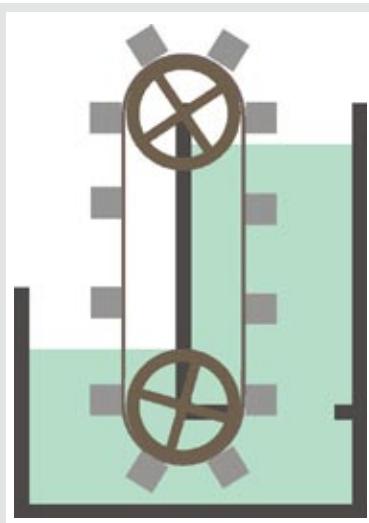


figura A - A água que enche o balde de cima faz peso e ele desce fazendo o mecanismo girar indefinidamente. Por que não funciona?

### Moto Perpétuo

Este nome serve para designar tentativa de muitos para construir um motor perpétuo, um motor que funcione sem precisar de energia. Evidentemente ninguém conseguiu ainda porque contraria os princípios da física, especificamente o da conservação da energia que vimos. Energia não pode ser criada, tem de vir de algum lugar. Além de diversas idéias, que não funcionaram, envolvendo recursos mecânicos, como a da figura A, existem idéias que envolvem eletricidade.

Uma delas é a de se ligar um motor a um dínamo e depois alimentar o motor pelo dínamo, como mostra a figura B.

Por que isso não funciona? Simplesmente porque os rendimentos do motor e do dínamo não são 100%. O dínamo não converte toda energia mecânica que recebe para girar em eletricidade, assim vai para o motor um pouco menos de energia elétrica do que ele recebeu na forma de energia mecânica. Da mesma forma, o motor não converte 100% de energia elétrica em mecânica, assim ele não transfere para o dínamo toda energia. O dínamo neste ciclo, e no processo, já recebe menos, e com isso menor quantidade de energia é gerada, e no processo a energia vai caindo até tudo parar... Mesmo que o processo tivesse 100% de rendimento, no

momento em que tiramos um pouco da energia para alimentar alguma coisa externa, a energia do sistema cai e com isso ele reduz sua velocidade até parar...

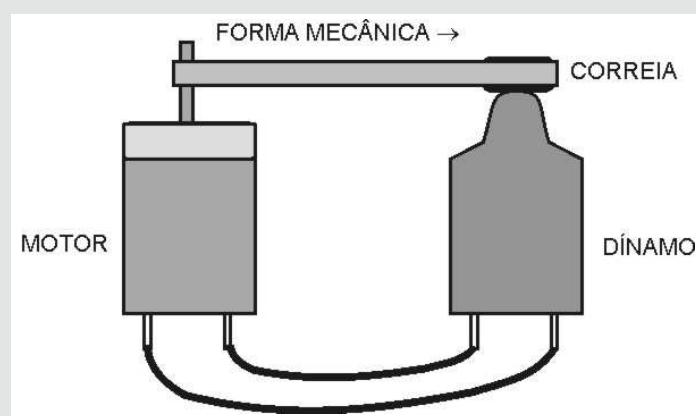


Figura B

### 1.2.2 – Equivalência entre Matéria e Energia

Os trabalhos de Einstein mostraram que matéria e energia se equivalem. Podemos transformar energia em matéria e matéria em energia. A famosa fórmula de Einstein nos diz que podemos obter uma grande quantidade de energia a partir de uma pequena quantidade de matéria. Enfim, matéria pode ser considerada “energia concentrada”.

$$E = mc^2$$

Onde:

E é a energia

M é a massa

C é o quadrado da velocidade da luz ou  $300\ 000\ 000\ 000 \times 300\ 000\ 000\ 000$  de metros por segundo ( $9 \times 10^{22} \text{ m/s}^2$ ).

Ora, o quadrado da velocidade da luz é um número extremamente grande, o que significa que uma pequena quantidade de matéria multiplicada por esse número resulta numa grande quantidade de energia.

A conversão de matéria em energia utilizada nas usinas atômicas, quando um elemento ao se desintegrar transforma parte de sua massa em energia, é feita segundo este princípio.

### 1.3 - A Natureza da Eletricidade

O funcionamento de qualquer dispositivo, componente ou aparelho elétrico, depende da movimentação de um “fluído” através de suas partes. Esse “fluído” existe na forma de um fluxo de partículas e é denominado “corrente elétrica”.

Quando ligamos qualquer aparelho, ou dispositivo mais simples, como uma lâmpada, minúsculas entidades (que são tão pequenas que não podem ser vistas de forma alguma) se movimentam através dos fios, transportando a energia que é responsável pelo seu funcionamento.

O primeiro conceito importante que precisamos então ter é o de corrente elétrica. A corrente elétrica, que passa através dos fios, das trilhas das placas de circuito impresso de qualquer equipamento eletrônico, consiste num fluxo de pequenas entidades ou partículas que possuem em sua natureza algo que, se convencionou, chamar “carga elétrica”. Estas partículas recebem o nome de elétrons e são tão pequenas que podem passar com facilidade por entre os átomos de certos materiais.

Os elétrons fazem parte dos átomos e, por convenção, possuem cargas denominadas negativas, sendo representadas pelo símbolo (-).

Diferentemente dos prótons que fazem parte dos átomos, mas estão firmemente presos aos seus núcleos, os elétrons possuem certa mobilidade em determinados materiais, o que nos permite usá-los para transmitir energia. O próprio nome da ciência, “eletricidade e

eletrônica” (que lembra elétron), já nos sugere que vamos usar este tipo de partícula para alcançar as nossas finalidades. Veja a figura 6.

Se bem que representemos os elétrons por pequenas esferas, já deixamos claro que isso é apenas para facilitar o entendimento do que explicamos. Na realidade, não podemos dizer exatamente o que estas partículas sejam ou que vai ficar mais claro no decorrer de nosso curso.

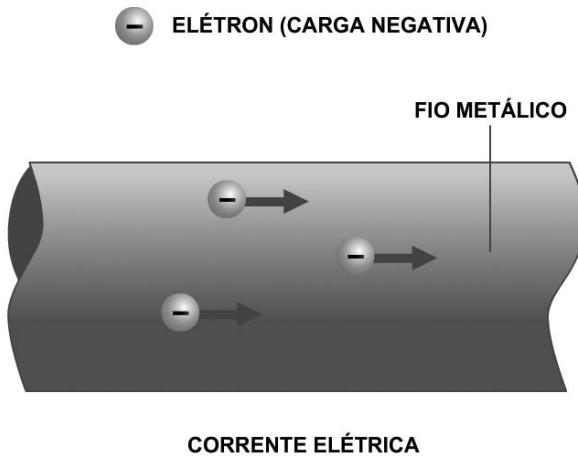


Figura 6 – Os elétrons podem se movimentar através de determinados meios

As substâncias nas quais os elétrons conseguem se movimentar com facilidade são os condutores. Os metais são bons condutores, pois seus elétrons gozam de certa liberdade de movimento sendo, por isso, usados para conduzir correntes elétricas. Já o vidro, o papel, a mica e a borracha são isolantes, ou seja, substâncias que não permitem a movimentação dos elétrons com facilidade.

No entanto, podemos dotar esses corpos de cargas, retirando elétrons de seus átomos ou acrescentando-os. Nestes casos, as cargas ficam “paradas” no corpo, ou seja, estáticas, dando origem a um ramo da eletricidade denominado eletrostática

O fato de atribuirmos ao elétron uma carga negativa é pura convenção. Não podemos vê-lo, simplesmente temos de admitir que ele possui “algo” que lhe dota de certas propriedades, que aproveitamos nos equipamentos elétricos e eletrônicos que usamos e que estas propriedades são diferentes de outras partículas, como os prótons.

É interessante notar que entre os condutores e os isolantes existem substâncias com propriedades intermediárias, os semicondutores, que são de enorme importância para a eletrônica

## 1.4 - Eletrostática

No início dos tempos da eletricidade, pouco se conhecia sobre sua natureza e seu comportamento. Assim, muitos dos estudos realizados nos primeiros tempos envolviam os corpos que acumulavam cargas elétricas, ou seja, os corpos carregados.

Como essas cargas não se moviam nos corpos a não ser em determinados instantes quando eram descarregados ou carregados, a eletrostática teve uma grande importância naqueles tempos.

Com o tempo, os fenômenos relacionados com as cargas em movimento (dinâmicos), passaram a ser muito mais importantes e com isso a atenção maior passou a estar voltado para a eletrodinâmica.

Nos nossos dias a eletrostática voltou a ter grande importância, pois existem muitos componentes, dispositivos e aplicações que se baseiam em seus fenômenos ou são muito influenciadas por eles.

Muitos cursos de eletrônica praticamente omitem a eletrostática de seus programas, o que não acontece com o nosso. Desta forma nas linhas seguintes analisaremos alguns de seus principais fenômenos, pois eles terão grande importância prática.

### 1.4.1 – Eletrização

A tendência natural dos corpos é manter um estado de neutralidade, ou seja, igual número de cargas positivas e negativas. Estas cargas se cancelam e, com isso, nenhum fenômeno de natureza elétrica possa se manifestar. Isso significa que, em condições normais, os átomos de um corpo têm o mesmo número de prótons (+) e de elétrons (-). Na figura 7 representamos um corpo neutro.

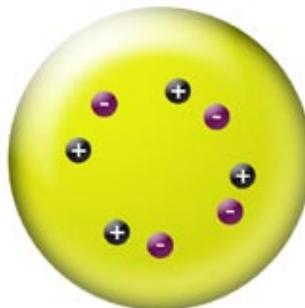


Figura 7 – Corpo neutro – igual número de cargas positivas e negativas

Na prática, entretanto, nem sempre os corpos estão neutros. Isso significa que os átomos de um corpo podem tanto perder como ganhar elétrons, quando então ficam “carregados” ou “eletrizados”.

Quando um corpo tem excesso de elétrons (mais elétrons do que prótons), dizemos que ele está eletrizado ou carregado negativamente. Quando um corpo tem falta de elétrons (menos elétrons do que próton), dizemos que ele está carregado positivamente. Na figura 8 mostramos os dois casos.



Figura 8 – Corpos eletrizados

Para saber mais sobre a eletrostática, sugerimos consultar livros de física do ensino médio. A omissão nos cursos técnicos se deve ao fato de que se considera que o conhecimento básico de eletrostática já venha do curso médio.

Também sugerimos consultar os artigos no site do autor sugeridos no anexo do final do curso.

Veja que podemos eletrizar os corpos apenas mexendo com os elétrons, pois eles têm certa liberdade. Não podemos mexer com os prótons. É por isso a ciência é denominada “electricidade”, de elétron.

Basicamente podemos retirar ou colocar elétrons nos corpos, ou eletrizá-los de três formas ou segundo três processos:

a) Atrito: quando esfregamos um corpo noutro e elétrons de um passam para o outro. Um fica com falta de elétrons (positivo) e o outro negativo (excesso de elétrons). Isso ocorre quando atritamos um pente na roupa e ele eletriza (+), passando a atraír pedacinhos de papel.

b) Contacto: quando encostamos um corpo carregado em outro, que não está carregado e, com isso, ele cede parte de suas cargas.

c) Indução: quando a aproximação de um corpo carregado de outro neutro faz com que cargas se movimentem no seu interior, fazendo com que uma parte fique carregada e outra não.

A figura 9 mostra os três processos.

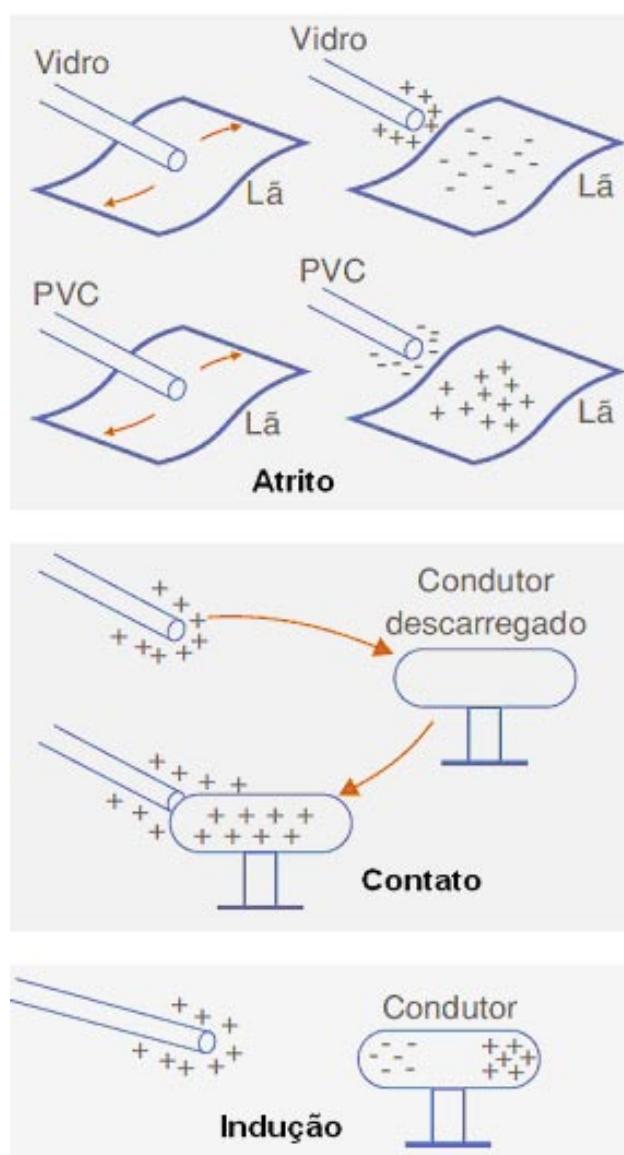


Figura 9 - Os três processos de eletrização

### O Eletroscópio

O instrumento usado para saber se um corpo está carregado de eletricidade ou não (possui uma carga estática) é o eletroscópio. O mais antigo e simples, ainda usado nas escolas, é o eletroscópio de folhas, mostrado na figura A.

Ele é formado por um condutor de metal onde existe uma folha de um metal muito maleável que dobra-se com facilidade. O melhor para esta finalidade é o ouro, mas nas escolas e montagens experimentais, usamos folhas de alumínio bem finas. Quando um corpo carregado se aproxima do eletroscópio ou encosta em sua parte sensora, as lâminas se carregam com cargas da mesma polaridade e, com isso, se manifesta entre elas uma repulsão, com isso elas “abrem” indicando que o corpo está carregado, conforme mostra a figura B. Com a ajuda da eletrônica é possível montar eletroscópios muito sensíveis.

No site do autor deste o livro o leitor encontrará projetos práticos.

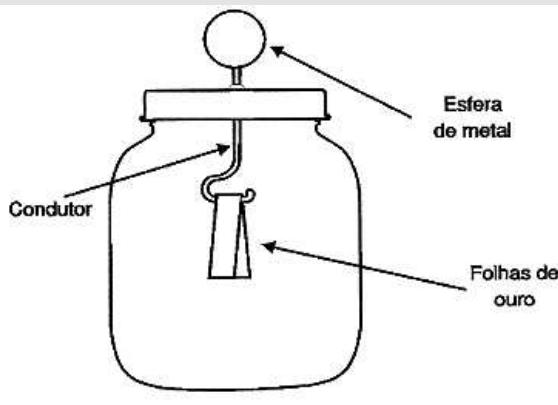


Figura A – Eletroscópio de construção artesanal  
– folhas de ouro têm maior maleabilidade, resultando num eletroscópio mais sensível, mas na prática pode ser usado o alumínio

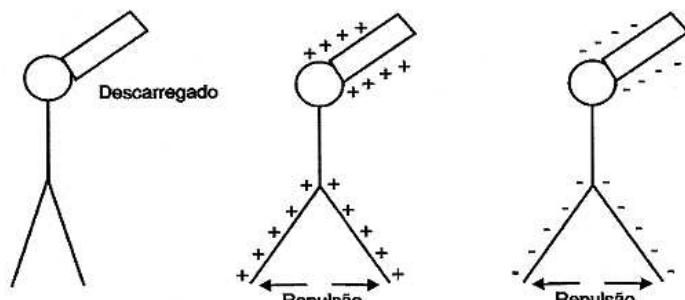


Figura B – Usando o eletroscópio

### 1.4.2 – Força Elétrica - Lei de Coulomb

Verifica-se que corpos carregados com eletricidade da mesma polaridade se repelem e que corpos dotados de cargas de sinais opostos se atraem. Entre eles se manifesta uma força que depende da quantidade de cargas que o corpo possua e da distância que os separam. A figura 10 mostra o que ocorre.

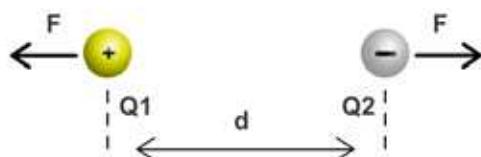
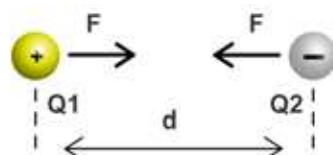


Figura 10 – Força entre corpos carregados

A força de atração ou de repulsão que se manifesta entre corpos carregados foi pela primeira vez determinada por Coulomb, resultando numa das leis mais importantes da eletricidade, a Lei de Coulomb.

### LEI DE COULOMB

Constata-se que a força de atração ou repulsão entre duas cargas elétricas de dimensões reduzidas (ditas pontuais) depende, tanto dos valores destas cargas, quanto da distância que as separa. Conforme mostra a figura 10, sendo  $d$  a distância entre estas cargas e  $Q_1$ ,  $Q_2$  os valores das cargas medidos em Coulombs (C), a força que se manifesta entre elas (chamada de  $F$ ) pode ser calculada pela fórmula.

$$F = K_0 \frac{q_1 \times q_2}{d^2} \quad (\text{f1.1})$$

Onde:  $K_0$  é uma constante denominada constante eletrostática do vácuo. Seu valor é  $9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$

$q_1$  e  $q_2$  são as cargas em coulombs (C)

$d$  é a distância que separa as cargas em metros

$F$  é a força (atração ou repulsão) em Newtons (N)

Observe que, de acordo com essa fórmula, a força está na razão inversa do quadrado da distância, o que quer dizer que se dobrarmos a separação entre duas cargas a força entre elas (atração ou repulsão) fica reduzida a um quarto, conforme mostra a figura 11.

Observamos que diversas são as forças que se manifestam na natureza que se comportam da mesma forma. É o caso da força gravitacional e da força magnética.

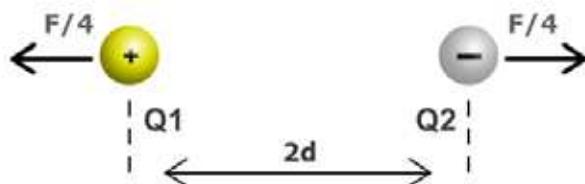
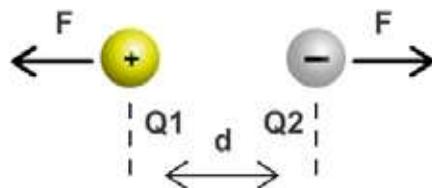


Figura 11 – Dobrando a distância a força fica reduzida a  $\frac{1}{4}$  de seu valor

### 1.4.3 – Campo Elétrico

Conforme vimos, uma carga elétrica produz em sua volta uma espécie de perturbação ou estado especial do espaço. Se colocarmos em qualquer local em que esteja presente esta “perturbação” uma carga elétrica, ela fica sujeita a uma força que tende a movimentá-la, conforme mostra a figura 12.

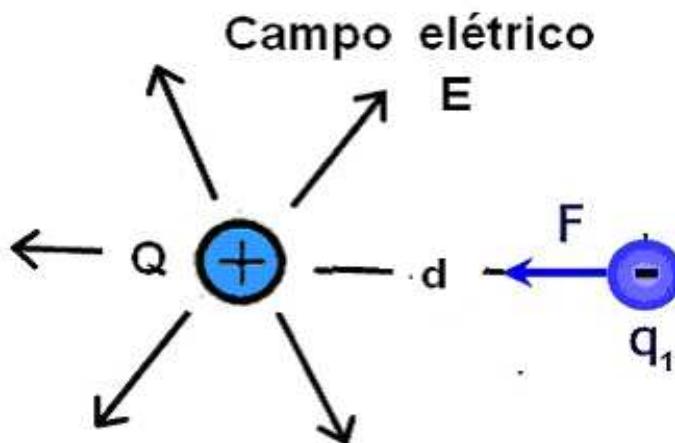


Figura 12 – Carga sujeita a uma força elétrica quando imersa num campo elétrico

Para caracterizar este estado ou situação, dizemos que em torno de uma carga ou de um corpo carregado existe um campo elétrico.

Este campo elétrico é indicado pela letra E, podendo ser calculado em qualquer ponto do espaço, em torno de uma carga pontual, pela fórmula:

$$E = K_0 \frac{Q}{d^2} \quad (\text{f1.2})$$

Onde:  
 ko é a mesma constante da fórmula anterior  
 Q é a carga que produz o campo em Coulombs (C)  
 d é a distância que separa as cargas em metros (m)  
 E é a intensidade do campo em Newton por Coulomb  
 (N/C)

Os efeitos de cargas no espaço, agindo umas em sobre outras, é estudado por um ramo da física denominado eletrostática. Quando as cargas, por outro lado, se movimentam produzindo efeitos que são aproveitados nos aparelhos eletrônicos o ramo da física que as estuda é denominado eletrodinâmica.

Tanto a eletrostática, como a eletrodinâmica, podem ser estudadas com um pouco mais de profundidade através dos livros de física dos cursos de nível médio.

Os campos elétricos são representados por linhas imaginárias, denominadas linhas de força, conforme mostra a figura 13.

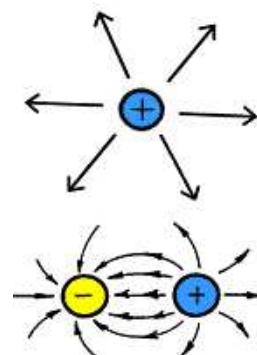


Figura 13 – Campo de uma carga pontual e de um dipolo (duas cargas de polaridade opostas)

As linhas de força saem das cargas positivas e chegam às cargas negativas. Nos pontos do espaço em que as linhas estão mais próximas (mais densas), o campo é mais intenso, ou seja, as forças de natureza elétrica se manifestam com maior intensidade.

Conforme vimos, se “soltarmos” cargas elétricas num campo elétrico, elas ficarão sujeitas a uma força que as faz entrar em movimento. O movimento das cargas sempre se faz ao longo das linhas de força, num sentido que depende de sua polaridade, conforme mostra a figura 14.

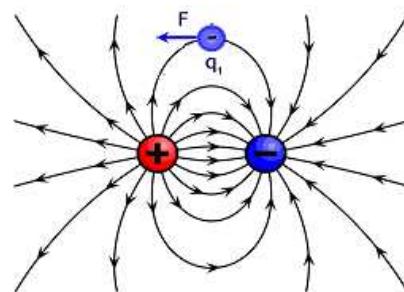


Figura 14 – As cargas se movem ao longo das linhas de força do campo elétrico

## 1.5 – A Eletrostática na Prática

Apesar de muitos cursos de eletricidade e eletrônica não se preocuparem com a eletrostática, que normalmente é estudada mais profundamente no ensino médio, na eletrônica de nossos dias, a importância de fenômenos elétricos envolvendo cargas paradas vem crescendo assim, é importante que verifiquemos onde ela está presente e como os fenômenos relacionados a ela se manifestam.

Os objetos que nos cercam podem acumular eletricidade, tanto cargas positivas como negativas, e essas cargas podem exercer influências de todos os tipos nas pessoas e nos próprios equipamentos eletrônicos.

Por exemplo, o choque que tomamos ao segurar numa maçaneta ou num carro é uma demonstração do que ocorre. A figura 15 mostra o que ocorre.



Figura 15 – Descarga da eletricidade acumulada no corpo.

Além disso, as cargas do ambiente, segundo se constata, podem ter influência no nosso bem-estar. Verifica-se que num ambiente que tenha cargas positivas em excesso, acumuladas num carpete, por exemplo, podem causar processos alérgicos em pessoas com tendências ou mesmo dores de cabeça. As cargas acumuladas num carro fazem o mesmo.

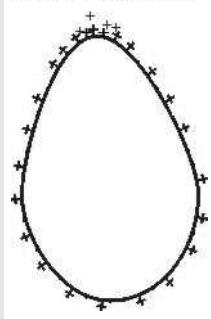
Mas, além disso, há uma boa quantidade de dispositivos elétricos e eletrônicos que têm seu princípio de funcionamento baseado em cargas estáticas.

Um deles é o filtro eletrostático contra poluição mostrado na figura 16. As cargas acumuladas numa tela por um gerador de alta tensão atraem partículas de poluição que então ficam presas e depois caem num recipiente.

**O Efeito das Pontas**

Verifica-se que se um corpo for carregado, as cargas tendem a se acumular nas suas regiões de maior curvatura, ou seja, nas pontas, conforme mostra a figura A.

As cargas se concentram na região de maior curvatura



Se o corpo possui uma ponta, o acúmulo das cargas será tão acentuado que a força de repulsão que se manifesta pela proximidade das cargas atinge um valor suficientemente alto para permitir que as cargas escapem.

Esse efeito é aproveitado na prática para ajudar a descarregar corpos que tendem a acumular cargas. Uma pequena ponta na estrutura de um avião, num carro ou num caminhão de combustível ajuda a descarregar as cargas que se acumulam nestas estruturas.

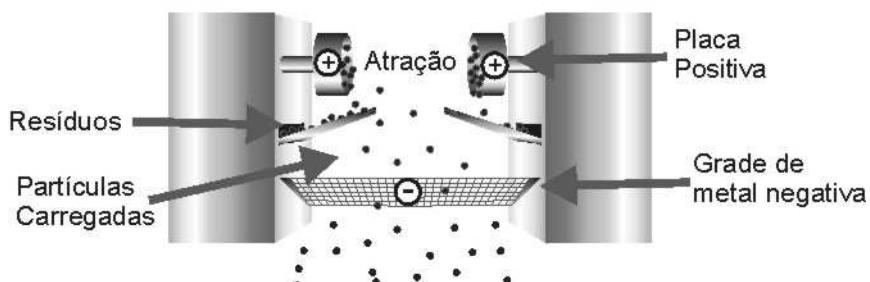
**Gases sem partículas em suspensão****Gases com partículas em suspensão**

Figura 16 – Um filtro eletrostático

Muitos componentes, que serão posteriormente estudados neste livro, operam baseados em princípios da eletrostática como os tubos de raios catódicos de antigas TVs e de osciloscópios, os transistores de efeito de campo (FET), transdutores e muitos outros.

**ESD - Electrostatic Discharge**

ESD é o nome dado ao fenômeno das descargas elétricas que podem ocorrer quando corpos carregados de eletricidade encontram um meio de se descarregarem. A ESD é um problema bastante grave, pois pode afetar equipamentos eletrônicos sensíveis, devendo por isso ser evitada.

O que ocorre é que, qualquer corpo que esteja isolado do solo pode acumular eletricidade por um dos processos de eletrização que estudamos. As cargas acumuladas podem atingir dezenas de milhares de volts.

Uma pessoa que caminhe sobre um carpete isolante pode acumular em seu corpo uma carga equivalente a 10 000 volts. Se essa pessoa tocar em componentes eletrônicos sensíveis ou mesmo nos terminais de equipamentos sensíveis pode ocorrer danos irreversíveis para esses componentes ou equipamentos.

Assim, precauções especiais contra a ESD fazem parte de todas as recomendações tanto no manuseio como na instalação de componentes e equipamentos eletrônicos. Aterramentos, malhas de proteção, uso de materiais condutores de proteção ou ainda anti-estáticos são alguns exemplos de proteções contra ESD.



Usando pulseiras anti-estáticas aterradas

## 1.6 – Condutores

Conforme vimos no início desta lição, existem materiais denominados condutores em que os elétrons podem se mover com facilidade.

Estes materiais podem ser usados para transferir cargas de um corpo para outro, carregando-os ou descarregando-os ou ainda transportando energia.

Materiais condutores como o cobre, alumínio, prata e o ouro, são usados para fazer fios condutores capazes de transportar cargas e com isso transferir a eletricidade de um local para outro através de um fluxo de elétrons, denominado corrente elétrica.

### Corrente elétrica

Definimos a corrente elétrica como uma movimentação ordenada de cargas elétricas.

Sabemos que cargas elétricas de mesma polaridade, ou sinal, se repelem, enquanto que cargas de sinais diferentes se atraem. Assim, um fluxo de elétrons, ou seja, uma corrente, poderá se estabelecida se tivermos pontos com polaridades opostas, como mostra a figura 17. Nela temos uma ilustração em que se mostra que as cargas que saem de um corpo negativo vão até um corpo carregado positivamente através de um condutor, onde temos o cancelamento ou neutralização dessas cargas.

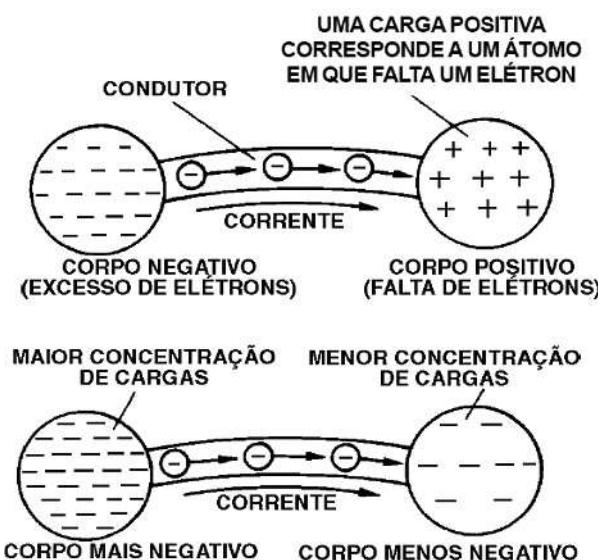


Figura 17 – Obtendo correntes de duas maneiras diferentes

Mas, esta não é a única condição em que podemos obter uma corrente elétrica. Conforme mostra a mesma figura podemos ter uma corrente se um corpo negativo tiver uma concentração maior de cargas do que outro. As cargas tendem a fluir de um para outro até que os dois corpos fiquem com a mesma concentração de carga.

Podemos ainda obter uma corrente se tivermos um corpo neutro (que não tem carga alguma, ou seja, os elétrons estão presentes na mesma quantidade dos prótons, de modo a cancelarem os seus efeitos), e ligarmos a este corpo outro que esteja carregado positivamente ou negativamente, existe uma diferença de condição elétrica que provoca uma corrente.

Mais formas de se obter correntes podem ser citadas. Podemos dar como exemplo, a partir de corpos que estejam carregados com cargas de mesma polaridade (positiva ou negativa), mas com “concentrações” diferentes, conforme mostra a figura 18. Nessa ilustração vemos os sentidos das correntes obtidas com as forças que atuam sobre as cargas.

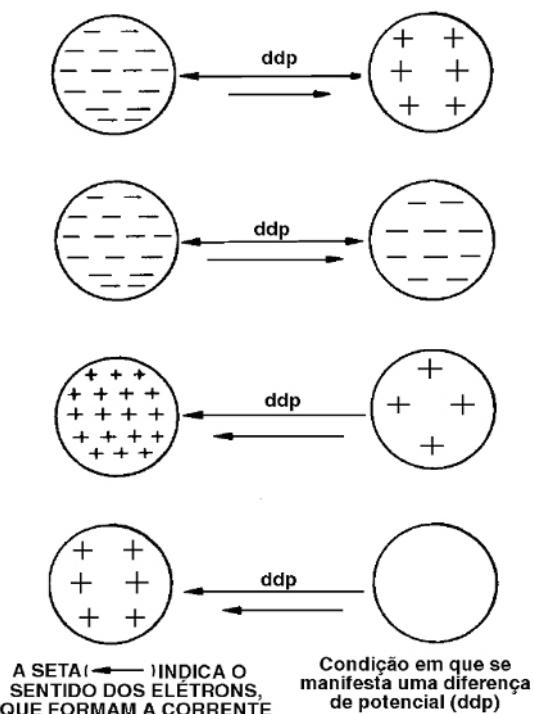


Figura 18 – Basta haver polaridades opostas ou ainda concentrações diferentes de cargas para que uma corrente possa ser estabelecida

Se tivermos um corpo em que as cargas estão mais “apertadas”, ou seja, manifestando uma força de repulsão mais intensa do que no outro em que elas estão menos “apertadas” e interligarmos esses corpos por meio de um fio de metal, o resultado será a ação de forças, que fazem com que um fluxo de cargas ou corrente se estabeleça. Essa corrente essa fluirá até que os dois corpos fiquem numa situação de equilíbrio, ou seja, com concentrações de cargas iguais.

Veja então que, para produzir uma corrente elétrica precisamos de dispositivos que tenham dois pólos, conforme mostra a figura 19. Um deles, o negativo, terá excesso de elétrons ou cargas negativas (um corpo com falta de elétrons terá predominância de prótons, que são positivos, e assim ele será dito “carregado” positivamente).

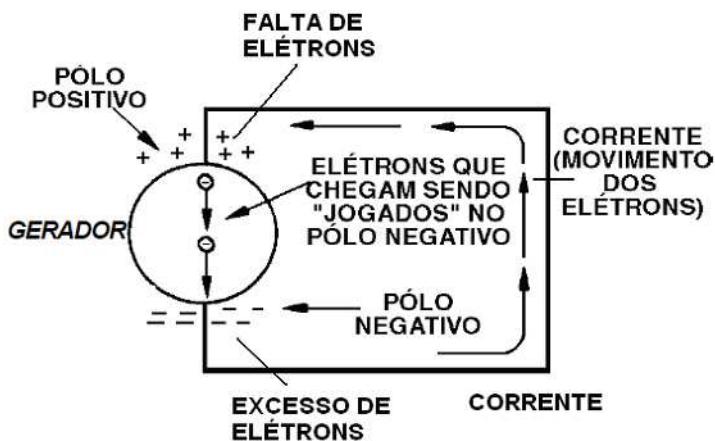


Figura 19 - Um gerador pode produzir uma corrente elétrica pois tem um polo com falta de elétrons (+) e outro com falta (-)

O estado de concentração das cargas manifesta uma força de repulsão entre elas, responsável pelo movimento das cargas quando nela é conectado um condutor. Este estado é denominado “tensão elétrica” ou “potencial elétrico”.

Isso significa que só pode circular uma corrente entre dois corpos se eles estiverem sob tensões diferentes, ou seja, entre eles existir uma diferença de potencial elétrico (abreviada por ddp).

### Aterrramento

Conforme vimos, para haver uma corrente entre dois corpos é preciso que um deles tenha um excesso de elétrons e o outro falta ou ainda que exista uma concentração de elétrons diferente entre dois corpos. Na prática existe um corpo que tem uma quantidade ilimitada de elétrons para ceder podendo receber uma quantidade ilimitada de elétrons também: a terra.

Desta forma, qualquer corpo carregado que seja ligado à terra, descarrega-se, quer seja sua carga positiva ou negativa, conforme mostra a figura 20.

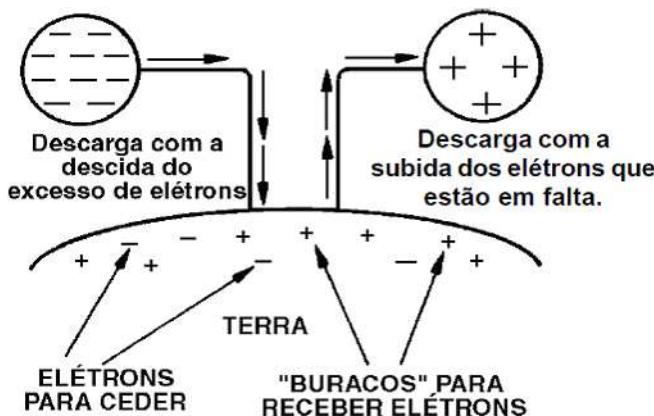


Figura 20 – Independentemente da polaridade, ligando um corpo carregado à terra ele se descarrega

**Curiosidade:**

No século XVII quando os primeiros fenômenos elétricos ainda não eram bem explicados, acreditava-se que a eletricidade estática e a corrente elétrica originada de reações químicas ou nos contatos de metais com seres vivos eram coisas diferentes. Assim, cunhou-se o termo galvanismo para explicar a eletricidade animal, capaz de gerar correntes de modo a diferenciá-la da eletrostática que, para eles, era outro tipo de eletricidade.

## 1.7 – Corrente e Tensão, Unidades

Em eletricidade e eletrônica, para entender o funcionamento de qualquer de seus equipamentos, é muito importante saber como medir os fenômenos, pois podemos fazer previsões e cálculos a partir disso. Aquilo que podemos medir em física é denominado “grandeza”. São grandezas as distâncias, volumes, temperaturas, forças, cargas elétricas, etc. Para cada grandeza adota-se uma unidade, estabelecida por uma convenção que resultou no Sistema Internacional de Unidades ou abreviadamente SI.

Assim, da mesma forma que podemos medir a força entre cargas ou o campo, é importante medirmos a quantidade de cargas que passa num fio, ou seja, a intensidade da corrente elétrica.

A unidade usada é chamada Ampère, que é abreviada por A. Por outro lado, a força ou pressão que aparece entre as cargas, devido à sua concentração nos corpos, é medida em Volts (abreviado por V) e recebe o nome de “tensão elétrica”.

Podemos ainda falar em tensão elétrica e diferença de potencial, (abreviada por ddp) quando nos referimos à concentração de cargas nos corpos ou diferença entre dois corpos, e que é responsável pela ação que estabelece uma corrente entre eles.

Lembre-se então que, para que uma corrente circule entre dois pontos ou corpos é preciso que haja uma diferença de potencial entre eles conforme mostra a figura 21.



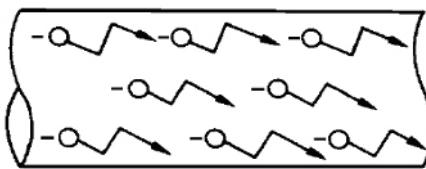
Figura 21- Movimento dos elétrons que formam uma corrente

Conforme vimos a terra funciona como um gigantesco reservatório de cargas, podendo recebê-las ou fornecê-las em qualquer quantidade. Quando ligamos um corpo menor carregado à terra, ocorre imediatamente a descarga, quer estejam eles positivamente ou negativamente carregados. Por definição, dizemos que o potencial da terra é 0 (zero) volt, ou potencial de referência.

A movimentação de cargas de um corpo para outro, ou de um corpo para a terra (e vice-versa), representa um dispêndio de energia. Desta forma, uma corrente elétrica sempre transporta energia.

Um condutor elétrico, por melhor que seja, não é perfeito, o que significa que, ao passarem, as cargas elétricas têm de fazer um certo esforço. Este esforço indica que a corrente elétrica encontra uma certa oposição ou resistência e, para vencê-la, é preciso gastar energia.

Dizemos então que o material de que é formado o condutor apresenta uma certa resistência elétrica. A resistência elétrica é medida em ohms (abreviado por  $\Omega$ ). A figura 22 mostra o que ocorre.



**Trajetória Irregular dos Elétrons num Condutor**

Figura 22 – Os elétrons encontram resistência na sua movimentação pelos materiais, dispendendo energia na forma de calor.

Quanto maior for a resistência elétrica encontrada pela corrente, ao passar por um determinado meio, menor será a sua intensidade. Existe então uma proporção muito bem definida entre a intensidade da corrente e a resistência. Do mesmo modo, quanto maior for a força (tensão), que “empurra” as cargas através de um condutor, maior será a intensidade da corrente.

O relacionamento entre essas três grandezas elétricas é muito importante em muitos cálculos que envolvem correntes, tensões e resistência. Esse relacionamento será estudado em pormenores na lição 3.

As três grandezas que estudamos, tensão, corrente e resistência podem ser medidas. Para isso elas possuem unidades próprias adotadas internacionalmente pelo SI (Sistema Internacional de Unidades). O leitor deve estar bastante atento, para saber usar corretamente estas unidades.

### Resistência elétrica

Denominamos resistência elétrica à oposição que uma corrente elétrica encontra na sua passagem.

#### 1.7.1 – Unidade de Tensão

A tensão elétrica é medida em volts (V). É comum que também sejam usados múltiplos e submúltiplos desta unidade.

$$\text{Milivolt (mV)} = 0,001 \text{ V} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$\text{Microvolt (\mu V)} = 0,000\,001 = 10^{-6} \text{ V}$$

$$\text{Quilovolt (kV)} = 1\,000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}$$

$$\text{Megavolt (MV)} = 1\,000\,000 \text{ V} = 10^6 \text{ V}$$

### Lembre-se:

Tensão – causa

Corrente – efeito

Resistência – oposição que a corrente encontra ao passar através de um meio

#### 1.7.2 – Unidade de Corrente

A intensidade de uma corrente é dada pela quantidade de cargas que passam de um ponto de um condutor em cada segundo. A intensidade da corrente é medida em ampères (A), mas também usamos seus múltiplos e submúltiplos. Os mais importantes são:

$$\text{Nanoampère (nA)} = 0,000\,000\,001 \text{ A} = 10^{-9} \text{ A}$$

$$\text{Microampère (\mu A)} = 0,000\,001 \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$$

$$\text{Miliampère (mA)} = 0,001 \text{ A} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$\text{Quiloampère (kA)} = 1\,000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}$$

### Cuidado:

Já vimos grafado quilo como kilo, o que é errado. Em português a forma correta é quilo. E a abreviação é k (minúsculo) e não K (maiúsculo).

**Prefixos**

Em física e em eletrônica é comum o uso de prefixos gregos para se indicar múltiplos e submúltiplos das unidades usadas com as diversas grandezas. A seguir uma tabela, que é conveniente que o aluno memorize, pelo menos os principais.

Fator	Prefixo	Símbolo
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto	h
10	deca	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a

**1.7.3 – Unidade de Resistência**

A resistência elétrica é medida em ohms ( $\Omega$ ). Também usamos os múltiplos e submúltiplos:

$$\text{Miliohm (m}\Omega\text{)} = 0,001 \Omega = 10^{-3} \Omega$$

$$\text{Quilohm (k}\Omega\text{)} = 1\ 000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$\text{Megohm (M}\Omega\text{)} = 1\ 000\ 000 \Omega = 10^6 \Omega$$

**Termos em Inglês**

Nesta lição não tivemos muitas palavras que podem trazer problemas ao serem encontradas em textos em inglês, mas é interessante destacarmos algumas mais importantes.

O principal destaque vem para o termo *voltage* que normalmente é encontrado nos textos técnicos para indicar tensão. Em português durante muito tempo e também em alguns locais o termo “voltagem” foi empregado, mas não é considerado correto.

Outros termos relacionados com o significado são:

Charge = carga

Current = corrente

Resistance = resistência

Ohm's Law = Lei de Ohm

Conductor = condutor

Isolator = isolador ou isolante

Electric Field = campo elétrico

**Temas Para Pesquisa**

- Descargas elétricas
- Eletricidade estática
- Série triboelétrica
- Condutores e isolantes
- Resistividade
- Choque elétrico
- ESD (Descarga Eletrostática)

## Questionário

**1. Duas esferas carregadas ao serem colocadas uma próxima da outra se repelem. Podemos afirmar que:**

- a) As duas esferas possuem cargas positivas
- b) As duas esferas possuem cargas negativas
- c) Uma esfera está carregada positivamente e a outra negativamente
- d) As duas esferas possuem cargas de mesma polaridade

**2. Se nas proximidades de um corpo carregado colocarmos uma carga elétrica ela certamente:**

- a) Será atraída pelo corpo
- b) Será repelida pelo corpo
- c) Ficará sujeita a uma força
- d) Não se movimentará

**3. Os corpos feitos materiais através dos quais as cargas elétricas podem se movimentar são:**

- a) Isolantes
- b) Condutores
- c) Os que estejam ligados à terra
- d) Corpos carregados

**4. Corrente elétrica e tensão são respectivamente:**

- a) Efeito e causa
- b) Causa e efeito
- c) Causa e força de oposição
- d) Efeito e força de oposição

**5. Um nanoampère equivale à:**

- a) 0,001 A
- b) 0,000 001 A
- c) 0,000 000 001 A
- d) 0,000 000 000 001 A

**6. Dois ampères equivalem à:**

- a) 200 mA
- b) 2 000 mA
- c) 2 000 000 mA
- d) 0,2 mA





## » Energia Elétrica » Corrente e Tensão » O Circuito Elétrico

### 2. O que você vai aprender

Nessa lição veremos de que modo a eletricidade pode ser gerada e como podemos usá-la na prática, utilizando-a para o funcionamento de diversos dispositivos e equipamentos. Veremos ainda como a energia elétrica pode ser transformada em outras formas de energia as quais são aproveitadas em dispositivos como lâmpadas, elementos de aquecimento, LEDs, motores, transmissores e muitos outros. Essa lição será formada dos seguintes itens:

- 2.1 - Os geradores
- 2.2 – Os receptores
- 2.3 - Conversão de energia elétrica
- 2.4 – Os condutores
- 2.5 - Circuito Elétrico
- 2.6 – Corrente convencional e corrente eletrônica
- 2.7 - Lâmpadas incandescentes
- 2.8 - Curto-círcuito, fusíveis e disjuntores
- 2.9 - Os Efeitos da Corrente Elétrica

#### 2.1 - Os Geradores

Se ligarmos um corpo carregado a outro, de modo que flua uma corrente, ela terá uma duração muito curta. Tão logo as cargas que estão a mais num corpo passem para o outro, que as tenha de menos, estabelecendo o equilíbrio, a corrente cessa.

O que devemos fazer se quisermos ter uma corrente circulando por um tempo mais longo entre dois extremos de um fio condutor que une esses corpos?

Conforme vimos na lição anterior, uma corrente não pode fluir permanentemente entre dois corpos entre os quais exista uma diferença de potencial, pois, existe um instante em que o equilíbrio se restaura e com isso não há mais “força” para empurrá-las. Se quisermos manter a circulação da corrente, devemos repor no corpo que fornece

as cargas, aquelas que vão sendo enviadas ao que as tem em falta. Em suma, devemos retirar cargas do corpo que as recebe para recolocá-las naquele que as fornece.

Esse processo envolve um gasto de energia, pois estamos “entregando” ao sistema a energia que ele vai fornecer quando a corrente circular. Para esta finalidade usamos dispositivos especiais que recebem o nome de “geradores”, pois “geram” energia. Estes geradores possuem dois pontos importantes, em que são ligados os condutores, e que são denominados “pólos”. Um polo é o negativo, que fornece os elétrons para a corrente, pois os tem em excesso, e o outro é o positivo que recebe os elétrons, conforme mostra a figura 23.

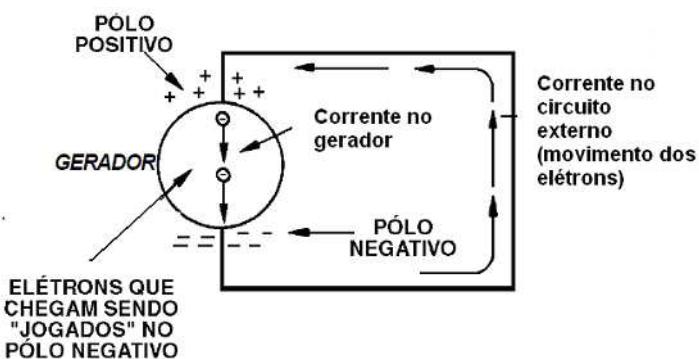


Figura 23 – O funcionamento do gerador

Para que o gerador realize sua função, estabelecendo entre os seus pólos uma diferença de potencial ou de concentração de cargas, que provoque a circulação da corrente quando ligarmos algum dispositivo condutor, é preciso dispor de alguma forma de energia para conversão. O tipo de energia que é usada pelo gerador, para ser convertida em energia elétrica, pode variar bastante.

Um dos tipos mais comuns é o que converte energia química (liberada de reações químicas) em energia elétrica. As pilhas e baterias são os principais elementos deste grupo de geradores.

Uma pilha comum ou célula estabelece entre seus pólos uma diferença de potencial de 1,5 V, que dura enquanto as substâncias de seu interior puderem reagir, fornecendo energia conforme ilustra a figura 24.

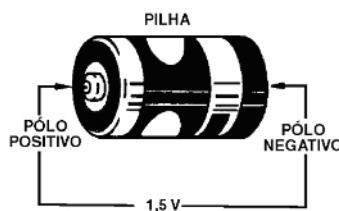


Figura 24 – Uma pilha comum como gerador

Um conjunto de pilhas é denominado bateria. No caso dos automóveis, o que temos é uma associação de acumuladores ou diversas

células, que juntas estabelecem 12 Volts entre seus pólos. A diferença entre pilha e acumulador está no fato de que os acumuladores podem ser recarregados.

A reação química que provoca o fornecimento de energia é reversível, de modo que, quando um acumulador se descarrega podemos recarregá-lo, fazendo circular uma corrente através dele, mas no sentido contrário ao normal. Essa corrente invertida “entrega” energia ao acumulador, ficando então armazenada.

As pilhas comuns não podem ser carregadas, se bem que existam pilhas especiais denominadas “NiCad” (níquel-cádmio), ou “recarregáveis” que podem ser recarregadas muitas vezes, por um processo especial, como as encontradas nos telefones celulares, telefones sem fio, etc. Elas também são chamadas, muitas vezes “baterias”.

Existem ainda as denominadas “células a combustível” em que temos a conversão direta em energia elétrica da energia liberada na reação entre dois gases. Um tipo usado em naves espaciais é o que emprega hidrogênio e oxigênio que, reagindo para formar água, libera energia elétrica em eletrodos especiais.

Outro tipo de gerador importante é o dínamo. Um exemplo é o dínamo de bicicleta, em que a energia mecânica do movimento de seu rotor é convertida em energia elétrica que alimenta uma lâmpada e até mesmo uma buzina. Veja na figura 25 como a roda da bicicleta aciona o dínamo transmitindo energia mecânica que se transforma em energia elétrica.

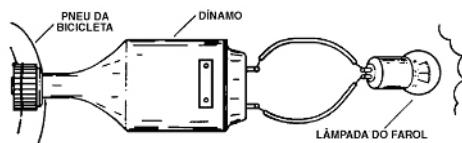


Figura 25 – O dínamo de bicicleta

Veja que, no interior de um gerador, a movimentação das cargas se faz de maneira contrária à do fio por onde passa a corrente externa, também chamado de “receptor”. Existem outros tipos de geradores importantes como: as pilhas solares que convertem luz em energia elétrica, os pares termoelétricos que convertem calor em energia elétrica, os alternadores que convertem energia mecânica em energia elétrica, mas de forma especial (que será estudada futuramente).

## 2.1.1 – Tipos de Geradores

### a) Mecânicos

Os geradores mecânicos convertem energia mecânica em energia elétrica, por exemplo, vindas de movimentos ou forças de natureza mecânica. Temos então neste grupo os dínamos e os alternadores, conforme mostra a figura 26.

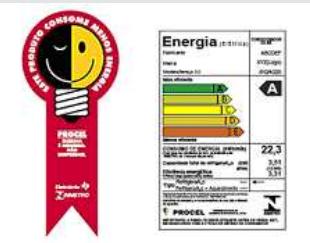
### Energia Limpa e Energia Renovável

Em nossos dias existe uma preocupação crescente com o gasto de energia e com os efeitos que ela pode ter no meio ambiente. Assim, denominamos energia limpa aquela que não causa poluição como a energia elétrica. Energia renovável é aquela que uma vez gasta pode ser recuperada. Por exemplo, quando queimamos petróleo, a energia liberada não pode ser recuperada imediatamente. A natureza demorou milhões de anos para acumular a energia no petróleo que agora usamos. Por outro lado, a energia eólica (dos ventos) além de ser de uma fonte limpa, pois não altera o ar que movimenta as usinas, é renovável, pois podemos sempre estar usando o vento.

Na eletrônica, também existe a preocupação com o gasto de energia, de modo que não haja desperdício. Isso ocorre porque muitos aparelhos comuns não aproveitam toda a energia que recebem, desperdiçando muito na forma de calor, por exemplo. O selo verde é adotado para indicar um equipamento que tem bom aproveitamento de energia.

### Eficiência energética

Esse é o nome que damos ao rendimento de um aparelho em termos de aproveitamento de energia. Por exemplo, se seu equipamento de som consome uma certa quantidade de energia ao ser ligado (como medir isso veremos nas lições futura) mas só converte metade em som, então sua eficiência é 50%.



Selo de Eficiência Energética dado aos aparelhos de alto rendimento pelo INMETRO.



Figura 26 – Um dínamo de bicicleta e um alternador de automóvel

Os dínamos convertem a força obtida pelo movimento de um motor, de uma queda d'água, de uma hélice movimentada pelo vento ou da força mecânica de um ciclista em energia elétrica. Os alternadores fazem o mesmo, mas fornecem a energia elétrica de uma forma diferente, corrente alternada, que estudaremos oportunamente.

### b) Químicos

Este tipo de gerador converte a energia liberada numa reação química em energia elétrica. Temos neste grupo como principais representantes as pilhas e os acumuladores.

### c) Térmicos

Estes geradores são pouco usados, pois têm um rendimento muito baixo. Assim, a pequena quantidade de energia térmica que eles convertem em eletricidade serve mais para realizações de medidas. O melhor exemplo está nos pares termoelétricos.

### d) Fotoelétricos

Estes geradores convertem energia radiante (luz e outras radiações) disponível na forma de ondas eletromagnéticas em energia elétrica. O tipo mais comum é a fotocélula. Estes geradores ainda não possuem um bom rendimento, mas já começam a ter utilidades práticas na alimentação de muitos equipamentos.

### e) Outros

Existem outros geradores que encontram uma faixa de utilização menor ou maior, mas que oferecem grandes possibilidades para o futuro. Vários deles, na realidade, são geradores que fornecem energia para um dos tipos anteriores que, por sua vez, fornecem energia elétrica.

Por exemplo, os geradores atômicos, que aproveitam a energia liberada na desintegração de elementos radioativos, na verdade geram

calor que, por sua vez, aquecem a água e a água movimenta um gerador mecânico, ou seja, um dínamo ou alternador.

## 2.2 – Os Receptores

Os receptores recebem energia elétrica a partir de uma corrente e convertem essa energia em uma ou mais formas de energia. Podemos citar como exemplo as lâmpadas que convertem energia elétrica em luz (e calor), os motores que convertem energia elétrica em energia mecânica (movimento ou força) e muitos outros.

Os receptores aproveitam os efeitos da corrente elétrica que serão estudados ainda nesta lição.

## 2.3 - Conversão de Energia Elétrica

Quando ligamos um fio condutor aos pólos de um gerador e esse fio apresenta certa resistência elétrica, para vencer esta resistência, a energia fornecida pelo gerador se converte em calor. Lembramos que nenhum condutor é perfeito. Assim, por melhor que ele seja, as cargas em movimento que formam a corrente sempre encontram uma certa dificuldade para se movimentar. Essa dificuldade ou oposição é denominada “resistência elétrica”, conforme estudamos na lição anterior e agora vamos nos aprofundar.

Existem muitos dispositivos que aproveitam o calor despendido pelas cargas, ao vencer a resistência, para poderem funcionar. Podemos citar como exemplo, os aquecedores em geral: eles consistem em fios que não são bons condutores, como, por exemplo, o fio de Nicromo, formado por uma mistura (liga) de níquel com cromo.

Quando a corrente passa por estes fios, grande quantidade de calor pode ser produzida. Na figura 27 temos exemplos que aproveitam o calor produzido pela corrente elétrica.



Figura 27 – Aparelhos que aproveitam o efeito térmico da corrente

**Lâmpadas Fluorescentes, Eletrônicas e LEDs**  
**Atualmente.** Podemos encontrar outros tipos de lâmpadas como, por exemplo, as fluorescentes, em que um gás é excitado pela corrente elétrica, de tal forma a ser forçado a emitir luz. Também temos as lâmpadas eletrônicas em que um bulbo contendo gás é excitado por uma corrente elétrica de alta freqüência gerada por um circuito especial. Finalmente temos os LEDs que devem ocupar posição de destaque em iluminação pelas suas características. Ao longo do curso vamos estudá-los.

### Morte Térmica do Universo

Nas conversões de energia a última sempre é o calor. O resultado da passagem da corrente, do atrito de partes mecânicas, de reações químicas além de uma outra forma, sempre se perde em calor. O calor, por outro lado, só pode ser usado para alguma finalidade se houver diferença de temperaturas entre dois pontos. Assim, uma curiosa afirmação dos físicos é que na conversão de todas as formas de energia resultando no final em calor vai levar a um instante em que todos os pontos do universo estarão na mesma temperatura e não se poderá mais dispor de energia. Será a morte térmica do universo.

Aquecedores de ambiente, chuveiros elétricos, secadores de cabelos, fornos elétricos, acendedores de cigarros de carro, desembaladores de vidro de autos, máquinas de selagem plástica, injetoras de plástico e muito mais, operam todos segundo este princípio.

Se o fio for suficientemente fino e apresentar um ponto de fusão muito elevado, como o tungstênio, podemos encerrá-lo num bulbo de vidro, para evitar a ação do oxigênio do ar ambiente que o queimaria (o vidro terá um vácuo no seu interior ou então será preenchido em um gás inerte de modo a equilibrar a pressão externa, o que não torna a lâmpada frágil, sujeita a implosão), teremos uma lâmpada comum: um dispositivo que pode converter a energia elétrica, não apenas em calor, mas também em luz.

Veja que luz é uma forma de radiação eletromagnética, ou seja, é formada por ondas eletromagnéticas de comprimento muito curto (mais tarde veremos o que vem a ser o comprimento de uma onda, por isso não se preocupe em entender esse termo, por enquanto, se você ainda não sabe do que se trata), e a lâmpada que opera com um filamento aquecido é denominada “lâmpada incandescente”, conforme mostra a figura 28.

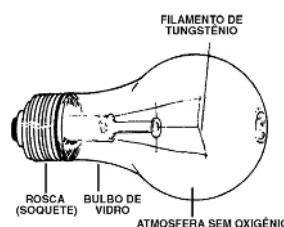


Figura 28 – Uma lâmpada incandescente comum

### 2.4 – Os Condutores

Como não existem condutores perfeitos, a passagem da corrente por qualquer fio ou dispositivo sempre gera calor. Isso consiste num problema para aparelhos eletrônicos e elétricos de diversos tipos tais como computadores, controles industriais, aparelhos de medida, telecomunicações, uso médico e é claro, de uso doméstico.

A grande quantidade de fios e componentes percorridos pela corrente nesses aparelhos gera calor. Esse calor, diferentemente de outros dispositivos, não serve para nada devendo ser eliminado.

Se o calor gerado não for eliminado, componentes sensíveis aquecem demais e podem queimar. Assim, em muitos equipamentos um ponto crítico é a ventilação: é preciso eliminar o calor gerado em todos os seus fios e componentes quando em funcionamento.

E, para isso, não temos muitas alternativas: o calor é uma consequência inevitável do princípio de funcionamento de todos os dispositivos que, por melhores que sejam, apresentam sempre uma certa resistência elétrica.

## 2.5 - O Circuito Elétrico

Para fornecer energia elétrica a um dispositivo qualquer de modo que ela possa ser aproveitada, transformando-se em outra forma de energia, por exemplo, luz, calor, movimento, som, etc. não basta ligar um fio que permita o transporte das cargas. Se apenas um fio for ligado as cargas chegam ao aparelho, mas não tem para onde ir, conforme mostra a figura 29. Veja que as cargas não são a energia elétrica, elas simplesmente transportam a energia. Assim, elas devem entregar a energia ao dispositivo alimentado e tem de ir para algum lugar.

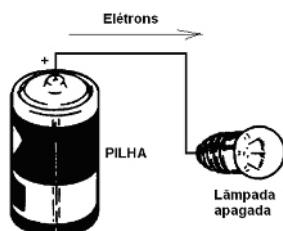


Figura 29 – Os elétrons que chegam à lâmpada não tem para onde ir depois

Se não tiverem para onde ir, a corrente simplesmente pára e nada mais acontece.

Por esse motivo, analisando então os exemplos que demos, em que os geradores alimentam lâmpadas, aquecedores ou LEDs, vemos que é preciso que as cargas elétricas que formam a corrente devem realizar um percurso ou caminho fechado.

Saindo de um dos pólos do gerador, elas percorrem todos os componentes entregando sua energia, para depois chegar de volta ao outro polo do mesmo gerador.

Deve, então, haver um percurso ou caminho completo (fechado) para que uma corrente possa circular e fornecer energia. O dispositivo que fornece energia é o gerador e os que recebem são os receptores.

O caminho total percorrido pela corrente, incluindo os componentes, recebe o nome de **círculo elétrico**, conforme ilustrado na figura 30.

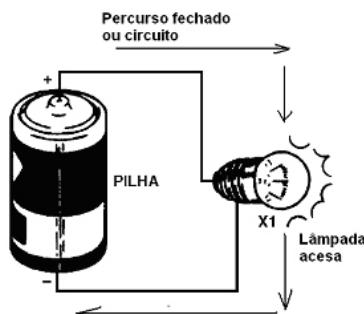


Figura 30 – Para circular, a corrente precisa de um percurso fechado ou circuito fechado

Em Eletrônica, é comum chamarmos o percurso total que uma corrente deve fazer num conjunto de componentes de “círculo elétrico” ou simplesmente circuito.

O circuito é então formado pelo conjunto de componentes que devem exercer alguma função quando percorridos por uma corrente.

Observe que, se o circuito for interrompido em qualquer ponto, a corrente deixa de circular por todo ele, e o dispositivo ou aparelho pára de funcionar.

A interrupção pode ser feita voluntariamente quando quisermos desligar um aparelho. Para isso usamos dispositivos denominados interruptores.

Todos os componentes e demais dispositivos que estão num equipamento eletrônico, qualquer que seja ele, de um computador ao controle de potência de uma máquina industrial formam circuitos elétricos.

Existem então percursos múltiplos para a corrente que, ao circular produz os efeitos desejados, ou seja, permite que eles recebam a energia para funcionar. Se assim não fosse a corrente não poderia circular e eles não funcionariam.

### 2.5.1 - Interruptores e Chaves

Para estabelecer ou interromper a corrente num circuito, de modo a se conseguir o seu controle, usamos dispositivos denominados interruptores.

Normalmente são formados por lâminas ou contatos que, estando encostados permitem a passagem da corrente e estando afastados interrompem o circuito.

Os interruptores, conforme mostra a figura 31 devem ser ligados em série com o dispositivo controlado ou o circuito.

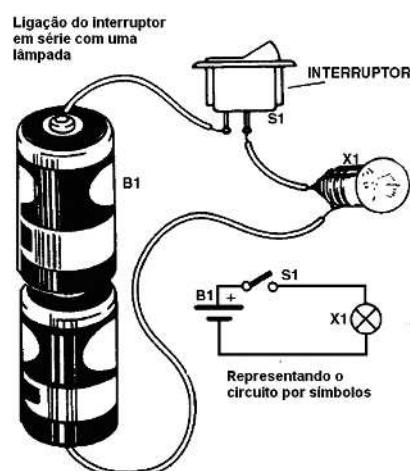


Figura 31 - O interruptor é ligado em série com a lâmpada para poder controlar a corrente que passa através dela

O termo “série”, utilizado aqui, ficará mais claro nesse mesmo curso, quando também estudarmos outras formas de ligarmos dispositivos num circuito.

Temos diversos tipos de interruptores, que são mostrados na mesma figura. Esses interruptores são especificados pela corrente máxima que podem controlar e pela tensão máxima que suportam entre esses contatos quando estão abertos.



Figura 32 – Interruptores simples e múltiplos (chaves) encontrados em aparelhos eletrônicos.

São os interruptores que permitem que você ligue ou desligue a maioria dos aparelhos eletrônicos, como computadores, monitores de vídeo, televisores, aparelhos de teste, controles, etc.

Interruptores embutidos em alguns dispositivos permitem que eles sejam acionados de modo automático pelo movimento de motores, por exemplo.

Temos também interruptores que podem ser programados, ou seja, ligados ou desligados uma só vez na própria placa de dispositivos do computadores ou controles para adaptá-los a certas funções. Estes interruptores miniaturizados são denominados “dip-switches”. Na figura 33 temos exemplos desses interruptores montados em conjuntos.

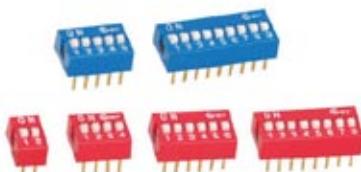
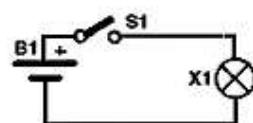


Figura 33 – Exemplos de dip-switches

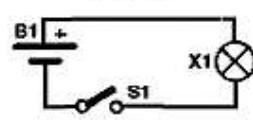
Um circuito que seja formado por um gerador (uma pilha, por exemplo), um interruptor e um receptor (algum dispositivo que recebe a energia, como uma lâmpada), é denominado “círculo elétrico simples”. Na figura 34 temos um exemplo de circuito elétrico simples.

#### Antes ou Depois

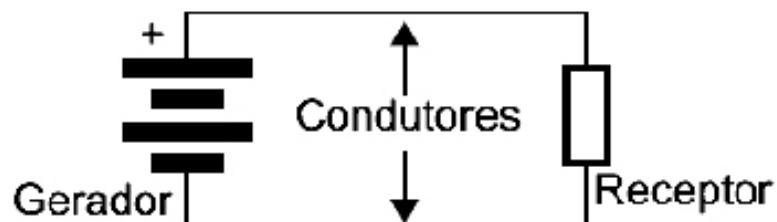
Uma dúvida comum nos que estão começando a estudar eletrônica é se devemos ligar o interruptor antes ou depois do aparelho alimentado (uma lâmpada, por exemplo). É indiferente, pois podemos interromper a corrente em qualquer ponto do circuito para desligá-lo conforme mostra a figura A.



antes



depois



## Círculo elétrico simples

Figura 34 – O circuito elétrico simples

### 2.6 - Corrente Convencional e Corrente Eletrônica

Um fato importante que o leitor deve ter notado, nesse nosso estudo, é que os elétrons fluem sempre do pólo negativo de um gerador para o pólo positivo, ou seja, a corrente flui do negativo para o positivo, conforme mostra a figura 35.

#### Por que os elétrons são negativos?

Quando Benjamin Franklin precisou explicar o sentido do movimento das cargas elétricas nos seus trabalhos de pesquisa com objetos eletrizados ele achou que o movimento dos elétrons ocorria de um pedaço de lã para um pedaço de cera eletrizado quando na realidade ocorria ao contrário. Assim, ao se enganar quanto ao sentido da corrente ele assumiu que os elétrons eram negativos e assim ficou...



Benjamin Franklin

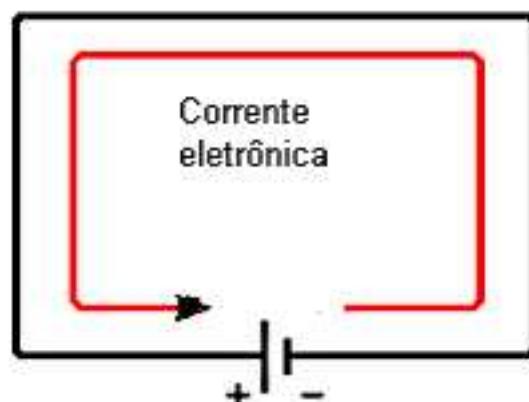


Figura 35 – A corrente eletrônica representa o movimento dos elétrons

Essa é a corrente real ou corrente eletrônica que serve para explicar a maioria dos fenômenos relacionados com o funcionamento de circuitos e dispositivos elétricos.

No entanto, há outra forma de indicarmos a corrente e que frequentemente é usada nos manuais, diagramas e em literatura técnica.

Como os números positivos são maiores que os negativos, seria de se esperar que os potenciais mais elevados, ou seja, os positivos que fossem os predominantes, e assim, muito mais fácil de entender, seria adotarmos a corrente circulando do positivo para o negativo, como mostra a figura 36.

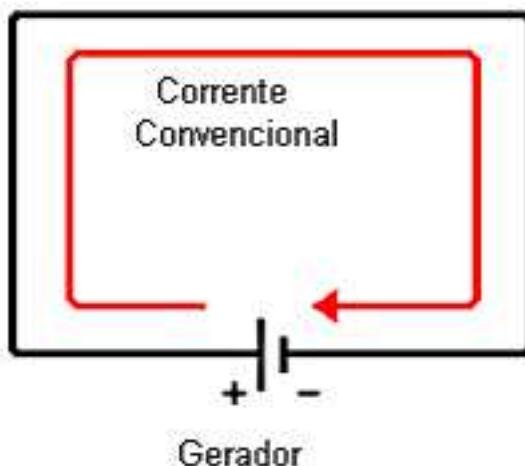


Figura 36 – A corrente convencional flui do positivo para o negativo e representa o movimento imaginário de cargas positivas.

Isso realmente é feito, sem problemas para o entendimento do princípio de funcionamento de circuitos e componentes.

A corrente que circula do positivo para o negativo é denominada “convencional”. O leitor não deve se preocupar então se a corrente flui realmente do positivo para o negativo ou vice-versa, pois ela pode ser indicada das duas formas. Apenas, deve estar atento para não misturar as duas num mesmo esquema, ou explicação.

Toda essa “confusão” ocorre porque a eletricidade depende dos elétrons e convencionou-se que essas partículas teriam cargas negativas. Se fosse diferente... Ah! Se os elétrons fossem positivos...

## 2.7 – Lâmpadas incandescentes

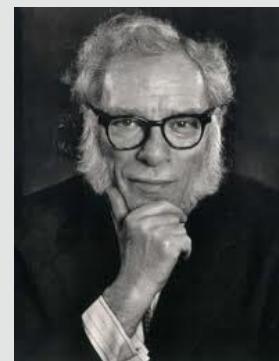
As chamadas lâmpadas incandescentes podem ser encontradas numa variedade muito grande de formas e tamanhos, conforme mostra a figura 37.



Figura 37 – Lâmpadas incandescentes comuns

## Pósitrons

Os físicos prevêem a existência de átomos “ao avesso” em que os prótons seriam negativos e os elétrons, que se chamariam pósitrons, teriam cargas positivas. Assim, num mundo em que os átomos fossem desse tipo, a corrente realmente seria um fluxo de cargas positivas, fluindo do polo positivo para o negativo. Os átomos que têm prótons negativos ou anti-prótons e elétrons positivos ou pósitrons (também chamados anti-elétrons) formariam o que denominamos anti-matéria... Isaac Asimov em seus livros de ficção e mesmo no filme “Eu, Robô”, imagina um robô com um cérebro “positrônico”. Se isso será possível um dia não sabemos, mas é uma idéia muito interessante...



Isaac Asimov  
(1920 – 1992)

Estas lâmpadas estão caindo em desuso, pelo seu baixo rendimento, sendo substituídas por lâmpadas fluorescentes, eletrônicas e LEDs na maioria das aplicações. Estes tipos de lâmpadas serão estudados oportunamente neste curso.

A principal característica de uma lâmpada é a tensão em que devemos ligá-la para que a corrente certa circule pelo seu filamento fino de metal e, com isso, ela possa produzir a intensidade de luz esperada sem “queimar”.

Se ligarmos uma lâmpada a um gerador cuja tensão seja menor que a recomendada, não teremos aquecimento suficiente e a luz emitida será fraca, ou nem mesmo ocorrerá. Nesse caso, não haverá perigo do filamento se romper, “queimar” ou sofrer qualquer outro dano.

No entanto, se ligarmos uma lâmpada a um gerador de tensão maior que a recomendada, o aquecimento do filamento será excessivo, pois passará uma corrente maior que a prevista, ocorrendo seu rompimento ou queima, conforme mostra a figura 38.

#### Corrente e Tensão – Confusão

Muitos confundem ainda essas duas grandezas. É comum que as pessoas digam que tal aparelho deve ser ligado na “corrente” de 110 V, quando na verdade o correto é dizer na tensão de 110 V. O profissional da eletrônica deve estar atento a erros como este que, numa entrevista ou numa conversa comum cliente pode significar um total descrédito para sua competência...

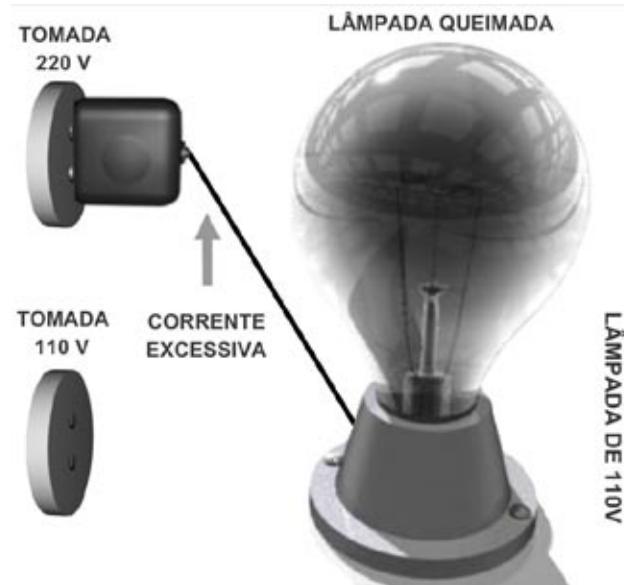


Figura 38 – Excesso de corrente queimando uma lâmpada

É exatamente isso que ocorre quando, inadvertidamente, ligamos uma lâmpada de 110 V numa tomada onde a tensão é 220 V, ou quando ligamos uma lâmpada de 6 V numa bateria de 12 V.

É interessante observar que a resistência do fio se encarrega de determinar a “quantidade” de corrente que passa por uma lâmpada quando a ligamos em um determinado gerador.

Assim, mesmo que o gerador possa fornecer correntes infinitamente maiores, como uma tomada de energia que está ligada ao gigantesco gerador de uma usina, a resistência do dispositivo alimentado faz com que passe somente a corrente que ele necessite

## 2.8 - Curto-Circuito, Fusíveis e Disjuntores

Se um fio elétrico de resistência muito baixa for ligado entre os pólos de um gerador como, por exemplo, uma tomada de energia, não existe praticamente limitação para a corrente que vai passar (consideramos a tomada de força de nossa casa como um “gerador”, já que, na verdade, ela está ligada, por de fios a um gerador real, que é o que está na usina de fornecimento de energia).

O resultado é que a corrente será tão intensa que aquecerá e queimará o fio, com um efeito explosivo! Teremos então o que denominamos de “curto-circuito”, conforme mostra a figura 39.

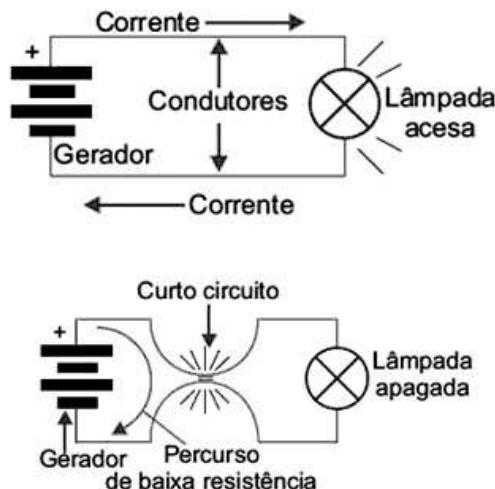


Figura 39 – A corrente queima o fio no percurso de baixa resistência

Para que não ocorra o curto-circuito é preciso sempre haver alguma coisa que limite a corrente ao valor esperado, absorvendo assim, “aos poucos”, a energia fornecida pelo gerador e convertendo-a em luz, calor ou outra forma de energia desejada.

Para proteger um circuito ou um equipamento no caso de um curto-circuito são utilizados componentes denominados fusíveis. Conforme mostra a figura 40 estes componentes consistem num fio fino que se rompe quando a corrente atinge determinada intensidade, considerada perigosa para o circuito protegido.



Figura 40 – Estrutura de um fusível comum

**Cuidado!**

O fusível é um elemento de proteção. A corrente especificada foi calculada de acordo com a aplicação. Assim, nunca use num circuito um fusível de valor diferente do original. Também nunca tente eliminar o fusível, fazendo uma conexão direta quando ele queimar. Sem o fusível o circuito estará desprotegido e se um curto ocorrer, as consequências serão graves!

Veja que o fusível é ligado no percurso da corrente, ou seja, de modo que a corrente do circuito passe através dele. Dizemos que ele é ligado em série com o circuito protegido.

Um meio mais avançado de se proteger o circuito é o disjuntor, mostrado na figura 41. Trata-se de uma chave termo-mecânica que desliga o circuito quando corrente atinge um certo valor. A vantagem do disjuntor, é que uma vez removida a causa do curto-círcuito, basta religá-lo. No caso do fusível precisamos colocar um novo.



Figura 41 – Um disjuntor usado em instalação elétrica

## 2.9- Os Efeitos da Corrente Elétrica

Quando uma corrente elétrica circula através de um certo meio podemos notar diversos efeitos. Muitos desses efeitos são indesejáveis em alguns casos, mas em outros são eles justamente que são aproveitados para uma aplicação prática. Os efeitos da corrente elétrica são:

### a) Efeito térmico

Conforme estudamos, para vencer a oposição, ou resistência, que a corrente elétrica encontra para passar por determinados meios, há um dispêndio de calor. Esse é o efeito térmico da corrente, ou seja, a produção de calor a partir de energia elétrica e que é aproveitado em diversos dispositivos de uso comum como:

- Chuveiros e torneiras elétricas
- Aquecedores de ambiente
- Secadores de cabelos e roupas
- Estufas
- Máquinas industriais de selagem e injeção de plástico
- Fornos elétricos

É claro que indiretamente ele ocorre em qualquer lugar em que a corrente circula, mesmo que isso não seja desejado. Por esse motivo,

uma boa parte da energia perdida em muitas aplicações ocorre justamente pela sua transformação em calor. Reduzir a resistência é algo com que se luta em muitas aplicações.

### b) Efeito Químico

Quando uma corrente elétrica atravessa certas soluções químicas ela é responsável pela ocorrência de reações, onde as substâncias presentes nessas soluções mudam de características, ou seja, reagem, formando novas substâncias.

Assim, existem reações químicas que são provocadas pela passagem de correntes elétricas caracterizando o que denominamos “efeito químico” da corrente elétrica.

O exemplo mais conhecido é o da eletrólise da água, ou seja, uma reação em que se usa uma corrente elétrica para decompor a água, que é formada por hidrogênio e oxigênio, na conhecida fórmula  $H_2O$ , em seus elementos formados, o gás hidrogênio livre e o gás oxigênio livre. Na figura 42 mostramos como essa reação é ocorre.

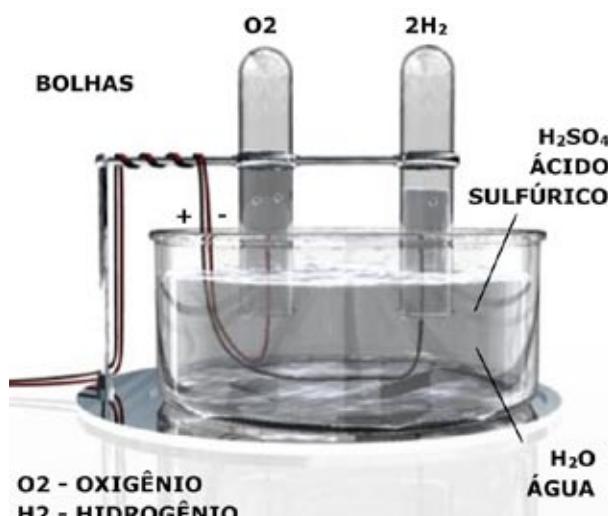


Figura 42 – Eletrólise da água

O ácido sulfúrico dissolvido na água serve apenas torná-la condutora de eletricidade, pois a água pura praticamente não conduz a corrente. No entanto, na reação, o ácido não toma parte, havendo apenas a decomposição da água nos seus elementos formadores: hidrogênio e oxigênio, que são recolhidos nos tubos de ensaio. Uma outra reação produzida pela passagem de uma corrente é a que ocorre nos processos de galvanoplastia, conforme mostra a figura 43.

### Supercondutores

A resistência se manifesta em qualquer corpo que conduza a eletricidade. Mesmo os melhores condutores como os de ouro ou platina apresentam resistência. Verifica-se que esfriando um corpo sua resistência vai diminuindo, até que numa temperatura muito baixa, próxima do zero absoluto, a resistência de um material desaparece. Ele se torna então um supercondutor. Pesquisas no sentido de se utilizar estes materiais onde não existe resistência e, portanto, dissipação de calor quando uma corrente circula estão sendo feitas em alguns casos com sucesso.

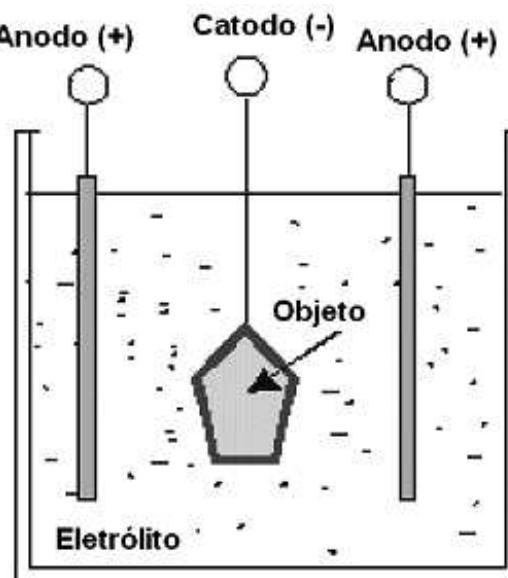


Figura 43 – Os eletrodos são denominados anodo (+) e catodo (-)

Fazendo circular uma corrente elétrica por uma solução especial de um sal de determinados metais, podemos depositar esses metais num eletrodo, usando para isso a corrente elétrica.

Se esse eletrodo for um objeto de metal, podemos recobri-lo com uma fina camada de outro metal como, por exemplo, fazendo o chamado “banho” de prata, ouro, cromo ou outros metais.

#### c) Efeito Fisiológico

Nosso sistema nervoso opera com impulsos elétricos que se propagam através dos nervos. Assim, qualquer corrente externa que percorra nosso corpo pode interferir no nosso sistema nervoso, causando-nos desde a simples sensação de formigamento até de choques ou mesmo queimaduras.

As correntes de muito pequena intensidade, aplicadas de modo controlado na pele de uma pessoa podem ser usadas com finalidades terapêuticas como, por exemplo, massagem. Correntes mais elevadas podem ser usadas para reanimar pacientes que tenham sofrido ataques cardíacos.

No entanto, de um modo geral, as correntes mais intensas são perigosas e devem ser evitadas, pois podem causar danos ou mesmo a morte. Como o choque é um perigo constante para quem trabalha com eletricidade, mais adiante, nessa mesma lição, falaremos dele de uma forma mais detalhada.

Veja no final deste capítulo os efeitos do choque no corpo humano.

#### d) Efeito Magnético

Existe um efeito da corrente que não depende da existência da resistência e que ocorre sempre. A movimentação de cargas elétricas,

sob quaisquer condições, é responsável pelo aparecimento de um campo magnético, conforme mostra a figura 44.

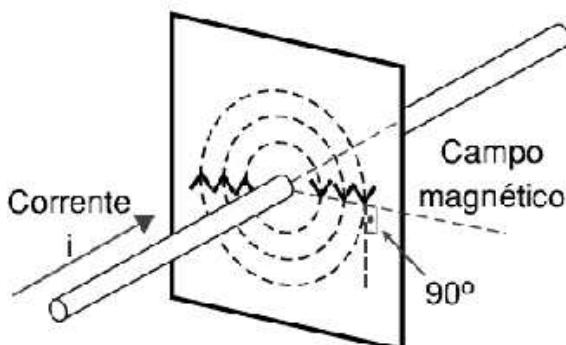


Figura 44 - O campo magnético de uma corrente elétrica

Campos magnéticos intensos são produzidos por imãs permanentes que são materiais que têm a propriedade de atrair objetos de determinados tipos de metal. Observe que devemos distinguir “campo elétrico” de “campo magnético” que são coisas completamente diferentes. Quando esfregamos um pente num pedaço de tecido e ele atrai pedacinhos de papel ou de cabelo, temos uma manifestação do campo elétrico, ou seja, da eletricidade estática.

Um imã que atrai metais já manifesta um campo magnético, produzido por cargas em movimento em seu interior: é uma manifestação da eletricidade dinâmica ou eletrodinâmica.

Oersted, um pesquisador dinamarquês, foi quem primeiro observou que a corrente que passava num fio podia influenciar uma agulha magnética colocada nas suas proximidades. Posteriormente, descobriu-se que é possível reforçar este campo magnético, enrolando o fio de modo a formar uma bobina ou solenóide, conforme mostra a figura 45.

Oersted foi quem descobriu o Efeito Magnético da corrente elétrica ao notar que uma agulha imantada próxima de um fio mudava de posição quando passava uma corrente por esse fio.

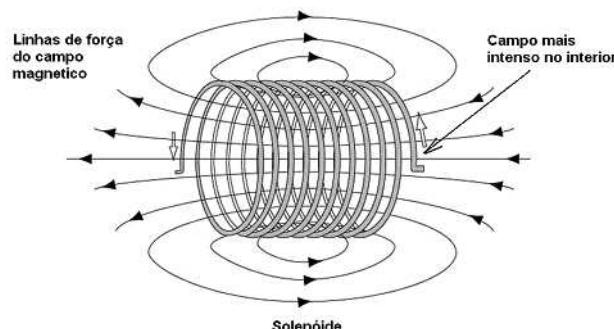


Figura 45 – Campo magnético de uma bobina cilíndrica ou solenóide. As setas brancas indicam o sentido de circulação da corrente

Um imã não pode atrair pedaços de papel e um pente atritado não atrai pedaços de metal. Os dois tipos de campos têm NATUREZAS DIFERENTES!

Se este fio for enrolado em torno de um pedaço de metal ferroso, como o ferro ou o aço, com a circulação da corrente ele se magnetiza e pode se comportar como um verdadeiro imã, atraindo pedaços de metal.

Estudaremos mais sobre os campos magnéticos nas próximas lições quando chegarmos aos diversos dispositivos que utilizam o efeito magnético da corrente, indo dos indutores e solenóides até os transformadores e motores.

Se a corrente for interrompida, ele deixa de atrair os pequenos objetos. Se o fio for enrolado numa forma oca, conforme mostra a figura 46, teremos um dispositivo denominado “solenóide”.



Figura 46 – Pequeno solenóide fabricado pela Metaltex

Quando percorrido por uma corrente, o solenóide atrai para seu interior objetos de metal.

Em muitos dispositivos elétricos e eletrônicos os campos magnéticos criados por bobinas e mesmo por imãs são utilizados intensamente. Estudaremos diversos desses ao longo deste curso.

### O Choque Elétrico

Nosso corpo é um condutor elétrico. No entanto, como nosso sistema nervoso também opera com correntes elétricas, qualquer corrente que “venha de fora” consiste numa forte interferência passível de causar sérios problemas ao nosso organismo. Dependendo da intensidade da corrente que circular pelo nosso organismo, diversos efeitos podem ocorrer.

Se a corrente for muito fraca, provavelmente nada ocorrerá, pois o sistema nervoso não será estimulado o suficiente para nos comunicar alguma coisa, e as próprias células de nosso corpo não sofrerão influência alguma.

Entretanto, se a corrente for um pouco mais forte, o sistema nervoso já poderá ser estimulado e termos com isso algum tipo de sensação como, por exemplo, um “formigamento”.

Se a corrente for mais forte ainda, o estímulo já proporciona a sensação desagradável do choque e até de dor.

Finalmente, uma corrente muito forte, além de poder paralisar órgãos importantes como o coração, pode ainda danificar as células

“queimando-as”, pois correntes intensas quando encontram certa resistência à sua passagem, geram calor. A tabela no quadro nos mostra as diversas faixas de correntes e os efeitos que causam sobre o organismo humano.

Uma crença que deve ser examinada com muito cuidado, já que muitas pessoas aceitam-na como definitiva, é a de que usando sapatos de borracha não se leva choque e, portanto, pode-se mexer à vontade em instalações elétricas. Nada mais errado!

Se a eletricidade é tão perigosa e, se mesmo usando sapatos de borracha o choque ainda pode ocorrer, é importante analisarmos o assunto mais profundamente.

Conforme vimos, uma corrente elétrica só pode circular entre dois pontos, ou seja, é preciso haver um ponto com potencial mais alto e um ponto de retorno ou potencial mais baixo.

A terra é um ponto de retorno, porque as empresas de energia a usam para ligar o polo neutro. Isso quer dizer que, se a pessoa estiver isolada da terra (usando um sapato com sola de borracha ou estando sobre um tapete de borra-

### EFEITOS DA CORRENTE NO ORGANISMO HUMANO

- 100 µA a 1 mA - Limiar da sensação
- 1 mA a 5 mA - formigamento
- 5 mA a 10 mA - sensação desagradável
- 10 mA a 20 mA - pânico, sensação muito desagradável
- 20 mA a 30 mA - paralisia muscular
- 30 mA a 50 mA - a respiração é afetada
- 50 mA a 100 mA - dificuldade extrema em respirar, ocorre a fibrilação ventricular
- 100 mA a 200 mA - morte
- 200 mA - além da morte temos sinais de queimaduras severas

Obs: 1 µA (um microampère = 1 milionésimo de ampère)  
1 mA (um miliampère = 1 milésimo de ampère)

cha ou outro material isolante), um primeiro percurso para a corrente é eliminado, veja a figura A.

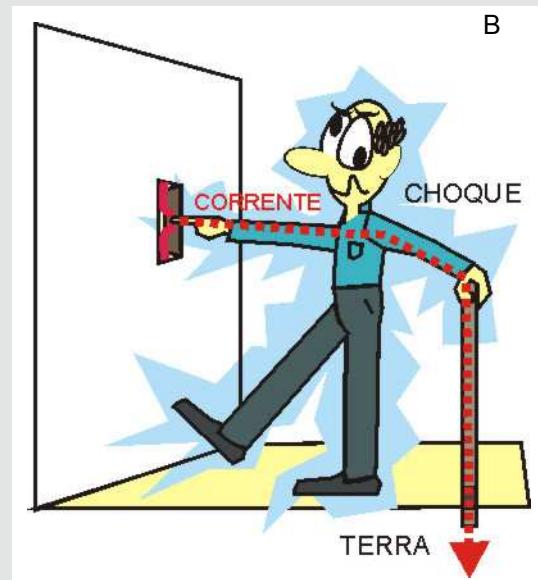
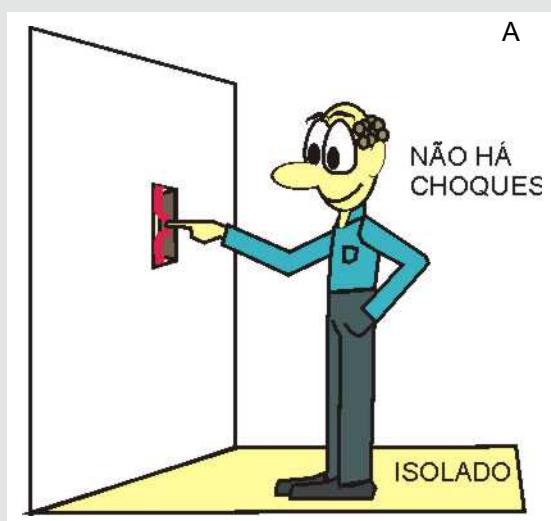
Isso significa que, se uma pessoa, nestas condições, tocar num ponto de uma instalação elétrica que não seja o neutro e, portanto houver um potencial alto (110V ou 220V), a corrente não terá como circular e não haverá choque.

Lembre-se: estando isolado da terra e tocando num único ponto de uma instalação elétrica não há choque; porém, o fato de usar sapatos de borracha não o livrará do perigo de choque.

Todavia, se a pessoa tocar ao mesmo tempo num outro ponto que ofereça percurso

para a corrente seja por estar no circuito para isso, quer seja por estar ligado à terra, o choque ocorrerá, independentemente da pessoa estar ou não com sapatos de sola de borracha, conforme mostra a figura B.

É por este motivo que uma norma de segurança no trabalho com eletricidade consiste em sempre se tocar apenas num ponto do circuito em que se está trabalhando, caso exista o perigo dele estar ligado. Nunca segurar dois fios, um em cada mão! Nunca apoiar uma mão em local em contato com a terra enquanto se trabalha com a outra!



**Termos em Inglês**

Os termos em inglês correspondentes ao que estudamos nesta lição merecem cuidados especiais. Já vimos na lição anterior o uso de *Voltage* para indicar tensão já que a palavra *Tension* em inglês tem outro significado.

Assim, chamamos a atenção para o termo *Power* para indicar a energia gerada por um gerador e não *Energy* como seria de se esperar. Assim, um gerador em inglês é chamado de *Power Supply* (Fonte de energia ou de alimentação).

**Outros termos desta lição:**

Short Circuit – Curto circuito

Shock – choque

Fuse – fusível

Circuit Breaker – disjuntor

Incandescent lamp – lâmpada incandescente

Shower – chuveiro

Switches – chaves

On/off switches – interruptores

Electric circuit - circuito elétrico

Energy saver – economizador de energia

Power supply – fonte de energia, fonte de alimentação

Clean energy – energia limpa

**Temas Para Pesquisa**

- Fontes renováveis de energia
- Perigos do choque elétrico
- Segurança ao trabalhar com eletricidade
- A história do elétron
- Galvanoplastia
- Energia limpa e energia renovável
- A experiência de Oesterd

## QUESTIONÁRIO

1. Em que se converte a energia elétrica ao passar por um fio que tenha certa resistência?

- b) Calor
- c) Campo magnético
- d) Energia mecânica
- e) Energia potencial

2. As Lâmpadas incandescentes convertem energia elétrica em que espécie de energia?

- a) Calor
- b) Luz
- c) Campo magnético
- d) Energia química

3. Numa lâmpada ligada numa pilha, a corrente é mais intensa antes ou depois (no pólo positivo ou no negativo)?

- a) Do lado do pólo positivo
- b) Do lado do pólo negativo
- c) Igual em ambos os lados
- d) Depende da lâmpada

4. Qual é o efeito da corrente elétrica que se manifesta sempre?

- a) Efeito térmico
- b) Efeito fisiológico
- c) Efeito químico
- d) Efeito magnético

5. Como é ligado um fusível para proteger um circuito?

- a) Antes do interruptor
- b) Depois do interruptor
- c) Em série com o circuito
- d) Dentro do aparelho protegido

6. Num solenóide, onde o campo magnético é mais intenso?

- a) No meio
- b) Nas extremidades
- c) No interior
- d) Onde as linhas de força do campo são menos concentradas





## » Resistência Elétrica

### » Resistores

### » Lei de Ohm

### » Lei de Joule

Diversos componentes eletrônicos importantes serão estudados a partir desta lição. Os componentes que focalizaremos são encontrados em todos os equipamentos eletrônicos, tais como instrumentos, transmissores, receptores, computadores, periféricos e circuitos eletrônicos de uso geral como televisores, amplificadores, até as mais complexas máquinas industriais. O conhecimento de suas funções é essencial para o projeto, montagem, reparação e manutenção de qualquer aparelho eletrônico.

- 3.1 - Resistividade
- 3.2 - Resistores
- 3.3 - Lei de Ohm
- 3.4 - Calor e Temperatura
- 3.5 - Lei de Joule
- 3.6 - Associação de resistores
- 3.7 - Potenciômetros e trimpots
- 3.8 - Transdutores e sensores resistivos – LDRs, NTCs, PTCs, etc.

### **3.1 - Resistividade**

Conforme estudamos na primeira lição, não existe um material condutor perfeito. Isso significa que, ao forçar a passagem através de qualquer meio, a corrente elétrica encontra uma oposição, que denominamos “resistência elétrica”. Todos os materiais, por melhores que sejam, sempre apresentam um certo grau de dificuldade para a passagem da corrente, ou seja, para a mobilidade das cargas.

“Quanto” de resistência vai encontrar a corrente para passar através do material depende de diversos fatores como, as dimensões do objeto através do qual ela passa, por exemplo, a espessura e comprimento de um fio, e se o material de que ele é feito é ou não um bom condutor de eletricidade.

A qualidade do material que nos diz se ele é ou não um bom condutor é associada a uma grandeza denominada “resistividade”. Cada material possui, portanto, uma resistividade que é a “quantidade” de resistência que ele pode oferecer a corrente quando o usamos.

Veja, entretanto, a facilidade que a corrente tem para passar pelos materiais não depende apenas de sua natureza, mas também de seu

### Resistência & Resistividade

Não confundir resistência com resistividade. A resistividade é a qualidade do material que nos diz se ele é um bom condutor ou não. A resistência é a oposição que o objeto, componente ou condutor construído com esse material vai apresentar à circulação da corrente. A resistividade independe do formato do condutor. A resistência depende do formato e das dimensões do condutor.

formato. Assim, um fio mais grosso deixa passar com mais facilidade a corrente do que um mais fino.

Isso nos leva a necessidade de enunciar uma segunda grandeza elétrica que é a “resistência”. A resistência é o grau de dificuldade que o corpo, dependendo agora do material e da forma, apresenta à passagem de uma corrente. Assim, devemos falar que a prata tem menor resistividade do que o cobre no sentido de que os fios de prata são melhores condutores de eletricidade. Da mesma forma devemos falar que um fio de 1 metro de comprimento e 1 mm de diâmetro de prata tem menor resistência do que um fio de mesmas dimensões feito de cobre, conforme mostra a figura 47.



Figura 47 – R1 e R2 são as resistências dos dois fios

A resistividade é medida em ohms/m.cm<sup>2</sup>. Damos a seguir uma tabela com a resistividade de alguns materiais comuns:

Material	Resistividade (Ohm/m.cm <sup>2</sup> )
Alumínio	0,0292
Antimônio	0,417
Bismuto	1,17
Bronze	0,067
Cádmio	0,076
Cobre (puro)	0,0162
Cobre (duro)	0,0178
Constantan	0,5
Grafite	13
Ouro	0,024
Ferro (puro)	0,096
Chumbo	0,22
Mercúrio	0,96
Níquel	0,087
Platina	0,106
Prata	0,0158
Estanho	0,115
Tungstênio	0,055
Zinco	0,056

Nos circuitos elétricos e eletrônicos podemos ter a necessidade de inserir propositalmente uma resistência num ponto, dificultando a passagem da corrente, quer seja para limitar sua intensidade, quer seja para obter algum outro tipo de efeito. A redução proposital de correntes, e mesmo de tensões num circuito usando componentes que ofereçam uma resistência, é algo muito comum nos circuitos eletrônicos de todos os tipos.

Isso nos leva a uma categoria especial de componentes cuja finalidade é apresentar uma resistência elétrica: os resistores.

### 3.2 - Resistores

Para reduzir, de maneira controlada, a intensidade da corrente elétrica, oferecendo-lhe uma oposição ou resistência, ou então para fazer cair a tensão num circuito a um valor mais conveniente para uma determinada aplicação, usamos componentes denominados resistores. Houve tempo em que esses componentes eram chamados “resistências”, confundindo-se com a sua função. Até hoje, alguns profissionais de formação mais antiga e mesmo os que são ligados à área de eletrotécnica chamam os resistores de “resistências”. Os resistores mais comuns são os de película ou filme de carbono ou metálico, que têm o aspecto mostrado na figura 48.

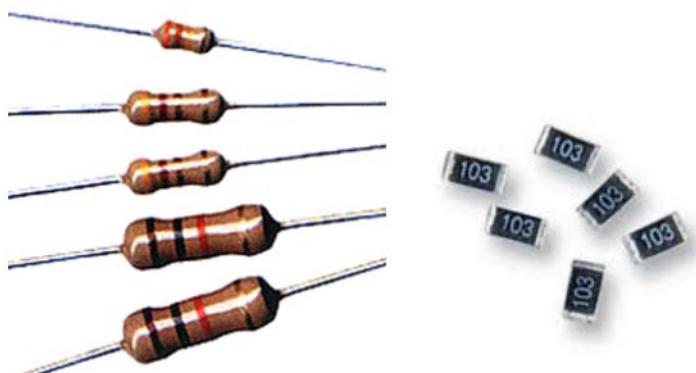


Figura 48 – Resistores de carbono de baixa dissipação e resistores SMD  
(Os resistores SMD estão com seus tamanhos ampliados)

Nos diagramas, os resistores são representados por símbolos havendo duas normas básicas, a americana e a européia, conforme mostra a figura 49.

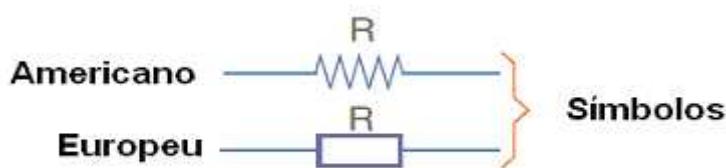


Figura 49 – Símbolos adotados para representar um resistor num diagrama

No Brasil adotamos a simbologia americana, se bem que as empresas de origem americana adotem a daquele país em sua documentação técnica.

Os resistores possuem três especificações importantes: resistência, tolerância e dissipação. Existem outras especificações, que no entanto são levadas em conta em aplicações muito especiais.

A “quantidade” de resistência que um resistor oferece à corrente elétrica, ou seja, sua “resistência” nominal é medida em ohms ( $\Omega$ ) e pode variar entre 0,01 ohm e mais de 22 000 000 ohms.

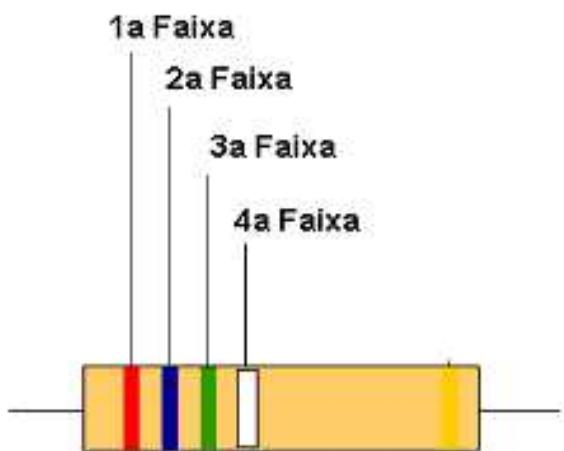
Também usamos nas especificações de resistência os múltiplos do ohm, no caso o quilohm ( $k\Omega$ ) e o megohm ( $M\Omega$ ).

Assim, em lugar de falarmos que um resistor tem 4700 ohms é comum dizermos 4,7 k ou simplesmente 4k7, onde o “k” substitui a vírgula (\*).

Para um resistor de 2 700 000 ohms falamos simplesmente 2,7 M ou então 2M7.

Como os resistores, em geral, são componentes muito pequenos, os seus valores não são marcados com números e letras, mas sim através de um código especial que todos os praticantes de eletrônica devem conhecer.

Neste código são usadas faixas coloridas conforme explicamos a partir da seguinte tabela:



Observe que o “k” usado para quilo ou milhares, é minúsculo!

---

(\*) A substituição da vírgula decimal (ou ponto decimal, já que nas especificações inglesas, utiliza-se o ponto para separar as unidades das frações de unidades) é comum não só no caso das unidades de resistências, mas também para outras unidades como volts, ampères, hertz, etc.

Cor	Valores Significativos (1a e 2a Faixas)	Multiplicador (3a Faixa)	Tolerância (4a Faixa)	Coeficiente de temperatura (ppm/oC)
Preto	0	1	-	-
Marrom	1	10	1%	100
Vermelho	2	100	2%	50
Laranja	3	1 000	-	15
Amarelo	4	10 000	-	25
Verde	5	100 000	0,5%	-
Azul	6	1 000 000	0,25%	10
Violeta	7	10 000 000	0,1%	5
Cinza	8	100 000 000	0,05%	-
Branco	9	1 000 000 000	-	1
Dourado	-	0.1	5%	-
Prateado	-	0.01	10%	-

Partindo dessa tabela, podemos determinar, não só a resistência de um resistor comum pelas suas faixas, como outras características importantes que serão estudadas nessa lição. A leitura do valor (resistência) é feita considerando-se as faixas coloridas que são lidas da ponta para o centro, conforme mostra a figura 50.

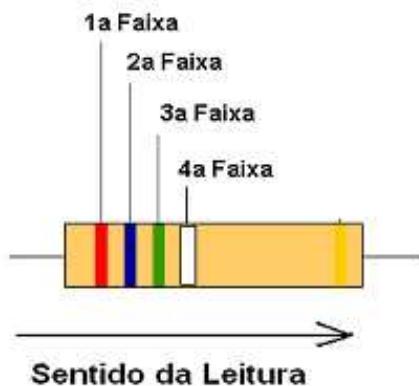


Figura 50 – Como ler um resistor.

Vamos supor que estejamos de posse de um resistor cujas cores, na ordem de leitura, são: amarelo, violeta, vermelho e dourado (figura 50). Qual será o seu valor (resistência)?

A primeira e a segunda faixa fornecem os dois algarismos da resistência, ou seja:

$$\text{amarelo} = 4$$

$$\text{violeta} = 7$$

Formamos assim, a dezena 47.

A terceira faixa nos dá o fator de multiplicação, ou quantos zeros devemos acrescentar ao valor já lido. No caso temos:  
vermelho = 00 ou x 100

Temos então 47 com 00 = 4700 ohms ou 4k7.

A quarta faixa nos diz qual é a tolerância no valor do componente, quando ela existe. Se esta faixa não existe, temos um resistor de 20%, ou seja, que pode ter até 20% de diferença entre o valor real da resistência que ele apresenta e o valor que temos na marcação.

Isso significa que na prática, quando compramos um resistor de 1 k x 10% de tolerância, na realidade ele pode apresentar valores entre 900 ohms e 1 100 ohms, sem que isso signifique que ele esteja com problemas.

Veja que essa tolerância é perfeitamente admitida em muitos projetos, onde não é necessário ter uma resistência exata num ponto do circuito. Assim, os resistores (como muitos outros componentes), sempre têm uma certa tolerância.

No nosso caso, a faixa dourada diz que se trata de um resistor com 5% de tolerância.

Todos os profissionais da eletrônica devem memorizar esse código de cores, mesmo porque ele também é usado em outros componentes.

Assim, o marrom = 1 também será usado em outros tipos de componentes para especificar esse valor quer seja na unidade correspondente ou simplesmente para indicar um número de tipo.

Existem resistores “de fio” que, por serem maiores, têm a marcação de resistência feita diretamente com números e marcações escritas. Na figura 51 temos exemplos de resistores de fio.

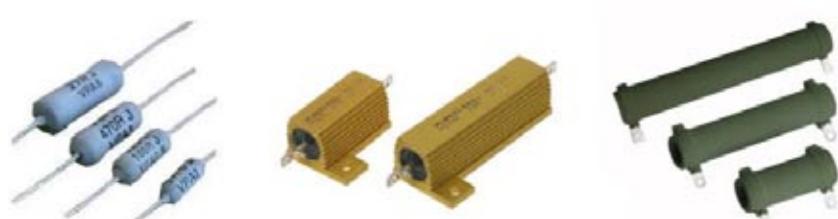


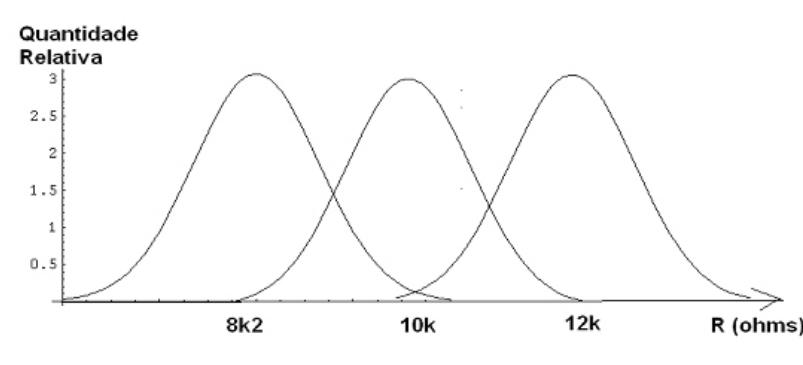
Figura 51 – Resistores de fio

Também existem resistores de um tipo denominado SMD (Surface Mounting Device) ou para Montagem em Superfície, que são extremamente pequenos e usam um código de diferente. Os resistores SMD são componentes extremamente pequenos, ficando difícil até mesmo a utilização do código de cores na sua marcação.

Na figura em que demos os diversos tipos de resistores, incluímos os do tipo SMD para que o leitor tenha uma idéia de suas dimensões.

### Séries E6 e E12, E24 de valores de componentes

A tolerância de um resistor (e de outros componentes também) é importante porque ela elimina a necessidade de fabricarmos resistores, por exemplo, de todos os valores possíveis. De 1 a 10 M ohms, deveríamos então ter 10 milhões de valores diferentes de resistores. Com a tolerância, podemos fazer com que um valor de resistor cubra uma certa faixa, conforme mostra a figura abaixo.



Com isso, um resistor de 10 k cobre a faixa de 9000 ohms a 11000 ohms. Não precisamos fabricar resistores de 9500 ohms, pois usando um de 10 k, com sua tolerância ele funcionará.

Por esse motivo, os resistores (e outros componentes) seguem um padrão de valores que permite cobrir todos os valores possíveis. Assim, com 20% de tolerância, precisamos apenas de 6 valores, o que nos leva à série E6 e, com 10%, precisamos de 12 valores, o que nos leva à série E12 e E24 de 5%, conforme mostra a tabela.

Por exemplo, podemos encontrar um resistor de 8,2 k ohms com 5% ou 10% de tolerância, mas não de 20%. Para um resistor de 62 kohms, só podemos encontrar esse valor com 5% de tolerância.

Valor	E24	E12	E6
1,0	5%	10%	20%
1,1	5%		
1,2	5%	10%	
1,3	5%		
1,5	5%	10%	20%
1,6	5%		
1,8	5%	10%	
2,0	5%		
2,2	5%	10%	20%
2,4	5%		
2,7	5%	10%	
3,0	5%		
3,3	5%	10%	20%
3,6	5%		
3,9	5%	10%	
4,3	5%		
4,7	5%	10%	20%
5,1	5%		
5,6	5%	10%	
6,2	5%		
6,8	5%	10%	20%
7,5	5%		
8,2	5%	10%	
9,1	5%		

Nesse código temos 3 dígitos: os dois primeiros dígitos formam os dois primeiros algarismos da resistência e o terceiro, o número de zeros ou fator de multiplicação.

Por exemplo, na figura 52, 103 significa 10 e 000 ou 1 000 ohms.



Figura 52 – Resistores SMD de 10k ohms.

Existem outros componentes que na aparência são iguais aos resistores SMD e que usam o mesmo código. Assim, com a marcação 103, pode existir um capacitor ou mesmo um indutor que usa a mesma marcação, mas tem unidades diferentes. Assim, a leitura 103 em ohms é válida se tivermos certeza de que o componente analisado é um resistor.

### Código Especial SMD

Existe ainda um outro tipo de código usado em resistores SMD que é dado a seguir, sendo aplicado a resistores de 1 e 2% de tolerância.

Código EIA-90: Essa codificação consiste num código de três caracteres. Os dois primeiros dígitos dão os três dígitos significativos da resistência, conforme uma tabela que deve ser consultada e que é dada a seguir. O terceiro símbolo é uma letra que indica o fator de multiplicação.

c ó - digo	valor										
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	221	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787
08	118	24	174	40	255	56	374	72	549	88	806
09	121	25	178	41	261	57	383	73	562	89	825
10	124	26	182	42	237	58	392	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	402	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

Os letras para o fator de multiplicação são dadas pela seguinte tabela:

LETRA	MULTIPLICADOR	LETRA	MULTIPLICADOR
F	100000	B	10
E	10000	A	1
D	1000	X or S	0.1
C	100	Y or R	0.01

Exemplo: 22 A = 165 ohms 58C = 49 900 ohms (49,9 k) 43E = 2740000 (2,74 M).

2%				5%			
código	valor	código	valor	código	valor	código	valor
01	100	13	330	25	100	37	330
02	110	14	360	26	110	38	360
03	120	15	390	27	120	39	390
04	130	16	430	28	130	40	430
05	150	17	470	29	150	41	470
06	160	18	510	30	160	42	510
07	180	19	560	31	180	43	560
08	200	20	620	32	200	44	620
09	220	21	680	33	220	45	680
10	240	22	750	34	240	46	750
11	270	23	820	35	270	47	820
12	300	24	910	36	300	48	910

Exemplo: C31 = 18000 ohms 5% D18 = 510 000 ohms 2%.

Vimos nas lições anteriores que, quando uma corrente elétrica força a passagem por um meio que lhe ofereça oposição, ela dispõe energia na forma de calor. No caso do resistor, se o componente não for capaz de transferir este calor para o meio ambiente, ele acaba por aquecer demais e queimar.

A capacidade que um resistor tem de transferir calor para o meio ambiente está diretamente ligada ao seu tamanho (superfície de contato com o ar). Essa capacidade é dada pela potência (dissipação) do resistor, a qual é expressa em watts (W).

Assim, os menores resistores são de 1/8 ou 1/4 W, enquanto que os maiores podem chegar a 20 ou mais watts (alguns fabricantes especificam as potências em valores decimais como 0,125 W, 0,25 W, etc.).

Os resistores de grandes potências são de material resistente à altas temperaturas e, em lugar do carbono ou filme metálico, são usados fios de nicromo (uma liga de níquel com cromo). Esses resistores também são chamados resistores de fio.

### 3.2.1 – Fusistores

Um tipo de proteção interessante encontrada em alguns aparelhos de consumo como televisores, consiste na colocação de um resistor de valor baixo (que não altera a corrente no circuito) em série com as principais linhas de alimentação. Quando a corrente excede certo valor este resistor aquece demais e com o calor gerado que se propaga pelo terminal derrete a solda que o prende num sistema de mola, conforme mostra a figura 53. Esse componente é chamado fusistor (de fusível + resistor).

### Sugestão

Examine uma placa de qualquer aparelho eletrônico como, por exemplo, de um velho televisor ou computador (será interessante você conseguir uma placa usada ou queimada em algum depósito de sucata). Procure identificar os resistores que ela usa. Procure também ler seus valores pelo código que explicamos. Será interessante você se familiarizar com a presença desses componentes em aparelhos eletrônicos.

**Outros Fusistores**

Existem resistores de fio de muito baixo valor que propositadamente são colocados nos percursos de alta corrente de um aparelho. Desta forma, eles funcionam como um fusível ou resistor-fusível quando a corrente aumenta e ele se aquece a ponto de queimar.

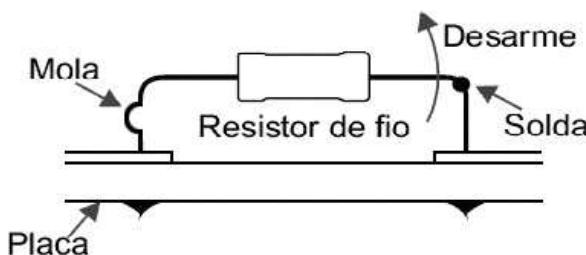


Figura 53- Um fusistor tradicional

**3.3 - Lei de Ohm**

Estudamos na segunda lição de nosso curso que existe uma relação bem definida entre a corrente num resistor e a tensão que a produz. A intensidade da corrente num determinado meio depende, não só da resistência desse meio, como também da causa dessa corrente, ou seja, da tensão.

Tensão, corrente e resistência são relacionadas de uma forma muito bem definida através da Lei de Ohm.

Essa Lei afirma que a intensidade da corrente num determinado meio, que apresente uma resistência, é diretamente proporcional à tensão aplicada, conforme sugere a figura 54.

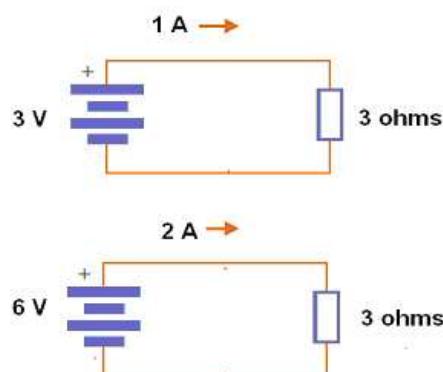


Figura 54 –Dobrando a tensão, a corrente também dobra

Georg Simon Ohm  
(1789 – 1854)

Em outras palavras, a relação entre a tensão e a corrente num determinado meio que apresente certa resistência é uma constante e tem justamente o valor dessa resistência:

Podemos indicar isso através de uma fórmula básica:

$$R = V/I \text{ (f3.1)}$$

Onde: R é a resistência dada em ohms ( $\Omega$ )

V é a tensão dada em volts (V)

I é a corrente dada em ampères (A)

Dessa fórmula podemos obter duas outras:

$$V = R \times I \text{ (f3.2)}$$

$$I = V/R \text{ (f3.3)}$$

Veja então que usamos a primeira (f3.1) para calcular a resistência, quando conhecemos a corrente e a tensão, usamos a segunda (f3.2) para calcular a tensão, quando conhecemos a resistência e a corrente, e usamos a terceira (f3.3) para calcular a corrente, quando conhecemos a tensão e a resistência.

Os dispositivos, tais como os resistores, que seguem a lei de Ohm, ou seja, em que a resistência é uma constante, são denominados dipolos ôhmicos. A palavra dipolo serve para designar componentes ou circuitos que tenham dois pólos.

Memorize as três fórmulas, pois elas são muito importantes.

Se colocarmos num gráfico os valores das correntes e tensões correspondentes obtidas num resistor, veremos que a “curva” resultante é uma reta conforme mostra a figura 55.

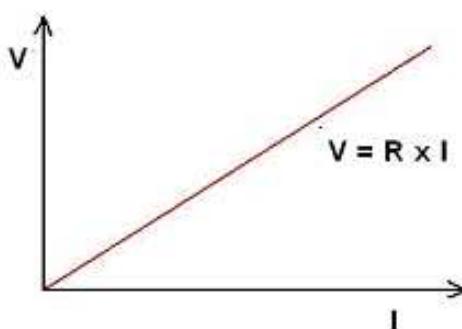


Figura 55 – Curva característica de um resistor

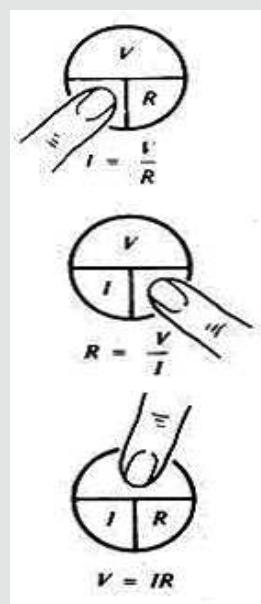
Dizemos então que a “curva” característica de um resistor é linear.

#### Condutores não lineares

Os condutores que seguem a lei de Ohm são denominados lineares, dando origem a um dos componentes mais comuns nas aplicações eletrônicas, o resistor. No entanto, existem materiais que não se comportam de forma linear ao serem percorridos por uma corrente. Esses materiais também são importantes, pois dão origem a componentes especiais de utilidade, que também serão estudados.

#### O Triângulo da Lei de Ohm

Colocando as três grandezas que entram na Lei de Ohm, tensão, corrente e resistência, conforme mostra a figura A, obtemos um interessante triângulo que nos permite calcular o valor de qualquer das grandezas num problema.



Basta tampar com o dedo a grandeza que desejamos calcular e as outras duas ficarão na posição em que deve ser feito o cálculo. Por exemplo, se tamparmos R, teremos V sobre I, ou seja, basta dividir V (tensão) por I (corrente) para encontrar a resistência. Se tamparmos V, ficará R na frente de I, ou seja, devemos multiplicar R por I para obter V.

### 3.3.1 – Curva Característica de uma Lâmpada

Conforme estudamos, se num condutor, ou outro dispositivo, a corrente for diretamente proporcional à tensão aplicada, ou seja, a corrente aumenta na mesma proporção em que aumentamos a tensão, temos um dispositivo ou dipolo que segue a Lei de Ohm. Trata-se, portanto, de um dipolo (pois tem dois pólos) linear.

No entanto, o filamento de uma lâmpada incandescente não segue esta característica. O que ocorre é que, quando o filamento está frio (contraído), sua resistência é menor. Assim, ao aplicarmos uma tensão, a corrente será intensa inicialmente, mas quando ele se dilatar, a corrente se reduz. Se fizermos um gráfico em que a corrente for mostrada em função da tensão, ele não será uma reta como no caso de um resistor. Ele terá a aparência mostrada na figura 56.

#### Dipolos não Lineares

No nosso trabalho com eletrônica vamos encontrar muitos componentes e dispositivos que não seguem a Lei de Ohm. Estes dispositivos, por não apresentarem uma característica linear, em que a corrente é proporcional à tensão, são denominados não lineares ou dipolos não lineares. A palavra dipolo indica que possuem dois terminais ou pólos.

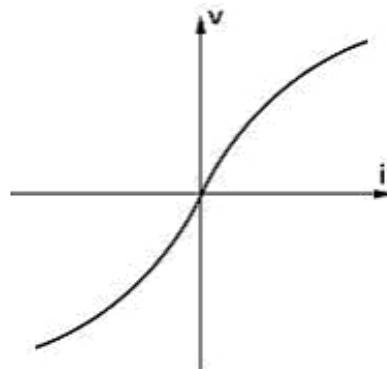


Figura 56 – A lâmpada incandescente tem uma característica não linear

Este fato é muito importante em certas aplicações, onde devemos prever que, ao ligar uma lâmpada, a corrente inicial é muito maior do que a corrente quando em funcionamento normal, ou seja, a corrente nominal.

### 3.4 – O Conceito de Calor e Temperatura

Os conceitos de calor e temperatura são confundidos pela própria maneira como os usamos no dia a dia. Assim, é comum dizermos que está calor quando, na verdade, o que ocorre é que a temperatura está elevada.

Quando tocamos em dois objetos percebemos facilmente pelo nosso tato que as suas temperaturas são diferentes. Esses objetos têm temperaturas diferentes porque seus átomos se agitam com intensidades diferentes. A temperatura nada mais é do que o grau de agitação dos átomos de um corpo.

Quando então constatamos que um corpo está com uma temperatura mais elevada do que outro é porque seus átomos se agitam com intensidades diferentes, conforme mostra a figura 57.

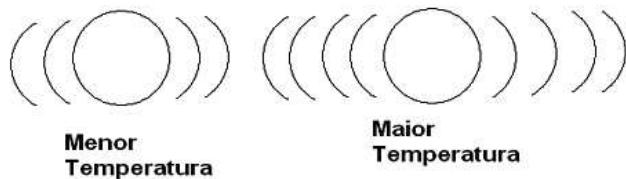


Figura 57 – Mais agitação, maior temperatura

A agitação dos átomos se deve ao fato de que eles possuem energia cinética.

A quantidade de energia armazenada pelos átomos de um corpo nos permite associar uma outra grandeza que é o calor. Isso significa que precisamos entregar calor (energia) a um corpo para que seus átomos se agitem mais e sua temperatura se eleve.

Veja que se entregarmos a mesma quantidade de energia a um corpo pequeno, e a um corpo grande, a energia se distribui pelas partículas pelos dois, e o menor vai se aquecer mais do que o maior, conforme mostra a figura 58.

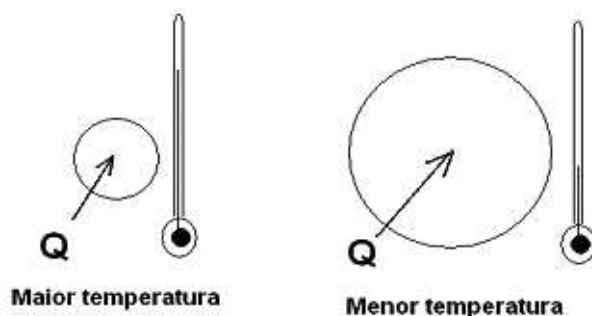


Figura 58 – Os dois corpos são homogêneos do mesmo material e Q é a quantidade de calorias entregue

O leitor deve então entender que o calor é a energia que faz com que a temperatura de um corpo suba ou desça.

Quando um corpo recebe calor sua temperatura sobe. Quando ele perde calor sua temperatura baixa.

Em eletrônica a transferência de calor entre os corpos é muito importante, pois existem os casos em que aproveitamos o calor gerado pela energia elétrica, por exemplo, em sistemas de aquecimento, como casos em que precisamos nos livrar desse calor de modo que a temperatura de um componente não suba excessivamente e ele se queime.

Na prática o calor pode ser transferido de um corpo para outro de três formas.

### a) Contato

Quando dois corpos são colocados em contato, o choque das partículas de um com partículas do outro transfere a energia respon-

sável pela agitação. Assim, se um corpo estiver com uma temperatura mais elevada (maior agitação e outro com temperatura menor (menos agitação), os choques tendem a equilibrar a agitação e, com o tempo, a temperatura entre os dois se equilibra, conforme mostra a figura 59.

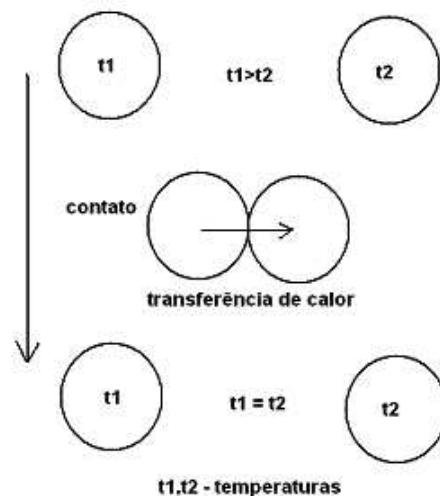


Figura 59 – Transferência de calor por contato

### b) Convecção

O contato de um corpo aquecido com o ar faz com que ele transfira a energia de suas partículas, na forma de agitação para ele. Dessa forma, com maior grau de agitação (maior temperatura) o ar se dilata, torna-se mais leve tendendo a subir. Forma-se então uma corrente de ar que sobe “levando” o calor gerado pelo corpo, conforme mostra a figura 60.

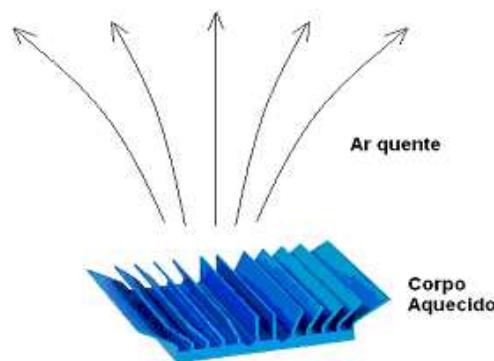


Figura 60 – Corrente de convecção sobre um radiador de calor de componente eletrônico

### c) Radiação

A energia da agitação das partículas de um corpo pode ser irradiada na forma de ondas eletromagnéticas. Se for pequeno o grau de agitação, ela ocorre na forma de infravermelho, mas se a temperatura subir muito, ela ocorre na forma de luz visível, indo do vermelho, pas-

#### Corpos negros

Verifica-se que os corpos negros irradiam o calor com muito mais eficiência do que os de outras cores. Quando estudamos termologia (parte da física que estuda o calor) é comum tomarmos um corpo negro como exemplo de corpo perfeito, no que se refere a capacidade de absorver e irradiar calor.

sando pelo branco e indo até a predominância do azul. É o que ocorre com um ferro em brasa ou o filamento de uma lâmpada.

### 3.4.1 - Radiadores de calor

Conforme estudamos, todo dispositivo eletrônico, que não apresente uma resistência nula, gera uma certa quantidade de calor ao ser percorrido por uma corrente elétrica. Como o dispositivo de resistência nula é ideal, não existindo na prática, podemos dizer que todos os dispositivos percorridos por corrente, num circuito real, geram calor.

Para os casos em que o calor gerado é maior, precisando ser transferido para o meio ambiente de modo que, o componente não tenha sua temperatura elevada acima dos limites que ele tolera, devem ser usados meios auxiliares.

Assim, além de recursos que permitem espalhar o calor pela própria placa de circuito impresso, através dos materiais, a ventilação forçada, o principal meio, sem dúvida é o que faz uso dos radiadores ou dissipadores de calor.

Esses dispositivos são presos aos componentes que geram calor e, por condução, transferem esse calor para os elementos que devem passar o calor para o meio ambiente, conforme mostra a figura 61.

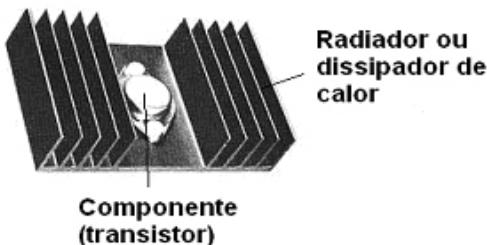


Figura 61 – Componente montado em dissipador ou radiador de calor

Essa transferência pode ser feita de duas formas basicamente: irradiação e convecção.

Parte do calor é irradiada na forma de ondas eletromagnéticas, concentrando-se principalmente na faixa dos infravermelhos. Parte-se das propriedades dos corpos negros que são irradiadores ideais, para se escolher materiais que possam ser usados de modo eficiente nesta forma de se livrar do calor gerado pelos componentes.

A outra parte do calor gerado é transferida para o ar em contacto com as aletas que os radiadores possuem, o qual aquecido torna-se mais leve tendendo a subir e se afastar do local, levando o calor absorvido. Neste caso, é muito importante que o dissipador tenha a maior área possível de contacto para o ar e que exista um caminho livre para sua circulação.

Na figura 62 mostramos os dois modos segundo os quais o calor é transferido para o ambiente através dos radiadores ou dissipadores de calor.

Os radiadores de cor preta são mais eficientes do que os de mesma forma e mesma área, mas de outra cor, pois conforme vimos a radiação de calor pelos corpos negros é maior.

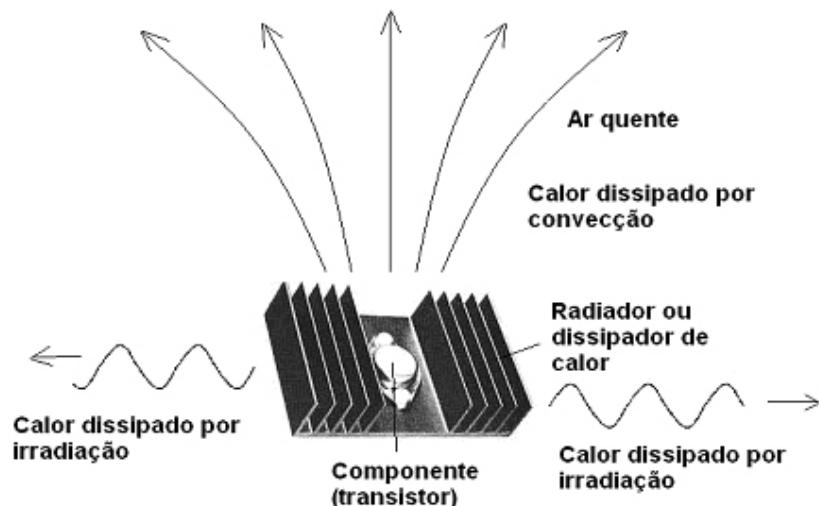


Figura 62 – Dissipação de calor por convecção e por irradiação. O calor do componente para o dissipador é transferido por contato

Veja que poderíamos falar numa terceira forma de se transferir o calor gerado, acoplamento o próprio dissipador a uma superfície sólida capaz de absorver o calor, mas neste caso, essa superfície é que deveria ser considerada no dissipador. Neste caso, teremos a transferência de calor por contato.

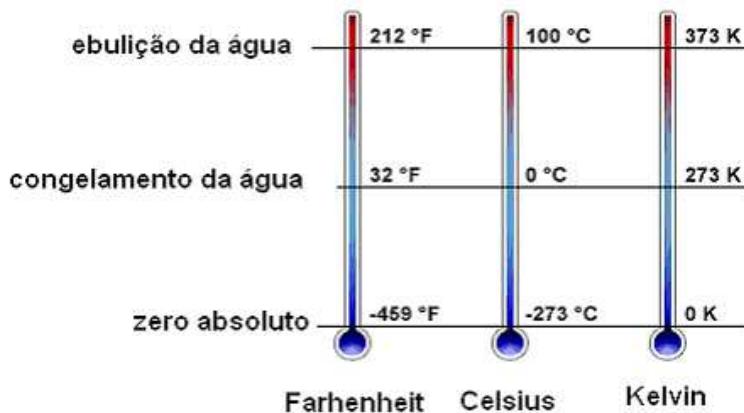
Também devemos lembrar os casos em que a quantidade de ar em contacto com as aletas, que devem transferir o calor, pode ser sensivelmente aumentada com o uso de ventilação forçada, como ocorre no caso do uso dos “fans” (ventiladores ou ventoinhas), muito comuns em dispositivos que exigem uma grande taxa de transferência de calor, caso dos microprocessadores.

### 3.4.2 - Zero Absoluto

Estudamos que a temperatura nada mais é do que a medida do grau de agitação das partículas de um corpo. Se partirmos da temperatura ambiente, vemos que todos os corpos que nos cercam, e que estão numa mesma temperatura, têm suas partículas agitando-se da mesma forma.

Vamos agora supor que peguemos um objeto qualquer e o esfriemos gradualmente. Verificamos então que suas partículas vão vibrar cada vez mais intensamente, até que chega um momento em que elas param.

Teremos então chegado à temperatura mínima possível, porque não existe movimento mais lento do que o parado. Esta paralisação ou mínimo absoluto ocorre com uma temperatura de  $-273^{\circ}\text{C}$ , conforme mostra a figura 63.



Não existe temperatura menor do que 0° K, pois não existe movimento mais lento do que o parado.

Figura 63 – O zero absoluto (ok) de temperatura

Uma forma mais correta de se medir a temperatura seria então colocar o zero grau neste ponto. Isso é feito na escala Kelvin (°K), ou de graus absolutos e que é mostrada na figura 60. Ela parte do ponto em que temos a temperatura mínima possível, e nos 273° K temos o correspondente ao 0° C.

Em muitas especificações eletrônica, e mesmo cálculos, utiliza-se a temperatura em graus Kelvin (K).

### 3.5 - Lei de Joule

A quantidade de calor que um resistor produz, quando percorrido por uma corrente, é calculada pela Lei de Joule.

O que esta lei estabelece é que a quantidade de calor gerado, ou potência dissipada (medida em watts), é proporcional ao produto da corrente pela tensão no resistor, conforme a fórmula:

$$P = V \times I \quad (\text{f3.4})$$

Onde: P é a potência em watts (W)

V é a tensão em volts (V)

I é a corrente em ampères (A)

Levando em conta, pela Lei de Ohm que a corrente num resistor é proporcional à tensão em seus terminais ou  $R = V/I$ , também podemos escrever para a Lei de Joule que:

$$P = R \times I^2 \quad (\text{f3.5})$$

Exemplo de cálculo:

Calcular a potência dissipada por um resistor de 10 ohms quando ligado a um gerador de 12 volts.

### Sempre existem perdas na forma de calor

Todos os meios condutores sempre apresentam uma certa resistência e com isso, ao haver uma circulação de corrente calor é gerado. Esse calor representa perdas de energia, ou a dissipação de energia em forma de calor. Um problema da eletrônica é o que fazer com esse calor. Nos microprocessadores, por exemplo, onde existem milhões de componentes, mesmo as correntes sendo muito pequenas, grande quantidade de calor é gerada, exigindo assim radiadores enormes para que os componentes "se livrem" do calor. Se esse calor ficar "acumulado" ele eleva a temperatura do componente até o ponto em que ele queima.

Resolução: como temos dados a tensão e a resistência, usamos a fórmula f3.6.

$$P = (12 \times 12)/10 = 144/10 = 14,4 \text{ watts}$$

### 3.6 - Associação de Resistores

Os resistores podem ser ligados de diversas formas para ter seus efeitos combinados. Um conjunto de resistores ligados de determinada forma é denominado uma “associação de resistores”.

Para o profissional da eletrônica (de outras ciências ligadas à eletricidade) é muito importante saber prever qual será o efeito final, ou seja, a resistência apresentada por um conjunto de resistores ligados de determinada forma.

Conforme o leitor verá, isso também é válido quando associamos outros tipos de componentes. Temos então os seguintes tipos de associações de resistores:

#### 3.6.1 - Associação de Resistores em Série

Quando ligamos resistores em série, conforme mostra a figura 64, a resistência resultante que obtemos equivale à soma das resistências dos resistores associados. Veja que ligar “em série” é fazer com que a mesma corrente passe por um após outro.

Nesse exemplo, tomamos a associação de resistores de 10, 20 e 30 ohms, o que resulta numa resistência total de 60 ohms.

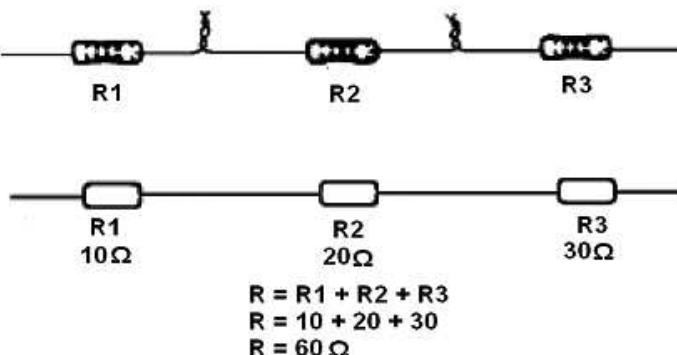


Figura 64 – Associação de resistores em série

Podemos escrever a seguinte fórmula para o cálculo da resistência equivalente a uma associação de resistores em série:

$$R = R1 + R2 + R3 + \dots + Rn \quad (\text{f3.7})$$

Onde: R é a resistência equivalente (em ohms)

R1, R2, R3....Rn são as resistências dos resistores associados (em ohms)

### Propriedades da Associação Série:

- a) Todos os resistores são percorridos pela mesma intensidade de corrente
- b) O maior resistor dissipá mais calor
- c) A resistência equivalente é maior do que o maior resistor associado
- d) O maior resistor está submetido à maior tensão

Observe que para a última propriedade, se ligamos uma associação de resistores a uma fonte de tensão, a tensão dessa fonte ficará dividida proporcionalmente entre os resistores, conforme você pode ver na figura 65.

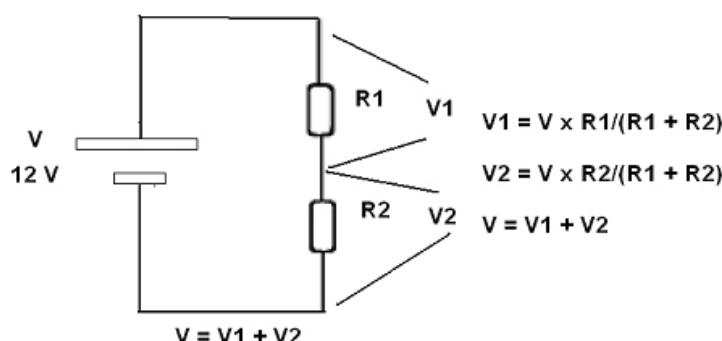


Figura 65 – O divisor de tensão resistivo

Essa propriedade é importante, pois nos permite usar resistores ligados em série como “divisores de tensão”. Podemos obter tensões menores de um circuito, simplesmente escolhendo de forma apropriada os valores dos resistores que vamos ligar em série.

Na figura 66 temos um exemplo em que obtemos uma tensão de 8 V a partir de uma fonte de 12 V usando resistores.

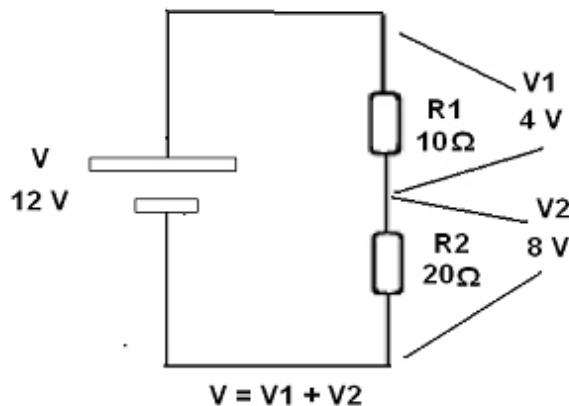


Figura 66 – Obtendo 8 V de uma fonte de 12 V

Evidentemente, o cálculo de um divisor pode ser um muito mais complicado na prática do que a simples divisão proporcional, pois temos de levar em conta a corrente que deve ser fornecida ao circuito que vai ser alimentado pelo divisor.

### 3.6.2 - Associação de Resistores em paralelo

Numa associação de resistores em paralelo, os resistores são ligados conforme mostra a figura 67, um ao lado do outro. A corrente se divide através dos resistores na mesma figura.

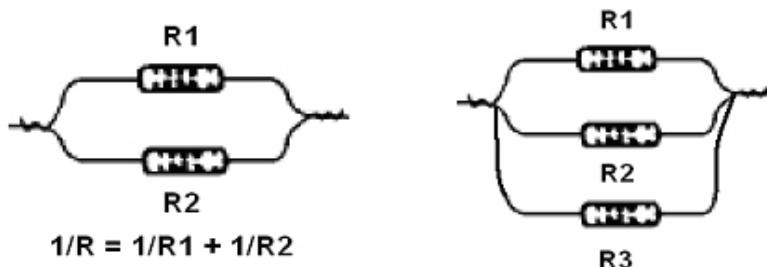


Figura 67 – Associação de resistores em paralelo

Na associação (ou ligação) em paralelo, a resistência equivalente é dada pela fórmula:

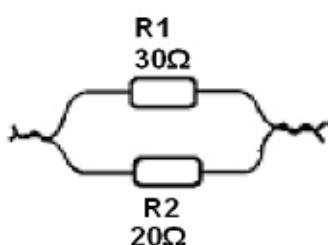
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (f3.8)$$

Onde: R é a resistência equivalente (em ohms)

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> .... R<sub>n</sub> são as resistências associadas (em ohms)

Podemos dizer que “o inverso da resistência equivalente à associação de resistores em paralelo é igual à soma dos inversos das resistências dos resistores associados”.

Para o caso da figura 68, à resistência equivalente à ligação de um resistor de 20 ohms com um de 30 em paralelo é de 12 ohms.



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{5}{60}$$

$$R = 12 \Omega$$

Figura 68 – Exemplo de cálculo

### Propriedades da Associação Paralelo de Resistores

- A corrente em cada resistor é inversamente proporcional ao seu valor. O menor resistor é percorrido pela maior corrente.
- Todos os resistores estão submetidos à mesma tensão
- O menor resistor é percorrido pela maior corrente e dissipava a maior potência
- A resistência equivalente é menor do que a resistência do menor resistor associado.

### 3.6.3 - Associação Série-Paralelo de Resistores

Existem associações de resistores mais complexas em que podemos encontrar alguns resistores ligados em série, e outros em paralelos, de uma forma que não nos permite classificar o circuito num ou outro grupo.

Assim, clicando na figura 69 vemos uma associação série-paralelo de resistores.

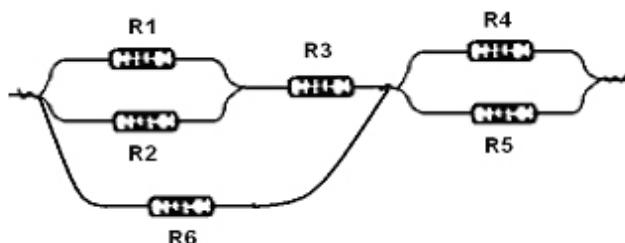


Figura 69 – Uma associação série-paralelo

Para calcular a resistência equivalente trabalhamos por partes, calculando os grupos de resistores que podemos identificar como estando em paralelo ou série, conforme mostra a figura 70.

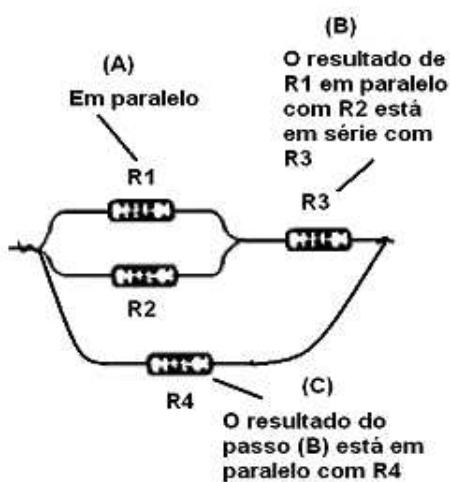


Figura 70 – Calculamos a resistência equivalente em três passos: (A), (B) e (C)

#### Série ou Paralelo

Uma das dificuldades que os estudantes, e mesmo muitos profissionais encontram ao se deparar com um circuito que tenha muitos resistores (e mesmo outros componentes), é tentar dizer se eles estão ligados em série ou paralelo. Em muitos casos isso não é possível, pois eles estarão numa associação em que alguns resistores estarão em série com outros e em outros em paralelo com terceiros. Assim, nestas associações não adianta tentar fazer isso. Existem procedimentos mais apropriados que permitem encontrar sua resistência equivalente.

### 3.7 - Potenciômetros e Trimpots

Existem aplicações em que é preciso contar com um componente que possa ter sua resistência modificada, ou ajustada depois de instalado num circuito.

Esses componentes se enquadram no grupo dos resistores variáveis e, os dois tipos mais encontrados são os potenciômetros e os trimpots. A palavra trimpot deriva de trimmer potentiometer ou potenciômetro ajustável.

Os potenciômetros e trimpots são dispositivos que podemos usar para variar a resistência apresentada à circulação de uma corrente elétrica.

Na figura 71 temos os aspectos mais comuns com que encontramos esses componentes, assim como seus símbolos.

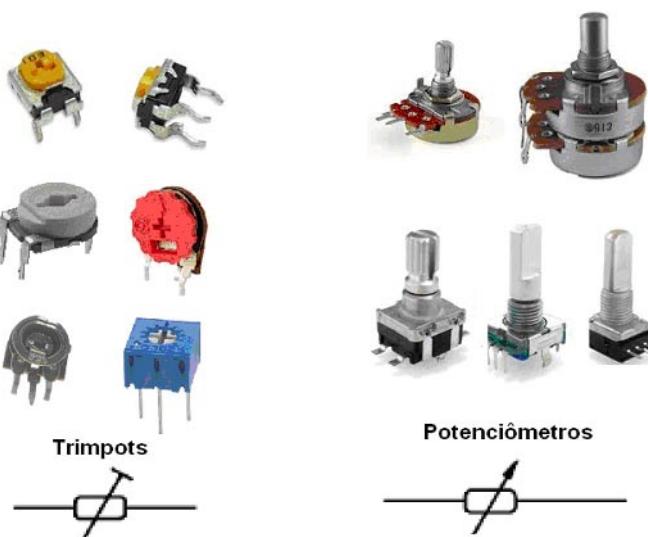


Figura 71 – Trimpots e potenciômetros – aspectos e símbolos

Eles são constituídos por um elemento de resistência, que pode ser de carbono ou fio de nicromo, sobre o qual corre uma lingüeta, denominada cursor. Conforme a posição deste cursor temos a resistência apresentada pelo componente.

Veja que, tomando o potenciômetro ou trimpot da figura 72, à medida que o cursor vai de A para B, aumenta a resistência entre A e X ao mesmo tempo em que diminui a resistência entre X e B..

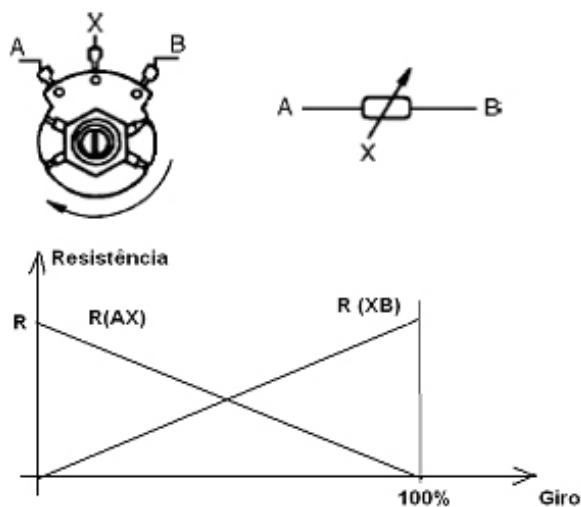


Figura 72 – Curva linear de um potenciômetro

Se a resistência varia de forma proporcional ao movimento do cursor, temos um potenciômetro linear. Se a variação segue uma lei logarítmica, temos um potenciômetro logarítmico.

Essas características podem ser observadas pelas curvas dos dois tipos de potenciômetros mostradas na figura 73.

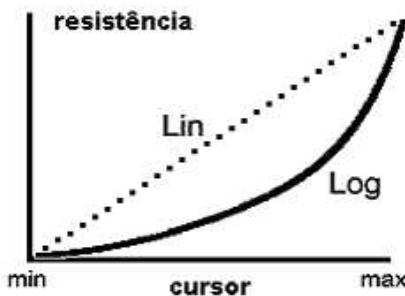


Figura 73 –Curvas - Potenciômetro linear e logarítmico

Observe que a resistência total, entre A e B é a resistência nominal do componente, ou seja, o valor máximo que podemos obter.

Na prática, podemos encontrar potenciômetros e trim pots com valores na faixa de fração de ohms até milhões de ohms. Se o mesmo eixo controlar dois potenciômetros, diremos que se trata de um potenciômetro duplo.

Alguns potenciômetros incorporam um interruptor que é controlado pelo mesmo eixo, como acontece com os controles de volume de rádios e amplificadores. No mesmo controle podemos aumentar e diminuir o volume além de ligar e desligar o aparelho, conforme mostrado na figura 74.

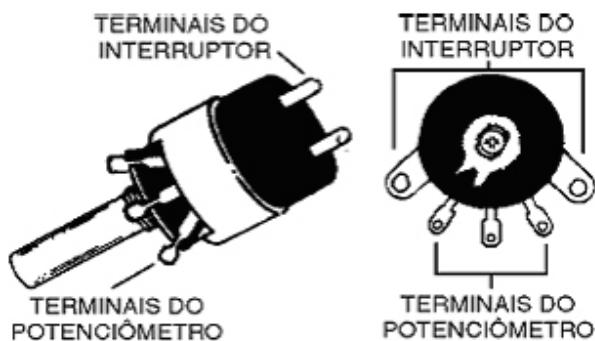


Figura 74 – Potenciômetros com chave (interruptor)

Os potenciômetros são usados em diversas funções como, por exemplo, controles de volume, controles de tonalidade, sensibilidade, brilho de uma lâmpada ou velocidade de um motor, já que permitem o ajuste, a qualquer momento, das características desejadas de um circuito. Já os trimpots são usados quando se deseja um ajuste único, ou seja, somente num determinado momento, levando o aparelho a um comportamento que deve ser definitivo (é claro que o ajuste pode ser refeito sempre que necessário, mas o trimpot normalmente fica dentro do aparelho, que nesse caso precisa ser aberto).

Na figura 75 mostramos trimpots de precisão, do tipo multivoltas, muito usados em instrumentos, equipamentos sensíveis e outros.



Figura 75 – Trimpots multivoltas (multiturn)

### 3.8 – Transdutores e sensores

Os circuitos eletrônicos só podem trabalhar com sinais elétricos, ou seja, com correntes e tensões.

Assim, se precisarmos medir temperaturas, pressões, ou outras grandezas físicas que nada tenham a ver com eletricidade, precisamos convertê-las.

Da mesma forma, não vemos nem ouvimos a eletricidade, o que significa que existem aplicações em que precisamos converter energia elétrica em outras formas de energia como som, luz, etc.

Os dispositivos que convertem uma forma de energia em outra são denominados “transdutores”. Como eles são usados para sensoriar determinadas grandezas, eles também são chamados sensores. Na figura 76 temos exemplos desses componentes.



Os transdutores que convertem grandezas elétricas em variações de resistência são denominados sensores resistivos.

Figura 76 – Transdutores ou sensores comuns

Um tipo importante de transdutor é o que converte uma grandeza física qualquer numa resistência correspondente. Dizemos que se trata de um transdutor ou sensor resistivo, existindo diversos deles que muito são usados em equipamentos eletrônicos.

No próximo item vamos estudar diversos desses transdutores, que nada mais são do resistores especiais, cuja resistência varia conforme uma determinada grandeza física.

#### • LDR

Os LDRs ou Light Dependent Resistors são componentes cuja resistência depende da quantidade de luz que incide numa superfície sensível. O componente apresenta uma resistência muito alta no escuro (da ordem de milhões de ohms), e muito baixa no claro (da ordem de dezenas ou centenas de ohms). Os LDRs são usados em sensores de luz. Na figura 77 temos o aspecto de um LDR. A figura também mostra o símbolo adotado para representar um LDR e os aspectos mais comuns desse componente.

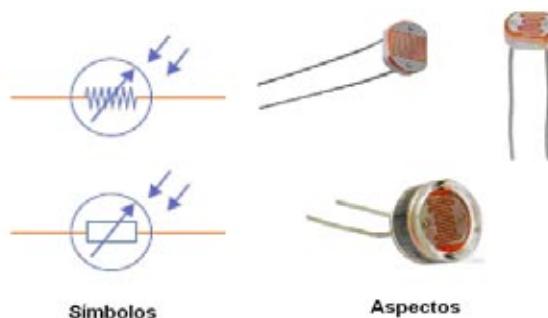


Figura 77 – LDRs – símbolos e aspectos

### • NTC/PTC

Os Negative Temperature Coefficient Resistors ou NTCs são componentes cuja resistência diminui com o aumento da temperatura. Por outro lado, os PTCs ou Positive Temperature Coefficient Resistors são componentes cuja resistência aumenta com o aumento da temperatura. Os dois podem ser usados como estabilizadores em circuitos sensíveis à variações de temperatura, ou ainda como sensores de temperatura. Na figura 78 podemos ver esses componentes, seus aspectos e as curvas características.

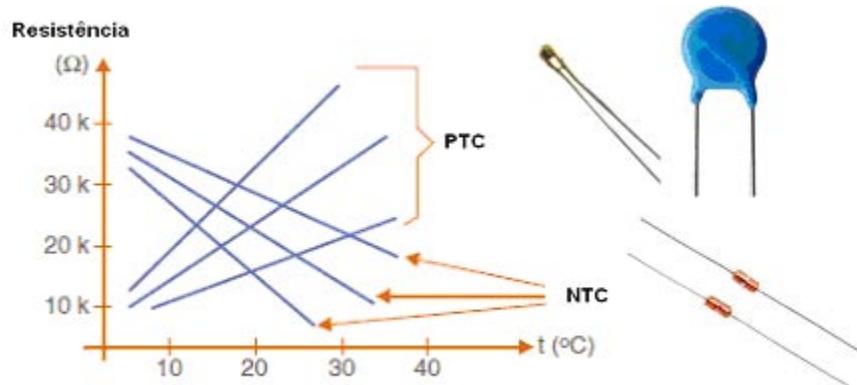


Figura 78 – NTC e PTC – curvas e aspectos

### • VDR

VDRs ou Voltage Dependent Resistors são resistores cuja resistência depende da tensão aplicada aos seus terminais. Os VDRs são usados basicamente como protetores contra surtos e transientes em circuitos eletrônicos, desviando pulsos de alta tensão que poderiam danificar os equipamentos. Na figura 79 temos o símbolo e o aspecto desses componentes.

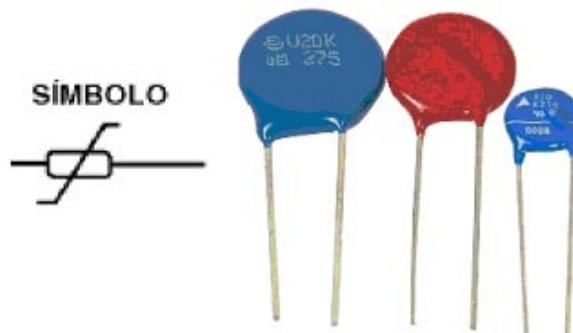


Figura 79 – VDRs ou Varistores- Símbolos e aspectos

Além desses transdutores, há outros que serão estudados oportunamente, dada sua importância apenas em aplicações específicas.

## Termos em Inglês

Nesta lição temos alguns termos que aparecem bastante na literatura técnica estrangeira, os quais devem ser conhecidos pelos praticantes da eletrônica. Destacamos alguns:

- Resistivity = Resistividade
- Resistance = Resistência
- Ohm's Law = Lei de Ohm
- Joule's Law = Lei de Joule
- Series = Série
- Parallel = Paralelo
- Dissipation = Dissipação
- Multiturn- multivoltas
- Potentiometer = Potenciômetro
- Trimmer Potentiometer/Trimpot = Trimpot

### Sugestão de Pesquisa

- Curvas características
- Lei de Ohm
- Radiadores de calor
- Dissipação
- Resistores de potência
- Tolerância

## **QUESTIONÁRIO**

1. A grandeza elétrica que caracteriza a natureza de um material quanto à sua capacidade de conduzir a corrente elétrica é chamada:
  - a) resistência elétrica
  - b) resistividade
  - c) tensão elétrica
  - d) condutividade elétrica
  
2. “Num resistor a corrente circulante é diretamente proporcional à tensão que lhe é aplicada”. Essa frase enuncia que lei?
  - a) Lei de Joule
  - b) Lei de Ohm
  - c) Lei de Oersted
  - d) Lei de Coulomb
  
3. Qual é a corrente que circula por um resistor de 12 ohms quando ligado a uma bateria de 6 V?
  - a) 2 A
  - b) 0,5 A
  - c) 72 A
  - d) 3 A
  
4. Que potência dissipava um resistor de 10 ohms quando percorrido por uma corrente de 2 A ?
  - a) 10 W
  - b) 20 W
  - c) 40 W
  - d) 5 W
  
5. Um resistor tem as seguintes cores, na ordem de leitura: marrom, preto, laranja. Sua resistência é:
  - a) 10 ohms
  - b) 1 000 ohms
  - c) 10 000 ohms
  - d) 100 000 ohms
  
6. Qual é a resistência equivalente à ligação em paralelo de um resistor de 20 ohms com um de 30 ohms?
  - a) 50 ohms
  - b) 25 ohms
  - c) 12 ohms
  - d) 10 ohms



## » Tipos de Geradores » Rendimento e Equação do Gerador

Todo equipamento elétrico ou eletrônico precisa de energia para funcionar. Conforme já estudamos de uma forma introdutória, a energia elétrica pode ser obtida a partir de outras formas de energia como, por exemplo, as pilhas e os dinâmos. No entanto, o estudo dos geradores precisa ser feito de uma forma um pouco mais profunda, pois o praticante da eletrônica precisa ter meios de realizar alguns cálculos importantes que envolvem o seu funcionamento. Nessa lição vamos nos dedicar especificamente a esse estudo. A lição 4 de nosso curso será formada pelos seguintes itens:

- 4.1 - Pilhas e Acumuladores
- 4.2 - Dínamos e alternadores
- 4.3 - Geradores alternativos
- 4.4 - Rendimento de um gerador - Equação do Gerador
- 4.5 - Circuitos Complexos - Leis de Kirchhoff

### 4.1 - Pilhas e Acumuladores

Uma forma simples de se obter energia elétrica para a alimentação de diversos tipos de circuitos elétricos e eletrônicos é a partir de pilhas e acumuladores.

Conforme já estudamos, as pilhas são geradores químicos de energia elétrica, ou seja, convertem energia química em energia elétrica num processo irreversível, não podendo ser recarregados!

Os tipos mais conhecidos são as pilhas secas comuns e as alcalinas, se bem que existam alguns outros mais caros e de maior autonomia que são encontrados no mercado, visando aplicações específicas.

Na figura 80 temos o símbolo adotado para representar uma pilha ou “célula” simples, e uma bateria, que é um conjunto de células.

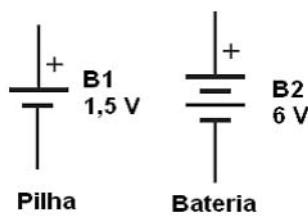


Figura 80 – Pilha e bateria – símbolos

Cada pilha comum apresenta entre seus terminais uma tensão em aberto de 1,5 V. Dizemos que as pilhas são geradores que apresentam uma f.e.m. (força eletromotriz) de 1,5 V. Há, entretanto tipos em que a f.e.m. é de 1,2 V. A tensão em aberto ou f.e.m. é indicada nos diagrama pela letra E.

Os acumuladores, por outro lado, podem ser recarregados, bastando para isso fazer circular uma corrente no sentido inverso ao convencional, conforme mostra a figura 81. Um resistor é usado para limitar a corrente de carga ao valor desejado.

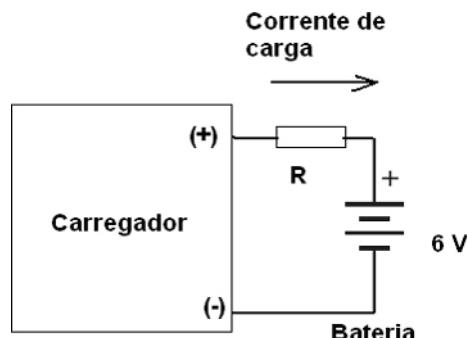


Figura 81 – Bateria de acumuladores

Os tipos mais comuns são o chumbo-ácido (usado em carros e motos) e o Nicad com suas variações, que formam baterias de diversos equipamentos como telefones celulares, laptops, câmaras de vídeo.

As células de Nicad podem ser encontradas em formas e tamanhos semelhantes ao de pilhas comuns, podendo ser usadas nas mesmas aplicações, com a vantagem de que podem ser recarregadas centenas de vezes.

Veja que, entendemos por “bateria” ao conjunto de pilhas ou células de acumuladores, ligadas em conjunto de modo a se obter uma tensão maior.

Uma “bateria” de 9 V comum, por exemplo, é na realidade formada por 6 células de 1,5 V que são ligadas em série, conforme mostra a figura 82. (cada conjunto de 3 placas é uma bateria, assim temos 27 placas numa bateria desse tipo).



Figura 82 – 6 células de 1,5 V formam uma bateria de 9 V

Uma bateria de automóvel é formada por 6 células de 2,1 V, o que resulta numa tensão da ordem de 12,6 V e, em alguns casos, pouco mais de 13 V.

As pilhas comuns podem ser encontradas em diversos tamanhos, que se diferenciam pela capacidade de corrente, ou seja, tanto pela máxima corrente que podem fornecer como pelo tempo em que isso ocorre. As baterias usadas em celulares, câmeras fotográficas digitais e muitos outros aparelhos modernos são de tipos recarregáveis com grande densidade de energia.

Isso significa que, além de terem um formato especial de acordo com o aparelho em que são usadas, elas são formadas por um número de células de acordo com a tensão exigida pelo aparelho. Elas ainda podem armazenar uma quantidade de energia maior do que a que obtemos com outros tipos de células.

### ACUMULADORES

O acumulador foi inventado por J. W. Ritter na Alemanha em 1803. O tipo atualmente mais usado é o acumulador chumbo-ácido, que tem a estrutura básica mostrada na figura 83.

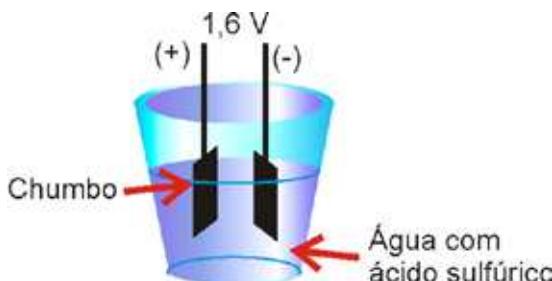


Figura 83 – O acumulador

Cada célula contém duas placas de chumbo que são submersas numa solução de ácido sulfúrico. Quando a célula se encontra descarregada, as duas placas são de chumbo metálico.

No entanto, quando uma corrente de carga é迫使 a circular pela bateria, ocorre uma transformação química das placas e uma tensão de ordem de 1,6 V se manifesta entre elas.

### Células de 1,2 V, 1,5 V e 2,1 V

A tensão que vai aparecer nos pólos de uma célula de um acumulador ou de uma pilha depende de sua construção, ou seja, o material que é usado nos eletrodos e no eletrólito. Para as pilhas comuns, alcalinas e secas, esta tensão é de 1,5 V, mas vimos que em outros casos ela pode ser diferentes. Na prática, quando usamos uma pilha de 1,2 V (recarregável, por exemplo) num aparelho, a pequena diferença de tensão não costuma afetar o funcionamento, mas existem casos em que isso afeta. Uma bateria de 9 V comum, por exemplo, é feita com 6 células de 1,5 V. A mesma versão recarregável é feita com 6 células de 1,2 V, resultando em apenas 7,2 V. Essa tensão menor pode afetar o funcionamento do aparelho. Assim, existem baterias recarregáveis de "9 V" feitas com 7 células de 1,2 V resultando em 8,4 V, o que está mais próximo dos 9 V e que não afeta o funcionamento do aparelho. É preciso estar atento.

A energia fica então acumulada, e a célula pode ser usada para fornecer esta energia a um circuito externo. À medida que ela fornece energia, as placas novamente se transformam voltando ao estado metálico original.

Com a descarga completa, é preciso fazer a corrente de carga circular por um certo tempo para que a célula volte a armazenar energia.

O tipo mais usado atualmente é o que corresponde à bateria dos automóveis que na realidade consistem em 6 células acumuladoras ligadas em série, conforme mostra a figura 84.

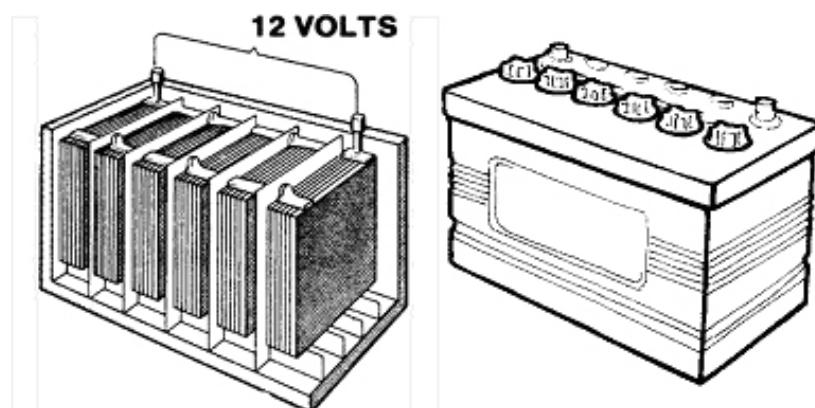


Figura 84 – Bateria de acumuladores para uso automotivo

#### 4.1.2 – Densidade de Energia e Autonomia

As pilhas, baterias e acumuladores só podem fornecer energia a um circuito externo por um determinado tempo. Quando as substâncias envolvidas no processo perderem suas capacidades reativas, a tensão inicialmente cai com a redução da corrente e depois, ela pára completamente de fornecer energia. A pilha ou bateria será considerada gasta ou descarregada. Na figura 85 temos as curvas típicas de descarga dos diversos tipos de pilhas e baterias, mostrando que elas se comportam de maneira diferente.

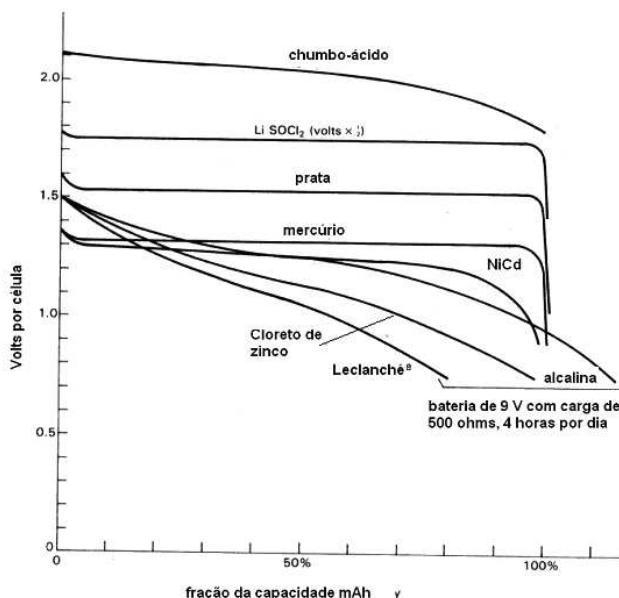


Figura 85 – curvas de descarga de algumas baterias

Enquanto as pilhas secas têm sua tensão caindo rapidamente com o tempo de uso, as pilhas alcalinas, somente no final de sua vida útil têm a tensão reduzida, apresentando uma estabilidade maior no fornecimento de energia.

A capacidade de fornecimento de energia de uma pilha, bateria ou acumulador é medida em ampères x hora (Ah) ou miliampères x hora (mAh).

Por exemplo, se uma pilha tem uma capacidade de fornecimento de energia de 500 mAh, isso significa que alimentando um circuito que exija 500 mA, ela terá autonomia para funcionar por 1 hora. Se alimentar um circuito que exija 100 mA, ela poderá alimentá-lo por 5 horas.

Na prática, é muito importante escolher pilhas e baterias para as aplicações que tenham capacidades de acordo com o consumo do circuito que vai ser alimentado.

Um relógio, por exemplo, tem uma corrente de operação muito baixa, da ordem de poucos miliampères ou mesmo microampères. Para eles, uma bateria de baixa capacidade, como uma pilha seca, serve perfeitamente.

Já uma câmara digital, um brinquedo que tenha um motor de alto consumo com centenas de miliampères, precisa de pilha ou bateria de maior capacidade, por exemplo, alcalina.

Veja que os diferentes tipos de pilhas possuem todas a mesma tensão (f.e.m.) de 1,5 V ou 1,2 V, mas muda sua capacidade. Uma pilha AAA tem uma capacidade muito menor do que uma pilha tipo D. Podemos perfeitamente alimentar um aparelho de baixo consumo com qualquer das duas pilhas, mas a maior durará mais.

Os formatos das pilhas comercializados no Brasil seguem as

Não tente adaptar aparelhos para receber pilhas diferentes das originais, para ganhar espaço, por exemplo. Usar pilhas tipo botão, bem pequenas, para alimentar um projeto experimental de maior consumo, que exigiria pilhas AAA ou AA, não só afeta seu desempenho, como também o alimentará por um tempo muito mais curto do que se pode esperar.

### Substâncias Tóxicas e Descarte

Uma preocupação maior com o meio ambiente nos faz olhar com especial atenção para o descarte de coisas que possuam substâncias tóxicas e este é o caso de pilhas e baterias. As pilhas comuns até a pouco tempo possuíam mercúrio, o qual foi proibido para o caso de nosso país. Assim, as pilhas de fabricação nacional, desde 1999, não possuem mercúrio, o que não ocorre com as pilhas do mercado paralelo, principalmente de origem chinesa, que devem ser evitadas. O mercúrio envenena o meio ambiente. Também é perigoso o chumbo encontrado em baterias, que não devem ser descartadas de forma direta, afetando o meio ambiente. O cátodo, encontrado nas pilhas e baterias recarregáveis, é outro metal perigoso para o meio ambiente. O descarte de pilhas e baterias deve ser feito de forma apropriada existindo muitas lojas, mercados e empresas que disponibilizam recursos para o descarte consciente seja feito. Não jogue suas pilhas e baterias tóxicas no lixo. Conscientize as pessoas do perigo que isso representa.



normas de classificação da indústria americana (ANSI). Veja, no quadro abaixo, o que significam referências como AA e AAA.

Designação	Classificação ANSI	Dimensões (em mm) diâmetro x altura
Pilha Micro	AAA	10,5 x 44,5
Pilha Mini	AA	14,5 x 50,5
Pilha Média	C	26,2 x 50
Pilha Grande	D	34,2 x 61,5
Pilha 9 V	1604D	26,5 x 17,5 x 48,5

Na figura 86 mostramos estes tipos de pilhas.

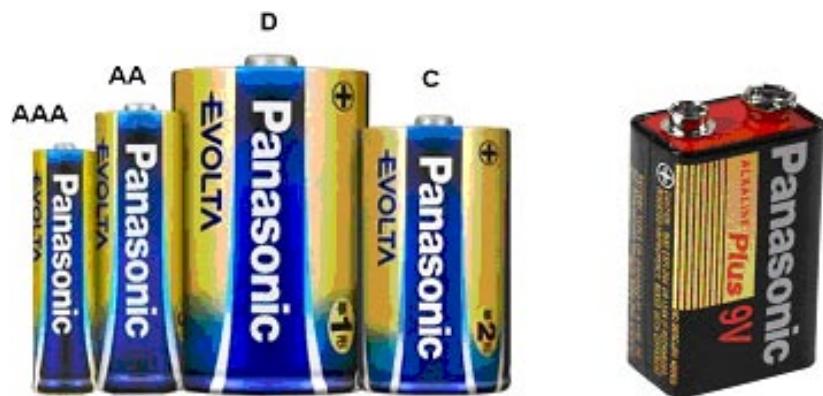


Figura 86 – Pilhas e bateria de 9 V

Os fabricantes dos aparelhos determinam o melhor tipo de pilha ou bateria quando os fabricam. É importante observar isso para ter o melhor desempenho.

#### 4.1.3 – Armazenamento e Descarga

Uma pilha, bateria ou acumulador não se descarrega a não ser no instante em que ela está fornecendo energia. Quando os terminais (polos) da pilha, bateria ou acumulador estão desligados e ela não está produzindo corrente, gerando energia elétrica, a reação química em seu interior está paralisada.

No entanto, as substâncias perdem sua capacidade com o tempo de armazenamento e também sob efeito de condições adversas ou uso indevido.

Normalmente, uma pilha comum pode ser armazenada por até 8 meses em condições ideais, ou seja, em lugar fresco sem receber luz direta do sol. Esse tempo varia conforme o tipo. Depois disso, ela já terá até 50% de comprometimento de sua capacidade de fornecer energia. É comum que pessoas comprem em quiosques e padarias pilhas que ficam em locais que recebem diretamente a luz do sol e

## Use conscientemente – não descarte na natureza- recicle

### Formas de Descarte

Tipo de Pilha ou Bateria	Forma de Descarte	Aplicações comuns
Alcalinas-manganês	Lixo doméstico (*)	Máquinas digitais, walkmans, brinquedos, aplicativos com pequenos motores
Zinco manganês (seca)	Lixo doméstico (*)	Rádios portáteis, controles remotos, relógios, de parede e despertadores, lanternas
Alcalinas tipo botão	Lixo doméstico	Calculadoras, relógios, brinquedos sem motores
Lítio tipo botão	Lixo doméstico	Agendas, máquinas fotográficas, controles remotos de carros e portões
Nicad (Níquel-Cádmio)	Local apropriado	Telefones sem fio
Nicad (celular)	Local apropriado	Celulares, tablets, iPads, iPods, MP3, MP4, etc.

(\*) As nacionais sem mercúrio

sejam normalmente quentes. Essas pessoas ficam surpresas quando as pilhas, mesmo sendo novas, funcionam por pouco tempo ou mesmo, já vêm descarregadas.

#### 4.1.4 – Efeito Memória

O efeito-memória, que pode aparecer em baterias recarregáveis (Nicad) de telefones sem fio, telefones celulares, câmeras fotográficas e muitos outros aparelhos, quer sejam de tipos antigos, quer sejam novas, mas de marcas pouco recomendáveis, é bastante desagradável.

Este efeito consiste no fato de que a bateria “memoriza” a carga adquirida no último processo de carga não conseguindo ultrapassá-lo. Se a bateria, uma vez que seja, foi carregada com apenas uma pequena parcela de sua carga total, nas cargas seguintes, ela não consegue mais adquirir a carga completa, por mais tempo que a deixemos no carregador, conforme mostra a figura 87.

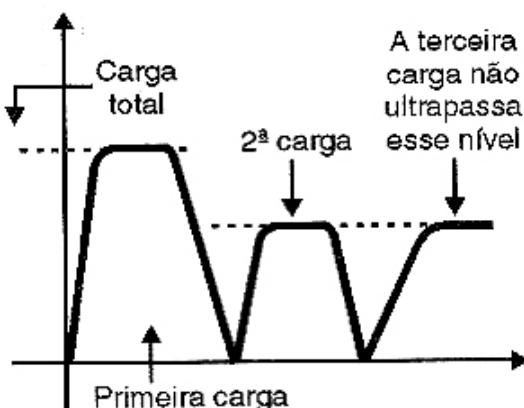


Figura 87 – Na terceira recarga a bateria não atinge sua capacidade máxima.

**Baterias Primárias**

Aquelas que já contém a energia a partir do momento em que são fabricadas, e não podem ser carregadas posteriormente. O processo químico de produção de energia ocorre a partir de uma reação irreversível.

**Baterias Secundárias**

Aquelas que, ao serem fabricadas, não dispõem de energia. Elas precisam ser carregadas e o ciclo de carga e descarga pode ser repetido um número elevado de vezes. A reação que ocorre nestas células é reversível. As células secundárias também são chamadas “acumuladores”.

**Lembre-se:**

A energia não é criada, mas sim transformada. Tenha um bom processo químico que libere energia e a partir daí será fácil criar algum tipo de gerador alternativo.

As baterias modernas, principalmente as usadas nos telefones celulares e câmeras digitais não possuem mais este efeito podendo ser carregadas com facilidade até o máximo em qualquer condição.

Existem também aquelas que podem ser recuperadas se, ao manifestarem o efeito memória, forem descarregadas completamente e depois submetidas a uma carga completa.

A descarga completa pode ser feita com sua ligação a um dispositivo de certo consumo como, por exemplo, uma lâmpada incandescente comum, conforme mostra a figura 88.

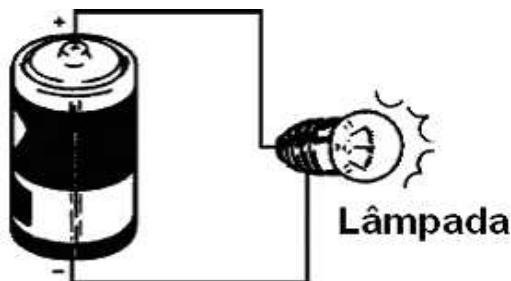
**Pilha ou bateria recarregável**

Figura 88 – Descarregando com a ajuda de uma lâmpada

**4.1.5 – Energia à vontade**

Todos os processos químicos (reações) que liberam energia, em princípio, podem ser usados para gerar eletricidade. Basta que íons sejam liberados no processo, ou seja, átomos e moléculas dotados de cargas, para que sua movimentação permita obter energia elétrica.

Assim, abre-se caminho para que muitas formas de energias alternativas, a partir de processos químicos, sejam criadas.

Podemos citar como exemplo, o caso de pesquisadores ingleses que utilizaram num robô a energia elétrica obtida pela decomposição de lesmas, que o robô recolhe num jardim, para carregar sua própria bateria. Um robô “comedor” de lesmas. Outro caso é o de um fermentador para preparar cerveja que gera energia para carregar um celular, enquanto a cevada fermenta.

**4.2 - Dínamos e Alternadores**

Quando uma bobina corta as linhas de força do campo magnético de um imã é induzida uma corrente elétrica. Este princípio, que será estudado em pormenores nas próximas lições, pode ser utilizado para se gerar eletricidade em dois tipos de dispositivos: dínamos e alternadores.

Ambos são geradores que convertem energia mecânica (usada para movimentá-los) em energia elétrica.

Analisando o princípio de funcionamento dos dínamos, ficará bastante simples entender como funciona o alternador.

Um dínamo é formado por uma bobina que gira entre os pólos de um imã permanente, conforme podemos ver na figura 89.

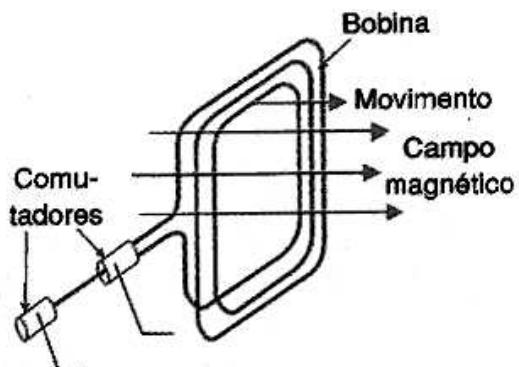


Figura 89 – Funcionamento de um dínamo

Quando esta bobina gira, é induzida uma tensão que aparece nas suas extremidades. Como a polaridade da tensão muda à medida que ela gira, pois em cada volta ela corta as linhas em direções diferentes, é colocado um conjunto de comutadores ou escovas que “desinvertem” a tensão produzida, de modo que ela se mantenha contínua.

No caso do alternador, temos o mesmo princípio de funcionamento, com a diferença de que não existe o conjunto de comutadores que “desinvertem” a corrente em cada volta. Assim, em lugar dele gerar correntes contínuas, ou seja, sempre com a mesma polaridade, ele produz uma corrente que inverte os pólos constantemente.

Essa corrente, que será estudada mais detalhadamente em lições futuras, é chamada corrente alternada o C.A..

Os dois tipos de corrente têm os mesmos efeitos num circuito, entregando transferindo energia que pode ser usada de alguma forma. Muda apenas o modo como isso é feito.

### 4.3 - Geradores Alternativos

Temos ainda uma série importante de geradores de energia elétrica que, pela sua utilização menos freqüente, ou ainda por limitações de rendimento, podem ser considerados alternativos.

Dentre eles destacamos os seguintes:

#### a) Solares

As fotocélulas, ou pilhas solares, são geradores que convertem energia solar (luz) em energia elétrica. Não devem ser confundidos com os painéis solares de aquecimento de água, que não geram energia elétrica. Na figura 90 pode-se visualizar um conjunto de células solares que são usadas para gerar energia para carregar a bateria de um telefone celular.



Figura 90 – Carregador solar de bateria de celular.

O custo elevado das células solares de silício, e o seu baixo rendimento, faz com que elas sejam usadas somente em locais em que não exista outra alternativa para a produção de energia elétrica.

As células solares são mais indicadas para aplicações em que uma quantidade muito pequena de energia é necessária à sua alimentação como, por exemplo, calculadoras, relógios, brinquedos, ou ainda para carga de baterias em locais em que outra forma de energia não seja disponível.

### b) Células a combustível

Na célula à combustível, duas substâncias (um combustível e um comburente - normalmente o oxigênio) se combinam num eletródo especial poroso de modo a formar uma nova substância e, com isso, liberar energia elétrica. Um tipo comum de célula, que pode ser vista na figura 91, combina hidrogênio com oxigênio, formando água e produzindo energia elétrica.

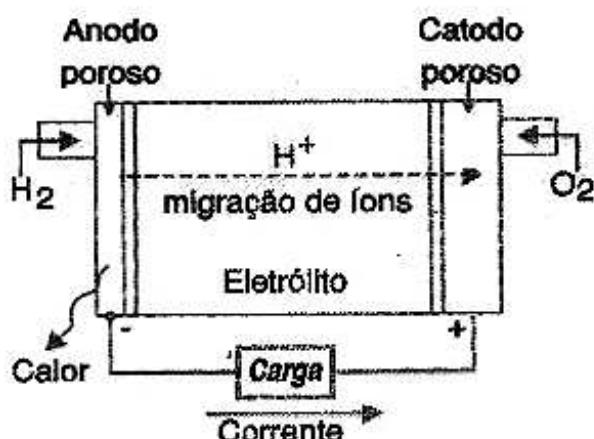


Figura 91 – Uma célula a combustível

O rendimento desse tipo de fonte de energia é relativamente elevado e, além disso, ela tem a vantagem de não se esgotar e de não ser poluente. No entanto, dificuldades técnicas e custos ainda limitam bastante o seu uso.

Já se anuncia tipos pequenos, que podem usar pequenos tubos de combustível, semelhante aos empregados em isqueiros, e que poderiam ser usadas para alimentar laptops, telefones celulares e outros equipamentos semelhantes.

### c) Atômicos

A energia atômica, pelo perigo que representa se sair do controle, é ainda somente usada em casos muito especiais, quando outra forma de energia talvez não viesse atender as necessidades.

Um primeiro caso é o das usinas nucleares, onde a energia elétrica é obtida de alternadores que são movimentados pela pressão do vapor formado, quando água entra em contacto com substâncias radioativas liberando grande quantidade de calor, conforme se pode visualizar na figura 92.

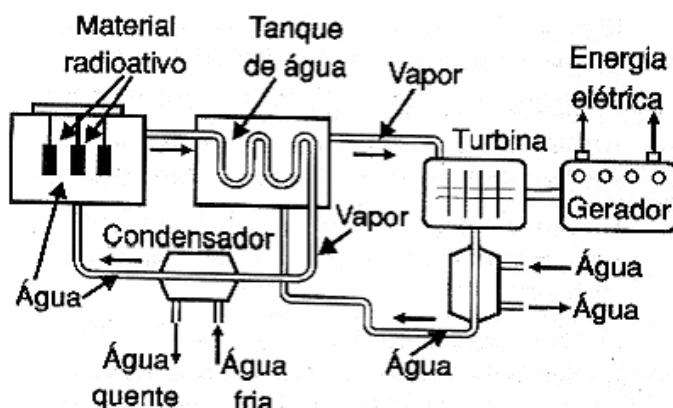


Figura 92 – Operação de uma usina atômica

Uma outra forma de se obter energia elétrica a partir de materiais radioativos, mas não muito usada, é colocando-se em contacto com um material fosforescente (devido à radioatividade) uma célula fotoelétrica, conforme mostra a figura 93.



Figura 93 - Uma célula com material fosforescente

No entanto, o desenvolvimento de uma tecnologia que aproveite de uma forma limpa a energia liberada na desintegração nuclear de materiais radioativos, ainda deve demorar um pouco. A solução seria a fusão a frio, que consiste na união de núcleos de hidrogênio para produzir hélio.

#### 4.4 - Rendimento de um Gerador - Equação do Gerador

Um gerador ideal deveria ser capaz de fornecer sempre a mesma tensão, independentemente de quanta corrente tivesse de fornecer a um circuito alimentado, por exemplo, uma lâmpada, conforme se pode observar pela figura 94.

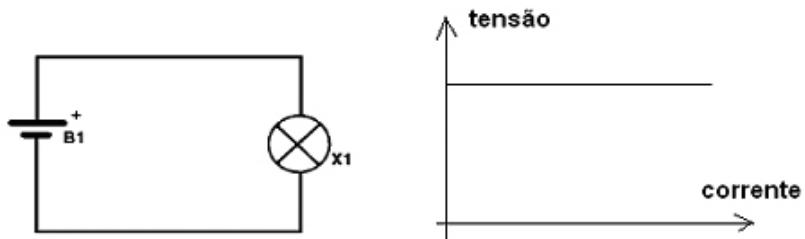


Figura 94 – Gerador ideal

Na prática, entretanto, os geradores apresentam uma limitação no fornecimento de energia. Quando ligamos um gerador a um dispositivo qualquer que consuma energia (que chamamos de receptor), a tensão nos seus terminais cai à medida que o consumo aumenta, conforme mostra a figura 95.

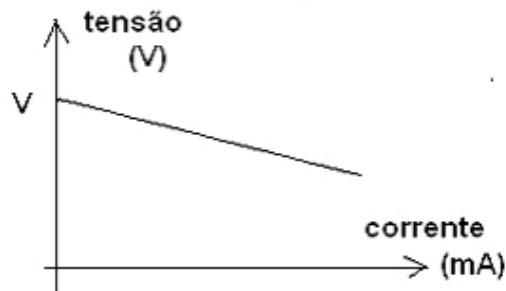


Figura 95 – Gerador real – a tensão diminui com o aumento da corrente

Isso se deve ao fato de que, internamente ao gerador, podemos associar uma certa resistência (devida aos próprios elementos internos de que ele é feito) e que absorve parte da energia que ele produz.

Assim, se desejarmos ter uma representação real de um gerador alimentando um circuito qualquer, por exemplo, um resistor  $R$ , devemos incluir a sua resistência interna ( $r$ ), conforme mostra a figura 96.

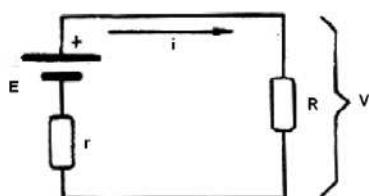


Figura 96 – Incluindo a resistência interna de um gerador

Veja que no símbolo do gerador colocamos um resistor interno ( $r$ ), mas isso não significa que esse componente exista na forma real. Ele representa a resistência dos elementos internos do gerador.

A energia elétrica gerada pelo gerador ficará então dividida entre o resistor externo, que representa o circuito alimentado, e sua resistência interna. Desta forma, aparecerá no resistor externo (carga) uma tensão  $V$ , menor do que  $E$ , que pode ser calculada também.

Se chamarmos de  $E$  a força eletromotriz do gerador,  $i$  a corrente que circula pelo circuito, aplicando a Lei de Ohm, podemos escrever uma importante equação que descreve o comportamento do circuito da figura 94.

$$E = (R + r) \times I \quad (\text{f4.1})$$

Onde:

$E$  = força eletromotriz em volts

$R$  = resistência externa em ohms

$r$  = resistência interna do gerador em ohms

$I$  = corrente que circula pelo circuito (\*)

(\*) A corrente num circuito pode ser representada por  $i$  (minúsculo) ou  $I$  (maiúsculo), dependendo da publicação. Assim, em livros adotados no ensino médio é comum encontrarmos  $i$  (minúsculo) para indicá-la e em livros de engenharia  $I$  (maiúsculo). O correto é adotar letras minúsculas para grandezas que variam (correntes alternadas) e maiúsculas para contínuas.

E, para calcular a tensão na carga externa aplicamos a Lei de Ohm:

$$V = R \times I \text{ (f4.4.1)}$$

### Os conversores AC-DC ou Eliminadores de pilhas

Os pequenos conversores que são usados para alimentar, por uma tomada de energia, aparelhos que usam pilhas consistem em "geradores" onde o efeito da resistência interna deve ser considerado. Assim, como eles possuem uma resistência interna elevada ( $r$ ), quando ligamos algum circuito externo para que alimentem (carga), a tensão cai, tanto mais quanto maior for a corrente exigida.

Assim, se formos medir a tensão desses eliminadores "em aberto", ou seja, sem carga encontramos muito mais do que a tensão para a qual ele é especificado. Por exemplo, é comum encontrarmos de 7 a 8 V, e mesmo um pouco mais, num eliminador de 6 V. O que medimos neste caso é a força eletromotriz ( $E$ ), pois a resistência do instrumento usado na medida é muito alta. Quando ligamos alguma coisa neste eliminador a tensão cai ( $V$ ) e chegamos perto dos 6 V especificados. Existem eliminadores que são regulados ou estabilizados. Eles possuem um circuito interno que mantém a saída em 6 V (por exemplo), independentemente da corrente na carga.

Exemplo:

Uma pilha de 1,5 V tem uma resistência interna de 0,5 ohm. Qual é a corrente que ela fornece a um resistor de 2,5 ohms? Qual é a tensão que aparece sobre o resistor alimentado?

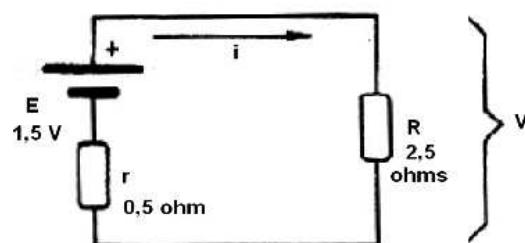


Figura 97 - Devemos calcular I e V

Nesse problema:

$$E = 1,5 \text{ V}$$

$$r = 0,5 \text{ ohm}$$

$$R = 2,5 \text{ ohms}$$

I = devemos calcular

V = devemos calcular

Aplicando a fórmula f4.1:

$$1,5 = (2,5 + 0,5) \times I$$

$$1,5 = 3,0 \times I$$

$$I = 1,5 / 3,0$$

$$I = 0,5 \text{ ampères}$$

Para calcular V, aplicamos a Lei de Ohm:

$$V = R \times I$$

$$V = 2,5 \times 0,5 = 1,25 \text{ V}$$

Observe que o resistor não "recebe" os 1,5 V da pilha, mas menos, apenas 1,25 V.

#### 4.4.1 - Rendimento de um Gerador

Conforme vimos, sempre uma parte da energia produzida por um gerador é convertida em calor na sua resistência interna.

Assim, podemos definir o Rendimento de um Gerador como a fração da potência total gerada que chega até o circuito alimentado. Isso pode ser expresso através da fórmula:

$$\eta = V / E \quad (f4.2)$$

Onde:

$\eta$  é o rendimento

V é a tensão na carga (volts)

E é a força eletromotriz do gerador. (volts)

Podemos também expressar o rendimento na forma de uma porcentagem, multiplicando o resultado calculado pela fórmula anterior por 100.

É claro que o rendimento nunca será 100%, pois isso só seria possível num gerador perfeito, em que a resistência interna fosse 0.

#### 4.4.2 – Curto Circuito – Perigo de Explosão

Conforme estudamos, o rendimento de uma pilha depende de sua resistência interna e da resistência do circuito que está sendo alimentado.

Se a resistência externa for zero, teremos a condição denominada curto-circuito que já estudamos só que no caso das pilhas, a corrente ficará limitada pela resistência interna, conforme mostra a figura 98.

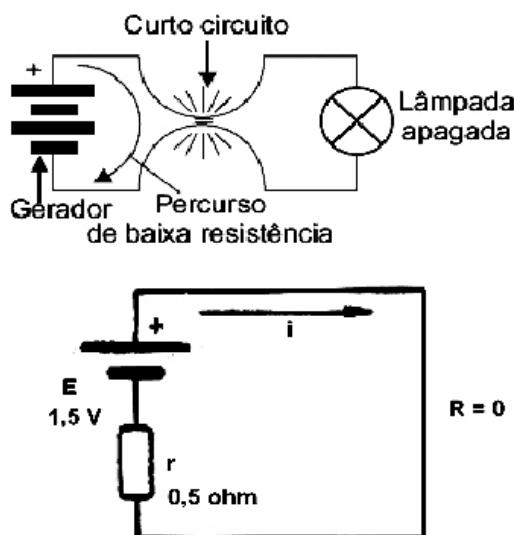


Figura 98 – No circuito-circuito  $R$  é zero

#### Porque as pilhas esquentam

Você já deve ter notado que, ao retirar pilhas gastas de um aparelho que exige altas correntes, elas se encontram quentes. O que ocorre neste caso, é que ao fornecer energia ao aparelho alimentado, parte desta energia é dissipada na forma de calor na resistência interna da própria pilha ou bateria. Por esse motivo, ela se aquece. O mesmo é notado quando carregamos pilhas ou baterias com correntes mais intensas.

### Cuidado ao manusear baterias e pilhas

Nunca deixe pilhas e baterias encostarem em objetos de metal que possam causar curtos entre seus terminais. Além disso, causar seu esgotamento rápido, em alguns casos pode causar sua explosão.

Numa pilha comum, com resistência interna algo elevada, o efeito de um curto-círcuito é um aquecimento e o rápido esgotamento.

No entanto, pilhas e baterias modernas de alta capacidade de fornecimento de energia possuem resistências internas muito baixas. Isso significa que em condições de curto circuito, a corrente limitada por essa resistência será muito alta e com isso muito grande a quantidade de calor gerado.

Neste caso, as substâncias do interior da pilha podem ferver ou pode ser criada uma pressão suficiente para que a pilha exploda. Por esse motivo, para estas pilhas existem alertas para que nunca sejam levadas a uma condição de curto, como encostar seus terminais em objetos metálicos.

Explosões de baterias de celulares e outros equipamentos têm sido relatadas, justamente por terem sido colocadas inadvertidamente em condição de curto circuito.

## 4.5 - Circuitos Complexos - Leis de Kirchhoff

Não são apenas os resistores que podem ser ligados em série e em paralelo. Quando formamos um circuito com diversos tipos de componentes, por exemplo, um gerador que forneça energia, um LED e um resistor, os quais utilizam essa energia, teremos a ligação desses elementos em combinações que podem ser em série e em paralelo, conforme o leitor poderá ver na figura 99.

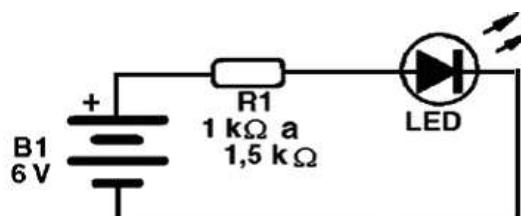


Figura 99 – Resistor e LED (\*) em série

No circuito da figura 93, se o LED for invertido, não acende.

Vamos dar alguns exemplos importantes de onde isso pode ocorrer:

Um gerador, como um conjunto de pilhas, uma bateria ou mesmo a tomada de sua casa, pode fornecer energia suficiente para alimentar muitos dispositivos, tais como lâmpadas, aquecedores, etc.

Para que, ao ligar os geradores aos dispositivos que devem converter energia, tenhamos uma distribuição correta das correntes e tensões, é preciso observar certas regras.

(\*) O LED é um componente que ainda vai ser estudado. Podemos dizer que se trata de um dispositivo análogo à lâmpada: produz luz a partir da energia elétrica, mas seu princípio de funcionamento ainda será visto. Guarde apenas o seu símbolo e que ele é polarizado, ou seja, tem modo certo para ser ligado.

Existem então maneiras de se fazer a ligação de conjuntos de dispositivos para receber a energia de um gerador. Da mesma forma, existem também meios de ligarmos juntos diversos geradores para aumentar a capacidade de fornecimento de energia. Temos então duas maneiras básicas de fazer estas ligações: em série ou em paralelo, como estudamos no caso dos resistores.

#### 4.5.1 - Ligação em Série

Dizemos que lâmpadas ou outros dispositivos estão ligados em série, quando a corrente passa por eles em sequência, uma a uma, conforme mostra a figura 100.

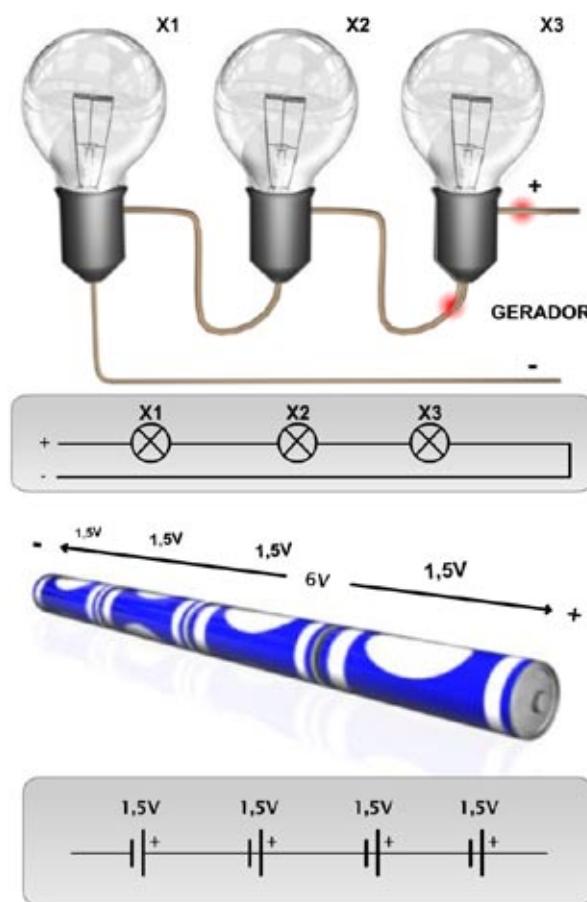


Figura 100 – Lâmpadas e pilhas em série

Observe que as lâmpadas também são representadas pelos seus símbolos, assim como as pilhas. Acostume-se a eles, assim como no caso do gerador.

Levando em conta que os elétrons, ou cargas que saem de um polo do gerador, devem obrigatoriamente chegar ao outro, ao contrário do que muitos possam pensar, a corrente não “enfraquece” à medida que vamos passando de X1 para X2 e assim sucessivamente.

A intensidade da corrente é a mesma em todos os pontos desta ligação. Isso quer dizer que a quantidade de cargas que passa pelo ponto A, é a mesma que passa em todos os seus elementos.

No entanto, à medida que as cargas vão deixando sua energia em cada lâmpada, a qual se transforma em calor, diminui a “pressão” que as empurra. Isso quer dizer que, à medida que percorremos esta sequência de lâmpadas, a tensão vai caindo conforme o leitor poderá ver pela figura 98.

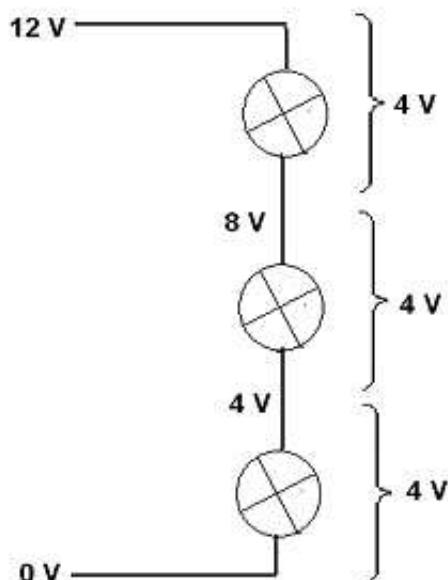


Figura 101 – Ao longo do circuito a tensão vai caindo

Cada lâmpada recebe então apenas uma parcela da tensão total do gerador. Se as lâmpadas forem iguais, a distribuição de tensão também ocorrerá por igual. Caso contrário, aquela que apresentar maior resistência, terá maior tensão entre seus terminais.

Usamos este princípio para alimentar lâmpadas de árvores de natal. Ligando 10 lâmpadas iguais de 12 V em série, podemos alimentar o conjunto com 127 V, conforme se pode observar pela figura 102. Como as lâmpadas são iguais, cada uma receberá os 12,7 V que precisa e funcionará perfeitamente.

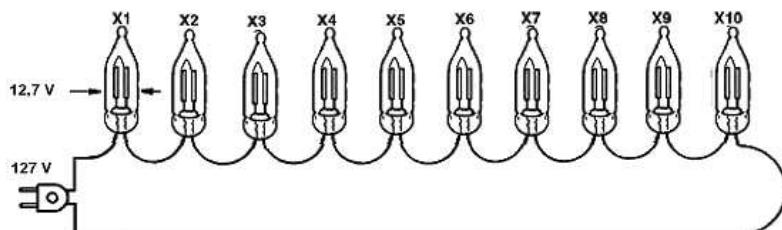


Figura 102 – Lâmpadas de árvore de natal em série

Quando ligamos geradores em série, para que as tensões se somem, os pólos de mesmo nome devem ficar do mesmo lado, de modo a forçar a corrente no mesmo sentido. Assim, fazemos uma “fila” de geradores com o pólo positivo de cada um no negativo do que está na sua frente, conforme mostra a figura 103.

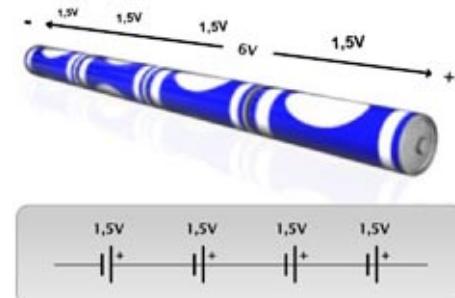


Figura 103 – Ligação de geradores em série

Se ligarmos dessa maneira 4 pilhas de 1,5 V, teremos uma “bateria” de 6 Volts. A capacidade de corrente, neste caso, não ficará aumentada. Se os geradores (pilhas) puderem fornecer separadamente uma corrente máxima de 1 ampère, esta também será a capacidade da bateria. Nesse ponto é bom falarmos da autonomia de uma bateria, pilha ou acumulador.

Este recurso, conforme vimos é usado para se obter baterias de 9 V “empilhando-se” células de 1,5 V.

#### Lembre-se:

Quando dizemos que uma bateria de 12 V tem uma capacidade de fornecimento de energia de 10 ampères x hora (abreviado por 10 Ah) isso significa que ela pode fornecer a um circuito externo uma corrente de 10 ampères por 1 hora, 5 ampères por 2 horas ou ainda 1 ampère por 10 horas.

#### 4.5.2 - Ligação em Paralelo

Para que cada lâmpada ou dispositivo receba a mesma tensão do gerador, devemos fazer a ligação em paralelo, conforme mostra a figura 104.

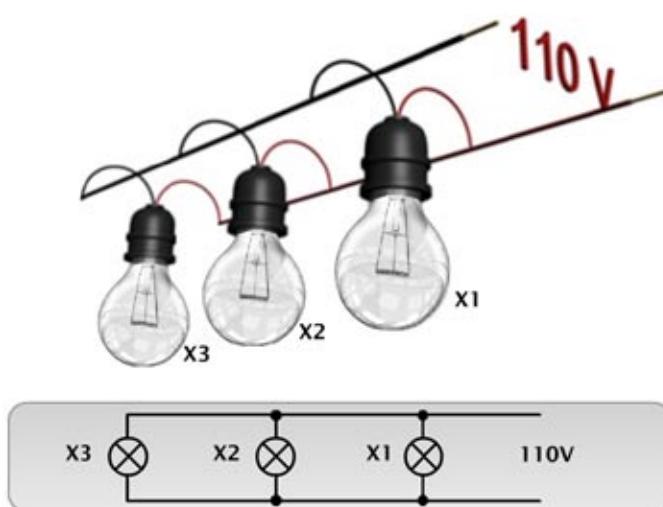


Figura 104 – Lâmpadas ligadas em série

Cada componente da associação deve ter um dos pólos indo ao positivo do gerador e o outro indo ao negativo, de modo que todos ficam sujeitos à mesma tensão. A corrente que vai circular por cada um, depende de suas necessidades de energia, ou seja, de sua resistência.

Usamos este tipo de ligação nas instalações domésticas ou mesmo numa instalação elétrica de carro e em muitos tipos de circuitos eletrônicos. Todas as tomadas e todas as lâmpadas são ligadas em paralelo.

Dessa forma, se na entrada do sistema aplicarmos 110 V, cada tomada e cada lâmpada terá um funcionamento independente, recebendo seus 110 V, conforme mostrou a figura 101.

Veja que, nessa lição, os dispositivos alimentados devem estar especificados para funcionar com a tensão igual à do gerador, e não menos.

#### 4.5.3 - Leis de Kirchhoff

O cálculo das correntes e tensões num circuito formado por resistores e geradores associados de forma complexa pode ser feito com base nas Leis de Kirchhoff. As duas Leis, que podem ser estudadas de forma mais profunda nos cursos de física do segundo grau, dizem que:

**Primeira Lei: (Lei dos nós)** A soma das correntes que chegam a um nó é igual a soma das correntes que saem do mesmo nó.

Se representarmos as correntes que chegam por valores positivos, e as que saem, por valores negativos, será o mesmo dizermos que a soma de todas as correntes num nó deve ser zero. Podemos escrever a seguinte fórmula para expressá-la:

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0 \quad (f.4.3)$$

Onde:  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  são as correntes no nó (em ampères)

Veja na figura 105 a representação dessa lei.

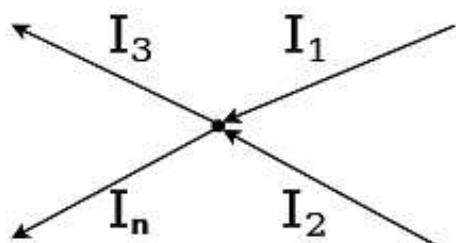


Figura 105 – Primeira Lei de Kirchhoff

Neste circuito  $U_1 + I_2 - I_3 - I_n = 0$

$I_1$  e  $I_2$  entram no circuito e são positivas.  $I_3$  e  $I_n$  saem sendo representadas por valores negativos.

**Segunda Lei:** Quando se percorre uma malha completa (circuito fechado), a soma de todas as forças eletromotrices e contra-eletromotrices e produtos  $R \times I$  encontrados, é zero.

Podemos escrever a seguinte fórmula para expressá-la:

$$E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = R_1.i_1 + R_2.i_2 + R_3.i_3 + \dots + R_n.i_n \quad (\text{f.4.4})$$

Onde:  $E_1, E_2, \dots, E_n$  são as forças eletromotrices em volts  
 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  são as resistências no circuito em ohms  
 $i, i_1, i_2, i_3, \dots$  são as correntes em ampères.

A figura 106 ilustra essa lei. Clique para ver.

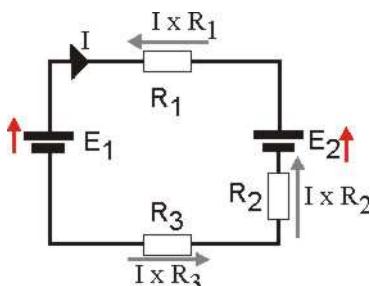


Figura 106 – Segunda lei de Kirchhoff

Neste exemplo temos:

$$E_1 - E_2 = R_1 \times i + R_2 \times i + R_3 \times i$$

Veja que o sentido da corrente de  $E_1$  é oposto ao de  $E_2$ , assim, convencionando uma corrente no sentido horário,  $E_2$  aparece negativo (subtraindo).

Os leitores que desejarem se aperfeiçoar no conhecimento das Leis de Kirchoff, podem encontrar um detalhamento maior, inclusive com problemas, nos livros de física do ensino médio.



Gustav Robert Kirchhoff  
(Königsberg, 12 de março de 1824 — Berlim, 17 de outubro de 1887)

#### Matemática

O domínio da matemática é importante para se poder trabalhar com a eletrônica, mas não totalmente necessário. É preciso, entretanto, ter os conhecimentos básicos das operações mais simples, como as quatro operações, trabalhar com frações e raízes e ter algum conhecimento de trigonometria. Este curso tem um conteúdo conceitual, trabalhando pouco com a matemática, mas os que pretendem ir além precisam pensar em algo mais.

Um curso de matemática básica, ou mesmo matemática para a eletrônica, será muito importante.

## Termos em Inglês

Nesta lição temos alguns termos que precisam ser focalizados com mais atenção, quando encontrados em documentação em inglês.

Já ressaltamos que em inglês fonte de alimentação é *power supply* e que um gerador é uma *power source* (fonte de energia). As pilhas e baterias são chamadas de *cells* e *batteries*. Vejamos alguns desses termos:

Cell – pilha ou célula de energia (numa bateria)

Battery – bateria

Acumulator – Acumulador

Rechargeable Cell – Pilha Recarregável

Dynamo – Dinamo

Alternator – Alternador

Kirchhoff's Laws – Leis de Kirchhoff

Series – série

Parallel - paralelo

### Sugestão para pesquisa:

- Reações químicas
- Fontes alternativas
- Células solares
- Usinas atômicas
- Fukushima
- Pilhas
- Alessandro Volta
- Acumulador chumbo ácido
- Reações iônicas
- Leis de Kirchhoff

## QUESTIONÁRIO

1. São geradores químicos de energia elétrica:

- a) As pilhas
- b) Os alternadores
- c) As células solares
- d) As usinas nucleares

2. As pilhas solares convertem eu tipo de energia em energia elétrica?

- a) Calor
- b) Luz
- c) Vento
- d) Energia mecânica

3. Segundo a primeira Lei de Kirchoff, a soma das correntes num determinado nó de um circuito é sempre:

- a) positiva
- b) negativa
- c) zero
- d) nada podemos afirmar

4. Numa instalação elétrica domiciliar, as tomadas de energia são todas ligadas de que forma?

- a) série
- b) paralelo
- c) algumas em série e outras em paralelo
- d) depende da tensão

5. Os fusíveis são ligados de que forma nos circuitos que devem proteger?

- a) em série
- b) em paralelo
- c) depende do circuito
- d) depende da tensão

6. Uma bateria de 10 Ah pode alimentar um circuito que exige 2 A por quanto tempo?

- a) 10 horas
- b) 20 horas
- c) 5 horas
- d) 2 horas





## » Capacitores

Mais alguns componentes importantes serão estudados nesta lição. Estudaremos os diversos tipos de capacitores que, depois dos resistores, são os mais comuns de todos os componentes. Analisaremos suas propriedades, e também um tipo de circuito importante que une um capacitor com um resistor. Nesta lição o leitor vai ter os seguintes itens:

- 5.1 - O que são capacitores
- 5.2 - Unidades de Capacitância
- 5.3 - Tipos de capacitores
- 5.4 - Códigos de Valores
- 5.5 - Associação de Capacitores
- 5.6 - Capacitores especiais
- 5.7 - Circuitos de tempo RC
- 5.8 - Blindagens
- 5.9 - Capacitâncias parasitas

### **5.1 - O que são capacitores**

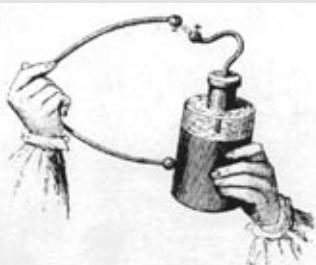
Os capacitores (que também são chamados, erroneamente, de condensadores pelos profissionais antigos) são componentes eletrônicos formados por conjuntos de placas de metal entre as quais existe um material isolante que define o seu tipo.

Assim, se o material isolante for a mica, teremos um capacitor de mica, se for uma espécie de plástico chamado poliéster, teremos um capacitor de poliéster. Se for a cerâmica, teremos um capacitor cerâmico e assim por diante. Existem muitos materiais que podem ser usados para fabricar capacitores.

Duas placas, tendo um material isolante entre elas (chamado genericamente dielétrico), manifestam a propriedade de armazenar cargas elétricas e com isso também energia elétrica. Na figura 107 poderemos observar um capacitor em que o dielétrico é uma chapa de vidro e as placas, chamadas armaduras, são placas de metal planas.

**Condensador**

O nome “condensador” surgiu dos seus inventores, os criadores da Garrafa de Leyden, quecreditavam que a eletricidade podia ser “condensada” e, com isso, armazenada. Até hoje em alguns meios técnicos, principalmente os mais antigos ligados à eletrotécnica e eletricidade de automóveis, o nome “condensador” para o componente é usado.



Descarregando uma garrafa de Leyden. Uma faísca ocorre no processo

Dizemos que se trata de um “capacitor plano”. Nessa mesma figura temos o símbolo adotado para representar um capacitor.



Figura 107 – Um capacitor de vidro

Quando encostamos uma placa na outra, ou oferecemos um percurso para que as cargas se neutralizem, interligando as armaduras através de um fio, o capacitor se descarrega. Na figura 108 pode-se observar o processo de descarga de um capacitor.

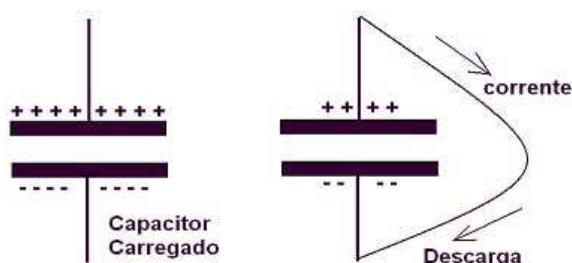


Figura 108 – Descarga de um capacitor

Observe que as cargas ficam armazenadas no capacitor por uma atração eletrostática que ocorre através do seu dielétrico. Assim, entre as armaduras de um capacitor manifesta-se uma tensão elétrica, e entre elas existe um campo elétrico uniforme, no caso do capacitor plano. Também é importante observar que num capacitor carregado sempre temos a mesma quantidade de cargas nas armaduras positiva e negativa.

A capacidade de armazenamento de um capacitor define o que denominamos “capacitância” de um capacitor. Ela depende de três fatores: tamanho das armaduras, material do dielétrico e espessura do dielétrico.

A capacitância ou capacidade de armazenamento do capacitor será tanto maior quanto maiores forem as armaduras, mais fino for o dielétrico e maior for a constante dielétrica do material como dielétrico.

### 5.1.1- Eletretos

Existe um tipo de material que se comporta como um capacitor natural, sem a necessidade de armaduras. Nesse material, formam-se dipolos elétricos que se orientam de tal forma que de um lado desse

material se encontram cargas positivas e do outro as cargas negativas. Podemos dizer que se trata de um “capacitor natural”, conforme mostra a figura 109.

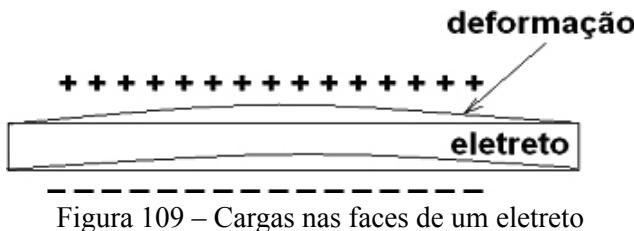


Figura 109 – Cargas nas faces de um eletreto

Os eletretos, conforme veremos mais adiante neste curso, servem para a fabricação de alguns componentes eletrônicos importantes.

## 5.2 - Unidades de Capacitância

A capacidade de um capacitor de armazenar cargas, melhor chamada de capacitância, é medida em Farads (F), mas como se trata de uma unidade muito grande, é comum o uso de seus submúltiplos.

Temos então o microfarad ( $\mu\text{F}$ ), que equivale à milionésima parte do Farad ou 0,000 001 F. Em capacitores muito antigos encontramos o microfarad abreviado como mfd. Um submúltiplo ainda menor é o nanofarad, que equivale a 0,000 000 001 F ou a milésima parte do microfarad e é abreviado por nF.

Finalmente temos o picofarad (pF) que é a milésima parte do nanofarad ou 0,000 000 000 001 F.

Em capacitores muito antigos podemos encontrar o picofarad expresso como mmfd ou micro-microfarad e ainda  $\mu\mu\text{F}$ .

É comum a utilização de potências de 10 para expressar números com muitos zeros. Assim temos as indicações da tabela que demos na lição que trata de resistores.

Veja então que 1 nF equivale a 1 000 pF e que 1  $\mu\text{F}$  equivale a 1000 nF ou 1 000 000 pF.

### Atenção:

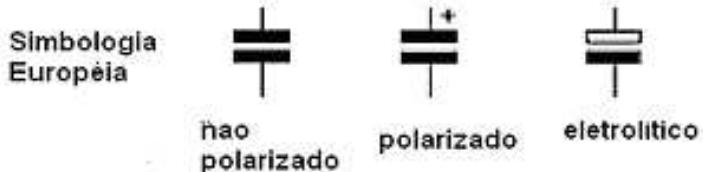
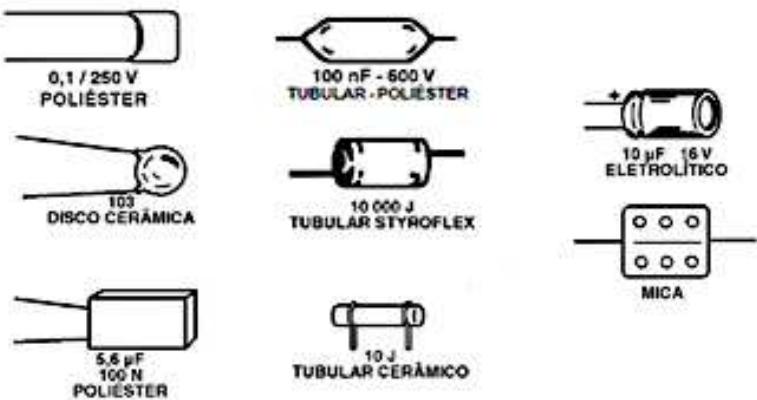
Devemos ter muito cuidado para não confundir o mfd de um capacitor antigo que significa microfarad com mF que num capacitor moderno significará milésimos de farad ou milifarad. Se bem que este submúltiplo do farad raramente seja usado, devemos estar atentos.

### Confusão:

A maneira como os valores de certos componentes são marcados é causa de grandes confusões no meio técnico. Assim, não raro aparelhos deixam de funcionar porque um montador ou reparador confundiu um capacitor de um valor com outro, fazendo a troca. O profissional deve estar muito atento a isso e, principalmente os que estão aprendendo.

## 5.3 - Tipos de Capacitores

Existem muitos tipos de capacitores, usados nas mais diversas aplicações eletrônicas, conforme o leitor poderá ver na figura 110.



A placa curvada indica que ela é externa (terra)



Figura 110 – Tipos, símbolos e aspectos

Os capacitores tubulares, que são formados por folhas de condutores e dielétricos enrolados, são usados em circuitos de baixas e médias frequências, enquanto que os que possuem armaduras e dielétricos planos são usados em circuitos de altas frequências. O porquê será visto em lições futuras.

Observe que os nomes dados aos capacitores dependem justamente do material que é usado como dielétrico ou eventualmente da tecnologia empregada, como ocorre no caso dos chamados eletrolíticos.

Um capacitor eletrolítico de alumínio ou simplesmente eletrolítico tem a estrutura básica mostrada na figura 111.

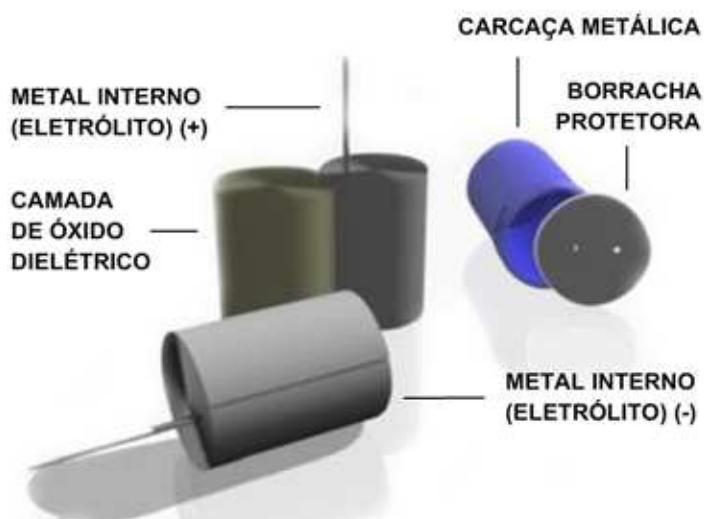


Figura 111 – Um capacitor eletrolítico de alumínio

Uma de suas armaduras é de alumínio que, em contacto com uma substância quimicamente ativa, se oxida formando uma finíssima camada de isolante que vai ser o dielétrico. Desta forma, como a capacidade é tanto maior quanto mais fino for o dielétrico, podemos obter capacidades muito grandes com um componente relativamente pequeno.

É preciso observar que os capacitores eletrolíticos são componentes polarizados, ou seja, a armadura positiva deve ser sempre a mesma. Se houver uma inversão, tentando-se carregar a armadura positiva com cargas negativas, o dielétrico será destruído e o capacitor inutilizado.

Observando um capacitor deste tipo, vemos que sempre existe uma marcação de polaridade (positivo ou negativo) ou algum meio de se fazer essa identificação.

Na família dos capacitores eletrolíticos temos um tipo especial que emprega uma substância que permite obter capacidades ainda maiores que as obtidas pelo óxido de alumínio. Trata-se do óxido de tântalo, o que nos leva aos capacitores de tântalo, mostrados na figura 112.

**Iguais, só que diferentes:**

Se bem que todos os capacitores tenham o mesmo princípio de funcionamento, a maneira como são construídos e o material usado no dielétrico fazem com que eles tenham comportamentos diferentes nos circuitos. Assim, será importante que, sempre seja usado num projeto, numa reparação ou outro caso, um capacitor do mesmo tipo que o original ou apropriado para a aplicação. Um capacitor de poliéster, por exemplo, não deve ser usado num circuito de alta frequência.



Figura 112 – A esquerda os tipos comuns e à direita os tipos SMD

Estes capacitores podem ser encontrados na faixa de  $0,1 \mu\text{F}$  até mais de  $100\,000 \mu\text{F}$ .

### 5.3.1 – Super e Hiper Capacitores

A unidade usada para medir a capacidade de um capacitor, o farad (F) é muito grande, assim os capacitores que encontramos nas aplicações práticas têm capacidades sempre de frações de farads (microfarads, nanofarads e picofarads).

Segundo pode-se calcular, um capacitor que use as tecnologias comuns, para ter uma capacidade de 1 farad deveria ser do tamanho da terra.

No entanto, a tecnologia de fabricação de capacitores com dielétricos cada vez mais finos está possibilitando a fabricação de capacitores pequenos com capacidades gigantescas: são os chamados supercapacitores e hipercapacitores, conforme mostra a figura 113.



Figura 113 – Um supercapacitor de  $900 \text{ F}$ .

A carga de tais capacitores representa uma quantidade de energia tão grande que eles podem ser usados como fonte de energia, substituindo pilhas em algumas aplicações.

### 5.3.2 – Energia Armazenada

As cargas armazenadas num capacitor representam energia. Assim, um capacitor armazena energia elétrica. Essa energia não está propriamente nas cargas, mas sim no campo elétrico que se manifesta

entre as armaduras. Se pegarmos um capacitor carregado e ligarmos através de um fio seus terminais (armaduras), veremos que ocorre a descarga com uma corrente de muito curta duração e uma faísca, mostrando o envolvimento no processo de uma certa quantidade de energia, conforme mostra a figura 114.

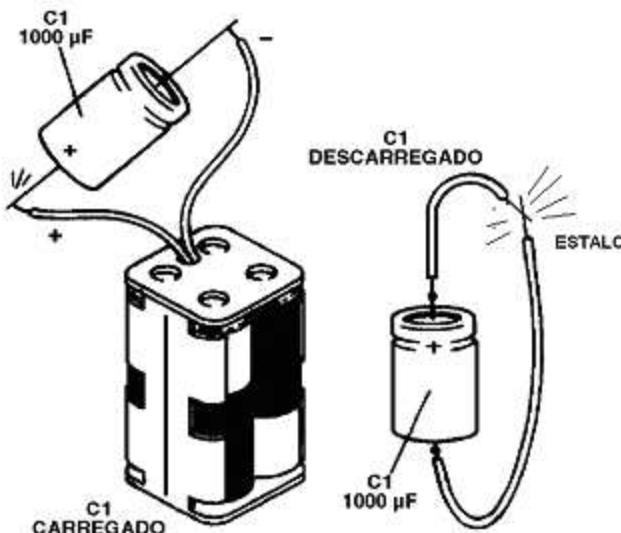


Figura 114 – Carga e descarga de um capacitor

No entanto, a quantidade de energia que um capacitor comum pode armazenar é muito pequena. Mesmo um capacitor de 1 000  $\mu\text{F}$  ligado a uma pequena lâmpada ou LED, não os mantém acesos por mais do que alguns segundos.

A energia armazenada num capacitor é medida em Joules (J). Podemos calcular esta energia através da fórmula:

$$E = \frac{1}{2} \times C \times V^2$$

Onde:

E é energia armazenada em Joules (J)

C é a capacidade em Farads (F)

V é a tensão em volts (V)

Veja que a energia é proporcional ao quadrado da tensão, assim se dobrarmos a tensão, a capacidade de armazenamento de um capacitor ficará quadruplicada.

Na prática, uma das aplicações para os capacitores de valores elevados (eletrolíticos) é justamente como reservatório de energia. Eles compensam as variações de consumo num circuito, descarregando-se quando o circuito exige mais corrente e carregando-se para formar uma reserva, quando o consumo é menor. Estudaremos isso no Curso de Eletrônica Analógica.

### Choques e retenção de cargas

Os capacitores podem reter suas cargas por um tempo. Esse tempo depende da qualidade do dielétrico. Se o dielétrico tiver fugas (resistência baixa), as cargas podem se neutralizar através dele e o capacitor descarrega-se rapidamente. O ambiente úmido também favorece a descarga. No entanto, um capacitor que se carregue com alta tensão poderá manter essa carga por horas ou mesmo dias. Assim, nos circuitos de alta tensão, é um cuidado importante, não tocar em capacitores, mesmo estando o aparelho desligado, pois ele pode causar choques. Procedimentos para a descarga antes de se trabalhar no aparelho são indicados.

## 5.4 - Códigos de Valores

Alguns tipos de capacitores são muito pequenos, o que dificulta a marcação direta de seus valores e outras características importantes, como a tensão de trabalho e a tolerância.

A tensão de trabalho nos diz qual é a máxima tensão com que um capacitor pode ser carregado sem que ocorra um faiscamento entre as armaduras, rompendo o dielétrico e estragando-o. Essa tensão pode variar entre alguns volts até milhares de volts, dependendo do tipo.

A tolerância nos diz qual é a diferença que podemos encontrar entre o valor real do capacitor e o valor marcado, sem que isso signifique que ele tenha problemas. Assim, para alguns tipos de capacitores também existem códigos especiais para especificação de valores.

Os capacitores cerâmicos de disco, conforme pode ser visto na figura 115, por exemplo, possuem dois tipos de códigos de especificações que não devem ser confundidos.

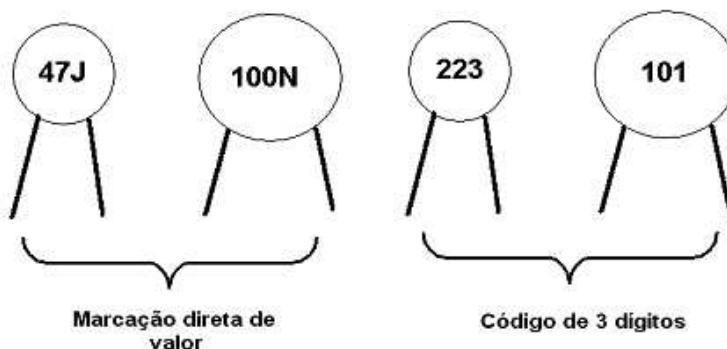


Figura 115 = Dois tipos de códigos para capacitores cerâmicos

### Séries de Valores

Da mesma forma como estudamos no caso dos resistores, em função da tolerância os capacitores são fabricados com valores padronizados dados pelas tabelas indicadas como E6 e E12. Para os tipos comuns, como os eletrolíticos, a série mais usada é a E6. Assim, não encontramos mais os capacitores de 50 uF (como antigamente), mas sim de 47 uF que é o valor determinado pela série.

Para os pequenos valores, temos a especificação direta em pico-farads (pF), onde existe uma última letra maiúscula que indica a sua tolerância, ou seja, a variação que pode haver entre o valor real e o valor indicado.

Essas letras, com seus significados são:

$$F = 1\%$$

$$J = 5\%$$

$$M = 20\%$$

$$H = 2,5\%$$

$$K = 10\%$$

Observe que o "K" é maiúsculo, nesse caso, não deve ser confundido com o "k" minúsculo, que indica quilo ou x 1 000.

Assim, 47J significa 47 pF com 5% de tolerância e 47k significa 47 000 pF ou 47 nF!

Para os valores acima de 100 pF, o mais comum é o código de 3 dígitos, conforme o leitor observou na própria figura 115.

Nesse código, multiplicamos os dois primeiros algarismos pelo fator dado pelo terceiro. Por exemplo, se tivermos um capacitor com a indicação 104: Temos que acrescentar 4 zeros ao 10 obtendo 10 0000 pF ou então 10 por 10 000 = 100 000 pF, o que é a mesma coisa. Convertendo para nF temos 100 nF ou ainda 0,1 µF. Assim, 104, que resulta em 100 000 pF, é o mesmo que 100 nF, ou 0,1 µF.

Para os capacitores cerâmicos temos também a marcação direta, conforme mostra a figura 116 em que os valores são dados em microfarads (µF).



Figura 116 – marcação direta de valores –  
0,1 µF ou 100 nF e .47 µF ou 470 nF

Para obter o equivalente em nanofarads, basta multiplicar por 1 000: assim 0,1 µF equivale a 100 nF. Para os pequenos capacitores do tipo SMD, o código é o mesmo usado no caso dos resistores: 3 dígitos. Na figura 117 temos exemplos desses capacitores.



Figura 117 – capacitores SMD

Em alguns casos, o leitor pode ficar confuso se um código de tolerância for acrescentado a essa marcação. Por exemplo, um capacitor com a marcação 223J é um capacitor de 22 nF (22 + 000 pF) com +/- 5% de tolerância. A tabela com o código de tolerâncias é dada a seguir.

Tabela:

<b>Letra</b>	<b>Tolerância</b>
B	+/- 0.10%
C	+/- 0.25%
D	+/- 0.5%
E	+/- 0.5%
F	+/- 1%
G	+/- 2%
H	+/- 3%
J	+/- 5%
K	+/- 10%
M	+/- 20%
N	+/- 0.05%
P	+100%, -0%
Z	+80%, -20%

Um código que causa alguma confusão, é o formato por letra – número - letra, como Z5U. Um capacitor com a marcação 103 Z5U é um capacitor de 10 000 pF ou 10 nF indicado para temperaturas na faixa de -10° C a +85° C e uma tolerância de +22% e -56%. A tabela abaixo mostra como ler esse código adicional.

### Código do Dielétrico

Primeiro símbolo (letra)	Limite inferior de temperatura	Segundo símbolo (numero)	Limite superior de temperatura	Terceiro Símbolo (letra)	Variação máxima de capacidade na faixa de temperaturas
Z	+10° C	2	+45° C	A	+1.0%
Y	-30° C	4	+65° C	B	+/- 1.5%
X	-55° C	5	+85° C	C	+/- 2.2%
		6	+105° C	D	+/- 3.3%
		7	+125° C	E	+/- 4.7%
				F	+/- 7.5%
				P	+/- 10.0%
				R	+/- 15.0%
				S	+/- 22.0%
				T	+22%, -33%
				U	+22%, -56%
				V	+22%, -82%

Capacitores antigos como da série “zebrinha”, que ainda podem ser encontrados em equipamentos mais antigos, usam um código de faixas coloridas. Nesses capacitores a leitura é feita como no caso de resistores, sendo a quarta faixa a tensão de trabalho e a última faixa a tolerância onde: marrom significa 1% e vermelho 2%, preto 20% e

branco 10%. Existem ainda outros padrões que podem eventualmente ser usados na marcação de capacitores. O primeiro é o padrão EIA que facilmente é identificado por começa com a letra R. Um exemplo é dado a seguir:

### **R DM 15 F 271(R) J 5 O (C)**

Esse código significa o seguinte:

R	Indica que é o código EIA
DM	Indica um invólucro dipped case, CM indicaria um invólucro moldado
15	Tamanho do invólucro
F	Característica conforme tabela dada a seguir
271R	O R é a vírgula decimal quando usado (nem sempre) – os dois primeiros dígitos formam a mantissa da capacitância e o terceiro o multiplicador. O capacitor é de 270pF.
J	É a tolerância, conforme a tabela que já demos. No caso J significa 5%.
5	Á tensão DC de trabalho em centenas de volts (EIA somente) No caso 500V
O	É a faixa de temperaturas, da tabela correspondente já dada
C	Diz como são os terminais. Crimpados nesse caso. Um S indica que são diretos.

A seguir temos um exemplo de código militar:

### **CM 15 B D 152 K N 3**

CM	DM é um invólucro dipped e CM seria moldado
15	É o código de tamanhos
B	Trata-se do desvio de capacitância com a temperatura
D	Tensão segundo código dado mais adiante na tabela
152	Indica que a capacitância é 1 500pF
K	Tolerância: 10%, conforme tabela
N	Faixa de temperaturas – conforme tabela
3	Grau de vibração 3 – 20G de 10 a 2,000 Hz por 12 horas (1 é 10G de 10 a 55 Hz por 4.5 horas)

**Tabela de Características**

EIA ou MIL Código de Ca- racterística	Máximo desvio de ca- pitância	Coeficiente para a faixa de temperaturas máxima
B	Não especificado	Não especificado
C	+/- (0.5% + 0.1pF)	+/- 200 ppm/fC
D	+/- (0.3% + 0.1pF)	+/- 100 ppm/fC
E	+/- (0.1% + 0.1pF)	-20 to +100 ppm/fC
F	+/- (0.05% + 0.1pF)	0 to +70 ppm/fC

**Faixa de Temperaturas**

M	-55 to 70 fC
N	-55 to 85 fC
O	-55 to 125 fC
P	-55 to 150 fC

**Código Militar de Tensões (V)**

A	100
B	250
C	300
D	500
E	600
F	1 000
G	1 200
H	1 500
J	2 000
K	2 500
L	3 000
M	4 000
N	5 000
P	6 000
Q	8 000
R	10 000
S	12 000
T	15 000
U	20 000
V	25 000
W	30 000
X	35 000

No entanto, temos um problema interessante a ser considerado: um resistor e um capacitor SMD têm exatamente a mesma aparência

e usam o mesmo tipo de código. Só podemos saber se temos um capacitor ou um resistor, consultando o esquema do aparelho onde ele está ou fazendo sua medida, ou ainda se formos informados de que componente se trata.

### 5.4.1 – Capacitores SMD

Os códigos básicos dos capacitores SMD (para montagem em superfície) são formados normalmente por duas letras em um dígito. A primeira letra representa o fabricante, enquanto a segunda letra representa a mantissa do valor da capacitância. O terceiro símbolo, que é um dígito, representa o multiplicador ou expoente em picofarads (pF). Por exemplo, KJ2 é um capacitor de um fabricante desconhecido “K”, que tem  $2,2 \text{ (J)} \times 100 = 220 \text{ pF}$ .

A tabela abaixo fornece a relação de mantissas para os valores mais comuns:

Letra	Mantissa	Letra	Mantissa	Letra	Mantissa	Letra	Mantissa
A	1.0	J	2.2	S	4.7	a	2.5
B	1.1	K	2.4	T	5.1	b	3.5
C	1.2	L	2.7	U	5.6	d	4.0
D	1.3	M	3.0	V	6.2	e	4.5
E	1.5	N	3.3	W	6.8	f	5.0
F	1.6	P	3.6	X	7.5	m	6.0
G	1.8	Q	3.9	Y	8.2	n	7.0
H	2.0	R	4.3	Z	9.1	t	8.0
						y	9.0

Os capacitores eletrolíticos SMD também possuem um código especial de marcação de valores que é dado a seguir:

Esses capacitores, apesar de suas reduzidas dimensões, através de código, têm marcada tanto a capacitância como a tensão de trabalho. Como exemplo, podemos ter 22 6V que consiste num capacitor de  $22 \mu\text{F} \times 6 \text{ V}$ .

No entanto, também pode ser usado um código especial formado de uma letra e 3 dígitos. A letra indica a tensão de trabalho e os três dígitos consistem no valor, sendo os dois primeiros dígitos o valor e o terceiro o multiplicador. O valor obtido é dado em pF. A faixa indica o terminal positivo.

A próxima tabela dá os valores de tensão para a letra:

**Aparência**

Temos um problema interessante a ser considerado: um resistor e um capacitor SMD têm exatamente a mesma aparência e usam o mesmo tipo de código. Só podemos saber se temos um capacitor ou um resistor consultando o esquema do aparelho onde ele está ou fazendo sua medida, ou ainda se formos informados de que componente se trata.

Letra	Tensão
E	2.5
G	4
J	6.3
A	10
C	16
D	20
E	25
V	35
H	50

Exemplo: C225 significa um capacitor de  $2,2 \mu\text{F} \times 16 \text{ V}$  já que:  
 $225 = 22 \times 10^5 \text{ pF} = 2,2 \times 10^6 \text{ pF} = 2,2 \mu\text{F}$

**5.4.2 - Códigos Muito Antigos**

Em aparelhos muito antigos, que usam capacitores de mica e cerâmica, podemos encontrar marcações que utilizam códigos de cores, na forma de pontos pintados no corpo do próprio componente. A figura 118 mostra alguns desses capacitores.

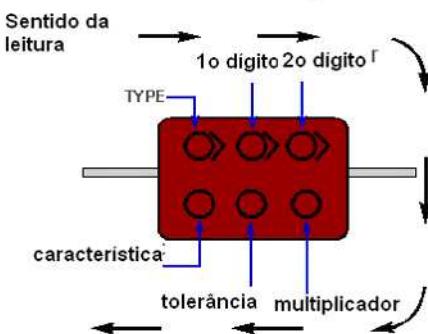


Figura 118 – Neste tipo de capacitor, os valores são em picofarads

A seta indica o sentido da leitura e a sequência das cores dos pontos é feita da maneira indicada na figura.

Um outro tipo de capacitor raro é o pin-up, que tem a codificação mostrada na figura 119.

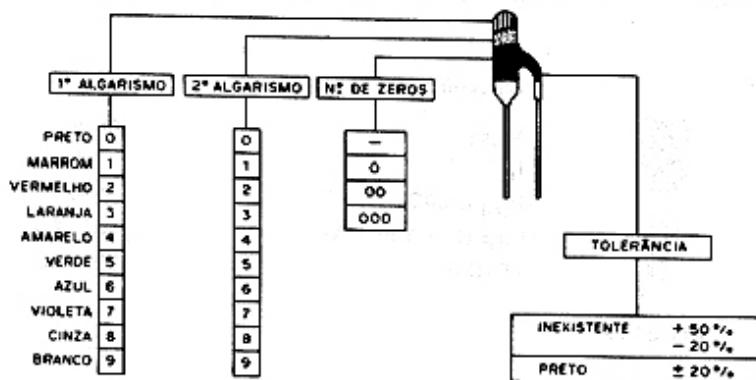


Figura 119 – Capacitor pin-up

Na figura 120 temos também um outro tipo de capacitor de poliéster que pode ser encontrado em aparelhos antigos com o seu código de leitura. Estes são os capacitores denominados “zebrinha”;

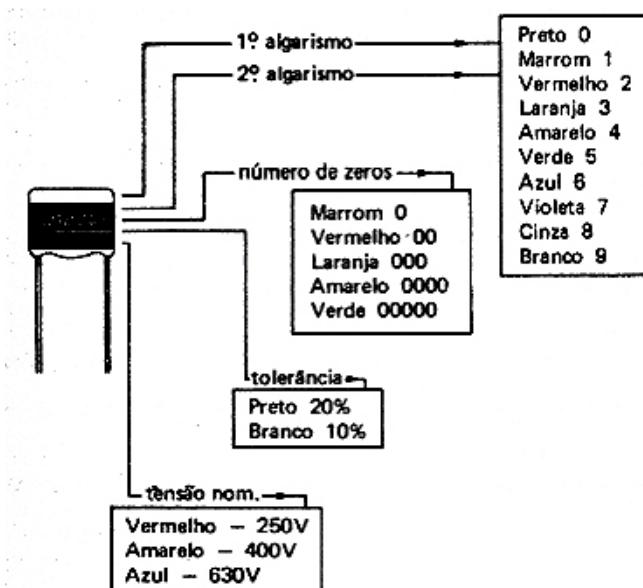


Figura 120 – Capacitores “zebrinha” e seu código.

## 5.5 - Associação de Capacitores

Da mesma forma que no caso dos resistores, podemos interligar os capacitores de várias maneiras para combinar os efeitos. Analisemos o que ocorre nos dois casos principais.

### 5.5.1 - Capacitores em Paralelo

Na figura 121 temos o modo de associar capacitores em paralelo. Observe a semelhança com a associação de resistores que estudamos na lição passada. Um capacitor está ao lado do outro, com seus terminais ligados a um mesmo ponto.

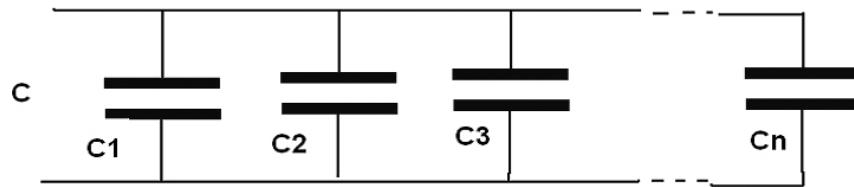


Figura 121 – Capacitores em paralelo

A capacitância equivalente apresentada por uma associação desse tipo é dada pela soma das capacitâncias dos capacitores associados, ou escrevendo isso através de uma fórmula:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (f5.1)$$

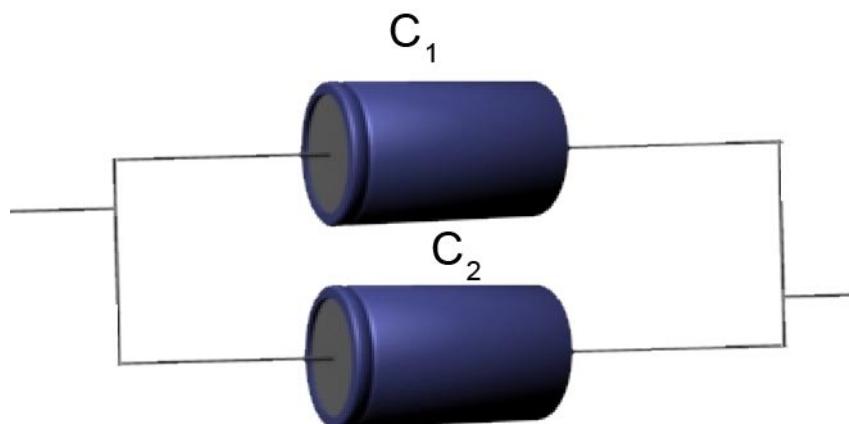
Onde:

$C$  é a capacitância equivalente

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  são as capacitâncias associadas

As unidades usadas devem ser sempre as mesmas. Por exemplo, se as capacitâncias associadas forem expressas em nanofarads, a capacitância equivalente será encontrada em nanofarads também.

Na figura 122,  $C_1$  e  $C_2$  estão ligados em paralelo.



$$C = C_1 + C_2$$

Figura 122 – Dois capacitores eletrolíticos em paralelo

#### Menor que a menor

Veja que a terceira propriedade é muito importante em alguns casos especiais. Por exemplo, se ligarmos em série um capacitor de 1 000  $\mu\text{F}$ , um de 100  $\mu\text{F}$  e um 10  $\mu\text{F}$ , mesmo sem calcular, podemos afirmar, com certeza, que o resultado será uma capacitância menor do que 10  $\mu\text{F}$ .

Propriedades da Associação Paralelo de Capacitores:

- Todos os capacitores ficam submetidos à mesma tensão
- O maior capacitor se carrega com a maior carga
- A capacitância equivalente é maior do que o maior capacitor associado

### 5.5.2 - Capacitores em série

Na figura 123 temos o modo de associar capacitores em série. Observe que neste caso, também temos semelhança com a associação de resistores.

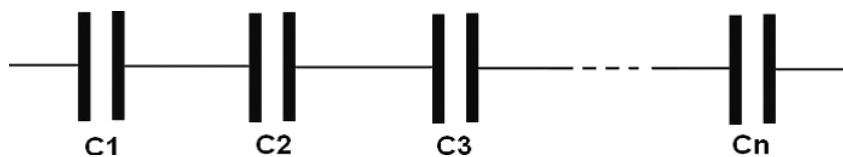


Figura 123 – Associação de capacitores em série

A capacidade equivalente a uma associação desse tipo é dada pela seguinte fórmula:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n \quad (f5.2)$$

Onde:

$C$  é a capacidade equivalente

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  são as capacidades associadas

Nesse caso também devemos manter a uniformidade das unidades usadas que devem ser as mesmas.

Propriedades da associação série de capacitores:

- Todos os capacitores ficam carregados com a mesma carga
- O menor capacitor fica sujeito à maior tensão
- A capacidade equivalente é menor do que a capacidade do menor capacitor associado

Na prática, podemos encontrar capacitores associados em alguns pontos dos aparelhos eletrônicos, mas isso é raro. Saber que podemos associar capacitores para obter maior ou menor capacidade, ou ainda um valor diferente, é importante quando não temos um capacitor do valor desejado e ligamos dois ou mais de certa forma, para obter este valor desejado.

No trabalho de manutenção o profissional, diante de um equipamento inoperante, pode improvisar um capacitor de valor que ele não possui, associando outros de valores tais que resultem na capacidade desejada.

Outro ponto importante a ser considerado é que, nas placas de qualquer equipamento eletrônico, encontramos capacitores de todos os tipos estudados, de acordo com sua função e valor.

Assim, nas fontes e alguns circuitos de alta potência se destacam os eletrolíticos de valores elevados e nas placas mãe de computadores, aparelhos de medida e de controle, podemos encontrar os tipos de tantalum, cerâmicos e poliéster em predominância.

#### Capacitores queimados

Na verdade, um capacitor não queima, ele se torna inoperante por dois motivos. Um deles é quando ele “abre”, ou seja, deixa de apresentar capacidade, mas ainda suas armaduras se mantêm isoladas. Outro caso ocorre, quando ele entra em curto, ou seja, seu dielétrico deixa de ser isolante e uma resistência muito baixa se manifesta entre as armaduras.

Um caso intermediário ocorre quando o capacitor apresenta fugas, ou seja, o dielétrico que deveria ser um isolante perfeito passa a conduzir alguma corrente, apresentando uma certa resistência.

Um caso comum nos capacitores eletrolíticos ocorre quando, por um dano qualquer, o eletrólito em seu interior vaporiza fazendo pressão, o que causa um estufamento do componente. Em outros casos, ocorre vazamento. Pela simples observação, podemos perceber que este capacitor está com problemas.



Capacitores estufados e com vazamentos

## 5.6 - Capacitores Variáveis e Ajustáveis

Como no caso dos resistores, também encontramos capacitores cuja capacidade pode ser modificada através de algum tipo de elemento de atuação. Esses capacitores são denominados variáveis ou ajustáveis.

Os capacitores variáveis são aqueles em que, através de um sistema de atuação mecânica, podemos modificar sua capacidade a qualquer momento por um botão, por exemplo. Um exemplo de capacitor variável é o que encontramos em rádios comuns (não digitais) onde a mudança de estações é feita girando-se um botão.

Os capacitores ajustáveis são aqueles que ficam no interior do equipamento e cuja capacidade é ajustada através de uma chave de fendas comum ou especial. Um exemplo de capacitor ajustável é o trimmer.

Os trimmers são capacitores de ajuste com valores pequenos, normalmente de alguns picofarads. São especificados pela faixa de valores que podem adquirir. Um trimmer de 2-20 pF é um trimmer que pode ter sua capacidade ajustada entre estes dois valores.

Veja figura 124 para os tipos de capacitores, juntamente com seus símbolos.

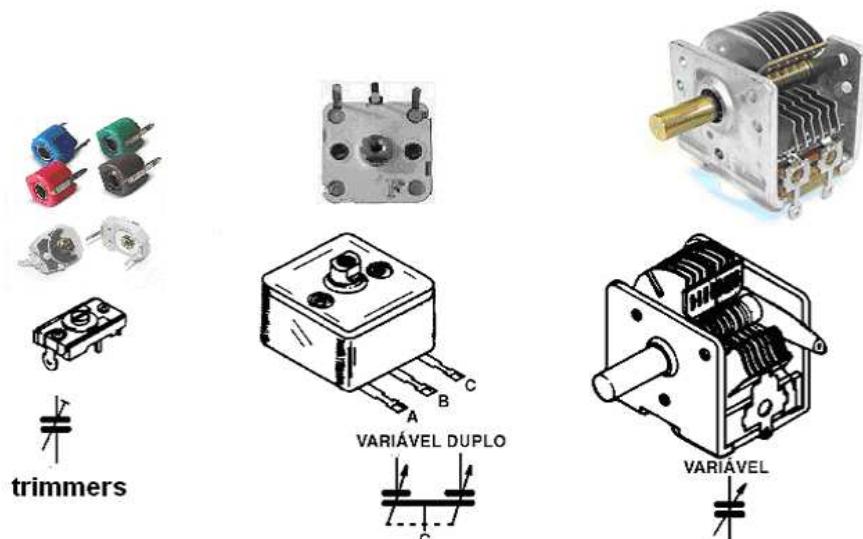


Figura 124 – Capacitores variáveis e trimmers

Observe que alguns tipos de capacitores possuem diversas seções como, por exemplo, os encontrados em muitos rádios AM/FM de baixo custo, do tipo com sintonia feita por botão.

### 5.6.1 - Capacitores de Estado Sólido

Conforme o leitor vai aprender no Curso de Eletrônica Analógica, existem componentes especiais feitos de materiais semicondutores que se comportam como capacitores. Dizemos que se trata de capaci-

tores de estado sólido ou varicaps e eles são usados nos circuitos de sintonia de muitos aparelhos modernos. Na figura 125 temos o símbolo adotado para representar estes capacitores.

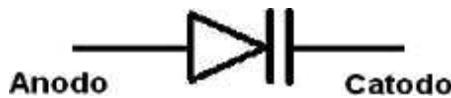


Figura 125 – Símbolo do varicap

## 5.7 - Circuitos de Tempo RC

Quando ligamos um capacitor em série com um resistor, temos uma das configurações básicas mais importantes da eletrônica: o circuito de tempo RC (onde R representa o resistor e C o capacitor).

Se ligarmos esse circuito a um gerador ( $V_e$ ), conforme mostra a figura 126, e acionarmos o interruptor S1, o capacitor não se carrega de imediato, mas numa velocidade que depende de quanta corrente o resistor deixa passar, ou seja, que depende de seu valor.

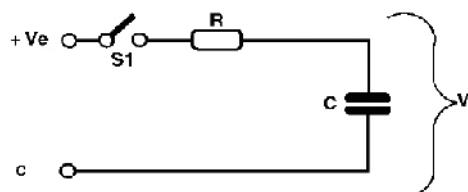


Figura 126 – Circuito RC série.

Assim, se fizermos um gráfico que representa a carga do capacitor, teremos uma curva conforme pode ser observado na figura 127.

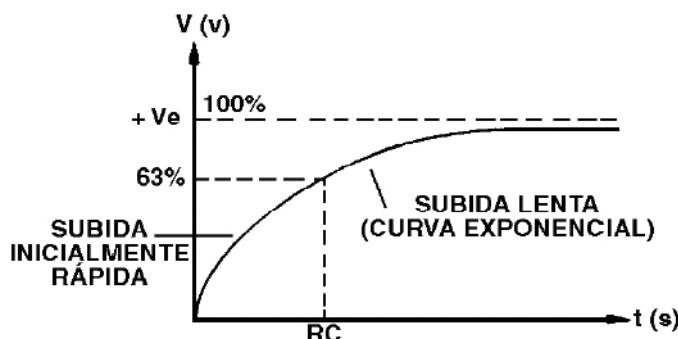


Figura 127 – Curva de carga do capacitor

Observe que o capacitor, inicialmente carrega-se rapidamente, pois como está descarregado, a tensão entre suas armaduras é nula e assim pode fluir a corrente máxima que é determinada apenas pelo valor do resistor.

No entanto, à medida que o capacitor se carrega, e a tensão entre suas armaduras aumenta, diminui a corrente pelo resistor e a carga vai se tornando mais lenta. A curva tem tal forma que teoricamente o capacitor nunca se carrega totalmente, ou seja, a curva tangencia o valor máximo da carga no infinito.

No entanto, podemos estabelecer um ponto muito importante dessa curva: o ponto em que a carga se torna 63,2% do máximo, mostrado na figura 127.

Esse ponto determina a constante de tempo do circuito, ou seja, pode ser calculado simplesmente multiplicando-se o valor de R pelo valor de C, conforme a seguinte fórmula:

$$\tau = R \cdot C$$

Onde:

$\tau$  é a constante de tempo em segundos (s)

R é a resistência em ohms ( $\Omega$ )

C é a capacidade em farads (F)

Veja que, se depois de carregado um capacitor, o descarregarmos através do circuito que pode ser visto na figura 128, também temos uma curva de descarga semelhante.

### Temporizadores ou Timers

Uma categoria importante de circuitos são os temporizadores, ou seja, circuitos que através de algum recurso geram retardos, tempos de acionamento ou desligamento, fazem sincronismo de dispositivos, etc. Estes circuitos, em sua maioria usam redes RC para determinar os tempos desejados.

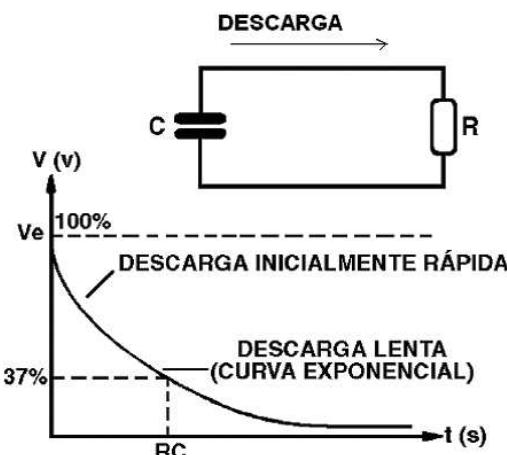


Figura 128- Curva de descarga de um capacitor através de um resistor

Nessa curva, o ponto que determina a constante de tempo, é dado pelo instante em que a carga do capacitor se reduz a 37,8% da carga total, e vale a mesma fórmula.

### 5.8 - Blindagens

Dois problemas importantes podem ocorrer em alguns equipamentos: irradiação de interferências e ruídos, recepção de interferências e ruídos. As interferências e ruídos entram e saem dos equipamentos de duas formas: pelos cabos que fazem as conexões a esses equipamentos ou pelo espaço, na forma de campos, conforme mostra a figura 129.

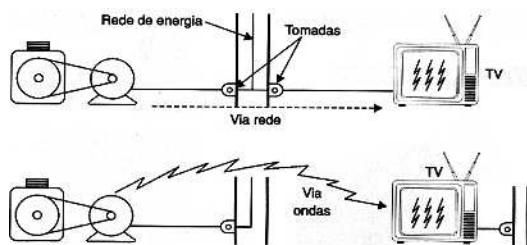
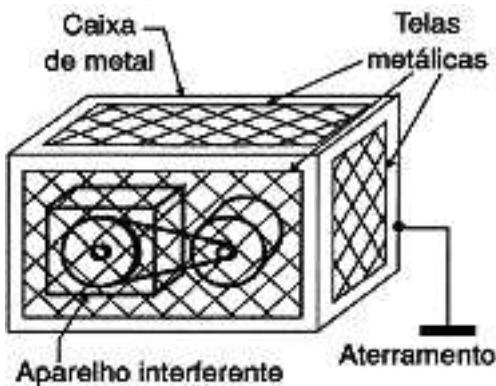


Figura 129 – As interferências e ruídos gerados por um motor chegam ao televisor pelo cabo ou pelo espaço

Para evitar que interferências e ruídos sejam irradiados ou recebidos pelos circuitos são usadas blindagens. Basicamente temos dois tipos de blindagens a serem estudadas:

### a) Eletrostática

A blindagem eletrostática mais conhecida é a que se baseia no princípio da gaiola de Faraday. Se envolvermos um corpo por uma gaiola ou blindagem metálica, conforme mostra a figura 130, o campo elétrico no seu interior será nulo, ou seja, não há penetração das linhas de força desse campo.



Michael Faraday  
(1791 – 1867)

Figura 130 – Exemplo de blindagem eletrostática para um motor que irradia interferência

No caso dos circuitos eletrônicos, para que a gaiola funcione, evitando que interferências e ruídos cheguem aos pontos sensíveis, deve haver um aterrimento. As blindagens de componentes sensíveis, fios e cabos, se baseiam nesse princípio e é fundamental que as malhas ou as blindagens sejam aterradas, para que operem satisfatoriamente.

### b) Magnética

Existem componentes que, conforme veremos oportunamente, produzem fortes campos magnéticos quando funcionam. Além dos motores, solenóides e outros que estudaremos ainda, podemos citar os transformadores. Os campos magnéticos desses componentes podem causar problemas de funcionamento em circuitos sensíveis.

A blindagem magnética pode ser feita com determinados materiais, como o cobre e o alumínio, que possuem propriedades diamagnéticas, ou seja, em lugar de concentrar as linhas de força do campo magnético, as dispersam.

Assim, a blindagem desses componentes magnéticos ou de circuitos que sejam sensíveis aos campos magnéticos pode ser feita com esses materiais.

### 5.9 - Capacitâncias Parasitas

Dois condutores quaisquer, separados por um material isolante, formam um capacitor e, por isso, apresentam uma série de propriedades que caracterizam esses componentes. Isso significa que não é preciso termos realmente uma estrutura montada com duas placas e um material isolante cortado de determinada forma para que um capacitor seja formado.

Dois fios que corram, um lado do outro, dois contactos separados (desligados), duas trilhas de uma placa de circuito impresso, uma área cobreada de uma placa de circuito impresso em uma face e uma outra área do outro lado, formam um capacitor, conforme mostra a figura 131.

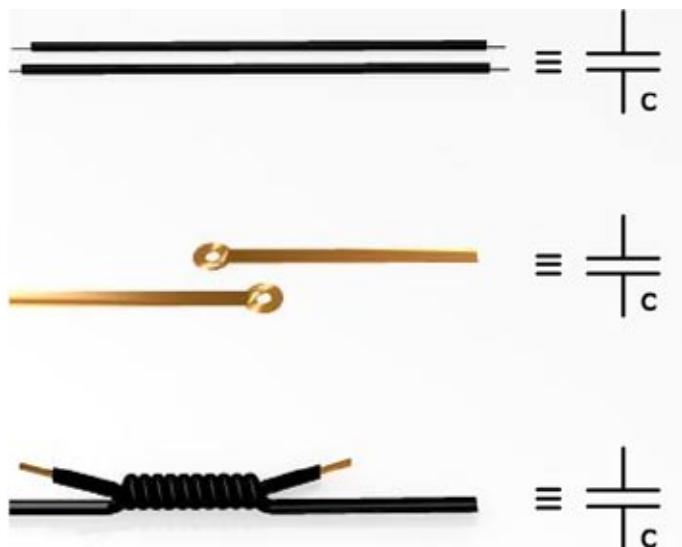


Figura 131 – Fios próximos funcionam como um capacitor

Como esses capacitores aparecem de uma forma até indesejável, em alguns casos, podendo influir de forma negativa no funcionamento de um aparelho, dizemos que eles representam “capacitâncias parasitas”, ou seja, são capacitores parasitas.

Existem diversas técnicas, que o profissional da eletrônica, principalmente o que vai trabalhar com circuitos rápidos (de comunicações, por exemplo), precisa conhecer para reduzir ou eliminar essas capacitâncias.

### 5.9.1 - Capacitância do Corpo

Quando nos aproximamos de um objeto de metal, sem encostar nele, esse objeto funciona como uma armadura e o nosso corpo outra armadura de um capacitor, cujo dielétrico é o ar que nos separa, conforme mostra a figura 132.

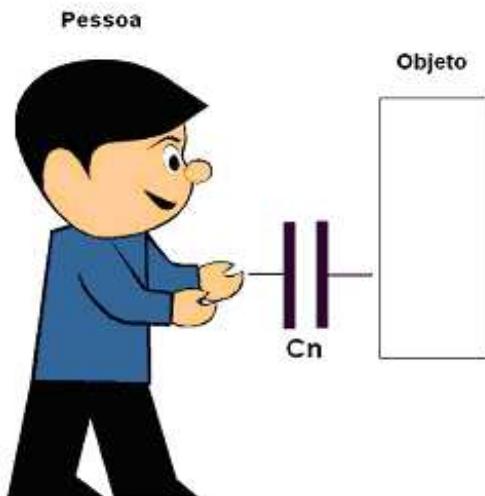


Figura 132 – Capacitância do corpo

Esse fato pode ser aproveitado em equipamentos eletrônicos para detectar a presença de pessoas. A aproximação da pessoa de uma placa faz com que o circuito ligado a essa placa veja um capacitor, cujo valor depende dos objetos que se aproximam dele. Quando uma pessoa (ou mesmo um objeto) se aproxima, sua capacidade aumenta e isso pode ser usado para detectar sua presença.

### 5.9.2 - A Terra é um capacitor

Uma esfera metálica carregada de eletricidade é o que denominamos capacitor esférico. Sua capacidade de armazenamento depende de seu Diâmetro.

A terra por ser esférica e condutora pode ser considerada um grande capacitor. Os cálculos mostram que sua capacidade é da ordem de 1 Farad.

#### Temas Para Pesquisa:

- Faraday
- Garrafa de Leyden
- Ultracapacitores
- Energia dos raios
- Capacitores como fontes de energia
- Descarga de capacitores
- Blindagens eletrostáticas
- Capacitores esféricos
- Sensores capacitivos

### Termos em Inglês

Existem alguns termos em inglês relacionados com esta lição que merecem destaque.

Um deles está justamente relacionado com os termos *condenser* (para condensador) e capacitor (para capacitor). Em inglês existe uma boa distinção entre os significados para as duas palavras. O termo *condenser* é usado para condensadores químicos como os usados em destiladores.

### Outros termos:

Leyden Jarr – garrafa de Leyden  
Charge – carga  
Discharge – descarga  
Trimmer capacitor – trimmers  
Variable – variável  
Capacitance – capacidade  
Stored energy – energia armazenada

### QUESTIONÁRIO

1. Quando um capacitor se encontra carregado, podemos dizer que:

- a) As armaduras ficam com cargas positivas
- b) As armaduras ficam com cargas negativas
- c) Uma armadura fica positiva e outra negativa
- d) O dielétrico fica carregado positivamente

2. Um capacitor que tenha como dielétrico folhas de mica é um capacitor de que tipo?

- a) Eletrolítico
- b) Mica
- c) Tubular
- d) Cerâmico

3. Qual é a capacidade de um capacitor cerâmico cuja marcação seja 473?

- a) 47 pF
- b) 47 nF
- c) 470 nF
- d) 0,47 µF

4. Um capacitor de 200 nF ligado em série com um capacitor de 300 nF resulta numa capacidade equivalente de:

- a) 500 nF
- b) 120 nF
- c) 200 nF
- d) 250 nF

5. Qual é a constante de tempo de um circuito RC formado por um capacitor de  $2 \mu\text{F}$  e um resistor de  $2 \text{ M ohms}$ ?
- a) 2 segundos
  - b) 4 segundos
  - c) 2 000 segundos
  - d) 0,4 segundos

6. Podemos expressar uma capacitância de  $0,05 \mu\text{F}$  como:
- a)  $5 \text{ pF}$
  - b)  $5 \text{ nF}$
  - c)  $50 \text{ nF}$
  - d)  $50 \text{ pF}$
  - e)  $500 \text{ nF}$

7. O que é um supercapacitor?
- a) Um capacitor de alta tensão
  - b) Um capacitor comprido
  - c) Um capacitor especial de mica
  - d) Um capacitor de capacitância muito alta

8. Qual é capacitância obtida com a associação de um capacitor de  $20 \mu\text{F}$  em série com um  $30 \mu\text{F}$ ?
- a)  $50 \mu\text{F}$
  - b)  $12 \mu\text{F}$
  - c)  $25 \mu\text{F}$
  - d)  $10 \mu\text{F}$





## » Magnetismo » Eletromagnetismo

Nessa lição vamos nos aprofundar no conhecimento dos campos magnéticos e dos componentes que aproveitam os efeitos magnéticos da corrente elétrica. Estes componentes formam uma grande família de importância fundamental para a eletrônica e que, por suas características, exigem um cuidado especial dos profissionais que vão trabalhar com eles. A lição teórica 6 será formada pelos seguintes itens.

- 6.1 - Imãs permanentes
- 6.2 – Indutância e indução
- 6.3 – Medida da Indutância
- 6.4 - Associação de indutores
- 6.5 - Circuitos LR
- 6.6 - Solenóides, relés e motores
- 6.7 - Sensores magnéticos
- 6.8 – Instrumentos indicadores

### **6.1 - IMÃS PERMANENTES**

Uma carga elétrica em movimento produz uma perturbação no espaço de natureza diferente daquela produzida por uma carga parada (estática). Uma carga em movimento produz um campo magnético.

O estudo dos efeitos das cargas em movimento e dos campos que elas produzem é feito pelo ramo da física denominado “magnetismo”.

Temos então duas espécies básicas de campos magnéticos associados a aplicações na eletrônica. Um deles é o campo produzido quando os elétrons que giram em torno dos átomos são orientados de modo a fazer seu movimento de uma forma organizada.

O campo que eles produzem no material se manifesta surgindo pólos magnéticos neste corpo, ou seja, ele se torna um imã permanente, conforme podemos ver na figura 133.



Figura 133 – Os pólos de um imã

Os pólos Norte (N) e Sul (S) de um imã são inseparáveis, pois quando o cortamos no meio, novos pólos surgem de modo que sempre tenhamos um imã completo. Na figura 134 podemos observar essa importante propriedade dos imãs.

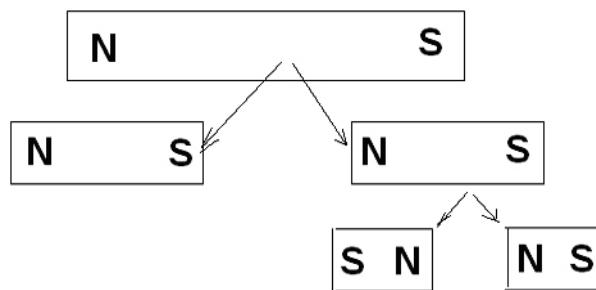


Figura 134 – Cortando um imã, sempre surgem novos pólos

Representamos o campo magnético de um imã através de “linhas de força”. Essas linhas imaginárias são sempre fechadas, pois saem dos pólos norte dos imãs e chegam aos pólos sul, conforme pode ser visto na figura 135.

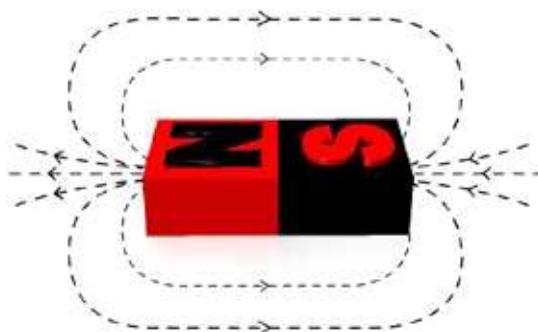


Figura 135 - Os pólos de um imã e o campo magnético representado por linhas de força.

Observe que as linhas de força dos campos magnéticos nunca se cruzam, sendo sempre mais concentradas onde o campo é mais intenso, ou seja, nos locais em que as forças de atração são mais fortes.

Uma outra propriedade muito importante dos imãs, que deve ser sempre lembrada, é a que diz que pólos de mesmo nome se repelem e pólos opostos se atraem, conforme mostra a figura 136.

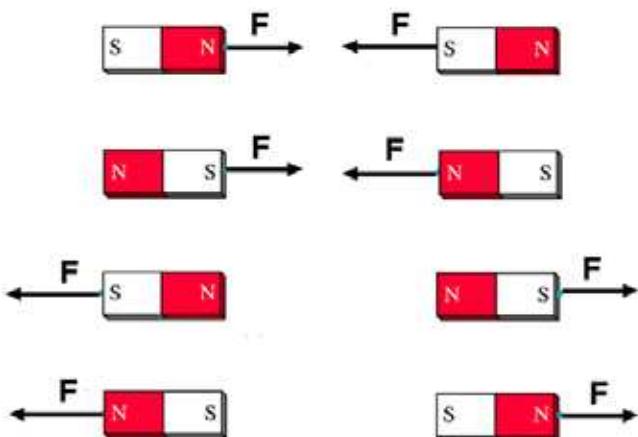


Figura 136 – Pólos de mesmo nome se repelem e de nomes opostos se atraem

Os imãs permanentes podem ser naturais, como a magnetita que é um minério que já é encontrado magnetizado, como também podem ser obtidos de determinados materiais que, submetidos a fortes campos magnéticos, retém esses campos, tornando-se imãs permanentes.

Existem diversos tipos de materiais que podem ser magnetizados, resultando em imãs permanentes com largas aplicações na eletrônica. O Alnico é uma liga muito usada na fabricação de imãs.

### 6.1.1 – Materiais Diamagnéticas, Paramagnéticas e Ferromagnéticos

Quando os materiais são colocados num campo magnético, surgem forças que afetam a movimentação de seus elétrons. Essas forças se devem ao que se denomina Lei da Indução Magnética, formulada por Faraday. Dependendo da natureza do material, eles reagem de maneira diferente à presença de um campo magnético.

Essa reação dependerá do modo como os elétrons giram em torno dos átomos. Em física associa-se aos elétrons um movimento denominado spin. Não podemos dizer que se trata de uma rotação, pois conforme vimos não podemos dizer que o elétron tem a forma esférica. Mas, para diferenciar esse movimento, dizemos que os elétrons podem ter spins ou rotações em direções opostas, apenas para efeito de entendimento.

### A força de um imã

A força de um imã depende de diversos fatores. Podemos comparar um imã à terra que, com a força de sua gravidade atrai os objetos. No caso da terra, o que determina a força de atração é sua massa e a distância do seu centro. No caso de um imã é a “massa magnética” que determina sua força, ou seja, quanto de atração por unidade de massa pode ter o material usado, e a massa total do imã. Assim, imãs de mesmo tamanho, mas massas diferentes podem ter atrações diferentes.

Ultimamente, algumas empresas conseguem fabricar materiais com uma capacidade de atração muito grande, resultando em super-imãs, alguns dos quais podem ser adquiridos em lojas especializadas pela Internet.



Super-imã da United Nuclear tem força suficiente para quebrar o braço de uma pessoa!

**Spin**

O movimento dos elétrons é associado ao que denominamos de spin. O spin é indicado por um número que pode ser  $+1/2$  ou  $-1/2$ . Na realidade, não podemos dizer que o spin corresponde à “rotação” dos elétrons, pois já vimos que, segundo os conceitos modernos da física, o elétron não tem uma forma definida e muito menos podemos dizer que é “esférico”. Assim, o valor do spin refere-se simplesmente a uma propriedade que essa partícula tem.

Na maioria dos átomos os elétrons giram em torno dos núcleos em pares. Se os elétrons desses pares tiverem sentidos opostos, os campos magnéticos que eles produzem se cancelam, conforme mostra a figura 137.

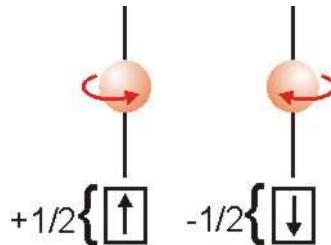


Figura 137 – Os movimentos dos elétrons ocorrem de duas maneiras, denominadas spins. Se os movimentos forem em sentidos opostos seus campos se cancelam

Por outro lado, se os elétrons não estiverem emparelhados, aparece um campo magnético que reage com os campos externos. Isso nos permite classificar os materiais em três grupos, quanto às suas propriedades magnéticas:

**Diamagnéticos** - são os materiais que têm uma susceptibilidade magnética negativa. Esses materiais não retém o campo magnético quando sujeitos à ação de um imã que depois é removido. O cobre, a prata e o ouro são exemplos de materiais diamagnéticos. Como eles dispersam as linhas de força de um campo magnético, enfraquecendo-o, eles são usados em blindagens magnéticas, conforme mostra a figura 138.

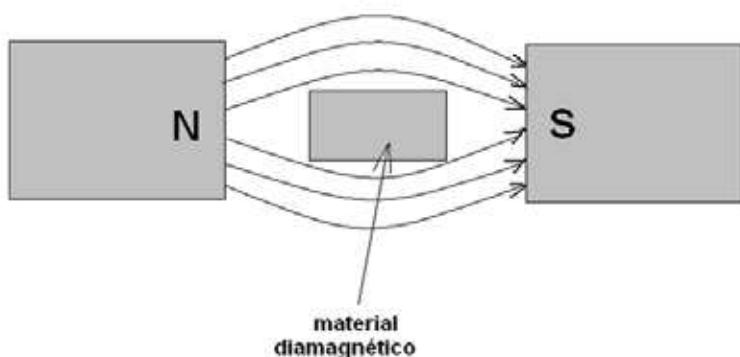


Figura 138 – Materiais diamagnéticos dispersam as linhas do campo

**Paramagnéticos** - esses materiais têm uma susceptibilidade magnética positiva pequena. Isso significa que eles concentram as linhas de força de um campo magnético sendo, por esse motivo, atraídos pelos imãs. No entanto, eles não retém as propriedades magnéticas quando o imã é removido. Exemplos de materiais ferromagnéticos são o tântalo, magnésio e o lítio. Na figura 139 mostramos o que ocorre

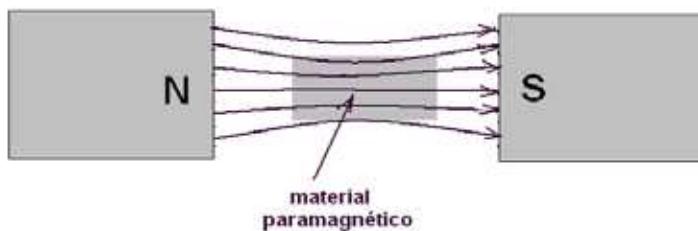


Figura 139 – Os materiais paramagnéticos concentram as linhas de força

**Ferromagnéticos** – os materiais ferromagnéticos têm uma grande susceptibilidade magnética sendo fortemente atraídos pelos imãs, e ainda podem ser capazes de reter as propriedades magnéticas, mesmo depois que o campo é removido, ou seja, são magnetizáveis. Esses materiais devem suas propriedades à presença de domínios magnéticos. Os domínios são regiões formadas por uma grande quantidade de átomos que possuem seus elétrons alinhados, conforme mostra a figura 140.

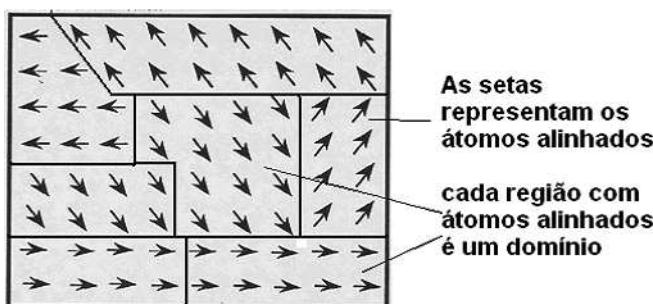


Figura 140 – Domínios num material desmagnetizado

Quando o material está desmagnetizado, os domínios estão orientados aleatoriamente no material de modo que seus campos magnéticos se cancelam. Quando uma força magnética é aplicada, os domínios se alinham e, com isso, um forte campo magnético é produzido dentro do material. Em alguns casos o material retém a orientação, tornando-se também um imã e em outros, os domínios se desorientam novamente quando o campo é removido, desmagnetizando-se.

Ferro, níquel e cobalto são alguns materiais que se enquadram neste grupo. Na figura 141 mostramos o caso de um prego de ferro (material paramagnético) que se magnetiza quando encosta num imã, transformando-se num imã capaz de atrair limalha de ferro, mas perde essa propriedade quando o imã é retirado.

**Ponto Curie**

Quando um material pode manter a orientação de seus domínios magnéticos, ele se torna um imã. Isso pode ser feito através de diversos processos, dando origem aos imãs artificiais. No entanto, os domínios podem se desorientar novamente, se o material for aquecido. A temperatura em que o material deixa de reter o magnetismo e, portanto perde a imantação, é chamada de Ponto Curie.

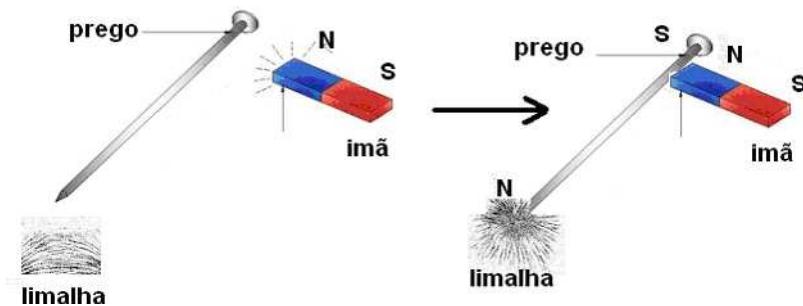


Figura 141 – Um prego se magnetiza quando em contato com um imã

Material	$\chi_m = Km^{-1} (x 10^{-5})$
<b>Paramagnético</b>	
Ferro óxido (FeO)	720
Ferro Alumínio	66
Urânio	40
Platina	26
Tungstênio	6.8
Césio	5.1
Alumínio	2.2
Lítio	1.4
Magnésio	1.2
Sódio	0.72
Oxigênio	0.19
<b>Diamagnético</b>	
Amônia	-26
Bismuto	-16.6
Mercúrio	-2.9
Prata	-2.6
Carbono (diamante)	-2.1
Carbono (grafite)	-1.6
Chumbo	-1.8
Cloreto de Sódio	-1.4
Cobre	-1.0
Água	-0.91

## 6.2 – Indutância e Indução

Conforme já estudamos em lições anteriores, podemos também produzir campos magnéticos pela circulação de uma corrente por um fio ou por componentes enrolados em forma de bobinas, conforme o leitor poderá observar na figura 142.

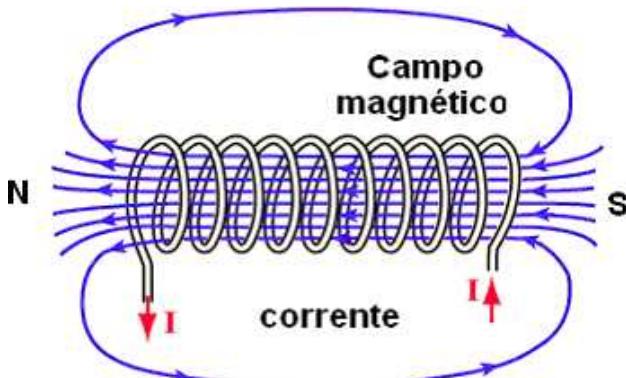


Figura 142 – Campo magnético de uma bobina cilíndrica ou solenóide

Um fenômeno inverso também pode ser observado. Se fizermos com que um imã se mova nas proximidades de um fio, de modo que as linhas de força de seu campo magnético cortem o fio, conforme mostra a figura 143 em (a), ou ainda, se o fio se mover em relação ao campo magnético, de modo a cortar suas linhas de força, conforme mostra a mesma figura em (b). Com isso, nas extremidades do fio aparece uma tensão e, se esse fio for ligado a um circuito externo, circula uma corrente acendendo a lâmpada.

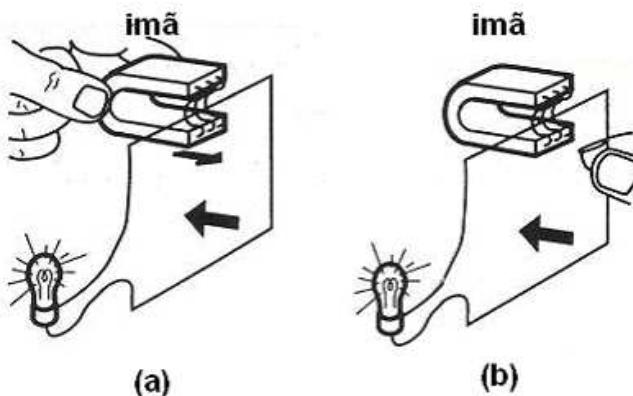


Figura 143 – A indução eletromagnética

Este fenômeno é denominado indução eletromagnética, sendo aproveitado em inúmeras aplicações na eletricidade e em eletrônica.

O sentido de circulação da corrente que vai ser induzida quando ocorre o movimento relativo do condutor no campo depende do modo como esse movimento é realizado. Mais informações sobre como determinar esse sentido podem ser obtidas nos livros de física do nível médio.

Temos então diversos tipos de componentes e dispositivos que utilizam bobinas para criar campos magnéticos com diversas finalidades. Um deles é o eletroímã.

### 6.2.1 - Bobinas ou indutores

Na prática, destacamos um primeiro componente que é feito justamente por fio enrolado, e que apresenta propriedades adicionais, além de simplesmente criarem um campo magnético quando percorridos por uma corrente. Este tipo de componente é denominado indutor.

Para concentrar o campo magnético, ou ainda para dotá-lo de propriedades adicionais importantes, em lugar de simplesmente enrolarmos a bobina numa forma sem núcleo (ou núcleo de ar), podemos colocar no seu interior núcleos de diversos tipos de materiais com propriedades magnéticas importantes.

Na figura 144 temos o símbolo adotado para representar as bobinas ou indutores (incluindo o tipo de núcleo) e os aspectos como as encontramos em muitos equipamentos eletrônicos.

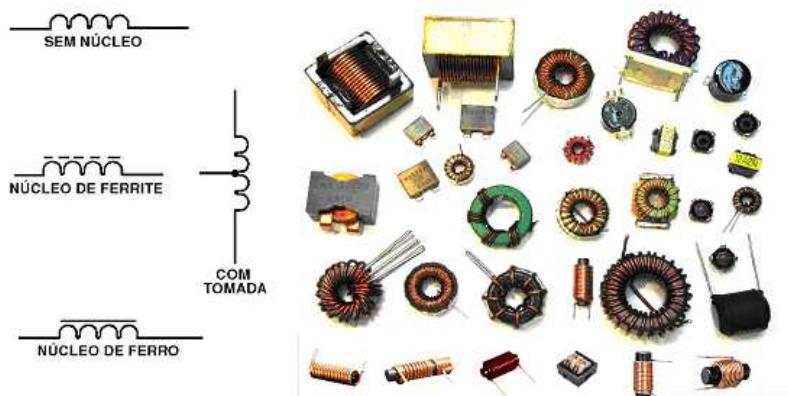


Figura 144 – Bobinas ou indutores – símbolos e aspectos

#### Indutores na prática

Os indutores consistem em componentes de fabricação trabalhosa e não raro volumosos. Um indutor de grande indutância, além de grande e pesado, é um componente caro. Assim, há na eletrônica moderna uma tendência em se usar cada vez menos o indutor em equipamentos. Mesmo para montar aparelhos, quando indutores são pedidos, isso pode constituir numa dificuldade adicional para o montador que eventualmente deve fabricá-lo por conta própria.

As bobinas ou indutores apresentam propriedades elétricas, principalmente relacionadas com as variações rápidas de corrente. Estas propriedades são dadas pelo que chamamos de indutância.

### 6.3 – Medida da Indutância

A indutância de uma bobina é medida numa unidade chamada henry (H). Nesse caso também é comum o uso de seus submúltiplos: o milihenry (mH) que vale a milésima parte do henry e o microhenry (uH) que equivale à milionésima parte do henry.

As bobinas de poucas espiras, sem núcleos ou com núcleos de ferrite (que aumentam sua indutância), são usadas em circuitos de altas frequências ou que trabalham com variações muito rápidas da corrente.

Já as bobinas de muitas espiras, os choques de filtro, por exemplo, que podem ter núcleos de ferrite ou mesmo ferro laminado, trabalham com correntes de médias e baixas frequências.

As bobinas são componentes importantes dos aparelhos eletrônicos em geral, podendo ser encontradas em diversas funções. Uma delas é justamente “filtrar” variações muito rápidas da corrente que poderiam afetar o funcionamento de certas partes críticas. Os denominados filtros de linha, e alguns outros tipos de filtros, fazem uso desta propriedade das bobinas. Seu funcionamento ficará claro à medida que nos aprofundarmos no seu estudo.

## 6.4 - Associação de Indutores

Da mesma forma que os capacitores e os resistores, os indutores também podem ser ligados em série e em paralelo. Quando isso ocorre, seus efeitos se combinam e temos uma “indutância equivalente” a qual pode ser calculada em função das indutâncias que são associadas. Temos então dois casos de associações a considerar:

### 6.4.1 - Associação Série de Indutores

Na figura 145 pode ser vista uma associação de indutores em série.

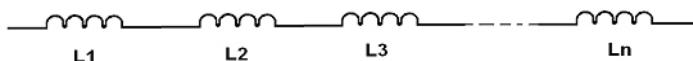


Figura 145 – Indutores em série

A indutância equivalente é dada pela soma das indutâncias associadas, conforme a seguinte fórmula:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \quad (\text{f6.1})$$

Onde:

$L$  é a indutância equivalente (\*)

$L_1, L_2, L_3, L_n$  são as indutâncias associadas (\*)

### 6.4.2 - Associação Paralelo de Indutores

Na figura 146 onde poderemos ver uma associação de indutores em paralelo.

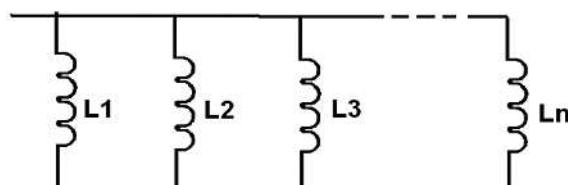


Figura 146 – Indutores em paralelo

(\*) A unidade deve ser a mesma para todas as indutâncias (associadas e equivalentes). Assim, podemos trabalhar com henry, milihenry ou microhenry.

A indutância equivalente pode ser calculada a partir da seguinte fórmula:

$$1/L = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots + 1/L_n$$

Onde:

$L$  é a indutância equivalente (\*)

$L_1, L_2, L_3, L_n$  são as indutâncias associadas (\*)

## 6.5 - Circuitos LR

Uma bobina (Indutor) e um resistor ligados em série, conforme mostra a figura 147, formam um circuito LR.

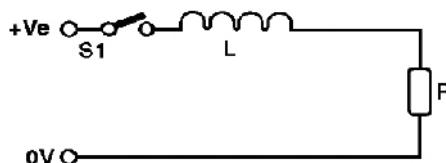


Figura 147 – O circuito LR série

Supondo inicialmente que neste circuito a chave S1 esteja aberta, a corrente circulante será nula. Não haverá campo magnético criado pelo indutor. No instante em que o interruptor é fechado, a corrente tende a se estabelecer, circulando pelo resistor e pelo indutor onde vai criar um campo magnético.

No entanto, o campo magnético que a corrente tende a criar, tem linhas de força que se expandem e cortando as espiras do próprio indutor de modo a induzir uma corrente que se opõe àquela que está sendo estabelecida, conforme o leitor poderá observar na figura 148.

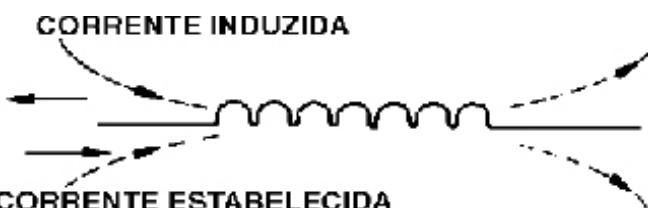


Figura 148 – Campo e corrente no indutor do circuito LR série

O resultado disso é que, inicialmente, a corrente no indutor encontra uma forte oposição, ou seja, encontra uma forte resistência que diminui consideravelmente sua intensidade.

Fazendo um gráfico para visualizar melhor o ocorre, vemos que no instante em que a chave (S1) é fechada a corrente é praticamente nula.

Somente à medida que as linhas do campo magnético criado pela bobina vão se expandindo é que sua oposição à corrente diminui

e, com isso, ela pode aumentar de intensidade. Como no caso do capacitor, temos para a corrente uma curva de crescimento exponencial que é mostrada na figura 149.

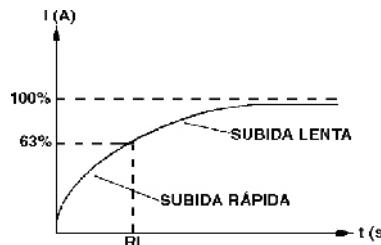


Figura 149 – Corrente no circuito LR série

Também neste caso, teoricamente a corrente nunca atinge o máximo, que é o valor dado apenas pelo resistor. A constante de tempo de circuito é obtida quando multiplicamos o valor da indutância do indutor em henry (H) pelo valor do resistor em ohms (W).

$$t = L \times R$$

Numericamente este valor nos diz depois de quanto tempo, a partir do instante em que fechamos a chave e que a corrente atinge 63% do valor máximo.

Do mesmo modo, partindo de um circuito em que a corrente seja máxima no indutor e que, momentaneamente seja comutada, conforme mostra a figura 150, a constante de tempo  $RL$  também nos dá uma informação importante.

Com a interrupção da corrente, as linhas do campo magnético se contraem, induzindo uma corrente que vai circular pelo resistor, dissipando assim a energia existente no circuito na forma de calor.

A corrente induzida é inicialmente alta e, gradualmente vai caindo, obtendo-se um gráfico conforme mostra a mesma figura 150.

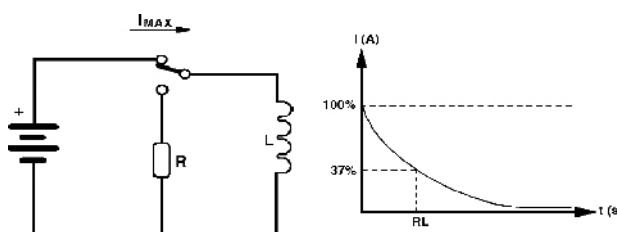


Figura 150 – Circuito de descarga de um indutor

Neste gráfico, o ponto que corresponde ao produto  $L \times R$  nos fornece o instante em que a corrente cai a 37% do valor máximo. Trata-se da constante de tempo do circuito LR.

Nas aplicações práticas, dada a dificuldade de se obter indutores de valores muito altos (o que não ocorre com os capacitores),

**Armazenando energia**

Conforme estudamos, um capacitor armazena energia no campo elétrico entre suas armaduras. Um indutor também armazena energia no campo magnético que produz. Assim, quando um indutor é desligado, as linhas de força do campo magnético que ele produz, ao se contraírem, induzem em seus terminais uma tensão. Essa tensão ao ser aplicada a um circuito externo, pode entregar a energia armazenada no campo magnético através de uma corrente.

os circuitos RL não são usados, senão nos casos em que se necessita de tempos muito pequenos de retardo, para temporização ou outras aplicações.

Acima de alguns milihenries (mH), a obtenção de um indutor já se torna problemática, pois estes componentes começam a se tornar volumosos, caros e pesados.

Os fios e as trilhas de cobre que conduzem as correntes nas placas de circuito impresso dos aparelhos eletrônicos se comportam como indutores. Tanto maior será seu valor quanto mais compridas forem e quanto mais curvas tiverem.

Isso significa que, do mesmo modo que as capacitâncias indesejáveis dos circuitos, os fios e trilhas de cobre, por apresentarem certa indutância, limitam a velocidade de funcionamento dos circuitos. Estes fatores também são muito importantes quando vamos ligar dois dispositivos por meio de um cabo, por exemplo, o computador a uma impressora; um sensor e um circuito de controle industrial, um circuito de acionamento remoto, etc. O fato do cabo apresentar capacitâncias e indutâncias indevidas (por menores que sejam), impede que ele funcione bem além de um certo comprimento. As indutâncias e as capacitâncias impedem que os sinais sejam transmitidos sem deformações de um ponto a outro dos circuitos.

## 6.6 - Solenóides, Relés e Motores

Existem diversos tipos de dispositivos e componentes que utilizam bobinas e que, portanto, operam a partir dos campos magnéticos criados pelas correntes elétricas e apresentando uma certa indutância. Essa indutância, em especial, é muito importante pelos efeitos que produz, exigindo cuidados no projeto dos circuitos que a controlam, conforme o leitor vai entender melhor no decorrer desse curso. Antes disso, será importante saber como funcionam alguns dos principais dispositivos formados por bobinas.

### 6.6.1 - Solenóides

Quando enrolamos uma bobina numa forma cilíndrica, obtemos o que se denomina um solenóide. Uma corrente circulando nessa bobina produz um campo magnético que é mais intenso justamente em seu interior, conforme já estudamos e é mostrado na figura 151.

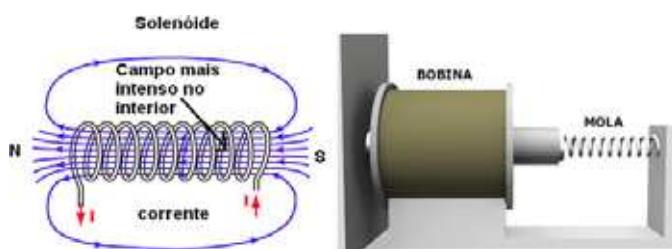


Figura 151 – Um solenóide

Um núcleo de material ferroso colocado nas proximidades dessa bobina, será atraído para o seu interior com uma força que depende justamente da intensidade do campo.

Podemos então fabricar um dispositivo, de grande utilidade em aplicações industriais, de consumo e muitas outras, denominado solenóide visando justamente produzir uma força a partir de uma corrente elétrica. Na figura 152 poderemos observar alguns desses dispositivos com sua construção básica.



Figura 152

Quando aplicamos uma tensão na bobina, uma forte corrente circula, puxando o êmbolo ou núcleo para o seu interior com força. Podemos usar essa força para puxar ou empurrar alguma coisa como, por exemplo, numa fechadura elétrica, conforme poderemos observar na figura 153.



Figura 153 – Fechadura elétrica com solenóide

Quando a bobina é energizada, o núcleo é puxado e a porta é aberta.

Uma outra aplicação para esse dispositivo é encontrada nas máquinas de lavar roupa e em muitos outros automatismos de uso doméstico e industrial que trabalham com líquidos: a válvula solenóide. Uma dessas válvulas é mostrada na figura 154.

### Força de um solenóide

A força exercida por um solenóide depende de vários fatores, sendo os principais o número de espiras e a intensidade da corrente. A intensidade da corrente depende da resistência apresentada pelo fio. Assim, os solenóides mais fortes são os que apresentam maior número de espiras e menor resistência de sua bobina. Na prática, encontramos muitos tipos de solenóides cujas dimensões e especificações elétricas dependem de sua aplicação.



Figura 154 – Uma válvula solenóide de uso doméstico

Quando a válvula é energizada, o forte campo criado puxa um êmbolo que libera a passagem da água.

### 6.6.2 - Relés

Um outro tipo de dispositivo eletromagnético de grande utilidade é o relé. O relé é um interruptor eletromecânico, ou seja, um interruptor que possui partes móveis, mas que é acionado por uma corrente elétrica.

Na figura 155 poderemos observar a construção de um relé de forma simplificada.

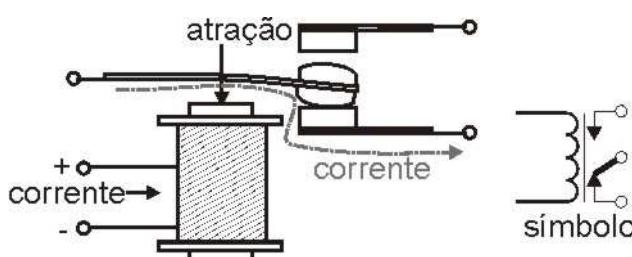


Figura 155 – Estrutura de um relé

Quando aplicamos uma tensão na bobina do relé, energizando-o, o forte campo magnético criado atrai a armadura onde estão presos contactos móveis. Os contactos, ao se movimentar, encostam na parte fixa, fechando o circuito externo. Quando a tensão na bobina é desligada, o campo desaparece e os contactos voltam à posição normal, mantendo o circuito aberto.

Os relés podem ter diversos conjuntos de contactos, conforme poderemos ver pela figura 156, onde usamos seus símbolos.

contatos N.A.

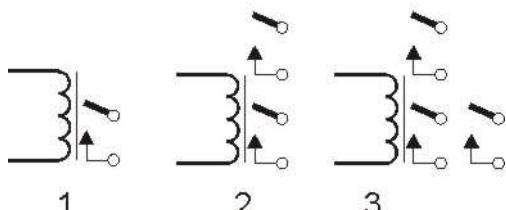


Figura 156 – Relés com diversos conjuntos de contactos NA

Assim, um relé com contactos NA (Normalmente Aberto – NO – Normally Open) liga alguma coisa quando o energizamos. Já, um relé com contactos NF (Normalmente Fechados – NC – Normally Closed) desliga alguma coisa quando o energizamos.

Existem ainda relés que combinam os dois tipos de contactos e relés que possuem diversos conjuntos de contactos, funcionando como chaves de diversos tipos.

Os relés são especificados pela tensão que precisamos aplicar na sua bobina para que ele seja energizado, a corrente nessa bobina e a corrente máxima que os contactos podem controlar. Relés de 6, 12 e 24 V são os mais usados nas aplicações eletrônicas comuns.

#### Relés de Estado Sólido

Muitos componentes “tradicionais” já podem ser encontrados na forma de semicondutores, ou seja, componentes de estado sólido, sem peças móveis. Assim, em muitas aplicações é comum encontrarmos relês de dimensões muito reduzidas, sem partes móveis e que se baseiam em circuitos com semicondutores tais como transistores. Estes componentes têm vantagens como não sofrer desgastes e ter uma sensibilidade muito grande, mas não são todas as aplicações que admitem seu uso. Na figura A temos um relé de estado sólido.

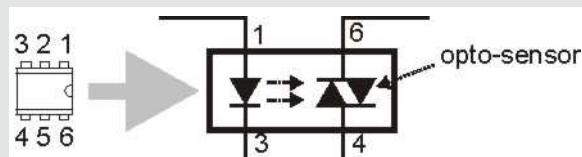


Figura A – Um relé de estado sólido

#### 6.6.3 - Motores

Os motores elétricos convertem energia elétrica em energia mecânica (movimento). Os motores de corrente contínua (CC) ou motores DC (Direct Current), como também são chamados, são dispositivos que operam aproveitando as forças de atração e repulsão geradas por eletroímãs e imãs permanentes. Conforme sabemos, se fizermos passar correntes elétricas por duas bobinas próximas, conforme mostra a figura 157, os campos magnéticos criados poderão fazer com que surjam forças de atração ou repulsão.

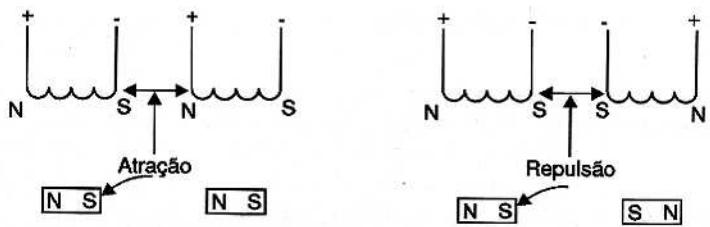


Figura 157- Forças entre imãs e bobinas

A idéia básica de um motor é montar uma bobina entre os pólos de um imã permanente, ou então de uma bobina fixa que funcione como tal, conforme mostra a figura 158.

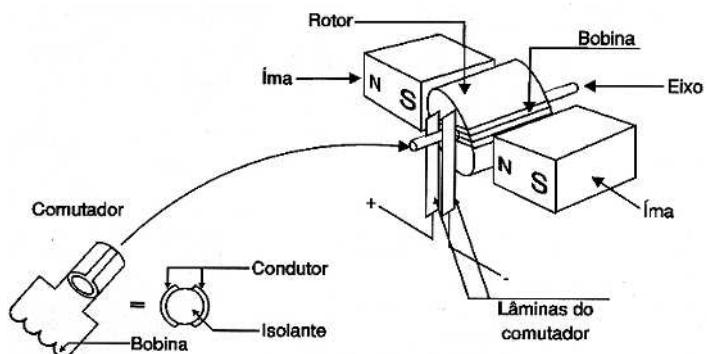


Figura 158 – Estrutura de um motor DC

Partindo então da posição inicial, em que os pólos da bobina móvel (rotor), ao ser percorrida por uma corrente, estão alinhados com o imã permanente, temos a manifestação de uma força de repulsão. Esta força de repulsão faz o conjunto móvel mudar de posição, conforme mostra a figura 159.

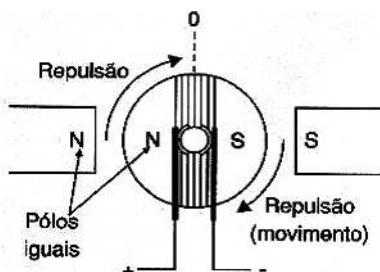


Figura 159 – Com a repulsão o rotor entra em movimento

A tendência do rotor é dar meia volta para seu polo Norte se aproxime do polo Sul do imã permanente. Da mesma forma, seu polo Sul se aproximará do polo Norte pelo qual será atraído.

No entanto, no eixo do rotor, por onde passa a corrente que circula pela bobina, existe um comutador. A finalidade deste comutador é inverter o sentido da circulação da corrente na bobina, fazendo com que os pólos mudem. Observe a figura 160.

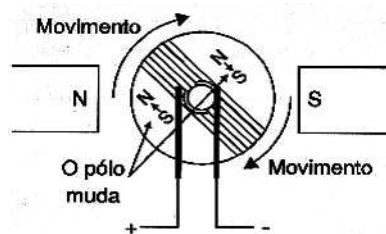


Figura 160 – Com a inversão da polaridade os pólos do rotor mudam

O resultado disso será uma transformação da força de atração em repulsão, o que fará com que o rotor continue seu movimento, passando “direto” pela posição que seria de equilíbrio.

Sua nova posição de equilíbrio seria obtida com mais volta, de modo que os pólos do rotor se defrontasse com os de nome oposto do imã fixo.

Mais meia volta, e quando isso poderia ocorrer, a nova posição faz com que o comutador entre em ação e, com isso, temos nova comutação da corrente. Novamente os pólos se invertem conforme mostra a figura 161.

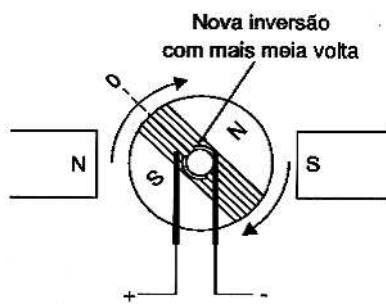


Figura 161 – Nova inversão de polaridade e o movimento continua

O resultado disso é que o rotor não para, pois deve continuar em busca de sua posição de equilíbrio.

Evidentemente isso nunca vai acontecer, e enquanto houver corrente circulando pela bobina o rotor não vai parar.

A velocidade de rotação deste tipo de motor não depende de nada, a não ser da força que o rotor tenha de fazer para girar. Desta forma, os pequenos motores de corrente contínua têm uma velocidade muito maior quando giram livremente do que quando giram fazendo algum tipo de esforço (movimentando alguma coisa).

Igualmente, a corrente exigida pelo motor depende da oposição que o rotor encontra para sua movimentação. Fazendo mais força, o consumo aumenta sensivelmente.

Os pequenos motores que encontramos em muitas aplicações são especificados pela tensão e pela corrente que exigem. Na figura 162 exemplos desses motores.

### Potência de um motor

Já estudamos que os motores, como qualquer outro dispositivo, não podem criar energia. Assim, os motores convertem energia elétrica em energia mecânica. A potência de um motor é dada ou pelo número de watts (W) que ele converte em energia mecânica, ou ainda em HP (Horse Power) ou CV (cavalo valor). Os pequenos motores usados em brinquedos e outras aplicações eletrônicas têm potências da ordem de centésimos de HP, mas os de máquinas industriais e mesmo aparelhos eletrodomésticos potentes, como máquinas de lavar, podem ter de 1 a mais de 1000 HP. A conversão de Watts em HP é necessária em muitos momentos da atividade dos profissionais da eletrônica, principalmente os que trabalham com motores em indústrias, sistemas de automação e muito mais.



Figura 162 – Pequenos motores de corrente contínua de uso geral

Existem, entretanto, outros tipos de motores que são usados em aplicações especiais como, por exemplo, os motores sem escovas e os motores de passo que serão abordados oportunamente.

O princípio de funcionamento de tais motores, entretanto, é o mesmo: campos criados por bobinas que interagem de modo a produzir forças que os movimentam.

#### 6.6.5 – Motores sem escovas

As escovas consistem num problema para os motores, pois elas gastam com o tempo e, além disso, são uma fonte intensa de ruídos. De fato, raspando nos contatos do rotor, elas produzem faíscas intensas que geram rádio frequências (sinais de rádio) capazes de produzir interferências em rádios e outros equipamentos nas proximidades.

Um tipo de motor de corrente contínua, cada vez mais em uso, é o motor sem escovas ou brushless. Esses motores possuem várias bobinas que são alimentadas sequencialmente de modo a produzir um campo magnético giratório, conforme mostra a figura 163.

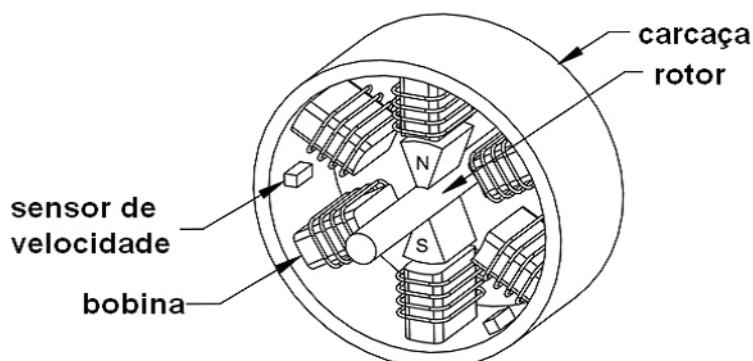


Figura 163 – Um motor de corrente contínua sem escovas

Um sensor mede constantemente a velocidade do motor, de modo a controlar o acionamento das bobinas através de um circuito eletrônico. Neste motor, o rotor usa dois imãs permanentes.

Na figura 164 mostramos um motor desse tipo aberto.



Figura 164 – Motor sem escovas aberto

## Conversão Watts x HP

Watts	HP
1	0.001341
2	0.002682
3	0.004023
4	0.005364
5	0.006705
6	0.008046
7	0.009387
8	0.010728
9	0.012069
10	0.013410
20	0,026820
30	0.040230
40	0.053640
50	0.067050
60	0.080460
70	0.093870
80	0.107280
90	0.120690
100	0.134100
200	0.268200
300	0.402300
400	0.536400
500	0.670500
600	0.084600
700	0.938700
800	1.072800
900	1.206900
1000	1.341000
2000	2.682000
3000	4.023000
4000	5.364000
5000	6.705000

## 6.7 - Sensores Magnéticos

Quando as espiras de uma bobina cortam as linhas de força de um campo magnético, ou quando as linhas de força de um campo magnético cortam as espiras de uma bobina, uma tensão aparece nos extremos dessa bobina, conforme poderemos observar na figura 165.

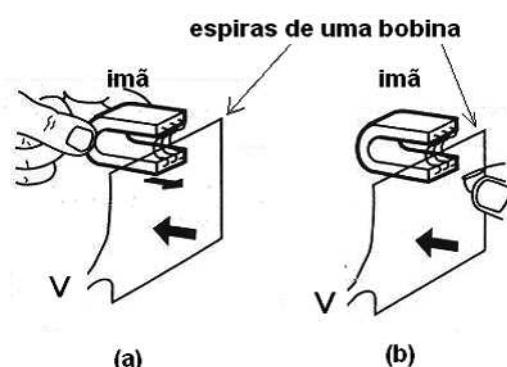


Figura 165 – O movimento relativo das espiras de uma bobina e um campo magnético criam uma tensão V

Esse fenômeno dinâmico, que exige o movimento relativo da bobina e do campo, pode ser usado na construção de diversos tipos de sensores. A finalidade de um sensor é detectar a presença de algum tipo de grandeza física ou alteração química num ambiente. Eles consistem no interfaceamento do mundo exterior com um equipamento eletrônico.

### Sensores de Estado Sólido

Para esse tipo de sensor também temos as versões que se baseiam em dispositivos semicondutores que serão estudados no curso de eletrônica analógica. Esses sensores, denominados "de Efeito Hall", são dispositivos fabricados com materiais cuja resistência se altera em presença de um campo magnético externo.

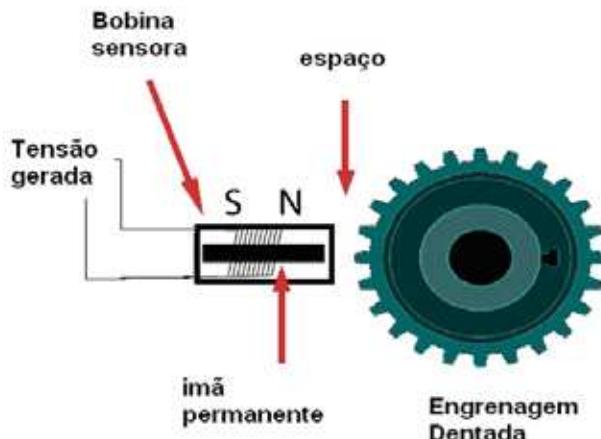


Figura 166 – Um sensor magnético de rotação

Cada vez que o imã passar diante da bobina usada como sensor, um pulso elétrico é gerado, servindo para acionar algum tipo de dispositivo indicador.

Contando os pulsos, um circuito eletrônico pode determinar a rotação da peça ou a velocidade de um veículo, e assim fazer seu controle.

### Outros Tipos de Microfones

Evidentemente, também existem microfones que se baseiam em outros princípios de funcionamento. Um deles é o "eletreto", que já estudamos nas lições anteriores, e que consiste num material que tem as cargas elétricas de suas superfícies alteradas quando deformado. Prendendo esse material num diafragma, e ligando-o a chapas que podem "colher" essas cargas, podemos ligá-lo a um circuito amplificador. Por serem muito pequenos e sensíveis, os microfones de eletreto são encontrados numa grande quantidade de aplicações.

#### 6.7.1 - Microfones

Um outro tipo de dispositivo que se baseia no mesmo princípio de funcionamento dos sensores que vimos no item anterior é o microfone dinâmico.

Se enrolarmos uma bobina em torno de um imã, conforme mostra a figura 167, e prendermos essa bobina num diafragma (membrana flexível), teremos um microfone.

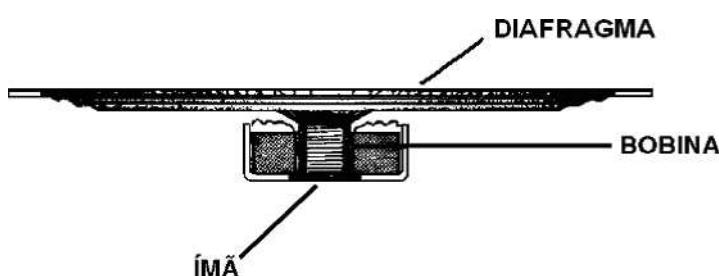


Figura 167 – Um microfone magnético

Quando ondas sonoras incidirem no diafragma, ele vai vibrar fazendo com que a bobina se movimente em relação ao campo mag-

nético criado pelo imã permanente, que é fixo. Uma tensão que tem as mesmas características do som, aparece então nos terminais dessa bobina. Essa corrente pode ser amplificada ou transmitida à distância através de fios elétricos.

## 6.8 - Instrumentos Indicadores

Um tipo de indicador, que está sendo gradualmente substituído em muitas aplicações pelos tipos digitais, é o instrumento indicador analógico ou galvanômetro. Além dele, existem outros que também estão caindo em desuso. No entanto, é muito importante conhecermos seu princípio de funcionamento, o que será feito a seguir.

### 6.8.1 - O Galvanômetro

Em muitos equipamentos antigos, e mesmo alguns modernos, encontramos um indicador que possui um ponteiro que se desloca numa escala. Este instrumento é o galvanômetro de bobina móvel, cuja estrutura básica é mostrada na figura 168.

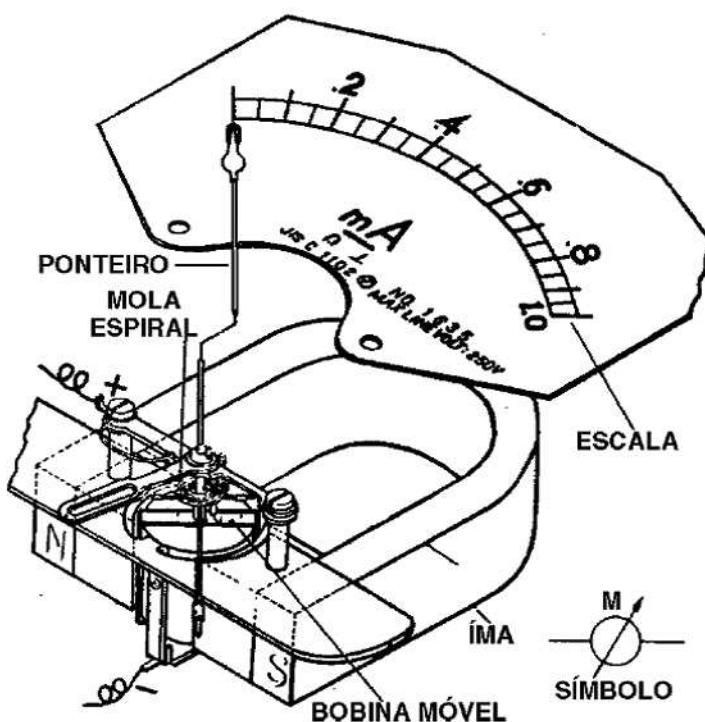


Figura 168 – Um galvanômetro de bobina móvel

Quando uma corrente circula pela bobina desse instrumento, um campo magnético é criado. Esse campo interage com o campo do imã permanente aparecendo uma força que tende a girar a bobina móvel.

A bobina possui um sistema de molas que tende a mantê-la na posição em que o ponteiro que está preso nela permaneça no zero da

## Instrumentos

### Analógicos e Digitais

Dizemos que o galvanômetro é um instrumento analógico porque o deslocamento da agulha é análogo à corrente que passa através dele. Em outras palavras, a agulha se desloca na escala numa correspondência direta com sua intensidade. Por outro lado, existem instrumentos indicadores digitais em que a intensidade da corrente é indicada por um número (dígito). No primeiro caso, uma correspondência é feita numa escala contínua enquanto, no segundo caso, é feita por valores discretos (saltos), conforme mostra a figura A.



Figura A – Multímetros – analógico e digital

escala. Assim, o movimento da bobina e, portanto, o deslocamento do ponteiro será proporcional à intensidade da corrente circulante. Podemos usar esse instrumento para medir ou indicar correntes elétricas.

Os galvanômetros comuns são muito sensíveis podendo medir correntes cujo valor máximo pode variar entre 50 uA e 1 mA. Dizemos que o “fundo de escala” desses instrumentos é de 50 uA ou 1mA.

Definimos então “corrente de fundo de escala” como a corrente que leva a agulha indicadora do instrumento ao valor máximo que ele pode medir.

Com recursos especiais, podemos usar os galvanômetros para medir correntes maiores que a de fundo de escala e, até mesmo outras grandezas elétricas como tensões. É justamente isso que se faz no caso dos multímetros analógicos.

Usando um galvanômetro comum, do tipo indicado, agregamos componentes ao seu circuito que permitem que ele meça outras grandezas elétricas, tais como correntes maiores, tensões, resistências, etc. Na figura A do anexo temos um multímetro analógico e um digital e na figura 169 um amperímetro tipo alicate que faz uso de um instrumento desse tipo. Na mesma figura temos um amperímetro tipo alicate que também faz uso de um instrumento desse tipo.



Figura 169 – Amperímetro “alicate” analógico

### 6.8.2 - Multímetros Digitais

A tendência da eletrônica moderna é evitar partes mecânicas que se gastam e têm problemas de diversas naturezas como quebra, deformações, etc. Assim, os multímetros, como muitos outros instrumentos de medidas elétricas e eletrônicas, também podem ser encontrados na forma digital, ou seja, com indicadores que apresentam números em lugar de possuir agulhas que correm numa escala.

Se bem que existam os multimetros digitais, a posse de um multímetro tradicional analógico ainda é muito importante para o profissional.

Recomendamos aos leitores interessados em conhecer melhor o multímetro, e usá-lo em todas suas aplicações adquirir o livro do mesmo autor desse curso “Como Testar Componentes”

Também observamos que máquinas industriais antigas ainda usam os mostradores “de ponteiro” em lugar de indicadores digitais, para fornecer informações sobre seu funcionamento. Por esse motivo, o leitor deve estar familiarizado com seu princípio de funcionamento e seu uso.

### 6.8.3 -Voltímetros e Amperímetros

Conforme vimos no item anterior, o galvanômetro só pode ser usado para medir correntes muito fracas. Para medir correntes mais intensas e tensões, precisamos agregar componentes que mudem suas características. É justamente desses componentes que vamos falar nesse item.

#### Amperímetros

Os instrumentos que se destinam à medida de correntes são denominados amperímetros. Para medir uma corrente mais intensa do que aquela que o instrumento suporta, ou seja, a corrente de fundo de escala, o que fazemos é desviar a corrente excedente por um circuito externo formado por um resistor, conforme mostra a figura 170.

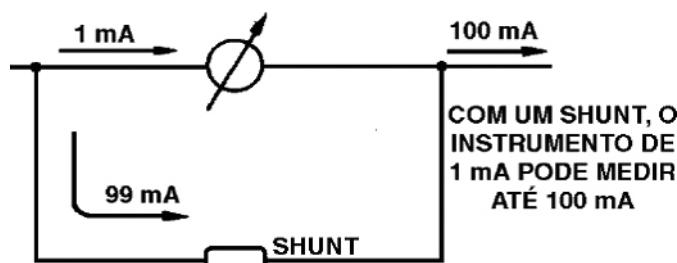


Figura 170 -Um amperímetro com shunt

Assim, conforme podemos ver na figura 165, se quisermos medir uma corrente de 100 mA com um galvanômetro que tenha um fundo de escala de 1 mA, devemos desviar os 99 mA excedentes, usando uma resistência de derivação ou, como é mais conhecida, “shunt”.

O cálculo de um shunt é feito, tanto em função da corrente de fundo de escala do instrumento (galvanômetro) usado, como também de outras características do instrumento, como a sua resistência ohmica. De fato, é a resistência ohmica que determina o comportamento elétrico do instrumento, assim em sua função é calculamos a resistência de derivação. Por exemplo, se o instrumento de 1 mA de fundo de escala tem uma resistência de 198 ohms, e desejamos desviar 99% da corrente por um shunt, para medir 100 mA, ou seja, 99 mA, é óbvio que o shunt deve ter uma resistência que será calculada por uma proporção simples:

$$X/198 = 1/99$$

$$X = 198/99$$

$$X = 2 \text{ ohms}$$

### Voltímetros

Os galvanômetros também podem ser usados para medir tensões. De fato, se tivermos um galvanômetro de 0 - 1 mA (1 mA de fundo de escala ou 0,001 A) e uma resistência de bobina de 1000 ohms, é fácil perceber que, quando aplicarmos 1 V nesse instrumento, a corrente será a de fundo de escala, ou seja 1 mA. Para esse cálculo aplicamos a Lei de Ohm:

$$I = 1/1\ 000$$

$$I = 0,001\ A\ (1\ mA)$$

Isso significa que um galvanômetro, como o indicado, pode ser usado diretamente como um voltímetro de 0 a 1 V, ou seja, com 1 V de fundo de escala, conforme o cálculo que demos como exemplo.

No entanto, se com o mesmo galvanômetro que tomamos como exemplo, desejarmos medir tensões maiores, será preciso usar de artifícios, como no caso do amperímetro. O que fazemos, nesse caso, é ligar em série com o galvanômetro uma resistência denominada “multiplicadora”, conforme podemos ver ao clicar na figura 171.

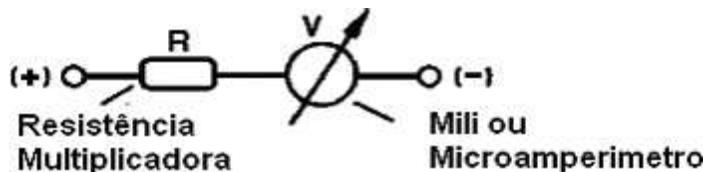


Figura 171 – o voltímetro

O cálculo dessa resistência é simples: somada com a resistência interna do instrumento, ao ser submetida à tensão de fundo de escala (tensão máxima que se deseja medir), o conjunto deve deixar passar a corrente de fundo de escala do instrumento. Uma fórmula simples pode ser escrita para esse cálculo:

$$R_m = V_m/I_m - R_i(f6.1)$$

Onde:

$R_m$  é a resistência multiplicadora (em ohms)

$R_i$  é a resistência interna do instrumento usado (em ohms)

$V_m$  é a tensão de fundo de escala que se deseja medir (em volts)

$I_m$  é a corrente de fundo de escala do instrumento usado (em ampères)

#### Exemplo:

Com o miliamperímetro de 1 mA de fundo de escala (0,001 A), e resistência de 1000 Ohms, desejamos fazer um voltímetro com fundo de escala de 10 V.

Qual deve ser o valor da resistência multiplicadora?

Nesse caso:

$$R_m = ?$$

$$I_m = 0,001 \text{ A}$$

$$V_m = 10 \text{ V}$$

$$R_i = 1\,000 \text{ ohms}$$

Aplicando a fórmula:

$$R_m = V_m/I_m - R_i$$

$$R_m = 10/0,001 - R_i$$

$$R_m = 10\,000 - 1\,000$$

$$R_m = 9\,000 \text{ ohms}$$

O valor da resistência multiplicadora é 9.000 ohms

Os instrumentos medidores exigem precisão. Assim, quando projetamos esses circuitos, os resistores a serem usados devem ter tolerâncias muito pequenas.

### Termos em Inglês:

Na terminologia em inglês existem nesta lição alguns termos que podem aparecer da mesma forma tanto nos documentos originais como em português. É o caso das configurações dos relés.

É comum que junto aos contatos dos relés encontremos as abreviações NO para indicar *Normally Open* ou Normalmente Aberto que, em português seria abreviado por NA.

Da mesma forma, podemos encontrar NC para *Normally Closed* ou Normalmente Fechado que seria abreviado por NF.

### Alguns termos:

Magnet - imã

Horse Power (HP) - cavalo de força

Galvanometer - galvanômetro

Analog - analógico

Digital - digital

Multimeter - multímetro

VOM – Volt – Ohm – Miliampímetro – o mesmo que multímetro

Coil – bobina

Solenoid – solenóide

Brushless- sem escovas

Brush – escova

Clamp Meter – medidor tipo alicate

### Sugestões

#### Para Pesquisa

- Imãs permanentes
- Imãs naturais e artificiais
- Solenóides
- Torque de um motor
- Redução de motores
- Instrumentos de ferro móvel
- Motores
- Motores sem escovas
- Sensores magnéticos
- Microfones

## QUESTIONÁRIO

1. Se cortarmos ao meio um imã permanente, podemos afirmar que:
  - a) Os pólos são separados, ficando de um lado o N e do outro o S.
  - b) O magnetismo desaparece
  - c) Aparecem novos pólos N e S nas partes e obtemos imãs completos
  - d) Não é possível cortar um imã ao meio
  
2. Colocando um pedaço de material magnético dentro de uma bobina, podemos afirmar que:
  - a) Sua indutância aumenta
  - b) Sua indutância diminui
  - c) Sua indutância não se altera
  - d) A indutância desaparece
  
3. A unidade de indutância é chamada:
  - a) Ohm
  - b) Farad
  - c) Volt
  - d) Henry
  
4. Em que parte de um solenóide o campo magnético é mais forte?
  - a) Nas extremidades
  - b) No interior
  - c) Fora do solenóide
  - d) Na bobina
  
5. Qual é o nome da resistência que ligamos em paralelo com um galvanômetro para usá-lo como amperímetro?
  - a) Shunt
  - b) Resistência multiplicadora
  - c) Resistência de fundo de escala
  - d) Resistência de precisão
  
6. Qual é a tensão de fundo de escala de um voltímetro feito com um galvanômetro de 1 mA de fundo de escala e uma resistência total de 1 000 ohms?
  - a) 0,01 V
  - b) 0,1 V
  - c) 1 V
  - d) 10 V



## » Corrente Alternada

Nos circuitos que estudamos até agora, a corrente sempre fluía de forma constante do pólo positivo para o negativo de um gerador (corrente convencional). Esse tipo de corrente, denominada contínua não é, entretanto, a única que existe. As correntes podem fluir de muitas maneiras nos circuitos elétricos e eletrônicos e quando isso acontece, os próprios componentes mudam de comportamento. Nessa lição vamos tratar de um tipo diferente de corrente, a corrente alternada, que tem especial importância no nosso dia a dia. A lição teórica 7 será formada pelos seguintes itens.

- 7.1 - O que é corrente alternada
- 7.2 - Formas de onda, freqüência, fase e valores
- 7.3 - Alternadores
- 7.4 - Energia bifásica e trifásica
- 7.5 - Capacitores e Indutores em Corrente Alternada
- 7.6 - Transformadores
- 7.7 - Impedância

### **Matemática**

Nesta lição teremos alguns itens que abordam cálculos matemáticos um pouco mais profundos. Se o leitor tiver dificuldades em entender, não se preocupe. Pode seguir em frente, desconsiderando estes itens e voltando a ele quando seus conhecimentos de matemática estiverem um pouco mais avançados, o que será possível através de nossas publicações.

### **7.1 - O que é corrente alternada**

Uma corrente que flui sempre no mesmo sentido, e com a mesma intensidade, como ocorre quando ligamos uma lâmpada a uma pilha, é chamada “corrente contínua”. Podemos abreviar essa designação por CC ou ainda, usando o termo americano “direct current” por DC. Na figura 172 temos o gráfico que indica a intensidade de uma corrente contínua ao longo do tempo.

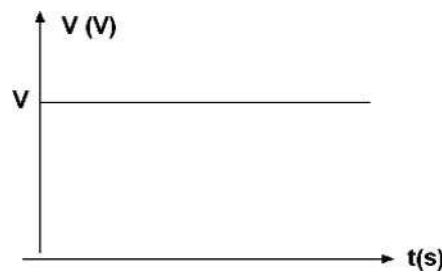


Figura 172 – Uma corrente contínua não varia com o tempo. A tensão no circuito se mantém constante

Observe que, para provocar uma corrente contínua, precisamos estabelecer em seu circuito uma tensão constante, ou seja, uma tensão que também seja contínua. No entanto, existe um outro tipo de corrente que é muito importante, pois é justamente a que dispomos nas nossas tomadas de energia e que as indústrias dispõem para alimentar seus equipamentos: a corrente alternada.

Para entender o que é a corrente alternada, vamos partir diretamente do dispositivo ou gerador que a produz, ou seja, o alternador.

Podemos dizer que existem três tipos diferentes de alternadores, mostrados na figura abaixo.

O primeiro (a) tem as armaduras (bobinas) fixas e o campo magnético é produzido por um imã que gira.

O segundo, mostrado em (b), tem a armadura fixa, e o campo magnético é criado por uma segunda bobina que gira.

O terceiro, mostrado em (c), tem uma bobina que cria um campo fixo e uma bobina que gira, cortando as linhas de força para gerar a corrente alternada.

Os três tipos são mostrados na figura 173.

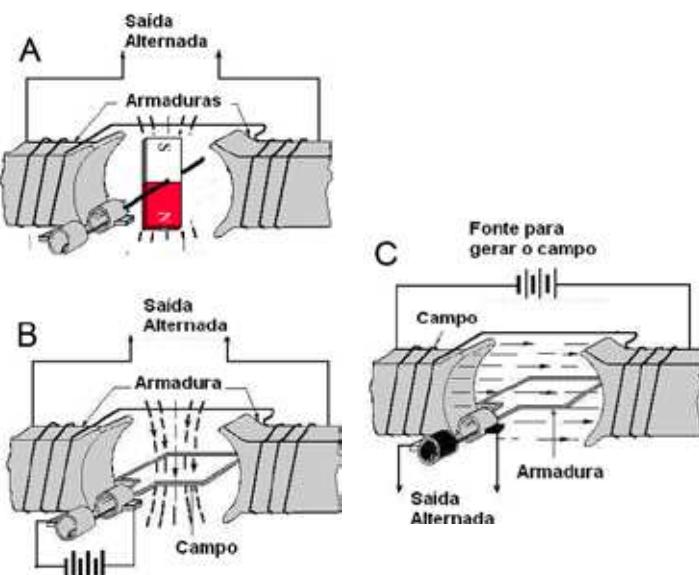


Figura 173 – Tipos de alternadores

Para entender como funcionam os alternadores, vamos tomar como exemplo o mais simples que é o que um imã permanente gira nas proximidades de duas bobinas.

Nesse dispositivo, um imã parte de uma posição inicial de repouso, em que o pólo S (sul) está na posição A. Neste momento, ele inicia uma rotação no sentido horário, conforme mostra a figura 174. Não há ainda corrente alguma circulando pela carga.

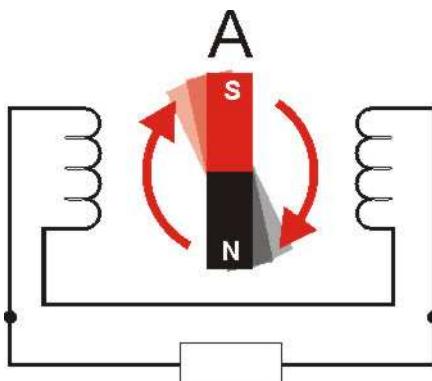


Figura 174 – Partindo da posição A

Continuando a girar, vemos que do ponto (A) até o ponto (B), o campo magnético do imã corta as espiras das bobinas, criando uma corrente que aumenta de intensidade, até atingir o máximo. Essa corrente circula pela carga, conforme mostra a figura 175.

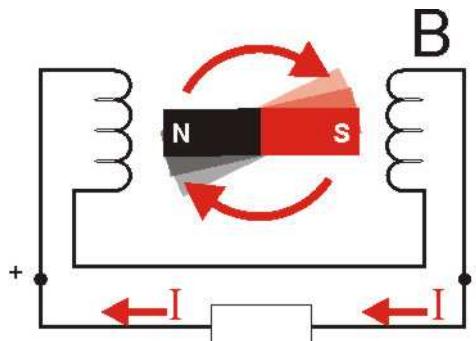


Figura 175 – Uma corrente circula pela carga

No quarto de volta seguinte, entre ( B ) e (C), o imã continua a cortar as espiras das bobinas, mas de maneira cada vez menos intensa, de modo que a corrente na carga se reduz até zero, conforme mostra a figura 176.

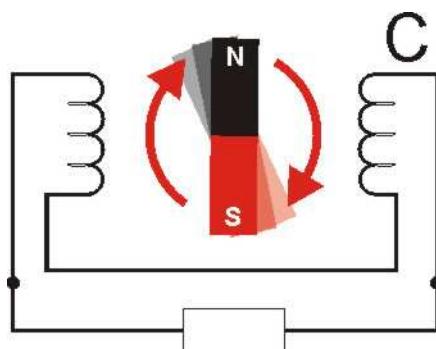


Figura 176 – Corrente nula na carga

A partir do ponto (C) até o ponto (D), a tensão sobe novamente, mas com polaridade oposta, fazendo agora circular uma corrente em sentido oposto pela carga, conforme mostra a figura 177.

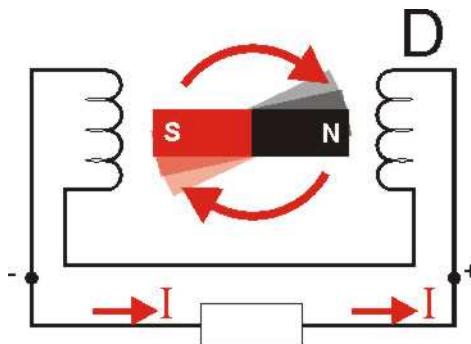


Figura 177 – No final da volta a corrente inverte seu sentido

Se o imã continuar girando com certa velocidade, teremos na saída uma corrente que varia entre máximos e mínimos regularmente, ou seja, inverte constantemente de sentido de circulação, o que corresponde a uma corrente alternada.

Vemos então que, se ligarmos um receptor a um gerador desse tipo, metade do tempo de um ciclo, a corrente circula num sentido, e na outra metade ela circula no sentido oposto. A energia que recebemos em nossas casas e que é disponível para consumo geral nas cidades é desse tipo.

Podemos representar a corrente gerada por esse tipo de gerador por uma curva chamada senóide, conforme mostra a figura 178.

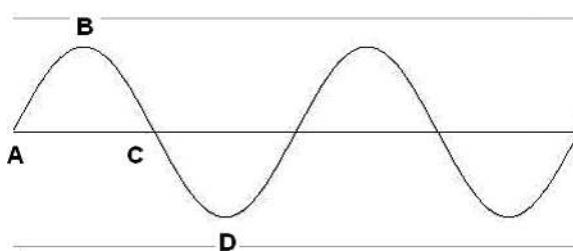


Figura 178 – Representação da corrente alternada por uma senóide

O gerador que produz a energia que consumimos dá 60 voltas por segundo, o que quer dizer que em cada segundo a corrente circula 60 vezes num sentido e 60 vezes no sentido oposto. Dizemos que a corrente que recebemos em nossas casas é alternada, com uma freqüência de 60 Hertz (Hz).

Existem países, como a Argentina, em que a corrente gerada tem uma freqüência diferente, como 50 Hz. O interessante é que, os efeitos obtidos na transmissão de energia usando corrente alternada são os mesmos que seriam obtidos com a corrente contínua, com vantagens que ficarão claras no decorrer do curso. Tomemos o seguinte exemplo:

Passando pelo filamento de uma lâmpada, ou por um elemento de aquecimento, os efeitos finais são sempre os mesmos: ao serem empurradas, as cargas transferem energia em forma de calor e, ao serem puxadas também, o que quer dizer que as lâmpadas acendem do mesmo jeito e os aquecedores aquecem do mesmo jeito.

## 7.2 - formas de onda, freqüência, fase e valores

A representação gráfica de uma corrente alternada tem uma forma muito especial: dizemos que se trata de uma forma de onda “senoidal”.

Isso nos leva a dizer que a corrente alternada que recebemos em nossas casas, e que é distribuída em nossa cidade, é alternada com forma de onda senoidal e freqüência de 60 Hz. Analisando essa forma de onda, existem diversos valores importantes que o profissional da eletricidade e eletrônica deve conhecer.

O primeiro, de que já falamos, é a freqüência, que é o número de vezes em cada segundo em que se completa um ciclo da geração dessa energia. A freqüência é medida em hertz (Hz). O tempo de duração de um ciclo completo nos dá o período da corrente alternada.

Para uma corrente alternada de 60 Hz, por exemplo, o período, ou tempo de um ciclo completo é  $1/60$  s, conforme mostra a figura 179.

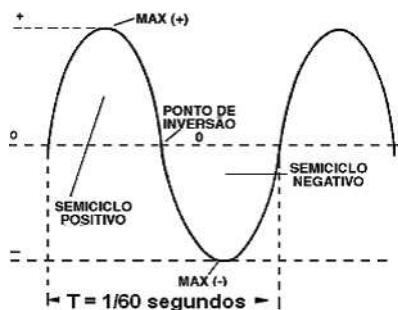
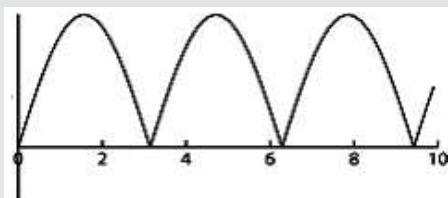


Figura 179 – A corrente alternada de 60 Hz tem um período de  $1/60$  segundo

### Corrente Contínua Pulsante

Um tipo importante de corrente que encontramos em algumas aplicações é aquela que flui sempre no mesmo sentido, mas não de maneira contínua. Ela é formada por pulsos, ou seja, a corrente liga e desliga rapidamente, ou ainda varia rapidamente, mas sempre no mesmo sentido, conforme mostra a figura A.



Conforme estudaremos, este tipo de corrente também tem os mesmos efeitos que uma corrente contínua pura, sendo encontrada em fontes de alimentação.

Veja que “o período é o inverso da freqüência” ou, escrevendo isso como fórmula:

$$T = 1/f \quad (f7.1)$$

Onde:

T é o período (em segundos)  
f é a freqüência (em hertz)

A amplitude de uma tensão alternada é expressa de diversas formas, conforme podemos observar pela figura 180.

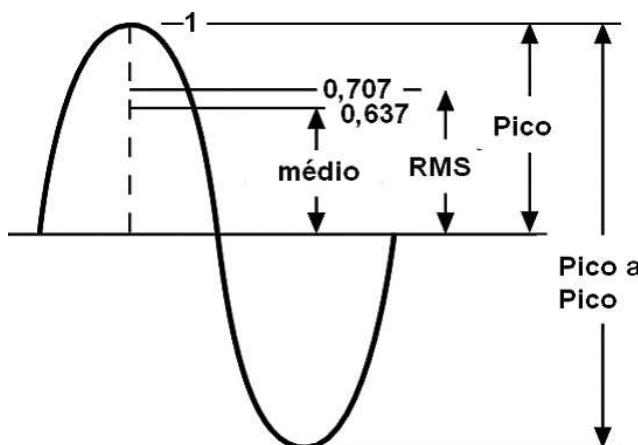


Figura 180 – Valores numa senóide

O valor máximo que uma tensão alternada atinge é o valor de pico. Indicamos esse valor por  $V_p$ . Metade do valor máximo nos dá o valor médio ou  $V_m$ .

No entanto, um valor muito importante é o “valor médio quadrático” ou “root mean square”, do inglês, que nos leva a abreviação  $V_{rms}$ . Esse valor corresponde à raiz quadrada de 2 dividida por 2, ou conforme mostra a fórmula:

$$V_{rms} = 0,707 \times V_p \quad (f7.2)$$

Onde:

$V_{rms}$  é a tensão média quadrática (em volts)

$V_p$  é a tensão de pico

0,707 é a raiz quadrada de 2 (1,41) dividido por 2

0,707 é o resultado da raiz quadrada de 2, que é 1,4142, dividido por 2. Estes valores aparecem muitas vezes em cálculos eletrônicos envolvendo sinal senoidais.

Levando em conta que a raiz quadrada de 2 é aproximadamente 1,41, dividindo esse valor por 2, obtemos 0,707. Isso significa que obtemos a tensão rms multiplicando a tensão de pico por 0,707. Da mesma forma, conhecendo a tensão rms, obtemos o valor de pico, multiplicando-o por 1,41.

A tensão de “110 V” que encontramos na nossa rede de energia tem esse valor rms. Assim, no instante em que ela se encontra no seu máximo, o pico vai a:

$$V_p = 1,41 \times 110 = 155,1 \text{ V}$$

O mesmo é válido para as intensidades de corrente: podemos falar em corrente de pico ( $I_p$ ), corrente média ( $I_m$ ) e corrente rms ( $I_{rms}$ ), num circuito.

Um outro valor importante que devemos observar na representação de uma tensão ou corrente senoidal é a sua fase. A cada instante, dentro de um ciclo, a tensão alternada tem um certo valor. Este valor muda constantemente, dependendo da frequência da tensão alternada. Em certas aplicações, é importante saber o valor que a tensão ou a corrente num circuito de corrente alternada assume num certo instante, dentro do ciclo. Para esta finalidade, o que se faz é dividir o ciclo em 360 graus (como numa circunferência) e indicar o instante por um ângulo entre 0 e 360, conforme o leitor poderá constatar pela figura 181.

Na verdade, a tensão que chamamos de 110 V tem valores reais de 117 V ou 127 V, dependendo da localidade. O termo “110 V” é usado na maioria dos casos, por ter se tornado popular. Mesmo a tensão que chamamos de 220 V, em alguns locais é 240 V. Os aparelhos normalmente são construídos para aceitar uma boa faixa de tensão, assim mesmo que indicados para 110 V, funcionarão normalmente em 117 V ou 127 V.

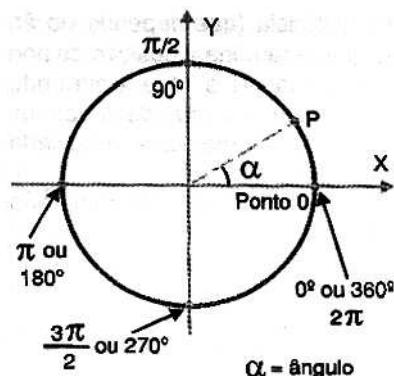


Figura 181 – As medidas do círculo trigonométrico

Os 360 graus são adotados lembrando que um ciclo de uma corrente alternada é gerado numa volta completa do alternador. Desta forma, pode-se indicar o instante desejado num ciclo por um ângulo de fase, dado em graus.

Podemos também usar o mesmo conceito para comparar duas correntes ou tensões alternadas que não estejam perfeitamente sincronizadas, ou seja, que não atingem os pontos de máximo e mínimo no mesmo instante. Dizemos que estas correntes estão “defasadas” e podemos indicar a diferença de fase entre elas por um ângulo, conforme pode ser observado na figura 182.

**Oposição de fase**

Quando a diferença de fase entre duas correntes, ou tensões, é de 180 graus, dizemos que elas estão em oposição de fase: quando uma é positiva a outra é negativa e vice-versa. Veja a figura A

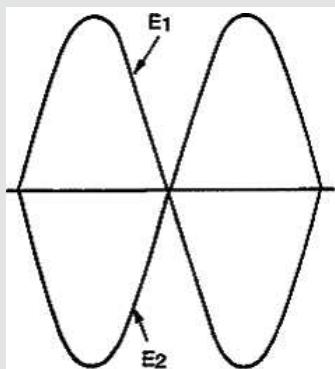


Figura A - Duas tensões em oposição de fase

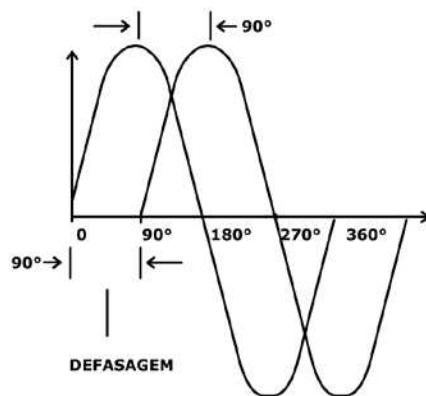


Figura 182 – Defasagem entre duas corrente

**7.2.1- Sinal**

Energia pode ser transportada de um lugar a outro, através de fios ou outros meios, utilizando-se uma corrente alternada. No entanto, as correntes alternadas também podem ser usadas para transportar informações. É o que ocorre com circuitos de rádio, onde conseguimos alterar as características de uma corrente alternada de frequência muito alta de modo que ela leve informações como voz, imagem, dados, etc. Quando a corrente alternada é usada para transportar informações, dizemos que se trata de um “sinal”.

No caso da rede de energia, as correntes são de baixa frequência, assim como no caso de correntes que correspondem aos sons, cujas frequências variam de 20 Hz a 20 000 Hz (20 kHz). No entanto, correntes de altas frequências, denominadas RF (rádio frequências), podem chegar a bilhões de hertz (GHz).

**Telecomunicações**

As correntes alternadas de altas frequências podem ser usadas para gerar ondas de rádio (ondas eletromagnéticas), usadas nas telecomunicações. Assim, um estudo mais profundo dessas correntes é feito por outro ramo da eletrônica, as telecomunicações.

**7.3 - Alternadores**

Os alternadores são geradores que convertem energia mecânica em energia elétrica. No caso específico desses geradores, a energia se torna disponível na forma de correntes alternadas. Encontramos os alternadores em diversas aplicações como, por exemplo, nas usinas hidroelétricas e nos automóveis.

Nas usinas são produzidas grandes quantidades de energia a partir da força das águas represadas, ou mesmo do vapor (usinas termoelétricas), enquanto que no automóvel, aproveita-se a força do motor, conforme poderemos ver na figura 183. Uma correia transmite a força do motor para um alternador.



Figura 183 – Um alternador de uso automotivo

Tanto nas usinas, como nos alternadores dos automóveis, temos basicamente dois conjuntos de bobinas. Um conjunto rotor que gira para cortar as linhas de força do campo magnético e um conjunto estator que cria o campo magnético, mas não se movimenta.

A eletrotécnica estuda a geração e transmissão de energia. Também são estudadas, neste ramo da eletricidade, as instalações elétricas e os equipamentos que consomem energia elétrica.

#### 7.4 - Energia bifásica e trifásica

A energia que recebemos em nossa casa vem na forma de uma tensão alternada bifásica. Nesta modalidade, existe um transformador (cujo princípio de funcionamento será estudado posteriormente) em que se dispõe de duas tensões. Na figura 184 mostramos o que explicamos.

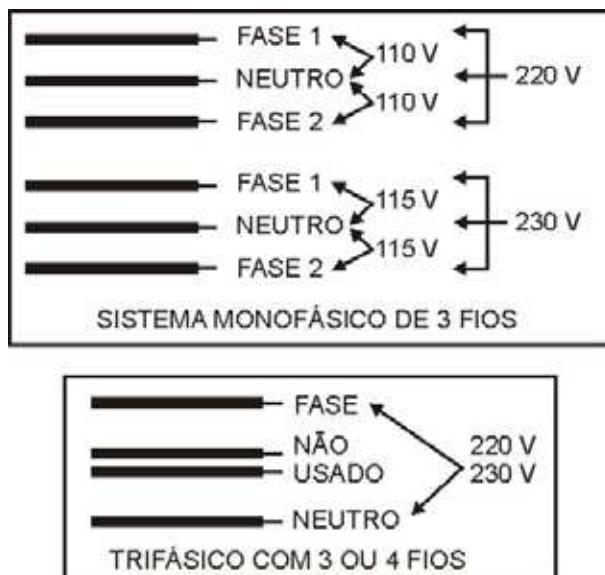


Figura 184 – Padrões de tensões

O terminal central é a referência ou pólo neutro. Num dos terminais temos uma tensão alternada normal, enquanto que no outro, temos uma tensão alternada com a fase invertida, conforme o leitor poderá ver na figura 185.

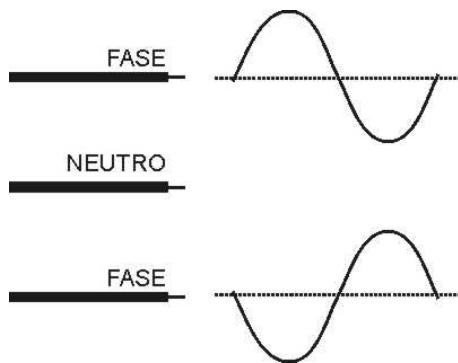


Figura 185 – Fases opostas da tensão no sistema de três fios

Observe então que as duas tensões têm fases invertidas de tal forma que, quando uma está no pico positivo, a outra está no negativo.

Isso significa que, se ligarmos qualquer aparelho entre um dos fios e o neutro, ele será alimentado com uma tensão de 110 V. No entanto, se ligarmos alguma coisa entre os fios extremos, a tensão que vai aparecer nele será de 220 V. Essa é a forma de transmissão de energia que muitas empresas usam para fornecer energia doméstica.

O polo neutro normalmente é ligado à terra, e assim também é confundido como o “terra” da instalação. Essa ligação tem diversos motivos, dentre eles adicionar segurança e até economizar um dos fios na transmissão da energia.

No entanto, temos uma outra forma de disponibilizar energia para consumo que é a chamada trifásica. Essa forma de se gerar e distribuir energia em sistemas de corrente alternada é empregada principalmente na indústria, por motivos diversos como, por exemplo, a maior conveniência na alimentação de motores elétricos de alta potência. Veja a figura 186.

Nesses sistemas são geradas três tensões com diferenças de fase de 120 graus, conforme mostra a figura 186.

A maior parte da energia consumida pelos equipamentos industriais de alta potência como, por exemplo, motores, vem na forma trifásica.

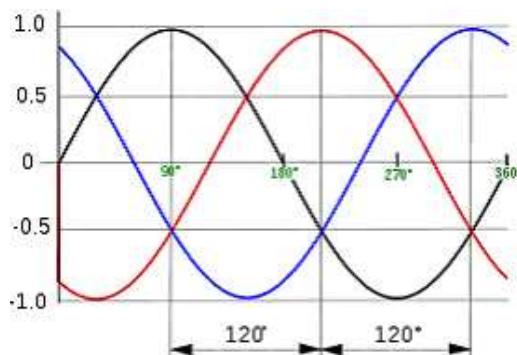


Figura 186 – Nos sistemas trifásicos as tensões são defasadas de 120 graus

O que se faz para isso, é utilizar um sistema gerador em que temos três tensões alternadas disponíveis em bobinas diferentes, conforme mostra a figura 187. Clique para ver.

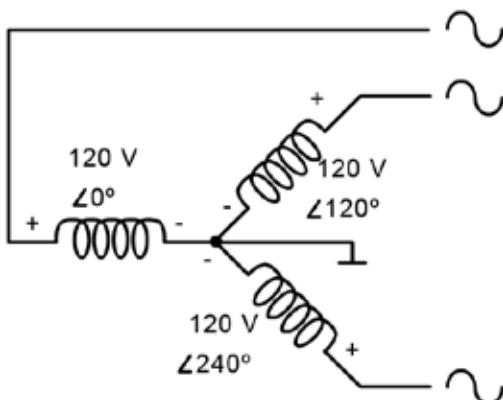


Figura 187 – Um alternador trifásico

Cada uma das bobinas, que tem uma extremidade ligada a um polo neutro comum, entrega uma tensão senoidal levemente defasada em relação à outra.

## 7.5 - Capacitores e Indutores em Corrente alternada

Conforme estudamos nas lições anteriores, quando ligamos capacitores e indutores num circuito de corrente contínua, por exemplo, através de um resistor, eles se comportam de uma maneira bem definida. Os capacitores se carregam até atingir uma carga máxima e os indutores têm sua corrente estabilizada depois de um certo tempo.

O fenômeno que ocorre com esses componentes, nos circuitos de corrente contínua, ficou bem caracterizado quando falamos de sua “constante de tempo”. No entanto, podemos também usar capacitores e indutores em circuitos de corrente alternada.

Quando isto for feito, veremos que esses componentes vão se comportar de uma forma completamente diferente que merece um estudo detalhado e muito cuidadoso.

Conforme já estudamos, numa corrente alternada o fluxo de cargas inverte-se rapidamente e de forma constante, no nosso caso à razão de 60 vezes por segundo. Isso significa que, em cada segundo a corrente circula 60 vezes num sentido, e 60 vezes noutro.

A inversão não se faz de maneira rápida, mas sim suave, de modo que, partindo de um instante em que a corrente é nula, ela cresce suavemente até atingir o máximo num sentido, para depois diminuir até se tornar nula novamente. Depois, ela inverte, crescendo suavemente até o máximo no sentido oposto para depois diminuir, isso num processo contínuo que nos dá um gráfico conforme mostra a figura 188.

### Eletônica Industrial

O estudo dos circuitos que funcionam com alimentação trifásica é fundamental para o ramo da eletrônica que se dedica a automação industrial, pois praticamente todos os equipamentos de alta potência de uma indústria ou mesmo de outras aplicações como transporte, operam com tensões trifásicas. Neste grupo incluímos os módulos de controle, inversores de potência e muito mais.

Veremos ao longo de nossos cursos que é possível gerar correntes com outras formas de onda e que também encontram aplicações práticas importantes.

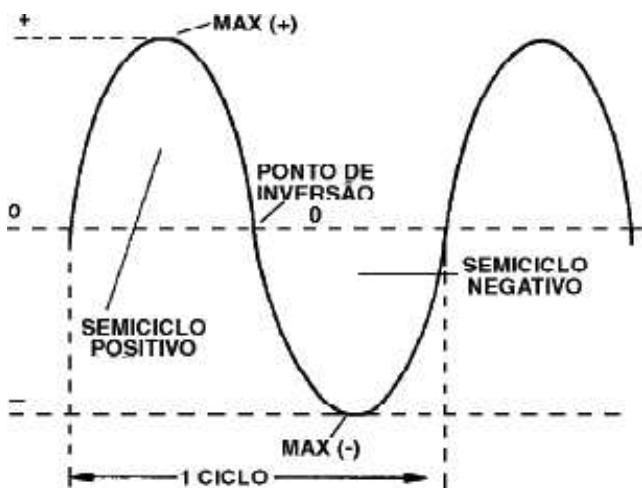


Figura 188 – A forma de onda de uma corrente alternada

Estudamos que a curva representada neste gráfico recebe o nome de senóide, de modo que a corrente que obtemos nas tomadas de nossa casa é senoidal de 60 hertz. (Alguns países usam correntes de 50 hertz).

Vamos analisar o que acontece se ligarmos um capacitor a um circuito que forneça uma corrente desta, conforme o leitor poderá ver na figura 189.



Figura 189 – Ligando um capacitor a um gerador de corrente alternada

Partindo de um instante em que a tensão seja nula, à medida que ela aumenta de valor numa certa polaridade, ela “bombeia” cargas para o capacitor, que começa a se carregar com a mesma polaridade.

Quando a tensão alternada atinge o máximo num sentido, o capacitor também atinge sua carga máxima. Depois, quando a tensão diminui, as cargas se escoam do capacitor até que, quando a tensão na rede atinge zero, o capacitor também estará descarregado.

No semiciclo (metade do ciclo) seguinte, a corrente começa a aumentar, mas no sentido oposto, carregando assim as armaduras do capacitor com a polaridade oposta, tudo conforme o leitor poderá ver na sequência da figura 190.

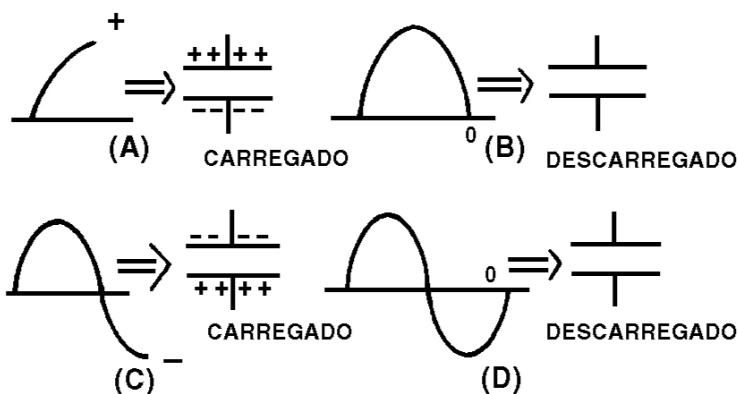


Figura 190 – Carga e descarga de um capacitor num circuito de corrente alternada

A carga e descarga, acompanhando o ritmo de inversão de polaridade da rede, ocorre indefinidamente. Veja que, a corrente num capacitor se atrasa em relação à tensão em 90 graus, o que quer dizer que, ela só atinge seu máximo 1/4 de ciclo depois, conforme mostra a figura 191.

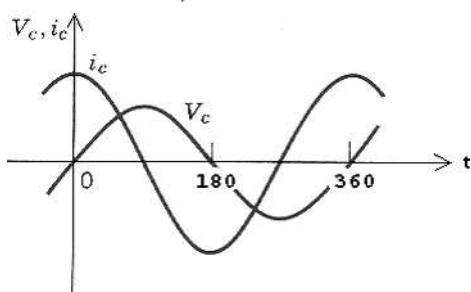


Figura 191 – Corrente e tensão estão defasadas de 90 graus num capacitor

Isso significa que, num capacitor, num circuito de corrente alternada, a tensão e a corrente estão defasadas de 90 graus. Dizemos que a corrente, num capacitor num circuito de corrente alternada, está adiantada em relação à tensão em 90 graus.

Veja também que, pela mesma figura 190 que, em metade de um semiciclo, ele armazena energia com uma polaridade e na outra metade ele a devolve ao circuito.

A quantidade de cargas que é “bombeada” e “extraída” do capacitor depende não só da tensão aplicada, mas também do próprio tamanho do capacitor, ou seja, de sua capacidade. Esta capacidade determina então a corrente média que circula por este componente no processo de carga e descarga, já que não podemos falar num valor em cada instante, pois, conforme vimos, ela varia. Podemos dizer que o capacitor se comporta como uma “resistência” neste circuito, permitindo que uma corrente variável circule.

Como o termo “resistência” não se aplica neste caso, pois o que temos é corrente de carga e descarga circulando, adota-se um

### Capacitores como Resistores

Em muitos circuitos de corrente alternada, podemos usar capacitores em lugar de resistores para reduzir a intensidade de uma corrente, com vantagens. A principal vantagem é que, como o capacitor não apresenta resistência, ele não dissipava calor como um resistor. Assim, se ligarmos um capacitor em série com uma lâmpada para reduzir a tensão na lâmpada, não teremos perdas na forma de calor no resistor. Isso pode ser interessante em fontes, conforme mostra a figura A.

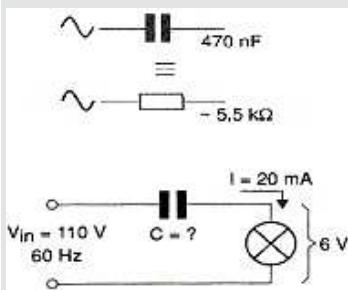


Figura A – Um capacitor equivale a um resistor em série com a lâmpada, reduzindo a tensão da rede de energia

outro termo para indicar o comportamento do capacitor no circuito de corrente alternada. Este termo adotado é “reatância” e, no caso do capacitor, temos uma “reatância capacitiva”, representada por  $X_c$ .

O valor de  $X_c$  é dado em ohms e dependendo basicamente de dois fatores: a frequência da corrente alternada e o valor do capacitor. Para calcular a reatância capacitiva apresentada por um capacitor, utilizamos a seguinte fórmula:

$$X_c = \frac{1}{(2 \times \pi \times f \times C)} \quad (f7.1)$$

Onde:

$X_c$  é a reatância capacitiva (em ohms)

$\pi = 3,14$

$f$  é a freqüência (em hertz)

$C$  é a capacitância (em farads)

Esta fórmula nos mostra claramente que, à medida que a frequência aumenta, temos uma reatância menor, ou seja, a corrente que flui na carga e descarga de um capacitor aumenta.

Simplificando, podemos dizer, quando tivermos um capacitor num circuito de corrente alternada, ele oferecerá uma oposição menor à passagem das correntes de frequências mais altas, ou seja, aquelas que variarem mais rapidamente. Este comportamento dos capacitores é muito importante quando fazemos o projeto de filtros, ou seja, circuitos que sejam capazes de separar sinais de frequências diferentes.

### Impedância

Nos circuitos de corrente alternada em que existem capacitores e indutores não tem sentido falarmos em resistência. Conforme vimos, a oposição à passagem da corrente nos circuitos com indutores e capacitores depende de sua reatância a qual é função da frequência.

Assim, para os circuitos de corrente alternada que contém estes componentes, o correto é usarmos um termo diferente para a “oposição à passagem da corrente”. Este termo é a impedância que também medida em ohms () .

Como um circuito que contém capacitores e indutores também afeta a fase da corrente circulante em relação à tensão, o cálculo de impedâncias envolve valores e também ângulos, ou seja, é feito de uma forma que denominamos “vetorial”.

### 7.5.2 - Reatância Indutiva

Do mesmo modo que os capacitores se comportam de formas diferentes nos circuitos de corrente contínua e alternada, os indutores também possuem suas características alteradas. Vamos imaginar um indutor ligado num circuito de corrente alternada, conforme mostra a figura 192.

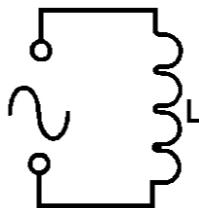


Figura 192 – Indutor num circuito de corrente alternada

Partindo do instante em que a tensão seja nula no início do ciclo, e que também não há corrente circulando, não temos campo magnético na bobina. À medida que a tensão sobe de valor no primeiro semiciclo, a corrente tende a circular num sentido pelo indutor, criando assim um campo magnético que reage ao estabelecimento da corrente. Desta forma, o crescimento da corrente no circuito acompanhando o crescimento da tensão, sofre uma oposição.

Quando a tensão atinge seu valor máximo, o campo está totalmente estabelecido, mas ao cair de valor, as linhas de força do campo magnético começam a se contrair, induzindo uma corrente que tende a se opor a esta nova variação de corrente. No semiciclo seguinte, partindo de zero, a corrente tende a se estabelecer no sentido oposto e o mesmo comportamento do indutor se manifesta, tendendo a se opor a estas variações de corrente.

Resumindo, o indutor também tende a apresentar uma oposição ao estabelecimento da corrente alternada a qual depende tanto do valor da indutância como da frequência. Esta oposição, que não pode ser chamada também de “resistência”, pois temos um circuito de corrente alternada, e por isso recebe o nome de reatância indutiva, sendo representada por  $XL$ . O valor  $XL$  depende tanto da indutância como da frequência podendo ser calculado pela seguinte fórmula:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \quad (\text{f7.2})$$

Onde:

$X_L$  é a reatância indutiva (em ohms)

$\pi$  vale 3,14

$f$  é a freqüência (em hertz)

$L$  é a indutância (em henry)

O “pi”, 3,14 aparece numa infinidade de cálculos eletrônicos. O valor de pi 3,14 é adequado para a maioria dos cálculos, se bem que o valor real ainda não tenha sido calculado, pois tem infinitos dígitos depois da vírgula.

Observe que a fórmula nos mostra claramente que, quanto maior for a frequência da corrente, maior será a oposição encontrada para ela se estabelecer num circuito em que exista um indutor. Dizemos que os indutores oferecem uma oposição maior aos sinais de frequências mais altas. Seu uso em combinação com os capacitores, nos circuitos de filtros, permite a separação de sinais de frequências diferentes, conforme veremos oportunamente. Na figura 193 mostramos como a corrente e a tensão num indutor estão defasadas de 90 graus.

**NA PRÁTICA**

Qualquer fio, ou mesmo trilha numa placa de circuito impresso, apresenta uma certa indutância. Se, conforme vimos, a indutância tem um efeito tanto maior num circuito quanto maior for sua frequência, a velocidade de operação de muitos aparelhos está seriamente dependente deste fator. De fato, quanto maior for a velocidade de operação de um circuito (num computador é dada pela frequência de seu clock), maiores serão os efeitos de qualquer indutância que seja apresentada de forma indevida nos seus circuitos. É por isso que, para transmitir sinais de um ponto a outro como, por exemplo, em redes ou para a impressora, sensores para circuitos de controle, etc., é muito importante que os cabos usados, e demais elementos do circuito, tenham uma indutância muito baixa. Caso contrário, os sinais são afetados pela forte oposição apresentada, surgindo os problemas de funcionamento.

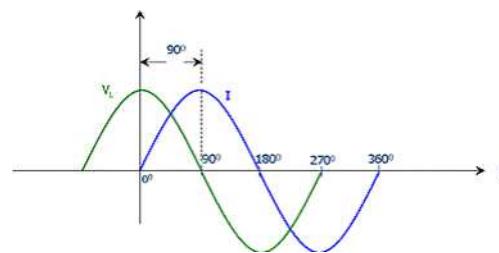


Figura 193 – Corrente e tensão num indutor – defasagem de 90 graus

Veja que, da mesma forma que um capacitor perfeito, um indutor não consome energia. Ele simplesmente a absorve, armazenando-a no campo magnético, para depois devolvê-la. Nesse processo de absorver e entregar a energia, o indutor se comporta como se apresentasse uma certa oposição à passagem da corrente alternada.

**7.5.3 - Fator de Potência**

Quando um circuito possui indutores, capacitores e resistores combinados, a presença desses componentes pode fazer com que os efeitos do capacitor predominem sobre os efeitos do indutor, ou vice-versa. A reatância capacitiva pode ser maior que a indutiva e vice-versa. Isso nos permite falar em um circuito indutivo ou capacitivo, conforme a corrente e a tensão estejam defasadas segundo uma das formas indicadas. Esta defasagem tem um efeito importante na potência consumida por um aparelho, principalmente os motores de uso industrial.

Fala-se então em “fator de potência” como a diferença de fase entre tensão e corrente que um motor, ou outro tipo de carga, apresenta quando em funcionamento, mas medida em valores de 0 a 1.

Se a corrente estiver defasada da tensão, como a potência e, portanto, a energia consumida dependem destas duas grandezas, uma falsa indicação pode ser dada. Se este fator for muito pequeno, o consumo do motor será registrado de forma indevida, causando problemas para a empresa que fornece energia.

Assim, quando temos uma carga fortemente indutiva que tem um fator de potência baixo, capacitores podem ser associados para fazer a “compensação”, corrigindo este fator, de modo que ele fique dentro dos limites tolerados, normalmente próximos de 1.

**7.5.4 – Potência Ativa e Potência reativa**

Potência ativa é a que efetivamente realiza um trabalho, sendo convertida totalmente em luz, calor, movimento, etc. Essa potência é medida em W (watt) e seus múltiplos (kW ou MW).

Um exemplo de carga, que consome totalmente a potência que lhe é fornecida, é uma lâmpada incandescente. Ela representa uma carga resistiva pura (ohmica), conforme mostra a figura 194, pois nela corrente e tensão estão em fase.

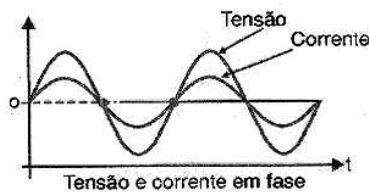
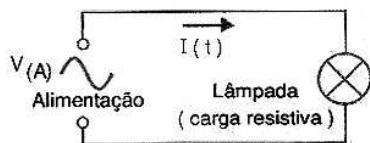


Figura 194 – Numa carga resistiva pura, corrente e tensão estão em fase.

No entanto, em muitas aplicações encontramos cargas que não são resistivas puras, mas sim reativas (capacitores e indutores), como é o caso de motores.

Numa carga deste tipo, a potência é reativa e é medida em VAR (Volt-Ampères Reativos), ou seus múltiplos (kVAR e MVAR), conforme mostra a figura 195.

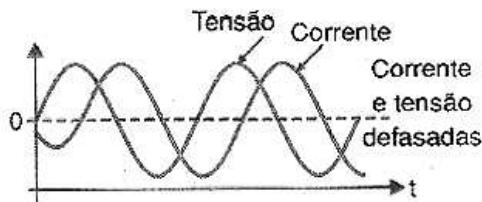
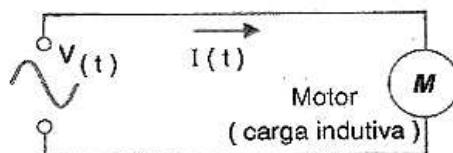
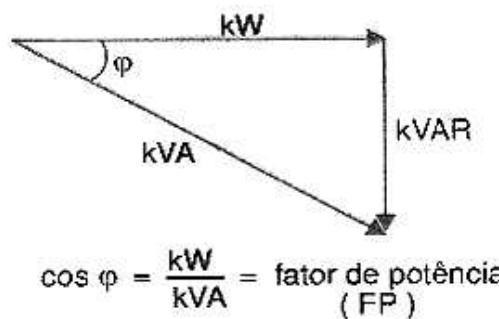


Figura 195 – Numa carga indutiva, corrente e tensão estão defasadas

O que ocorre é que nos indutores, a potência reativa não é usada na produção de trabalho, pois ela apenas tem por função estabelecer os campos magnéticos.

Essa potência, não aproveitada, poderia ser usada com finalidades melhores numa instalação industrial. A soma vetorial da potência ativa com a potência reativa nos dá a potência real, conforme mostra a figura 196.

Há uma legislação que regula o fator de potência, que equipamentos comerciais e industriais devem ter, de modo a haver o melhor aproveitamento da energia elétrica que consomem.



Nos casos em que o fator de potência precisa ser “corrigido” são usados “bancos de capacitores”. O efeito de sua reatância capacitiva compensa a reatância indutiva.



“Um banco de capacitores para correção do fator de potência”

Figura 196 – Potência real

Veja que, se a potência reativa for pequena, o ângulo entre a potência real e a potência ativa diminui, indicando um uso mais eficiente da energia. Assim, em lugar de se especificar a potência ativa ou a potência reativa, é comum indicar-se a eficiência no fornecimento e uso da energia pelo cosseno do ângulo mostrado na figura 190. Esse ângulo, denominado  $\varphi$  (phi), letra grega que se pronuncia “fi”, tem seu cosseno se aproximando de 1, quando ele tende a zero, e ele define o fator de potência.

Desta forma, considerando-se que na figura, esse ângulo pode assumir valores entre 0 e 90 graus, seu cosseno variará entre 0 e 1, conforme mostra a figura 197.

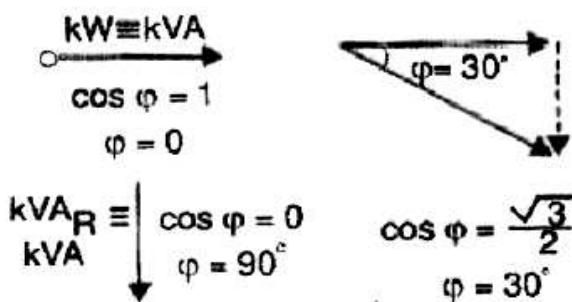


Figura 197 – O fator de potência representado por um ângulo

Podemos então dizer que o cosseno de  $\varphi$  pode variar entre 0 e 1. Tanto melhor será o aproveitamento da energia, quanto mais próximo o fator de potência (FP) estiver próximo de 1, que é o valor ideal.

Também é possível medir o fator de potência como a relação entre a potência ativa e a reativa.

Assim, nas contas de energia temos a especificação dos kVA, mas sim os kVARh (quilowatts-reativos x hora) e os kWh (quilowatts x hora). Para se calcular o fator de potência, deve-se aplicar a seguinte fórmula:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{kVARh}{kWh}\right)^2}}$$

É importante observar que tudo isso é válido quando a energia está dentro dos padrões de qualidade que essas aplicações exigem.

A presença de harmônicas numa instalação altera tudo isso, e a fórmula acima não pode ser aplicada.

## 7.6 - Transformadores

Um dispositivo importante que, opera baseado no comportamento dos indutores, é o transformador. Na figura 198 temos alguns tipos de transformadores, assim como seus símbolos.

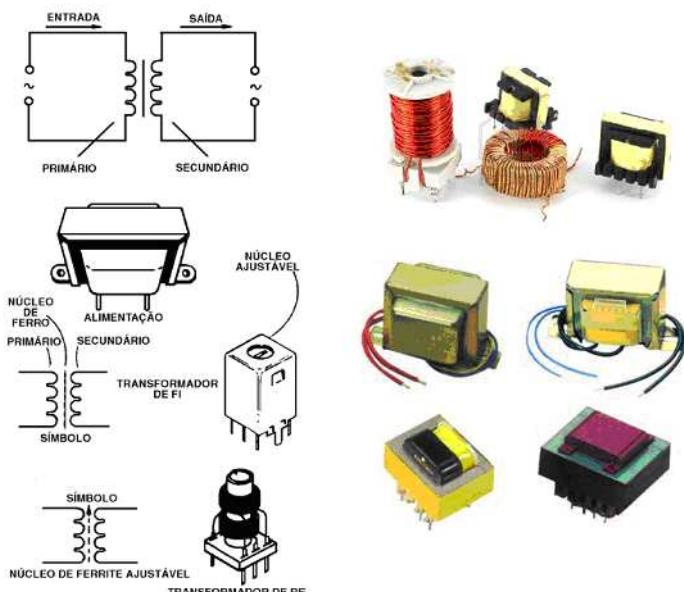


Figura 198 - Símbolos e aspectos dos principais tipos de transformadores

O transformador básico é constituído por duas bobinas enroladas num núcleo comum. O núcleo pode ser feito de diversos materiais como ferrite, ferro laminado, ou mesmo uma forma sem núcleo nenhum, caso em que diremos que se trata de um transformador com núcleo de ar.

Quando estabelecemos uma corrente alternada no enrolamento primário, aparece em torno de sua bobina um campo magnético, cujas linhas de força se expandem e contraem na mesma frequência da corrente. O resultado é que, cada vez que estas linhas cortam as espiras do outro enrolamento, é induzida uma tensão que aparece nos seus extremos.

A tensão induzida tem polaridade dada pelo movimento das linhas de força, de modo que ela também se inverte na mesma frequência da corrente do primário. Obtemos então, no secundário do transformador, uma tensão alternada de mesma frequência que a aplicada no enrolamento primário.

### Harmônicas

A presença de harmônicas numa linha de transmissão de energia é um motivo de preocupação, devendo ser procurada sua origem e eliminada a sua presença, pois pode causar problemas ao funcionamento de máquinas.

### Trigonometria

Se o leitor não aprendeu trigonometria, este último texto pode ter lhe causado uma boa dificuldade de entendimento. Não se preocupe. Essa diferença poderá ser compensada no futuro, principalmente através de nosso curso de matemática para eletrônica.

Observe então que a energia elétrica passa de um enrolamento para outro sem contacto elétrico, unicamente através das variações do campo magnético. Mas, o mais importante de tudo isso é o valor da tensão obtida. Se o enrolamento primário do transformador tiver 1 000 voltas de fio, e o secundário 500 voltas, a tensão obtida no secundário será metade da aplicada, conforme o leitor poderá ver clicando na figura 199.

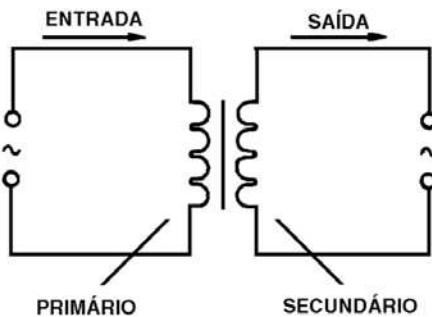


Figura 199 – Reduzindo uma tensão à metade

Do mesmo modo, podemos aumentar os valores de tensões alternadas se usarmos transformador cujo secundário tenha mais espiras de fio que o enrolamento primário. Veja, entretanto, que o princípio de conservação da energia se mantém: o que ganhamos em tensão, perdemos em corrente de modo que o produto, que é a potência, se mantém constante.

Assim, se ao aplicar uma tensão de 110 V num transformador, ele “absorve” 1 ampère, ao sair em 220 V, a corrente obtida no máximo, só será metade, ou seja, 0,5 ampère. Na prática, será um pouco menos, pois os transformadores não têm um rendimento de 100% na transformação de energia, mas sempre menor. As “perdas” normalmente vão gerar calor, o que significa que, em funcionamento, os transformadores que trabalham com potências mais elevadas, vão se aquecer.

Os grandes transformadores, que são usados nas redes de distribuição e mesmo aplicações industriais, trabalhando com potências extremamente altas, podem ter sistemas de refrigeração complexos, usando óleo ou mesmo água em sistemas com circulação forçada.

Os transformadores são usados para abaixar ou elevar tensões nos circuitos ou ainda para “casar” as características dos circuitos, conforme será estudado futuramente. Entretanto, é bom lembrar que, para funcionar, o transformador precisa de variações da corrente no seu enrolamento primário. A indução só ocorre quando as linhas de força se expandem ou contraem, ou seja, quando a corrente no primário varia.

Por este motivo, este tipo de componente não pode ser usado em circuitos de corrente contínua pura.

### 7.6.1 - Cálculo de Transformadores

O cálculo completo de um transformador, envolvendo o número de espiras das bobinas, a espessura do fio usado e o tipo de núcleo é algo complexo. O tamanho do núcleo e o material usado, por exemplo, dependem da freqüência da corrente e da potência.

Por exemplo, o material usado tem características de saturação que podem influir no modo como o campo magnético tem suas linhas expandidas e contraídas, e isso vai determinar seu rendimento, e a própria produção de calor pelo componente. A freqüência da corrente também é importante, pois temos transformadores que não são projetados para operar com a corrente da rede de energia de 60 Hz, mas com correntes de outras freqüências.

É comum termos transformadores especiais que trabalham com correntes cuja freqüência pode atingir várias centenas de quilohertz, e até mesmo megahertz.

O cálculo mais simples que podemos fazer é o referente à relação entre o número de espiras e as tensões, conforme a seguinte fórmula:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (f7.3)$$

Onde:

$V_1$  é a tensão do primário (em volts)

$V_2$  é a tensão do secundário (em volts)

$n_1$  é o número de espiras do primário

$n_2$  é o número de espiras do secundário

### 7.6.2 - Tipos de Transformador

Na prática, encontramos diversos tipos de transformadores nos equipamentos eletrônicos e mesmo em aplicações que envolvam electricidade. Podemos separar os transformadores em duas categorias:

#### a) Transformadores para baixas freqüências

Os transformadores para baixas freqüências são principalmente os que trabalham com sinais da rede de energia de 60 Hz, ou freqüências um pouco mais altas em aplicações especiais, como amplificadores de som. Esses transformadores usam chapas de metal como núcleo. A finalidade das chapas é diminuir as correntes que são induzidas e que podem provocar o aquecimento do componente.

Na figura 200 temos exemplos de transformadores desse tipo.

#### Transformadores

##### na prática

Conforme estudamos, os transformadores precisam de variações da corrente e por isso não operam com correntes contínuas puras. No entanto, se a corrente continua variar, como no caso de uma corrente contínua pulsante, então o transformador pode ser usado.

#### Calculando Transformadores

O projeto de um transformador não é algo simples e poucos dominam sua técnica. Além da relação de espiras, existem diversos fatores adicionais a serem considerados como a potência e a freqüência. Esses fatores vão determinar a espessura dos fios usados nos enrolamentos e também o tamanho dos núcleos. A freqüência vai determinar o tipo de núcleo.



Figura 200 – Transformadores de baixas frequências

**b) Transformadores para altas frequências**

Os transformadores para altas frequências têm núcleos de materiais especiais, como ferrites ou então núcleos de ar. A forma do núcleo também pode variar, existindo alguns tipos que usam anéis (toróides) para essa finalidade. Veja na figura 201 alguns exemplos de transformadores dessa categoria.



Figura 201

Encontramos os transformadores de altas frequências em circuitos de fontes chaveadas, transmissores, receptores de rádio, etc.

**7.6.3 - O Transformador de Força**

Um local em que encontramos um importante transformador para a maioria dos equipamentos eletrônicos é a fonte de alimentação.

Os circuitos eletrônicos de muitos aparelhos trabalham com baixas tensões contínuas, normalmente na faixa de 3 a 40 V e nas tomadas

### Núcleos Toroidais e perdas

Os transformadores comuns, usados em fontes de alimentação utilizam ferro doce laminado como núcleo, em formatos como os que estudamos.

Utilizando ferro laminado, com as lâminas isoladas umas das outras, são evitadas as correntes de turbilhão (Eddy), que causam perdas na transferência da energia de um enrolamento para outro. Essas perdas, além disso, provocam o aquecimento do componente, pois a energia das correntes no núcleo se transforma em calor. O formato das lâminas é tal que elas fecham o campo magnético produzido pelo enrolamento primário, envolvendo totalmente o enrolamento secundário. Isso garante uma boa transferência da energia de um enrolamento para outro. Esses transformadores são relativamente eficientes e baratos quando trabalhando com correntes de baixas freqüências, como a energia da rede local de corrente alternada e mesmo sinais de áudio. Veja que a quantidade de energia que vai ser transferida de um enrolamento a outro está diretamente ligada ao fluxo do campo magnético criado no núcleo. Assim, quanto maior for a potência de um transformador, maior deve ser núcleo e, portanto maior deve ser o componente.

No entanto, as fugas do campo magnético desses transformadores, além das perdas, têm um outro inconveniente, que é a possibilidade de interferir em outros circuitos do mesmo aparelho. É comum o uso de blindagens para os transformadores feitas com

materiais diamagnéticos, como o alumínio ou o cobre e ainda o aterramento da própria carcaça dos transformador,

Nas fontes chaveadas, conforme veremos, a utilização de correntes de altas freqüências faz com que o uso desse tipo de transformador seja inviável. No entanto, usando transformadores de ferrite, eles podem ser muito menores e mais eficientes.

Uma tecnologia muito usada na fabricação de transformadores, é a que faz uso de núcleos toroidais. Conforme o nome sugere, o núcleo consiste num anel ou toróide, em torno do qual são feitos os enrolamentos, conforme mostra a figura A.



Esses transformadores são muito mais eficientes, mas apresentam uma dificuldade técnica para sua construção: como fazer o enrolamento através de máquinas! Por essa dificuldade técnica, esses transformadores ainda são caros e pouco usados nas aplicações que envolvem potências elevadas, mas são muito comuns nos circuitos de altas freqüências, onde o tamanho reduzido e a facilidade de fabricação favorecem seu uso.

temos 110 V ou 220 V alternados. A finalidade da fonte de alimentação é justamente fazer conversão desta energia, e um dos componentes principais envolvidos nesse processo é justamente o transformador. Este transformador também tem uma função importante: ele isola o circuito do aparelho da rede de energia, evitando assim que tomemos choques encostando em qualquer parte. A energia da rede é aplicada num enrolamento e a baixa tensão de 3 a 40 V é obtida no outro (não estamos considerando alguns componentes intermediários). Isso significa que os dois enrolamentos estão isolados um do outro.

Lembre-se que a tensão e corrente obtidas no secundário do transformador é alternada assim, para obtermos as tensões e correntes contínuas que os equipamentos de baixa tensão normalmente precisam para funcionar, é preciso empregar componentes adicionais que serão estudados no Curso de Eletrônica Analógica.

## 7.7 - Impedância

Quando tratamos de circuitos que usam somente resistências puras, ou seja, componentes que se comportam como resistores, podemos aplicar a Lei de Ohm, sem problemas, para calcular seu comportamento elétrico. No entanto, se tivermos um circuito de corrente alternada, e em lugar de apenas resistores, encontrarmos também indutores e capacitores, a Lei de Ohm, como a conhecemos já não vale. Se tivermos somente capacitores ou somente indutores, podemos utilizar as fórmulas de reatância capacitiva e indutiva, conforme estudamos, mas tudo isso muda quando combinamos esses componentes, obtendo assim circuitos RLC. Se, por um lado os capacitores têm a corrente adiantando-se em relação à tensão e os indutores atrasando, enquanto os resistores as têm em fase, como combinar tudo isso para obter os efeitos finais no comportamento desse circuito?

O efeito conjunto é denominado “impedância” e podendo-se dizer que corresponde, de uma forma simplificada, à “resistência” que um circuito apresenta a uma corrente alternada. Evidentemente, a impedância, apesar de medida em Ohms, não representa apenas uma simples oposição à passagem da corrente, pois ela leva em conta efeitos sobre a fase da corrente em relação à tensão.

Um exemplo de como a impedância pode ser calculada, é dado inicialmente combinando-se um resistor e um capacitor, conforme o leitor poderá ver na figura 202.

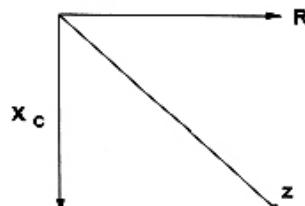


Figura 202 – A impedância num circuito RC

O resistor apresenta uma resistência pura (ohmica), enquanto que o capacitor tem uma reatância capacitativa. As duas possuem efeitos diferentes no circuito que, colocados num gráfico, ficam deslocados de 90 graus um do outro.

Isso significa que o resultado dos efeitos é uma soma vetorial, ou seja, uma soma que leva em conta a direção e o sentido dos efeitos no gráfico. Assim, chamando a impedância de Z, a resistência de R e a reatância capacitativa de C nesse circuito, calculamos Z pela fórmula abaixo:

$$|Z_c| = \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad f7.4$$

Onde:

Z é a impedância (em ohms)

R é a resistência (em ohms)

Xc é a reatância capacitativa (em ohms)

Podemos também ter o caso de um circuito formado por um indutor e um resistor, conforme mostra a figura 203.

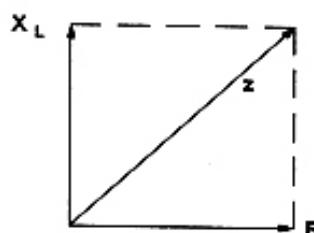


Figura 203 – Impedância no circuito RL

Nesse caso, a reatância indutiva será representada de forma diferente, conforme poderemos ver na mesma figura, e a resultante que é a impedância.

Chamando de Z a impedância, R a resistência e XL a reatância indutiva, podemos calcular a impedância pela fórmula abaixo:

$$|Z_c| = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad f7.5$$

Onde:

Z é a impedância (em ohms)

R é a resistência (em ohms)

XL é a reatância indutiva (em ohms)

Finalmente, temos o caso em que o circuito é formado por um resistor, um indutor e um capacitor, como poderá ser visto na figura 204.

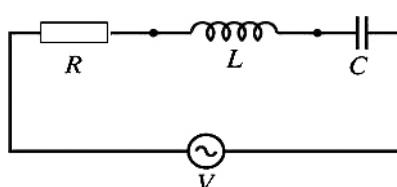


Figura 204 – Circuito RLC série

A tensão, neste caso, é uma grandeza vetorial, ou seja, tem direção, módulo (valor) e sentido.

Trata-se de um circuito RLC onde os efeitos das reatâncias e da resistência são colocados na forma gráfica, conforme mostra a figura 205.

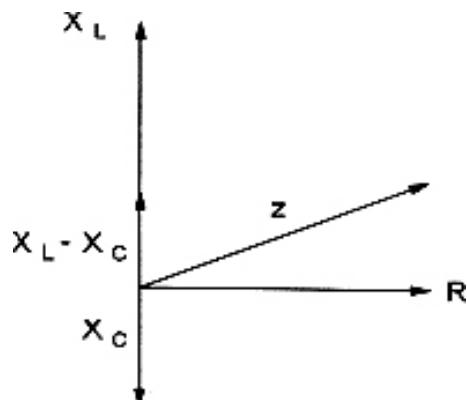


Figura 205

A impedância desse circuito pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \quad f7.6$$

Onde:

Z é a impedância (em ohms)

R é a resistência (em ohms)

Xc é a reatância capacitativa (em ohms)

XL é a reatância indutiva (em ohms)

### Fórmulas

Os leitores não familiarizados com a matemática, não devem se preocupar se não entenderem estes cálculos. Voltaremos a tratar deles em outras ocasiões.

Observe que a soma da reatância capacitativa com a indutiva é uma soma vetorial, ou seja, devem ser considerados os sinais das grandezas.

## Termos em Inglês

No estudo dos transformadores temos diversos termos interessantes. O termo *transformer* pode causar alguns problemas quando o usamos em buscas na internet, pois também leva a uma série de robôs de um filme. Assim, sempre é bom usarmos um termo adicional que os separe. Alguns termos que podem ser utilizados são:

- AC – Alternating current – corrente alternada
- DC – Direct Current – corrente contínua
- Power factor – fator de potência
- Power transformer – transformador de potência
- AC Transformer – transformador para rede
- Mains Transformar – transformador de força
- Impedância – impedância
- Reactance - reatância

Nesse ponto é bom diferenciar o termos *Mains* de *AC Power Line*. Os dois significam linha de energia ou rede de energia. *Mains* é usado na Inglaterra e *AC Power Line* nos Estados Unidos.

### Termos para Pesquisa

- Banco de capacitores
- Reatância
- Fator de potência
- Inversor de potência
- Motores industriais
- Transformadores
- Rede de energia
- Usinas

## QUESTIONÁRIO

1. A forma de onda de uma tensão alternada, como a disponível numa tomada de energia é:
  - a) Quadrada
  - b) Retangular
  - c) Senoidal
  - d) RMS
  
2. Meio ciclo de uma tensão alternada de 60 Hz correspondem a quantos graus de fase?
  - a) 0 grau
  - b) 90 graus
  - c) 180 graus
  - d) 270 graus
  
3. Qual é o valor RMS aproximado de uma tensão alternada senoidal cujo pico é 100 V?
  - a) 140 V
  - b) 120 V
  - c) 70 V
  - d) 35 V
  
4. Que potência dissipava, em forma de calor, um capacitor perfeito, ligado a um circuito de corrente alternada?
  - a) Metade do resistor equivalente
  - b) Nenhuma
  - c) Uma potência que depende da freqüência da corrente
  - d) Uma potência que depende da intensidade da corrente
  
5. Num indutor, a corrente se encontra:
  - a) Adiantada em relação à tensão
  - b) Atrasada em relação à tensão
  - c) Em fase com a tensão
  - d) Em oposição de fase com a tensão
  
6. De que modo a energia passa do enrolamento primário de um transformador para o enrolamento secundário?
  - a) Através de indução eletromagnética
  - b) Através de um campo eletrostático
  - c) Por ondas de rádio
  - d) Por uma corrente através do núcleo
  
7. Qual é a impedância que um resistor de 40 ohms apresenta quando ligado em série com um capacitor que, no circuito, tem uma reatância capacitiva de 30 ohms?
  - a) 35 ohms
  - b) 50 ohms
  - c) 70 ohms
  - d) 1200 ohms



## » Som e Acústica

Muitos aparelhos eletrônicos trabalham com sons, produzindo-os, reproduzindo-os, registrando-os ou mesmo captando-os. Na eletrônica de uso doméstico, embarcada, industrial, telecomunicações e outras, encontramos diversos tipos de dispositivos que, basicamente operam com sons. Para entender como funcionam estes dispositivos precisamos, em primeiro lugar, entender o que é o som. Esta lição dará ao leitor justamente estes conhecimentos básicos nos seguintes itens:

- 8.1 - A natureza do Som
- 8.2 - Espectro audível
- 8.3 - Características dos sons
- 8.4 - Propriedades dos sons
- 8.5 - Decibel
- 8.6 - Ressonância
- 8.7 - Ultrasound - aplicações práticas
- 8.8 - Efeito Doppler
- 8.9 - Som estereofônico

### 8.1 - A Natureza do Som

Se bem que as vibrações sonoras não tenham natureza elétrica, como elas podem ser captadas e reproduzidas por dispositivos elétricos, seu estudo é muito importante para quem pretende conhecer eletrônica. Como exemplo, podemos citar sensores acústicos de uso industrial, intercomunicadores e até os sistemas multimídia fazem muito uso dessas vibrações, pois os alto-falantes dos computadores produzem sons e, além disso, temos as entradas para sons captados por microfones.

As ondas sonoras são vibrações mecânicas, necessitando para se propagar de meios materiais. No vácuo, o som não se propaga. Uma experiência tradicional que mostra que isso é verdade consiste em se fazer funcionar uma campainha dentro de um vidro, do qual se tenha retirado todo ar. O silêncio é absoluto, pois onde não há meio

para o som se propagar ele não pode ser ouvido, conforme o leitor poderá ver na figura 206.



Figura 206 – Experimento para mostrar que no vácuo o som não se propaga

Na lua, seria impossível uma conversação, já que ela não possui atmosfera e, os “sons de explosão” no espaço que vemos nos filmes de ficção, consistem numa aberração, pois lá, tudo é silêncio. No ar, o som se propaga na forma de ondas de compressão e descompressão, conforme mostra a figura 207.

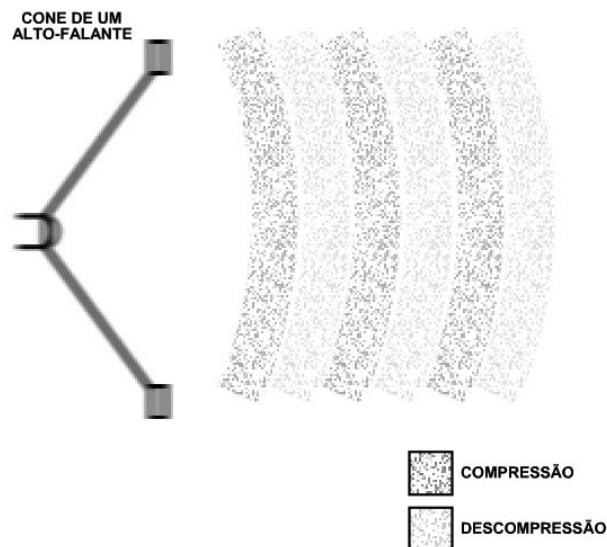


Figura 207 - O som consiste em ondas de compressão e descompressão do ar

Assim, um alto-falante, ao reproduzir um som, empurra para frente o ar para produzir uma onda de compressão e, depois ao se mover em sentido contrário, o puxa de modo a produzir uma onda de descompressão. Tanto a compressão como a descompressão se propagam com a mesma velocidade que, no ar sob condições normais de temperatura e pressão, é da ordem de 340 metros por segundo.

Quando estas ondas de compressão e descompressão atingem nossos ouvidos elas atuam sobre uma fina membrana em seu interior, denominada tímpano, a qual transmite as vibrações ao sistema interno. O sistema mecânico interno de nossos ouvidos, formado por alguns ossos móveis muito delicados, “traduz” as informações sobre a natureza do som captado e as envia ao cérebro através de ligações nervosas. Na figura 208 temos uma visão em corte de nosso ouvido.

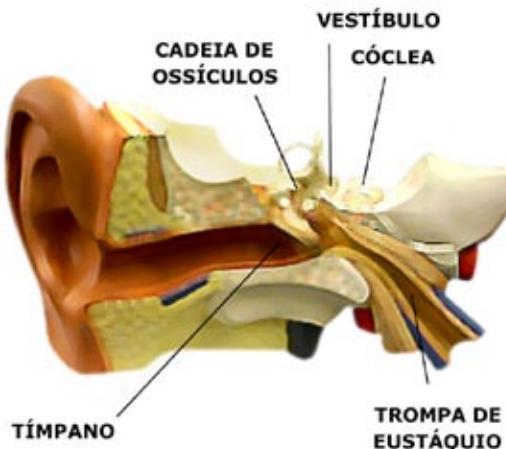


Figura 208 – Estrutura do ouvido

## 8.2 - Espectro Auditivo

Existe um limite bem definido para o tipo de vibrações sonoras que nossos ouvidos podem perceber. Assim, temos inicialmente um limite inferior para as freqüências das vibrações que determina a nossa faixa de audição e que está em torno de 16 hertz ou 16 vibrações por segundo.

Este limite corresponde aos sons mais graves que podemos ouvir. Não podemos ouvir vibrações que ocorram mais lentamente do que na taxa de 16 por segundo.

À medida que a frequência dos sons ou vibrações aumenta, eles vão produzindo sensações diferentes. Inicialmente graves, eles se tornam médios e depois agudos, até que o valor máximo que podemos perceber é atingido. Para as pessoas comuns o valor varia um pouco, mas está em torno de 16 000 Hertz.

Esta freqüência corresponde ao som mais agudo que a maioria das pessoas pode ouvir. Veja a figura 209, onde mostramos um gráfico que representa a faixa auditiva, ou seja, onde estão aos sons de todas as freqüências que podemos ouvir.

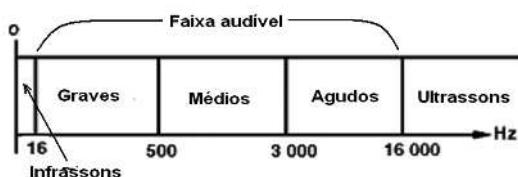


Figura 209 – Faixa ou espectro auditivo

### Faixas diferentes para diferentes pessoas

A faixa auditiva que estudamos, pode ser considerada como válida para a média das pessoas. Além dela mudar de pessoa para pessoa, ela também muda com a idade. À medida que envelhecemos, nossa faixa de audição se estreita e deixamos de ouvir as freqüências mais altas e mesmo as mais baixas.

**Sopranos**

Existem cantores que podem emitir notas muito altas. Alguns até chegam perto dos limites de nossa audição. As cantoras de vozes agudas são chamadas de “soprano”, e dentre elas podemos destacar a brasileira Carla Maffioletti que na orquestra de André Rieu alcança agudos bastante altos. Veja exemplos no Youtube digitando seu nome.



Carla Maffioletti

Abaixo do limite inferior temos a faixa dos infrassons e acima do limite superior de audição, temos as vibrações denominadas de ultrassons. Existem animais como o morcego, o golfinho e até mesmo o cachorro, que possuem um limite superior de audição acima do nosso. Estes animais conseguem ouvir os ultrassons até de frequências que em alguns casos chegam aos 100 000 Hz ou 100 quilohertz!

**8.3 - Características dos Sons**

Os sons possuem características que precisam ser muito bem conhecidas por parte de quem pretende usá-los, principalmente em aplicações que envolvam a eletrônica ou sua produção a partir de circuitos especiais. Podemos distinguir os diferentes sons por suas características.

Saber diferenciar estas características é muito importante, tanto para quem trabalha com som, como para quem projeta equipamentos de som.

**8.3.1 - Altura de um Som**

A altura de um som é a característica que está ligada a sua frequência. Dizemos que um som é mais alto que outro quando sua frequência é maior.

Os sons de frequências mais baixas são denominados graves, depois temos os médios e, finalmente os agudos. Um som mais alto é, portanto, um som mais agudo. Para os instrumentos musicais podemos dizer que o som do violino é mais alto do que o som do violão.

Não devemos confundir a altura do som com sua intensidade ou volume que explicamos a seguir.

**Frequências das Notas Musicais**

A escala musical tem frequências bem definidas. Baseados no fato de que nossos ouvidos podem distinguir frequências de aproximadamente 1/16 de diferença, a escala musical é dividida em oitavas (1/8), onde cada nota tem 1/8 da frequência da nota anterior. Assim, temos a seguinte tabela.

C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
16.352	17.324	18.354	19.445	20.601	21.826	23.124	24.449	25.956	27.500	29.135	30.867
32.703	34.648	36.708	38.890	41.203	43.653	46.249	48.999	51.913	55.000	58.270	61.735
65.406	69.295	73.416	77.781	82.406	87.307	92.499	97.988	103.82	110.00	116.54	123.47
130.81	138.59	146.83	155.56	164.81	174.61	184.99	195.99	207.65	220.00	233.08	246.94
261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23	369.99	391.99	415.31	440.00	466.16	493.88
523.25	554.37	587.33	622.25	659.26	698.46	739.99	783.99	830.61	880.00	932.32	987.77
1046.50	1108.50	1174.66	1244.51	1318.51	1396.91	1479.98	1567.98	1661.22	1760.00	1864.66	1975.53
2093.00	2217.73	2349.32	2489.02	2637.02	2793.83	2959.96	3135.97	3322.44	3520.00	3729.31	3951.07
4186.01	4434.92	4698.64	4978.03	5274.04	5587.66	5919.92	6271.93	6644.88	7040.00	7458.63	7902.13

### 8.3.2 - Volume ou Intensidade

O volume ou intensidade é a característica do som ligada à força com que as ondas de compressão e descompressão ocorrem. O volume ou intensidade são associados à potência do som.

Dois amplificadores que possuam potências diferentes, quando ligados ao máximo volume, produzem sons com volumes ou intensidades diferentes. A representação de dois sons com a mesma frequência nas intensidades diferentes é feita conforme o leitor poderá ver pela figura 210.

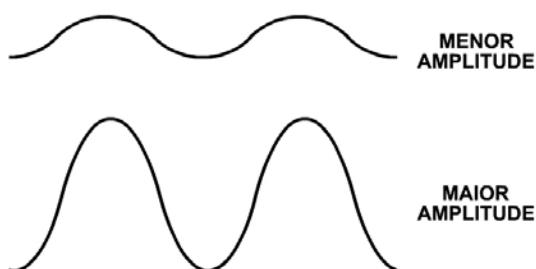


Figura 210 – A intensidade do som é dada pela sua amplitude

Lembramos que as ondas sonoras transportam energia e que essa energia pode ter efeitos destrutivos. Assim, o som ouvido em grande intensidade, como ocorre em muitas casas noturnas, shows e mesmo por quem usa fones, pode causar problemas auditivos nas pessoas, como a diminuição da capacidade auditiva e até mesmo a surdez completa.

As ondas sonoras de grande intensidade são até usadas em ferramentas e equipamentos de limpeza. Sua energia, por exemplo, pode ser usada para a limpeza de objetos de metal (jóias, por exemplo) em limpadoras ultrassônicas, conforme mostra a figura 211.



Figura 211 – Uma limpadora ultrassônica

### 8.3.3 - Timbre

O timbre é a característica que nos permite diferenciar a mesma nota musical emitida por dois instrumentos diferentes. Podemos dizer que se trata da “coloração” ou “personalidade” do som.

#### Volume e altura

É muito comum que as pessoas confundam volume com altura. Assim, quando queremos que a intensidade de som de um amplificador seja menor, devemos pedir para diminuir o volume e não a altura. Diminuir a altura seria tornar o som mais grave...

Do mesmo modo que as oscilações podem ser suaves, provocadas por um movimento de vai e vem de um cone de alto-falante, também podemos produzir sons, a partir de movimentos bruscos ou irregulares de um objeto.

Colocando os dois tipos de sons, e mesmo outros, num gráfico, vemos que, para os movimentos suaves que correspondem a um som puro, a representação é uma senóide. No entanto, para outros sons, as vibrações podem ser representadas de outras formas.

Nossos ouvidos conseguem perceber as diferenças entre dois sons que tenham a mesma frequência, mas que tenham modos de vibrações ou timbres diferentes.

Assim, as mesmas notas de diversos instrumentos possuem a mesma frequência e até mesmo a mesma intensidade, mas como possuem timbres diferentes, podemos saber de que tipo de instrumento provém. A nota dó de um violão é diferente do dó de um piano pelo timbre! Veja na figura 212 o que ocorre com alguns instrumentos.



Figura 212 – Timbres de alguns instrumentos tocando a mesma nota

Quando um amplificador reproduz um som, alterando sua forma de onda, nossos ouvidos conseguem perceber isso, o que resulta num efeito indesejável que é a distorção.

Já sabemos que as ondas sonoras não podem se propagar no vácuo, mas, além desta propriedade, elas possuem algumas outras importantes.

#### 8.3.4 - Comprimento de Onda

Esse é um conceito muito importante que também se aplica a outros tipos de perturbações que se propagam pelo espaço na forma de ondas, tais como as ondas de rádio. Supondo um ciclo completo na produção de uma onda sonora senoidal, vamos imaginar que, no momento em que temos sua produção ela já inicia sua propagação através de um meio material como, por exemplo, o ar.

Quando o ciclo for completado, sua frente, ou seja, a parte inicial da perturbação já estará a uma certa distância. Essa distância, que corresponde à distância que um ciclo completo percorre ao ser produzido, é denominada “comprimento de onda” e representada pela letra grega lambda ( $\lambda$ ). Veja na figura 213.

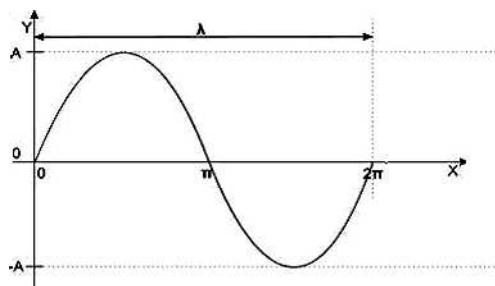


Figura 213 – O comprimento de onda

Veja que esse comprimento de onda dependerá fundamentalmente de dois fatores: a velocidade de propagação e a freqüência. Podemos relacionar as três grandezas através de uma fórmula importante:

$$v = \lambda \times f$$

onde:

$v$  é a velocidade de propagação (m/s)

$\lambda$  é o comprimento de onda (m)

$f$  é a freqüência (Hz)

Para o som, no ar em condições normais, podemos fixar  $v$  em 340 m/s. A velocidade de propagação dos sons varia bastante conforme os materiais. Damos, a seguir, uma tabela com a velocidade de propagação do som em alguns materiais comuns:

Material	Velocidade (m/s)
Ar (0 °C)	331,5
Ar (10 °C)	337,5
Ar (20 °C)	343,4
Ar (30 °C)	349,2
Álcool Etílico	1 180
Glicerina	1 923
Mercúrio	1 451
Água comum	1 497
Água do mar (*)	1510 - 1550 (*)
Alumínio	5 080
Cobre	3 710
Ebonite	1 570
Vidro	3900 - 4 700 (**)
Gelo	3 280
Ferro	5 170
Mármore	6 150
Mica	7 750
Aço carbono	5 050
Zinco	3 810

(\*) Depende da salinidade

(\*\*) Depende do tipo

### Aproximação

Como vimos pela tabela no início desta lição, a velocidade do som varia no ar conforme sua temperatura (e também a pressão), mas para efeito de cálculos, é comum sempre se adotar o valor 340 m/s.

## 8.4 - Propriedades dos Sons

Os sons se propagam apenas pelos meios materiais e na forma de ondas longitudinais ou transversais. Isso faz com que ele apresente certas propriedades que o leitor deve conhecer. As principais propriedades dos sons são:

### 8.4.1 - Reflexão

Se ondas sonoras incidirem numa superfície dotada de um certo grau de flexibilidade e com certa extensão, elas podem refletir-se ou seja, “bater e voltar”, conforme mostra a figura 214.

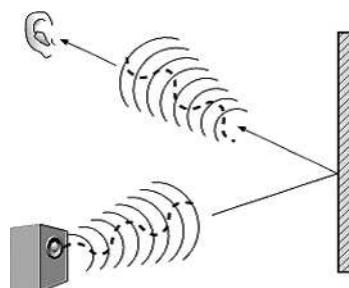


Figura 214 – O som pode refletir em determinadas superfícies

Existe um tempo mínimo para que nossos ouvidos possam distinguir dois sons sucessivos, dado justamente pelas características de resposta de freqüência que eles apresentam. Assim, se o intervalo que ocorrer entre a emissão do som e a sua volta superar 0,1 segundos, poderemos perceber claramente dois sons: o emitido e o refletido. Teremos então o fenômeno conhecido como eco, conforme mostra a figura 215.



Figura 215 – Distância mínima para haver eco

#### Revestimento acústico

O eco prejudica bastante a qualidade do som de salas de espetáculos e outros ambientes, devendo ser eliminado. Para essa finalidade, além de formas da estrutura que minimizem as reflexões de som, as salas de espetáculos também usam revestimentos especiais.

Veja que, para que tenhamos uma separação de 0,1 segundos entre os sons a uma velocidade de 340 metros por segundo, isso representa uma distância total de 34 metros, ou 17 metros de ida e 17 metros para a volta. Esses 17 metros correspondem, portanto, à distância mínima que deve existir entre a pessoa e o ponto de reflexão para haver eco.

Um fenômeno que ocorre quando os tempos de volta do som refletido forem menores que 0,1 segundos e, além disso, ocorrem reflexões sucessivas, é o prolongamento do som, denominado reverbe-

ração. É o efeito de “som de catedral”, em que o som de um grito ou de um sino parece prolongar-se indefinidamente, devido a reflexões sucessivas, num intervalo menor do que o necessário para se obter eco.

#### 8.4.2 - Difração

Um outro fenômeno que ocorre com os sons, é a difração. Quando uma onda sonora encontra um obstáculo para sua propagação como, por exemplo, a borda de uma superfície, conforme o leitor poder na figura 216, a borda pode funcionar como um elemento que encurva as ondas sonoras.

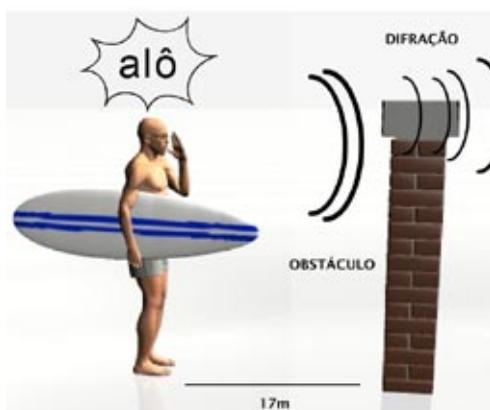


Figura 216 – A quina do objeto deflexiona a trajetória das ondas

Esse fenômeno é mais acentuado com as ondas sonoras de maior comprimento, ou seja, com os sons graves. O princípio de Huygens, que pode ser estudado nos livros de física do ensino médio, explica o que ocorre de uma forma mais detalhada, caso o leitor deseje se aprofundar no assunto.

#### 8.5 - O Decibel

Do som mais fraco ao som mais forte que podemos ouvir, existe uma variação gigantesca de intensidades, o que dificulta o uso de uma unidade de medida linear. Do som mais fraco ao mais forte, a intensidade varia em trilhões de vezes.

A própria natureza, para ajustar as características do ouvido à todos os sons que podemos encontrar, dota-o de uma resposta não linear. Assim, o ouvido tem sensibilidade maior para os sons mais fracos e, por outro lado, reduz sua sensibilidade, quando os sons são mais fortes.

Dizemos que a resposta de nossos ouvidos segue uma curva logarítmica, conforme mostra a figura 217.

#### Câmaras anecóicas

No teste de equipamentos de som, como amplificadores, microfones, alto-falantes não deve haver reflexão alguma dos sons. Para isso existem câmaras especiais denominadas câmaras anecóicas onde são realizados os testes.



Uma câmara anecólica

O princípio de Huygens explica porque estando do outro lado de um muro, uma pessoa percebe a aproximação de uma banda, primeiro ouvindo os sons dos instrumentos mais graves (maior comprimento de onda), como a tuba e depois os demais.

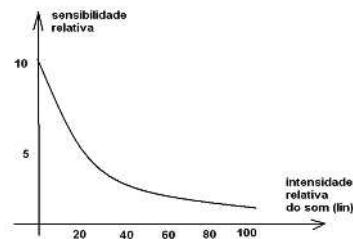


Figura 217 – Curva logarítmica de sensibilidade do ouvido humano

Para maior facilidade de representação das intensidades sonoras, e mesmo de seus cálculos é adotada uma unidade logarítmica chamada Bel. O que se faz então, é adotar para a medida da intensidade sonora uma unidade logarítmica.

Esta unidade é o Bel, e na prática trabalhamos com décimos de bel ou decibéis, abreviado por dB. Veja na figura 218 a curva de sensibilidade do ouvido humano para os sons de diversas frequências com a escala em dB.

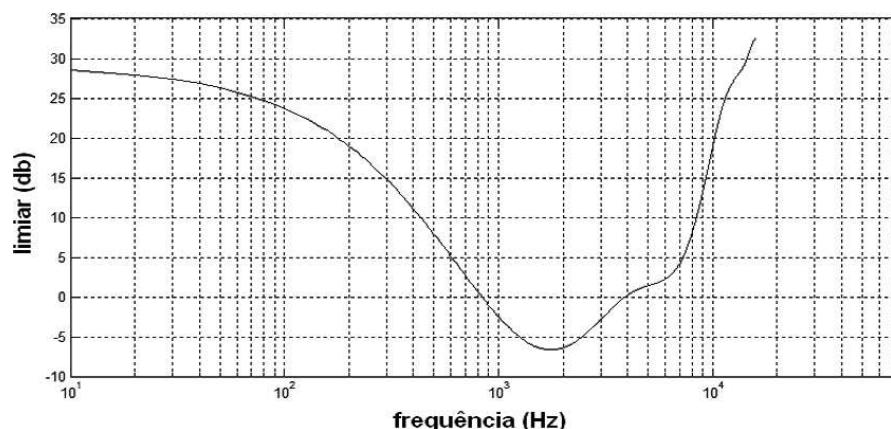


Figura 218 – Curva de sensibilidade do ouvido humano – observe que a maior sensibilidade está em torno de 3 kHz.

A tabela dada a seguir nos mostra os níveis sonoros relativos em dB de algumas fontes comuns, para que o leitor tenha uma idéia de como essa escala funciona.

### Potenciômetros de volume

Os potenciômetros usados nos controles de volume dos aparelhos de som, rádios e outros circuitos que operam com áudio (som), possuem justamente uma curva de atuação logarítmica para se adaptar às características do ouvido humano. Esses são os potenciômetros log que se diferenciam dos lineares (lin).

Fonte sonora	Nível sonoro
Respiração normal	10 dB
Quarto de dormir silencioso	35 dB
Conversação em voz normal	45 dB
Pessoas conversando com voz um pouco elevada	60 dB
Festa barulhenta	90 dB
Rua movimentada	90 dB
Concerto de Rock	120 dB
Trovão	120 dB
Jato decolando (30 m de distância)	140 dB

## 8.6 - Ressonância

Um outro fenômeno muito importante, que ocorre com os sons e também com outras formas de vibrações, é a ressonância. Todos os corpos possuem uma freqüência própria de vibração, uma freqüência na qual podem vibrar com mais facilidade. Essa freqüência depende do material de que são feitos, de sua forma e também de suas dimensões. É por esse motivo que, quando batemos numa barra de metal pequena e numa barra grande, os sons produzidos possuem freqüências diferentes. Cada barra tende a vibrar na sua freqüência própria, conforme o leitor poderá ver pela figura 219.

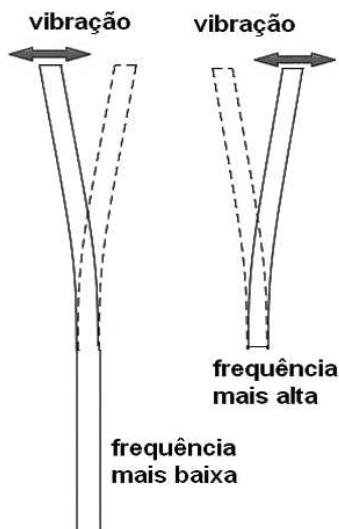


Figura 219 – Barras de comprimentos diferentes vibram em freqüências diferentes

Um instrumento, de grande utilidade para afinação de instrumentos musicais, que se baseia totalmente na ressonância, é o diapasão. Conforme poderemos pela figura 220, ele consiste numa barra de metal em forma de forquilha que, ao ser excitada (batida ou vergada), produz som numa freqüência fixa, normalmente a nota fá de 440 Hertz, na qual se baseia a afinação de uma grande quantidade de instrumentos musicais.

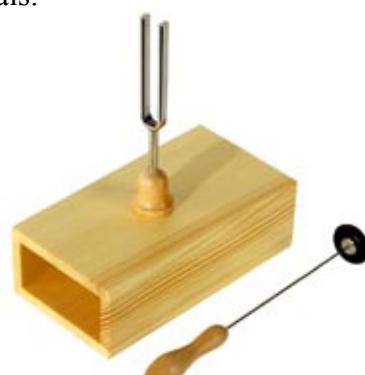


Figura 220 – Diapasão em caixa de madeira, como os usados nos laboratórios de física

Na peça “Heia in den Bergen”, a soprano Carla Mafiolletti mostra como é possível quebrar cristais pela ressonância, emitindo notas muito agudos. A peça, que pode ser vista no Youtube é uma fantasia, mas mostra o efeito. Dizem que Yma Sumac, soprano peruana, quebrava taças com sua voz.



Yma Sumac

A ressonância pode ser um fenômeno desejado ou indesejado em muitas aplicações que envolvam som. Ela é desejada, quando precisamos produzir um som de uma frequência fixa e podemos aproveitar as características físicas de um objeto. Os instrumentos musicais se baseiam totalmente nisso.

Ela é indesejada, quando a presença de vibrações mais fortes, na freqüência em que um corpo tende a vibrar, traz algum tipo de problema. A ressonância de alto-falantes comuns em certas frequências, por exemplo, pode distorcer os sons dessas frequências, tornando a reprodução desagradável.

### 8.7 - Aplicações para os Ultrassons

Os ultrassons podem ser utilizados em diversos tipos de aplicações práticas, muitas das quais se baseiam em exemplos encontrados na própria natureza.

O SONAR, por exemplo, se baseia no sistema de orientação empregado pelos morcegos e pelos golfinhos. Esses animais emitem ondas ultrassônicas de frequências que podem chegar a 100 000 Hz em alguns casos e possuindo um ouvido suficientemente sensível para captar seus ecos.

Em função do eco, eles podem determinar o tamanho do objeto em que as ondas se refletiram e também, se esse objeto está em movimento, com uma idéia de sua direção, conforme poderemos ver na figura 221.

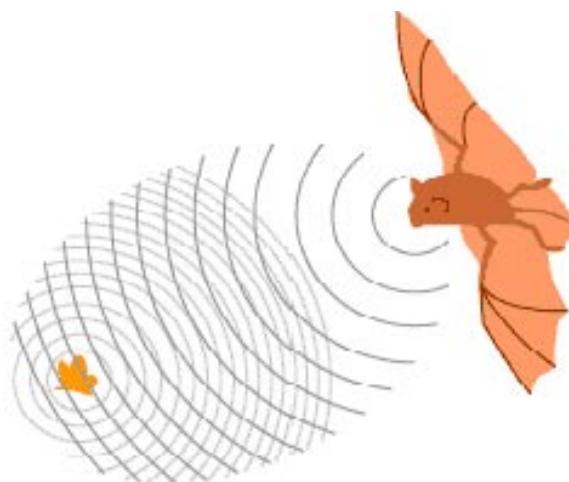


Figura 221 – O morcego usa ultrassons para encontrar seu alimento

Aproveitando essa idéia, embarcações utilizam um equipamento denominado ecobatímetro (que se baseia no sonar), capaz de medir a profundidade do local em que elas se encontram e também detectar cardumes ou objetos flutuantes em profundidades intermediárias. Na figura 222 onde ilustramos o princípio de funcionamento desse equipamento.

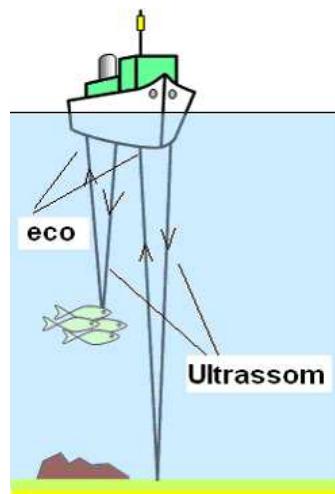


Figura 222 – O ecobatímetro

Pelo tempo que o sinal ultrassônico leva para ir até o fundo e voltar, têm-se a profundidade e ecos intermediários indicam a presença de cardumes. Tudo isso é apresentado numa tela especial que já possui, em alguns casos, recursos para processar a imagem fornecendo até um perfil do fundo do mar no local da navegação.

Na robótica, também se utiliza o mesmo princípio para detectar obstáculos e determinar a distância em que ele se encontra. Um emissor ultrassônico é colocado na frente do robô autônomo juntamente com o receptor, conforme o leitor poderá ver na figura 223.

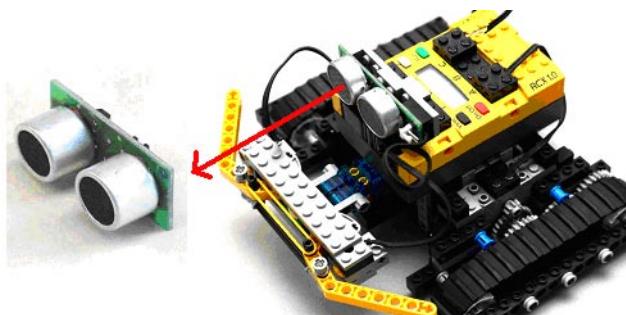


Figura 223 – Sensor e robô-Lego com sensor ultrassônico

Ondas ultrassônicas são constantemente enviadas e recebidas, se houver um obstáculos no qual elas refletam. Um circuito processa constantemente o eco, determinando a distância do obstáculo pelo tempo que ele demora para ir e voltar.

A possibilidade de se medir distâncias ou ainda detectar coisas pela reflexão de ondas sonoras, encontra aplicações importantes também na indústria. Uma delas consiste na detecção de falhas numa peça de metal por meio de ultrassons.

Se ultrassons são aplicados na peça a reflexão, teoricamente, só ocorre na outra extremidade ou face da peça. No entanto, se existir alguma “descontinuidade” para a propagação das ondas como, por

exemplo, uma falha interna ou rachadura, as ondas refletem antes e o aparelho pode fazer sua detecção. Na figura 224 ilustramos o que ocorre.

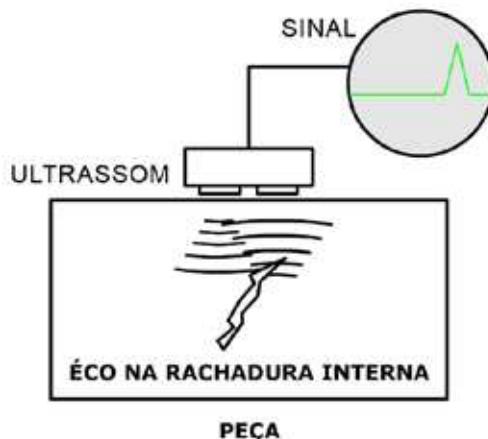


Figura 224 – Usando ondas ultrassônicas para detectar falhas em peças

## 8.8 - Efeito Doppler

Um efeito de extrema importância para algumas aplicações que envolvem sons e ultrassons é o “Efeito Doppler”. Quando um objeto emite um som, a frequência desse som é alterada pelo seu movimento, conforme mostra a figura 225.

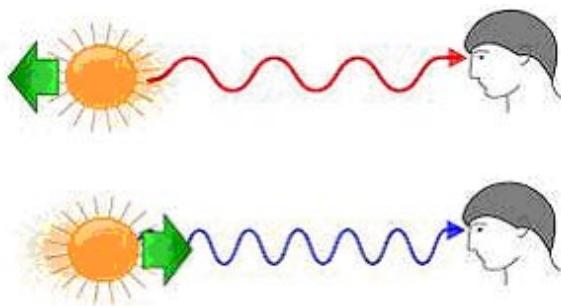


Figura 225

De uma maneira simples de entender, podemos dizer que, se o objeto se afasta da fonte emissora, conforme poderemos ver nessa figura 226, as ondas refletidas são “esticadas” e o som que volta tem um comprimento de onda maior ou freqüência mais baixa.

Se o objeto se aproxima da fonte emissora, as ondas refletidas têm seu comprimento “encolhido”, e com isso o som que volta é mais agudo, ou seja, tem uma freqüência mais alta. Podemos perceber isso facilmente quando um carro em alta velocidade passa por nós buzinando.

Quando ele vem, a buzina nos parece mais aguda do que quando ele se afasta. No momento exato em que ele passa por nós, percebemos a transição do som.

Os ultrassons de uso médico utilizam este mesmo princípio de funcionamento, podendo detectar pelo efeito Doppler os batimentos fetais

Se conhecermos a freqüência do som emitido, e medirmos a freqüência do som que volta, poderemos determinar com precisão a velocidade do objeto em que ele se reflete, conforme mostra a figura 226.

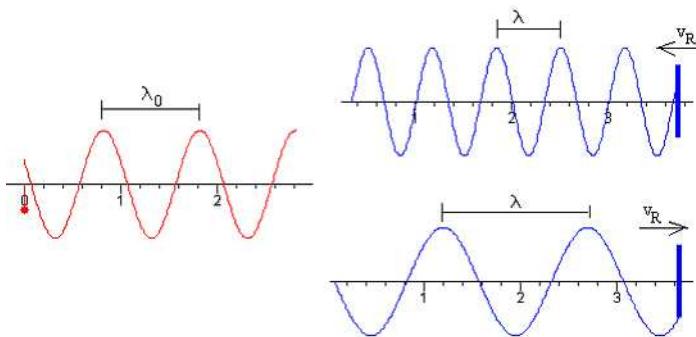


Figura 226- Conhecendo  $\lambda_0$  podemos calcular  $v_R$  medindo  $\lambda$

### Radar

Esse princípio, conforme veremos na próxima lição é usado com ondas de rádio, onde o Efeito Doppler também é constatado, para os radares que medem a velocidade de veículos em estradas.

## 8.9 - Som Estereofônico

Quando compramos um equipamento de som, a primeira preocupação que nos vêm à mente é que ele seja estéreo ou estereofônico, que é o termo correto. Muitos associam isso à presença de dois alto-falantes, mas não é só isso. Veja o que é som estéreo, para não cair em ciladas comprando equipamentos que realmente não possuam esse recurso.

A palavra estéreo vem do grego “stereos”, significando “sólido”. Em elétrico-acústica, esta palavra é usada para designar uma forma de reprodução sonora que acrescenta a sensação de “volume” ou “corpo” a uma reprodução sonora, especificamente musical.

Nosso ouvido, pelas suas características de direvidade, permite-nos “avaliar” a localização de uma fonte sonora, comparando subjetivamente as diferenças de intensidade com que incidem os sons nos dois receptores que possuímos, ou seja, cada ouvido, conforme mostra a figura 227.

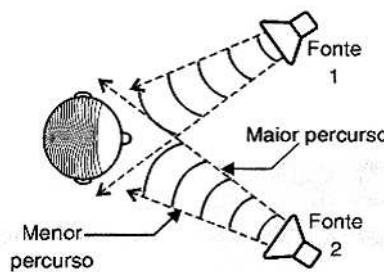


Figura 227- O ouvido avalia a posição dos objetos pelos tempos dos sons

Assim, se tivermos uma fonte única de reprodução musical, a distância percorrida pelo som para chegar aos dois receptores é a mesma, não havendo então sentido de diferenciação dos diversos

instrumentos de uma peça, em sua verdadeira localização. No caso de uma orquestra, ouvimos os instrumentos amontoados num único local. Este é o caso do sistema monofônico, que não nos permite obter a sensação de localização ou “corpo” para uma peça musical. No caso de um sistema estereofônico, como temos duas fontes distintas de som, emitindo sinais que também correspondem à posicionamentos distintos dos instrumentos, ou participantes de uma peça, podemos ter a sensação de localização pelo ouvido, acrescentando-se assim a sensação de “volume” ou “corpo”, conforme mostra a figura 228.

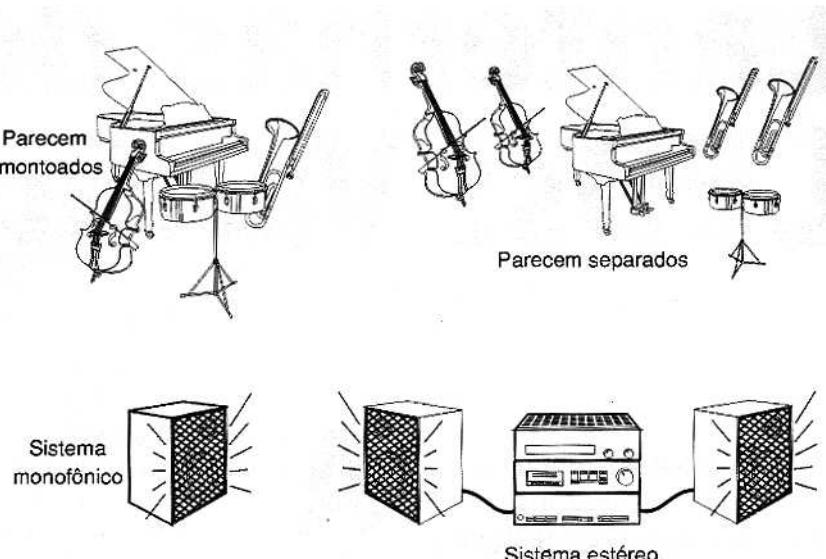


Figura 228 – A sensação de volume do som estéreo

É claro que, para haver estereofonia, é preciso que as duas fontes sonoras, no caso, as caixas acústicas, reproduzam programas ou sinais diferenciados. Estes sinais devem, portanto, corresponder ao som original, não só em termos de freqüências e formas de onda, como também em relação às intensidades dadas pelo posicionamento.

Veja então que, para termos uma reprodução estéreo não basta ter simplesmente dois alto-falantes. É preciso que os sinais também sejam gravados ou transmitidos na configuração estéreo, a partir de fontes diferentes. A gravação ou programa devem ser estéreos para que existam sinais separados, o amplificador deve ter dois canais de amplificação que alimentem dois sistemas diferentes de alto-falantes e estes sistemas de alto-falantes devem ser posicionados de forma adequada.

Veja que:

- Não há reprodução estereofônica ligando um gravador, ou outra fonte monofônica num amplificador estéreo, porque o sinal reproduzido pelos dois canais ou caixas será o mesmo. Não há separação de sinais para a reprodução.

b) Não há reprodução estereofônica com a simples ligação num amplificador comum de dois alto-falantes colocados em locais diferentes. Muitos aparelhos de som de muito baixo custo (principalmente rádios AM) têm dois alto-falantes, sendo vendidos como estéreo, mas na verdade são ligados no mesmo canal do amplificador único sendo, portanto, a reprodução monofônica.

c) Não há reprodução estéreo num amplificador, receptor de FM ou qualquer outro aparelho que use um único alto-falante. Devem existir pelo menos dois alto-falantes num sistema estéreo, conforme mostra a figura 229. veja o leitor que isso exige que se preste muito atenção na compra de qualquer equipamento. Já nos tentaram vender um “radio AM/FM estéreo” que possuía um único alto-falante...



Figura 229 – Não há som estéreo com um único alto-falante

d) A modificação de um sistema de som monofônico para se tornar estereofônico, exige a utilização de um segundo amplificador e também de circuitos decodificadores, não sendo viável pelo custo na maioria dos casos.

Nos sistemas de som estéreo de automóveis, e nos rádios FM, existem circuitos que decodificam o sinal multiplexado que vem da estação. Na transmissão dos sinais dos dois canais, a estação os aplica a uma mesma portadora, através de um processo denominado multiplexação, conforme mostra a figura 230.

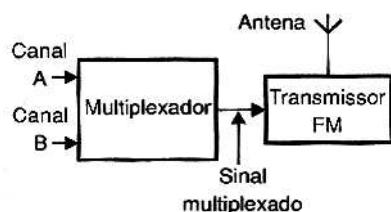


Figura 230 – O sistema FM multiplex estéreo

Um receptor comum de rádio, não separa esses canais e os reproduz de forma misturada, não havendo a sensação estéreo, mas um receptor estéreo faz a separação ou decodificação (quando acende o

LED vermelho no painel), e a reprodução é separada pelos dois alto-falantes.

Nos casos de outros equipamentos, como gravadores, CD players, MP3, equipamentos de som de PCs, a separação do canais já é feita ao se enviarem os sinais para fones e alto-falantes, havendo com isso a reprodução estéreo.

### Além do estéreo

Pode-se ter uma sensação de volume ou corpo para o som muito melhor se, em lugar de apenas duas fontes sonoras, tivermos mais. Assim, nos sistemas de som de home-theaters, são enviados 5 a 7 canais no que se denomina Dolby Surround, conforme mostra a figura 231.

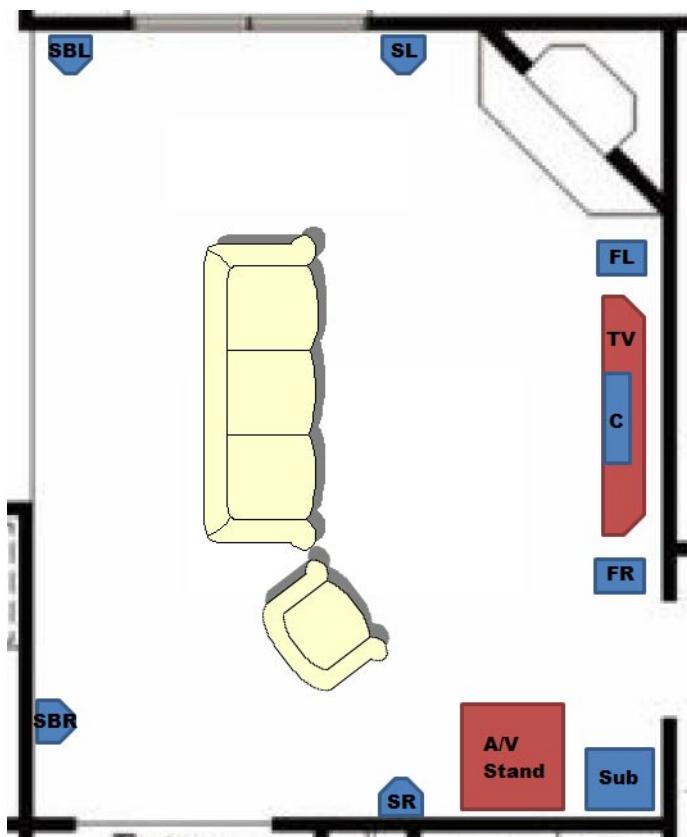


Figura 231 – Dolby surround do home theater com 5 alto-falantes

Neste sistema temos dois alto-falantes traseiros (Rs e Ls), dois dianteiros (L e R) e um subwoofer .

Os alto-falantes destes sistemas não são ligados todos ao mesmo canal, mas sim a canais diferentes de um sistema complexo de amplificação que separa os sinais de acordo com a posição do alto-falante. Com isso, pode-se ter a sensação de sons que vem de trás e da frente, tanto da direita como da esquerda e uma caixa adicional para os graves (sub-woofer).

## Termos em Inglês

Os termos relacionados a acústica em inglês podem causar algumas confusões, devendo ser analisados com cuidado. Apenas devemos lembrar que ultrassom em inglês é *ultrasound*.

### Outros termos:

Ultrasonic – ultrassônico

Echo – eco

Sound – som

Tuning fork – diapasão

Higher – mais alto

High – alto

Tone – tom

Treble – agudo

Bass – grave

Echo sounder – eco-batímetro

### Temas para Pesquisa:

- Radar
- Sonar
- Transdutores ultrassônicos
- Audição dos animais
- Dolby
- Home theater
- Eco batímetro
- Ultrassons

## QUESTIONÁRIO

1. A velocidade de propagação do som no vácuo é:

- a) 340 m/s
- b) 300 000 km/s
- c) 1 500 m/s
- d) O som não se propaga no vácuo

2. O som A é mais alto que o som B. Essa afirmação nos revela que:

- a) a intensidade do som A é maior do que a de B
- b) a freqüência do som A é maior do que a do som B
- c) o volume do som A é maior do que o do som B
- d) o som A tem maior alcance que o som B

3. Qual é o fenômeno aproveitado na construção dos diapasões?

- a) reflexão
- b) refração
- c) ressonância
- d) Efeito Doppler

4. Qual é o comprimento de uma onda sonora de 3 400 Hz (supondo a velocidade do som no meio considerado 340 m/s)?

- a) 10 m
- b) 1 m
- c) 10 cm
- d) 1 cm

5. O fenômeno aproveitado na construção dos SONARES é:

- a) reflexão
- b) refração
- c) difraçõoi
- d) interferênciia

6. Qual dos seguintes transdutores utiliza materiais piezoelétricos?

- a) alto-falante
- b) microfone de eletreto
- c) tweeter
- d) microfone dinâmico



## » Ondas Eletromagnéticas

As ondas de rádio, ou ondas eletromagnéticas, são utilizadas de uma forma muito ampla na eletrônica moderna, principalmente nos equipamentos de telecomunicações. A maioria dos aparelhos eletrônicos que opera “sem fio” faz uso de ondas eletromagnéticas, ou ondas de rádio, como também são conhecidas em função de sua freqüência. Podemos incluir nesta categoria os equipamentos de telecomunicações, controle remoto, sensoriamento, transmissão de dados e muitos outros. Para entender o seu princípio de funcionamento devemos começar entendendo o que são as ondas de rádio. Nesta lição trataremos justamente deste assunto nos seguintes itens:

- 9.1 - As ondas eletromagnéticas
- 9.2 - Características das ondas de rádio
- 9.3 - Propriedades das ondas de rádio
- 9.4 - Transmissores
- 9.5 - Receptores
- 9.6 - Interferências e Ruídos
- 9.7- Antenas

### **9.1 - Ondas Eletromagnéticas**

As ondas eletromagnéticas, incluindo-se as chamadas ondas de rádio, possuem uma natureza completamente diferente das ondas sonoras. Estas ondas, além de uma velocidade muito maior, não precisam de meio material para se propagar, o que significa que podem se propagar inclusive no vácuo.

As ondas eletromagnéticas são produzidas por cargas elétricas que oscilam ou vibram em torno de uma determinada posição, conforme explicaremos a seguir.

Tomamos para as nossas explicações apenas uma carga elétrica como exemplo. Veja, entretanto, que as mesmas explicações valem

também para uma grande quantidade de cargas em movimento como, por exemplo, as que formam uma corrente num fio.

Se tivermos então uma carga elétrica em repouso (parada), em sua volta manifesta-se apenas um campo elétrico, conforme mostra a figura 232.

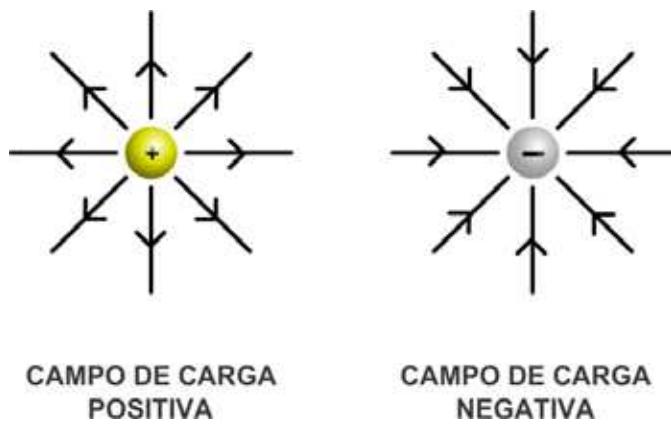


Figura 232 – Uma carga elétrica em repouso cria um campo elétrico

Se esta carga sair da posição de repouso, deslocando-se rapidamente para outra posição, as linhas de força do campo elétrico se contraem e, ao mesmo tempo, aparece um campo magnético cujas linhas de força envolvem a trajetória da carga.

No momento em que a carga chegar à nova posição de repouso em B, as linhas do campo magnético se contraem e, ao mesmo tempo, expande-se o campo elétrico em torno da nova posição da carga.

Agora, supondo que a carga volte a sua posição inicial em A, temos novamente a contração das linhas do campo elétrico com a expansão do campo magnético, conforme mostra a figura 233.

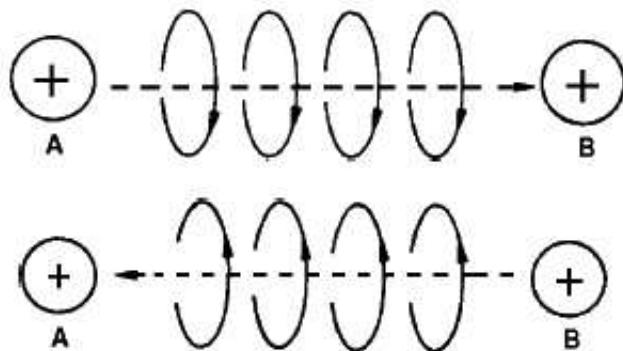


Figura 233 – Uma carga elétrica em movimento cria um campo magnético – o campo tem orientação que depende do sentido do movimento

Se a carga elétrica oscilar rapidamente, passando da posição A para B e depois voltando para A, num processo ritmado, teremos a produção de uma perturbação tanto de origem elétrica como magnética.

ca. Essa perturbação se propaga pelo espaço a uma velocidade de 300 000 quilômetros por segundo na forma de uma onda.

Dizemos que se trata de uma onda eletromagnética e ela transporta energia através do espaço, não precisando de suporte material, ou seja, pode propagar-se no vácuo.

As ondas eletromagnéticas podem ter frequências tão baixas como alguns hertz. É o caso das ondas produzidas pelas cargas que oscilam dentro dos fios da nossa instalação elétrica, mas que não se propagam a grandes distâncias, até mais altas como as usadas pelo rádio (AM e FM), televisão, celular e radar e de altíssimas frequências como as que formam a radiação infravermelha, a luz visível e a luz ultravioleta.

Fazendo com que as cargas oscilem em condutores propriamente dimensionados, denominados “antenas”, conseguimos que as ondas eletromagnéticas sejam irradiadas pelo espaço com grande eficiência e até mesmo em direções escolhidas.

Podemos usar essas ondas para transportar informações, fato que é a base dos sistemas modernos de telecomunicações que fazem uso das ondas de rádio.

Estas ondas podem ter milhões ou mesmo bilhões de vibrações por segundo, o que é medido em megahertz e gigahertz (MHz ou GHz). Na figura 234 temos representação do espectro eletromagnético, ou seja, um gráfico em que aparecem as principais frequências das ondas eletromagnéticas e onde são usadas.

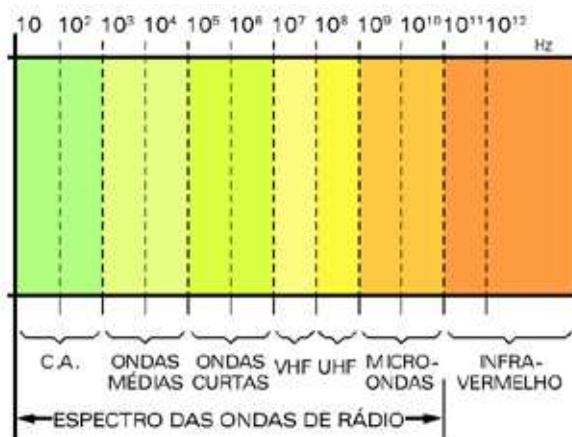
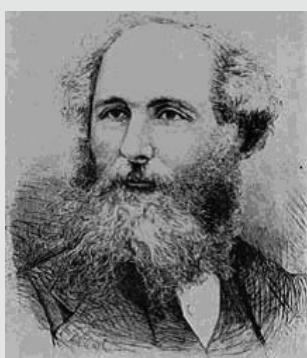


Figura 234 – Parte do espectro das ondas eletromagnéticas que inclui as ondas de rádio

Observe que acima de determinado valor, as ondas já se comportam de uma maneira diferente consistindo numa forma de radiação que sentimos como calor, sendo os raios infravermelhos. E depois, em freqüências mais altas ainda, essas ondas podem ser capaz de impressionar nossos olhos: é a luz visível. Acima da luz visível temos os raios ultravioleta, raios X e raios gama.

**Espectro contínuo**

O espectro das ondas eletromagnéticas (assim como dos sons) é contínuo no sentido de que não existe separação entre dois valores de frequências. Assim, a quantidade de frequências possíveis é infinita. Entre dois valores quaisquer de frequência podemos encontrar infinitos valores.



**James Clerk Maxwell**  
(1831 – 1879)

Foi Maxwell que previu a existência das ondas de rádio ao formular equações que mostravam não apenas a luz era formada por ondas eletromagnéticas, mas que existiam ondas de todas as frequências possíveis no espectro. Assim, todo espectro abaixo da luz visível e do infravermelho poderia conter ondas com as mesmas propriedades.

As diferentes frequências desta faixa podem ser distinguidas pelos nossos olhos nos dando a sensação das cores, conforme o leitor verá clicando na figura 235.



Figura 235 – O espectro visível

Assim, o vermelho corresponde a uma luz de frequência mais baixa que o azul, ou seja, de maior comprimento de onda.

Para medir os comprimentos de onda das ondas eletromagnéticas de menor freqüência, usamos unidades comuns como o metro e até mesmo o centímetro. No entanto, para as ondas de frequências muito altas, como da luz, é comum usarmos outras unidades como o nm (nanômetro) que equivale a  $10^{-9}$  metros e o angstrom (A) que equivale a  $10^{-8}$  metros.

A partir de agora estudaremos em especial as ondas que estão na faixa de alguns hertz a alguns gigahertz que correspondem às ondas de rádio. As ondas de frequências mais altas são estudadas na óptica e suas ramificações como, por exemplo, a optoeletrônica.

### 9.1.1 – Faixas de Rádio

O espectro de rádio freqüências, usado em telecomunicações, é dividido em faixas. Essas faixas, normalmente são especificadas, pelas suas abreviações, conforme mostra a tabela abaixo.

VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	MICRO ONDAS	ONDAS MILIMÉTRICAS	
3kHz	30kHz	300kHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz

Onde:

VLF – Very Low Frequency – frequência muito baixa

LF- Low Frequency – baixa frequência

MF- Medium Frequency – media frequência

HF – High Frequency – alta frequência

VHF – Very High Frequency – frequência muito alta

UHF – Ultra High Frequency – frequência ultra alta

SHF – Super High Frequency – frequência super alta

EHF – Extra High Frequency – frequência extra alta

## 9.2 - Características das ondas de rádio

Da mesma forma que as ondas sonoras, as ondas de rádio possuem características importantes que todo profissional deve conhecer. Começamos nossos estudos pelas principais características:

### 9.2.1 - Comprimento de onda

Um conceito muito importante no estudo das ondas eletromagnéticas é o de comprimento de onda. Voltemos à nossa carga oscilante para explicar melhor o que significa isso:

Supondo que a partir de um determinado instante a carga se desloque do ponto A para o ponto B, produzindo com isso uma perturbação eletromagnética que varie em suas duas componentes (elétrica e magnética) entre o máximo e o mínimo, e depois volte à posição inicial A, ocorre o seguinte:

Quando a carga voltar ao ponto A no final do ciclo de oscilação ou vibração, a perturbação inicial, produzida no instante exato em que o processo se inicia, terá caminhado pelo espaço uma certa distância, conforme o leitor verá na figura 236.

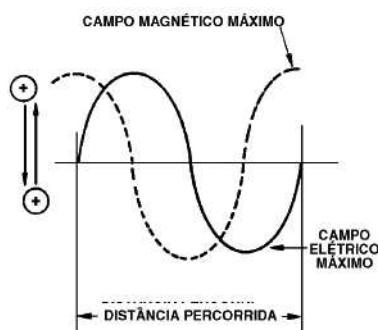


Figura 236 – O comprimento de onda de uma onda eletromagnética

A distância que a perturbação caminha em um tempo correspondente a um ciclo da onda eletromagnética nos dá o comprimento da onda.

Vamos supor um sinal eletromagnético, cuja frequência seja de 100 megahertz (100 000 000 Hz ou 100 MHz), como o usado nas transmissões de FM.

Em 1 ciclo, ele terá percorrido uma distância de:

$$d = 300\ 000\ 000 / 100\ 000\ 000$$

$$d = 3 \text{ metros}$$

(O valor fixo 300 000 000 corresponde à velocidade de propagação em metros por segundo – na verdade esse valor é aproximado, pois existe uma pequena diferença quando as ondas se propagam no vácuo e em meios materiais).

Assim, o comprimento de onda deste sinal é de 3 metros.



Rudolf Heinrich Hertz  
(imagem da Wikipedia)

Foi Hertz quem primeiro conseguiu produzir ondas de rádio em uma extensão de seu laboratório e recebendo-as num receptor rudimentar colocado na outra extremidade, comprovando assim sua existência prevista por Hertz.

**Ondas métricas, centimétricas e milimétricas**  
É comum também classificar as ondas segundo seu comprimento em faixas. Desta forma, as ondas de VHF e HF também são chamadas de ondas métricas, enquanto que as de UHF centimétricas e de SHF e EHF de milimétricas ou microondas.

Veremos que para que este sinal seja captado convenientemente por uma antena, as dimensões da antena devem ser da mesma ordem que metade do comprimento da onda. Assim, uma antena de FM simples, será formada por dois fios na disposição mostrada na figura 237 tendo um comprimento de 1 metro e meio!

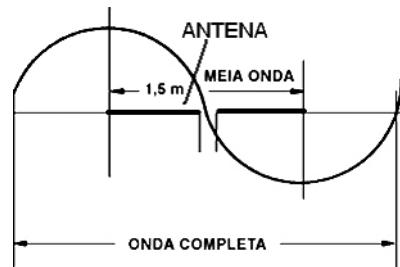


Figura 237 – As dimensões de uma antena são dadas pelo comprimento de onda do sinal que deve ser recebido

Esta antena, muito propriamente, chama-se “dipolo de meia onda” e está sintonizada, no caso de um metro e meio, para o centro da faixa de FM, onde terá o máximo rendimento, em torno de 100 MHz.

O leitor observará que as varetas de uma antena de TV possuem comprimentos diferentes porque são “cortadas” para as diversas frequências dos canais que devem ser sintonizados. Isso também ocorre com todos os equipamentos que devem receber ou transmitir ondas de rádio. A figura 238 mostra uma antena de TV para diversos canais de frequências diferentes.

#### Tamanho da antena

Veja então que uma antena está diretamente relacionada, no seu tamanho e forma, com o sinal que deve ser recebido ou transmitido. Uma antena maior, nem sempre é melhor.

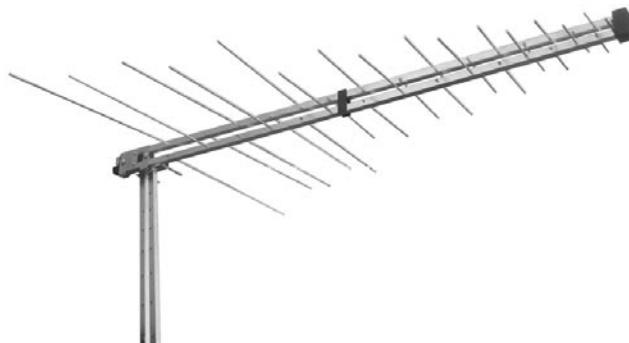


Figura 238 – Uma antena para diversos canais de TV

Veja que, quanto mais alta for a frequência, menor será o comprimento de onda. Isso fica claro ao observarmos uma antena de VHF e uma de UHF.

As frequências de UHF são mais altas, o que significa que correspondem a comprimentos de ondas menores e, por isso, suas varetas são menores. É por isso que, tomando a faixa das ondas usadas em rádio, temos a denominação de ondas médias para as frequências mais baixas e, depois, de ondas curtas para as frequências mais altas.

### 9.2.2 - Amplitude

As ondas eletromagnéticas carregam energia. A quantidade de energia que elas transportam é dada pela sua intensidade ou amplitude. Na figura 239 representamos duas ondas eletromagnéticas de mesma freqüência, mas de amplitudes diferentes.

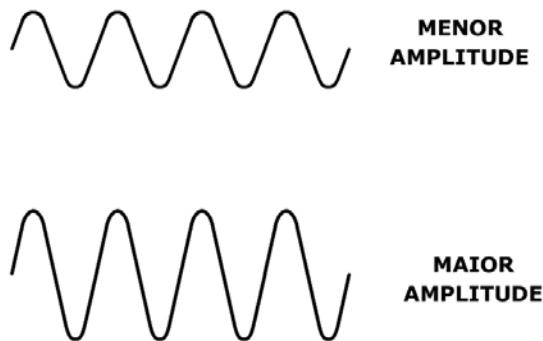


Figura 239 – Ondas de amplitudes diferentes, mas de mesma freqüência

### 9.2.3 - Polarização

Conforme estudamos, as ondas são formadas por campos elétricos e magnéticos que se alternam. Se considerarmos uma onda que se propaga numa certa direção, conforme mostra a figura 240, vemos que os campos elétricos e magnéticos avançam perpendicularmente um ao outro.

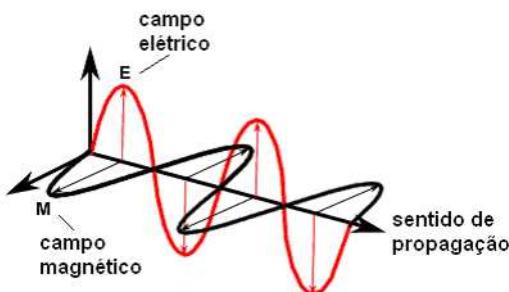


Figura 240 – Os campos elétricos e magnéticos avançam perpendicularmente um em relação ao outro

Assim, podemos falar em polarização como uma característica que define a orientação que os campos possuem ao se propagarem, em especial tomando como referência o campo elétrico.

A polarização é muito importante nas aplicações práticas, principalmente envolvendo antenas. As ondas de TV na faixa de VHF, por exemplo, são polarizadas horizontalmente. Conforme o leitor poderá na figura 241, para captá-las convenientemente, as antenas devem ter suas varetas na posição horizontal.

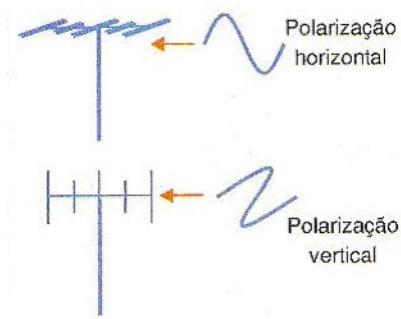


Figura 241 – As varetas ficam na posição determinada pela polarização do campo elétrico da onda recebida

### 9.3 - Propriedades das Ondas Eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas apresentam certas propriedades que serão importantes para se entender o seu comportamento em determinadas condições. O profissional da eletrônica deve conhecer estas propriedades, principalmente aqueles que vão se dedicar às telecomunicações.

#### 9.3.1 - Velocidade e Propagação

As ondas eletromagnéticas se propagam em linha reta, no vácuo, com uma velocidade de aproximadamente 300 000 km/s. Nos meios materiais, dependendo de sua natureza, a velocidade é menor.

#### 9.3.2 - Reflexão

As ondas de rádio podem refletir em determinados tipos de obstáculos.

Como as ondas de som, é preciso que as dimensões dos obstáculos sejam maiores que a da onda (comprimento) para que tenhamos uma reflexão eficiente. Se a onda for muito longa em relação ao objeto, ela consegue contorná-lo, conforme mostra a figura 242.

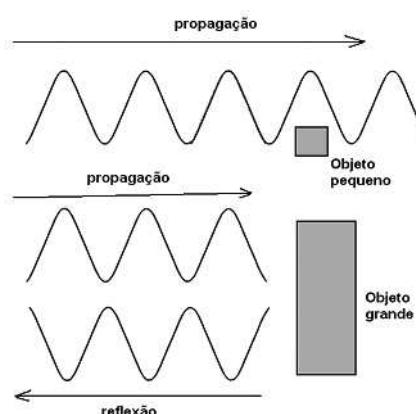


Figura 242 – As ondas passam através de pequenos obstáculos e refletem em grandes obstáculos

A reflexão é responsável por muitos fenômenos importantes, alguns dos quais também interessantes. Tomemos como exemplo o caso das ondas emitidas pelas emissoras de TV na faixa de VHF.

Em determinadas condições, quando existem morros, prédios e outros obstáculos capazes de refletir as ondas, o sinal emitido pela estação pode chegar até a antena receptora por dois percursos diferentes, conforme mostra a figura 243.

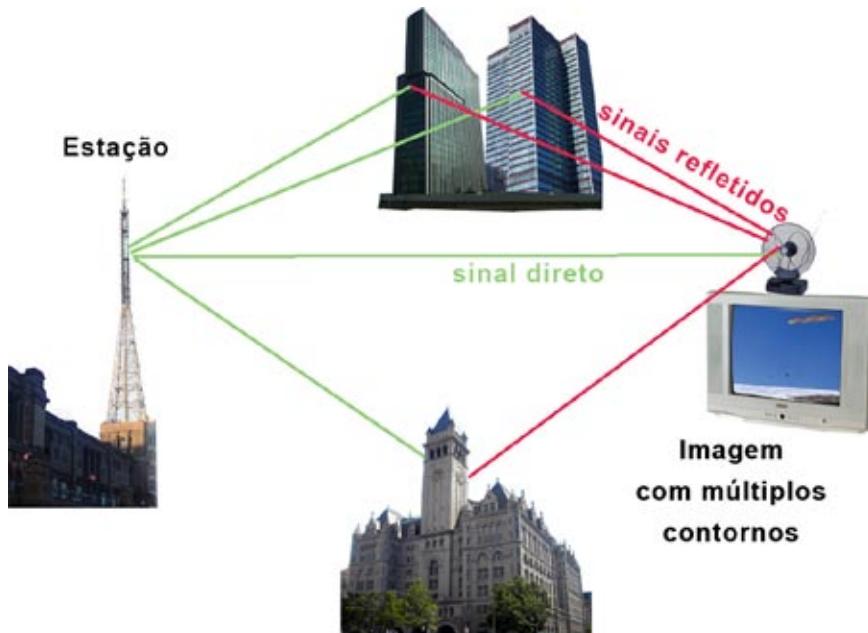


Figura 243 – Fantasmas produzidos por reflexões dos sinais

O sinal refletido num morro ou prédio, por ter de percorrer uma distância maior, terá um retardamento em relação ao que vem direto.

Esse retardamento é interpretado pelos circuitos como dois sinais diferentes e causando o aparecimento de uma segunda imagem deslocada na tela. Esse fenômeno recebe o nome de “fantasma” e podendo ser resolvido com a utilização de uma antena que “rejeite” os sinais que venham segundo ângulos para os quais ela não esteja apontada.

O uso de uma antena bem direcional, ou mesmo sua mudança de posição no telhado, podem ajudar a evitar o sinal refletido e com isso eliminar o “fantasma”.

Uma das vantagens da TV digital, é que os sinais que levam as informações podem ser “conferidos” através de algoritmos que impedem que informações falsas, como as que correspondam a sombras e outros problemas sejam processados. Isso significa que a TV digital não apresentará o problema dos “fantasmas”, comum à TV analógica, principalmente em zonas urbanas.

O radar é um aparelho muito usado na detecção de aeronaves, e mesmo no controle de tráfego aéreo, e que aproveita muito bem as reflexões das ondas de rádio, segundo princípio que já estudamos no caso do sonar.

Um transmissor potente emite ondas que se refletem nos aviões sendo captadas de volta por uma mesma antena ou, em alguns casos, por outra, conforme o leitor poderá ver na figura 244.

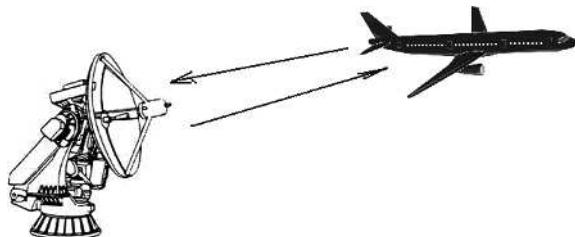


Figura 244 – O radar

Pelo tempo que o sinal demora para ir e voltar, além da intensidade com que ele é captado de volta, pode-se ter uma informação precisa sobre a posição do avião, seu tamanho e até mesmo velocidade.

Um “espelho” natural para as ondas de rádio é a camada de atmosfera, formada por partículas carregadas de eletricidade, chamada ionosfera e que se situa em alturas entre 80 e 400 km, conforme pode ser visto na figura 245.

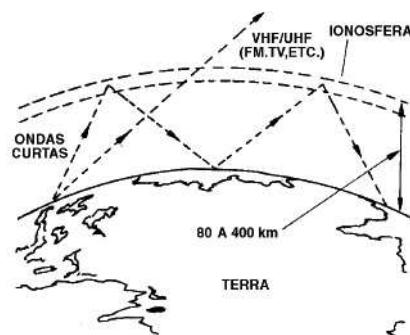


Figura 245 – A ionosfera reflete determinados comprimentos de onda

Esta camada consegue refletir as ondas de rádio até uma frequência de aproximadamente 50 MHz, fazendo os sinais se curvarem e, com isso, serem refletidos de volta, em direção à terra. Como a terra também reflete estes sinais, eles podem se propagar “em saltos”, percorrendo grandes distâncias.

Estes sinais correspondem às ondas curtas que, por esse motivo, podem alcançar grandes distâncias, contornando a curvatura da terra em “saltos”.

Nesta faixa, estações muito distantes podem ser captadas, o que não ocorre com as ondas usadas para TV e FM (muito mais curtas) e que não refletem na ionosfera.

O alcance destes sinais fica limitado a algumas centenas de quilômetros, dada a curvatura da terra, conforme o leitor poderá ver figura 246.

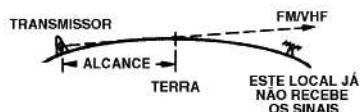


Figura 246 – O alcance dos sinais de TV e FM estão limitados pela curvatura da terra

### 9.3.3 - Refração

Da mesma forma que a luz (que também é formada por ondas eletromagnéticas), as ondas de rádio comuns sofrem uma mudança da direção e velocidade de propagação quando passam de um meio para outro.

Assim, conforme podemos observar na figura 247, encontrando uma camada de ar com menor densidade, devido ao calor, por exemplo, as ondas podem sofrer um encurvamento de sua trajetória, alcançando grandes distâncias.

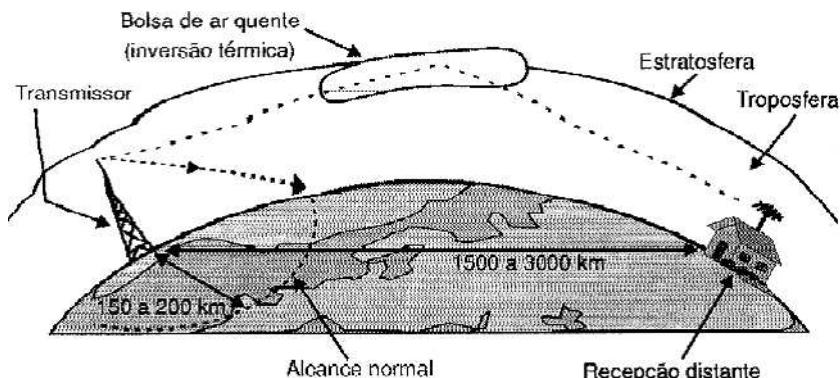


Figura 247 – Refração em bolsas de ar quente (inversão térmica)

Esse fenômeno, denominado “refração troposférica”, faz com que, em alguns casos, sinais de frequências que normalmente não se refletem na ionosfera possam ser captados a distâncias muito grandes.

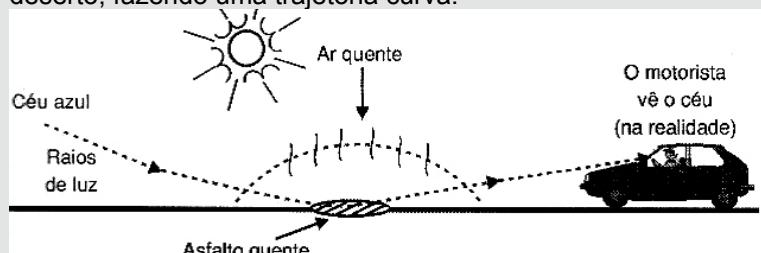
Também devemos considerar que, ao se propagar num meio material denso, as ondas sofrem uma “atenuação”, ou seja, tem sua intensidade diminuída, pela absorção da energia que transportam.

### Luz Também é onda eletromagnética

A luz também consiste em ondas eletromagnéticas cuja frequência está bem acima das ondas de rádio, mas que tem o mesmo comportamento. Assim, a luz também reflete em objetos e um deles é o espelho, que nada mais é do que uma superfície polida.

#### Miragem

Um fenômeno relacionado com a refração, e que ocorre com a luz, é a miragem. Conforme mostra a figura A, a luz que provém do céu (azul) sofre um desvio nas camadas de ar quente do deserto, fazendo uma trajetória curva.



O viajante do deserto olhando para o horizonte, vê então o céu projetado no chão, o que lhe dá a impressão de água ou de um lago.

### 9.3.4 - Difração

Quando as ondas de rádio encontram um obstáculo que impeça sua propagação, elas podem sofrer uma mudança de direção de propagação, conforme o leitor poderá ver figura 248.

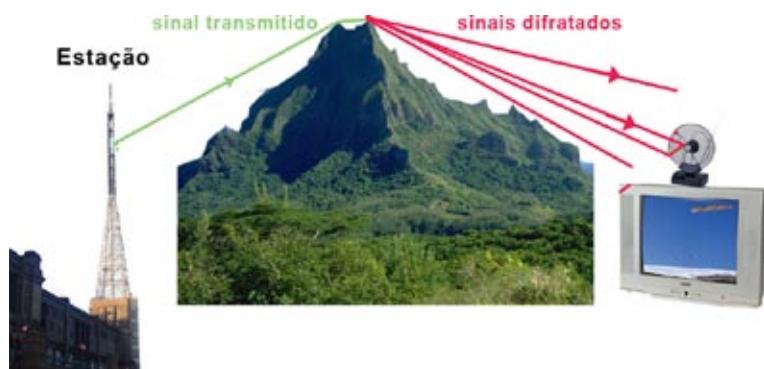


Figura 248 – Difração de ondas de rádio

As bordas de um prédio ou de um morro podem funcionar como elementos que desviam a trajetória das ondas que passam a se dispersar a partir daquele ponto em todas as direções, sempre propagando-se em linha reta.

### 9.4 - Transmissores

Os aparelhos que se destinam à produção de ondas de rádio para sua transmissão são denominados transmissores. Um transmissor nada mais é do que um circuito eletrônico que produz uma corrente alternada na frequência do sinal que deve ser produzido.

Quando esta corrente é aplicada a uma antena, em torno da antena, são produzidas as ondas de mesma frequência que se propagam pelo espaço. Veja a figura 249.

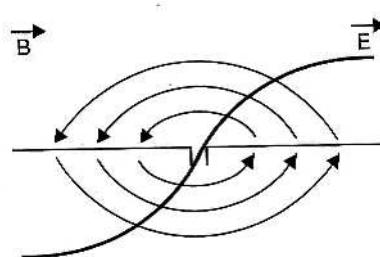


Figura 249 – Campos numa antena

Os transmissores se diferenciam, não só pela frequência do sinal que produzem e a potência, como também pelo modo como as informações devem ser enviadas pelos sinais.

Existem diversos modos de se aplicar uma informação a um sinal gerando uma onda de rádio, de modo que ela seja transmitida. Estes modos são denominados “modulação”.

#### Antena transmissora e receptora

Uma antena tanto pode receber como transmitir ondas eletromagnéticas. Quando uma corrente de alta frequência percorre uma antena, ela produz ondas que são irradiadas. Temos então uma antena transmissora. Quando uma antena é atingida por uma onda eletromagnética, são induzidas correntes elétricas na mesma frequências que podem ser levadas a um receptor. Neste caso, ela funciona como uma antena receptora.

### 9.4.1 - Modulação

Denominamos modulação o processo segundo o qual alteramos alguma característica de uma onda eletromagnética para que ela possa transportar informações (som, imagem, dados, etc.).

Existem diversas técnicas de modulação empregadas atualmente, cuja escolha depende do tipo de informação que deve ser transmitida.

As principais são:

#### a) Modulação em Amplitude ou AM

Na modulação em amplitude o que se faz é alterar a intensidade de um sinal de alta freqüência (portadora), usado para produzir uma onda eletromagnética, empregando um sinal de baixa freqüência, conforme mostra a figura 250.

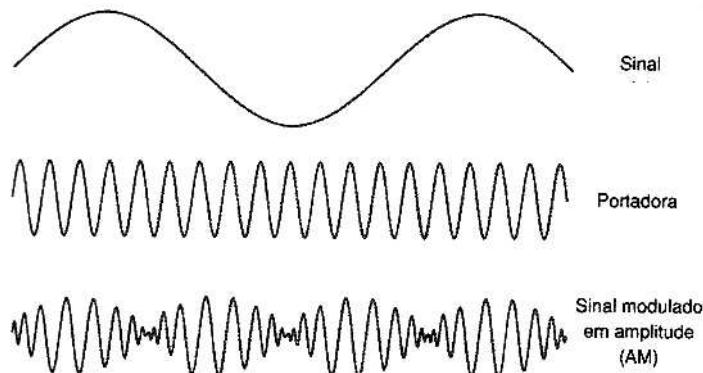


Figura 250 – Modulação em amplitude

O sinal de alta freqüência, que transporta a informação (sinal de baixa), é denominado “portadora”. Usamos esse processo no sistema de radiodifusão de ondas médias e curtas (AM) e também para as imagens de TV comum em VHF ou UHF.

No caso do rádio, o que fazemos é aplicar os sinais de baixas freqüências que correspondem aos sons captados por um microfone, por exemplo, ao circuito que leva o sinal à antena, conforme o leitor verá na figura 251.

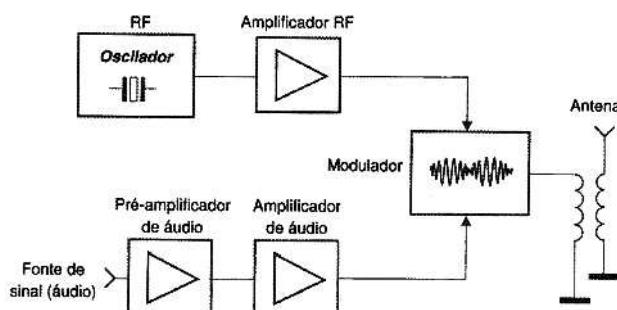


Figura 251 – Diagrama de blocos de um transmissor

Fazendo isso, o sinal aplicado à antena e, portanto, as ondas produzidas terão sua intensidade variando segundo o mesmo ritmo ou características do sinal modulador de baixa freqüência. No caso das estações de TV, o sinal de vídeo, que corresponde à imagem captada pela câmera, faz variar a portadora de alta freqüência e com isso, é transportado para o receptor de TV.

#### b) Modulação em Freqüência ou FM

Na modulação em freqüência, ou FM, o que se faz é variar a freqüência da portadora (sinal de alta freqüência) acompanhando o sinal de baixa freqüência que deve ser transportado. Na figura 252 mostramos como um sinal de baixa freqüência faz variar a freqüência de uma portadora entre duas freqüências diferentes.

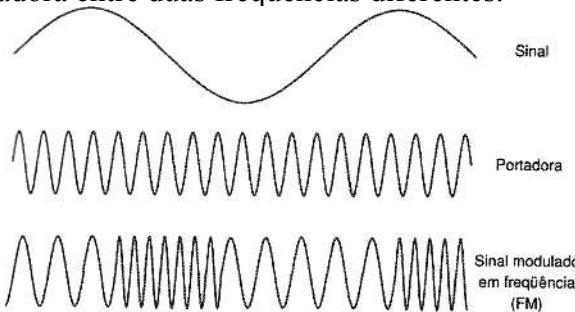


Figura 252 – Portadora modulada em freqüência

Uma das vantagens do processo de modulação em freqüência em relação ao processo de modulação em amplitude está no fato de que a intensidade do sinal se mantém constante, o que o leva a uma maior imunidade a ruídos e interferências.

#### c) Modulação de Largura de Pulso ou PWM

Esse processo é muito usado em sistemas de controle, quando um sinal deve controlar a velocidade de um motor, a temperatura de um sistema de aquecimento ou outro tipo de transdutor. Conforme o leitor poderá ver na figura 253, o que se faz é alterar a duração ou largura dos pulsos produzidos por um oscilador de acordo com a informação ou grandeza analógica que deve ser transmitida. O circuito liga e desliga numa velocidade tal, que permite controlar o valor médio da amplitude.

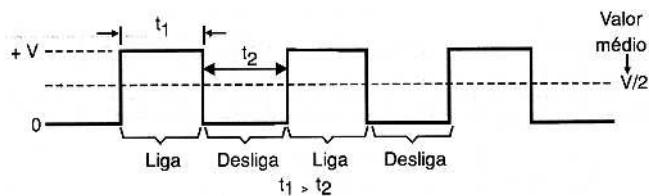


Figura 253 – Na PWM controlamos os tempos  $t_1$  e  $t_2$ .

#### d) Modulações digitais

Para a transmissão de sinais digitais, existem ainda outros pro-

cessos, como o que faz uso do que se denomina “espectro espalhado”, onde as informações ocupam bandas de freqüências que mudam constantemente.

Esse processo é usado nas comunicações “wireless” entre computadores, telefonia celular e muitos outros.

## 9.5 - Receptores

Os receptores nada mais são do que os equipamentos que podem captar os sinais enviados pelos transmissores. Basicamente, eles possuem uma antena, um circuito de sintonia e um circuito capaz de separar a informação enviada do sinal que a transporta. A antena, dependendo da freqüência do sinal que deve ser recebido, é uma vareta de metal.

Quando as ondas passam pela antena, é induzida uma corrente de mesma freqüência que é levada ao circuito de sintonia. O circuito de sintonia consegue separar o sinal da estação desejada de todos os demais sinais que a antena está interceptando naquele momento.

A configuração mais comum para os circuitos de sintonia é a formada por uma bobina e um capacitor, conforme o leitor verá na figura 254.

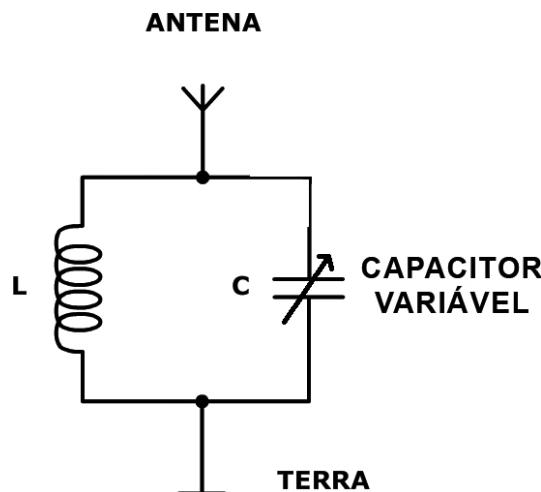


Figura 254 – Circuito de sintonia LC

A separação do sinal de alta freqüência (portadora) do sinal de baixa freqüência (informação) é feita por configurações que dependem do tipo de sinal a ser processado.

### Circuitos ressonantes

Estes circuitos formados por bobinas (indutores) e capacitores são normalmente estudados de uma forma mais profunda nos cursos de telecomunicações. Na prática, podemos dizer que existe uma freqüência única a qual o circuito tem uma impedância nula (LC série) ou infinita (LC paralelo)

## 9.6 - Interferências e Ruídos

Juntamente com os sinais das estações transmissoras, estão presentes no espaço, e por isso são captados pelas antenas, sinais indesejáveis que causam diversos tipos de problemas. Esses sinais indesejáveis são basicamente de dois tipos:

### a) Ruídos

Os ruídos são sinais sem um padrão definido, normalmente produzidos por fenômenos naturais e pelo funcionamento de alguns tipos de aparelhos comuns. Um ruído, conforme mostra a figura 255, tem um espectro largo que se espalha de tal forma que ele pode afetar toda uma faixa de serviços de comunicações.

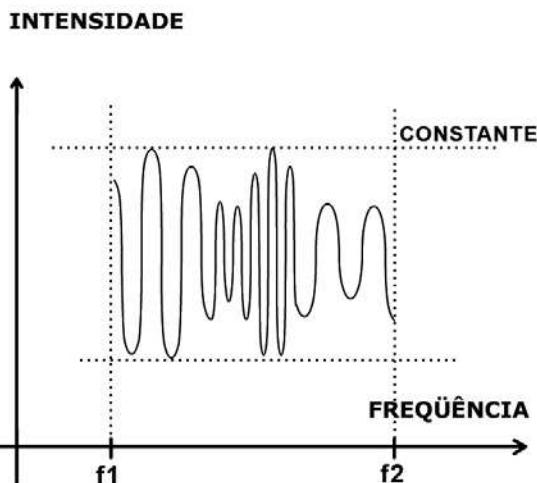


Figura 255 –  $f_1$  e  $f_2$  pode abranger uma ampla faixa do espectro das telecomunicações

Quando a intensidade do ruído é maior do que a do sinal que deve ser recebido, a recepção se torna impossível.

Fontes de ruído naturais são as descargas elétricas atmosféricas (raios), que podem ser “ouvidas” em qualquer rádio de AM sintonizado numa freqüência livre, na forma de estalos. Fontes artificiais de ruído são os motores de muitos eletrodomésticos, máquinas de solda e equipamentos industriais.

Os pequenos traços que aparecem na imagem de um televisor analógico na faixa de VHF e UHF, quando ligamos um eletrodoméstico nas proximidades, são exemplos de ruídos que se propagam pelo espaço na forma de ondas eletromagnéticas.

### b) Interferências

As interferências possuem um padrão fixo de freqüência, normalmente ocupando poucas faixas estreitas do espectro, conforme mostra a figura 256.

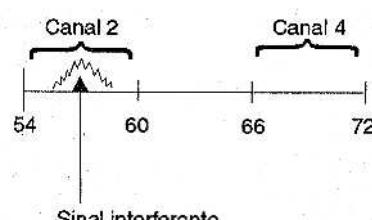


Figura 256 – Um sinal que interfere apenas no canal 2 da faixa de VHF

Normalmente, elas têm origem artificial, sendo geradas por equipamentos que possuam circuitos de altas frequências, tais como outros transmissores, máquinas industriais, equipamento médicos, etc. Um transmissor mal-ajustado pode gerar, além da freqüência de operação, sinais espúrios e harmônicas que são irradiados. Esses sinais vão interferir na recepção de outros sinais, causando problemas dos mais diversos tipos.

Chamamos de “harmônicas” as freqüências múltiplas de um sinal, conforme o leitor verá na figura 257.

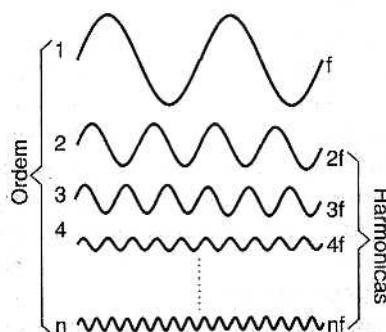


Figura 257

Verifica-se que se um sinal não possui uma forma de onda perfeitamente senoidal, ele pode ser decomposto em sinais senoidais de freqüências múltiplas (harmônicas), conforme mostra a figura 258.

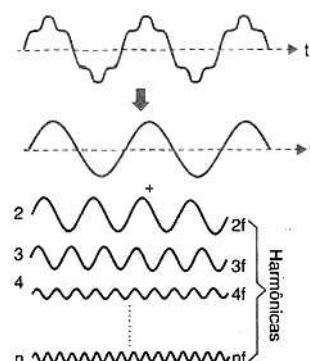


Figura 258 – Um sinal qualquer pode ser decomposto num freqüência fundamental e suas harmônicas

Assim, um sinal que não seja senoidal, na verdade é formado por uma freqüência fundamental e harmônicas que podem causar interferências em serviços de radiocomunicações.

#### 9.6.1 – Utilização das ondas de rádio

Os sinais das diversas faixas de freqüências se comportam de modo diferente sendo, portanto, utilizados em tipos diferentes de comunicações. A próxima tabela nos dá uma idéia de como são usados.

#### EMI

EMI significa Electromagnetic Interference ou interferência eletromagnética sendo um item de grande importância nos projetos de equipamentos eletrônicos. Os equipamentos modernos devem ser projetados para não produzir EMI, ou então ser imune à EMI. Existem normas que determinam o modo como os equipamentos devem ser construídos ou instalados para evitar a EMI.

Freqüências	Classificação	Modo de Propagação mais comum	Alcance típico	Utilização prática
10 kHz a 500 kHz	Quilométrica – VLF e LF	Rente à superfície da terra acompanhando a sua curvatura	Algumas centenas de quilômetros	Radiofarol e comunicação marítima
500 kHz a 3 MHz	Hectométricas MF	rente ao solo e à noite com reflexão na ionosfera	tipicamente até 500 km	Radiodifusão, radiofarol
3 MHz a 30 MHz	Decamétricas – HF	Reflexão na ionosfera, principalmente à noite	milhares de quilômetros	Radiodifusão, radioamadores, comunicações à longa distância
30 MHz a 300 MHz	Métricas - VHF	Linha direta ou cabos (*)	Até 200 km (típico)	TV, FM e comunicações
300 MHz a 3 GHz	Decimétricas UHF	Linha direta e por cabos (*)	Até 200 km (típico)	TV e comunicações
3 GHz a 30 GHz	Centimétricas – SHF	Direta, guia de ondas e satélites	200 km em terra e ilimitada por satélite	Comunicações, radar
30 GHz a 300 GHz	Milimétricas	Direta e guias de onda	pouco uso ainda	comunicações
300 GHz em diante	Micrométricas	Guias de onda e fibras ópticas	uso em expansão	comunicações

Obs.: os modos de propagação ficarão mais claros quando estudarmos os próximos itens desta lição.

## 9.7 - Antenas

Todo sistema de telecomunicações, que faz uso de ondas eletromagnéticas, tem como elemento importante para seu funcionamento a antena. No transmissor, correntes de altas freqüências geram as ondas eletromagnéticas.

A função da antena é então transferir a energia gerada pelo transmissor para o espaço na forma de ondas. No receptor, a antena é usada para interceptar as ondas que chegam até ele, induzindo correntes que são levadas então ao circuito de processamento. Na figura 259 mostramos o que ocorre quando aplicamos um sinal de alta freqüência numa antena, tomando como exemplo a configuração formada por dois condutores. Observe que aparecem alternadamente dois campos: o elétrico e o magnético.

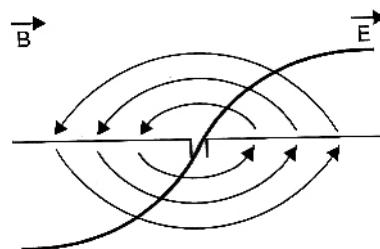


Figura 259 – Uma antena percorrida por uma corrente de alta freqüência cria ondas eletromagnéticas que se propagam pelo espaço

As dimensões de uma antena são importantes para sua eficiência tanto na transmissão, como na recepção dos sinais. Assim, a antena to-

mada como exemplo deve ter um comprimento que corresponda a  $\frac{1}{2}$  do comprimento da onda na freqüência que deve ser transmitida. Veja pela figura 260 que nessa antena a corrente e a tensão se distribuem de modo diferentes.

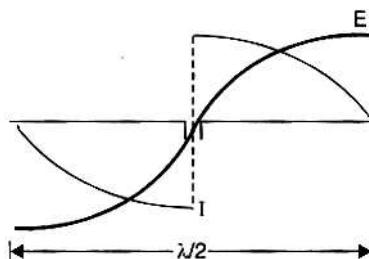


Figura 260 – Eficiência e dimensões de uma antena

Nas extremidades temos os pontos de tensão máxima e no centro da antena, temos os pontos em que a intensidade da corrente é mínima. Podemos dizer que esta configuração equivale a um circuito ressonante ideal, como o mostrado na figura 261.

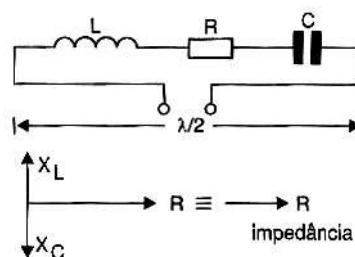


Figura 261 – Circuito ressonante ideal

Veja que, num circuito ressonante a reatância, capacitiva é igual à reatância indutiva ( $XL = XC$ ) na freqüência de ressonância. Isso significa que uma antena deste tipo, na freqüência de ressonância, se comporta como uma carga resistiva pura. Essa componente é a impedância da antena. Numa antena do tipo analisado os cálculos mostram que essa impedância tem um valor fixo: 73 ohms. Na prática, adota-se como valor mais apropriado para os cálculos 75 ohms.

Veja também que existem alguns fatores que podem influir nesta impedância tais como a espessura do fio usado, e a própria velocidade de propagação da onda no material de que é feita a antena. A antena que analisamos é o chamado “dipolo de meia onda”. No entanto, existem outros tipos de antenas.

Conforme vimos, uma das características importantes no projeto de uma antena é a sua impedância. A impedância de uma antena depende do modo como ela é construída e de suas dimensões, havendo diversos tipos que serão analisados no próximo item.

No entanto, além da impedância, existem algumas características das antenas que são de grande importância no seu projeto para uma determinada aplicação. Analisemos algumas delas.

**a) Ganho**

Quando falamos em ganho, isso não significa que uma antena possa “amplificar” os sinais que transmite ou que recebam. Uma antena é um elemento passivo, tanto na transmissão como na recepção de sinais. Não existem elementos que possam introduzir um ganho efetivo num sinal de uma antena.

Usamos o termo ganho para expressar a capacidade que uma antena tem para receber sinais de uma determinada direção, quando a comparamos com uma antena usada como referência. Podemos entender melhor esse significado, tomando como exemplo a antena mostrada na figura 262.

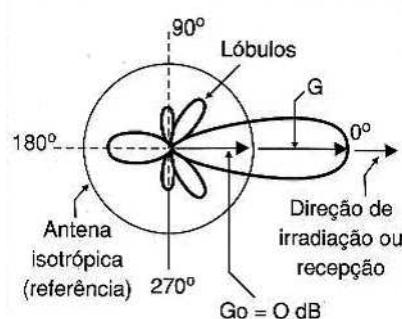


Figura 262 – Ganho de uma antena

Se essa antena concentra a energia transmitida numa certa direção, ela possui um ganho, pois a intensidade da energia na direção considerada é maior do que uma antena comum tomada como referência, que irradie o sinal com a mesma intensidade em todas as direções. O mesmo é válido para uma antena receptora. Se ela consegue captar melhor os sinais que chegam de uma determinada direção, também podemos falar que esta antena possui um ganho, quando comparado ao desempenho da antena tomada como padrão que recebe da mesma maneira os sinais que vêm todas as direções.

**b) Diretividade**

Uma esfera pode ser considerada uma antena ideal. Ela irradia ou recebe sinais com a mesma intensidade em todas as direções.

Evidentemente, para as aplicações prática pode não ser interessante ter um padrão de irradiação desse tipo. Na prática, as antenas devem concentrar os sinais em determinadas direções. Para isso, seus formatos raramente são esféricos, mas sim planejados para se obter um comportamento direutivo. Podemos então falar na diretividade de uma antena como a sua capacidade de concentrar sinais e expressar isso através de um diagrama, conforme mostra a figura 263.

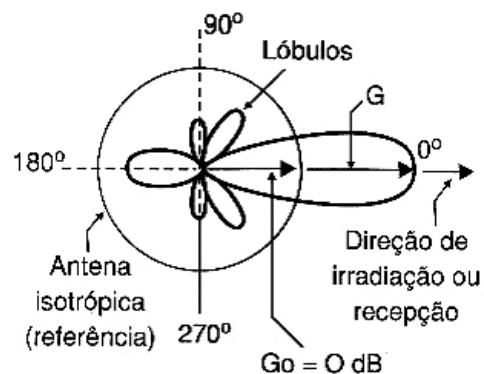


Figura 263 – Diretividade de uma antena

Nesse diagrama, plotamos as intensidades relativas do sinal (recebido ou transmitido) para cada direção a partir daquela para a qual a antena é apontada. O padrão típico, mostrado na figura 250, possui um lóbulo maior que corresponde aos sinais irradiados na direção para a qual a antena está apontada, e outros lóbulos menores que indicam a irradiação de sinais em menor intensidade. Também existem direções em que nenhum sinal é irradiado (ou recebido).

Quanto mais estreito for o lóbulo principal, os menores os outros, mais diretiva é a antena e maior é o seu ganho na direção para a qual está apontada. Uma característica importante de uma antena muito diretiva é que ela tende a rejeitar com mais facilidade sinais que chegam lateralmente. Isso é importante se ela for receptora e no local existirem fontes de interferências. Os sinais dessas fontes podem ser naturalmente rejeitados pela simples escolha de uma antena apropriada.

### c) Polarização

Os campos elétrico e magnético que correspondem à uma onda transmitida ou recebida por uma antena possuem uma orientação específica. Os campos (magnético e elétrico) são perpendiculares um ao outro. O modo como eles aparecem numa antena transmissora, ou devem ser captados por uma antena receptora, determina a sua polarização. Uma antena com polarização vertical, conforme mostra a figura 264, não recebe de maneira eficiente sinais que chegam com uma polarização horizontal.



Figura 264 – A antena deve ser polarizada de acordo com o sinal que deve ser recebido

É por este motivo que as antenas comuns de TV para VHF, que vemos nos telhados das casas, têm suas varetas colocadas em posição horizontal e não vertical. Os sinais de TV são polarizados horizontalmente.

#### Termos para pesquisa:

- Hertz
- Maxwell
- Landel de Moura
- Telecomunicações
- Antenas
- Modulação
- PWM
- Ondas eletromagnéticas

## Termos em Inglês

Nas telecomunicações existem muitos termos que, mesmo estando em inglês são mantidos na documentação em português. Estes termos, normalmente são jargões que todo profissional da eletrônica deve conhecer.

Como exemplo, muito usado em telecom temos o termo PLL que pode ser analisado a partir do texto abaixo:

“Phase Locked Loops (*PLLs*) are circuits that can be tuned to recognize a signal or predetermined frequency. They are very useful as tone decoders in multichannel remote control systems.”

Traduzindo:

PLLs são circuitos que podem ser sintonizados para reconhecer um sinal ou frequência predeterminada. Eles são muito úteis como decodificadores de tom em sistemas de controle remoto multi-canal.

### Vocabulário

Phase Locked Loop (PLL) – Elo travado por fase – estudaremos no decorrer do texto

Recognize – reconhecer

Useful – útil, úteis

Decoders – decodificadores

Multichannel – multicanal

Systems – sistemas

A definição de PLL dada no texto de forma simples, nos permite entender para que serve este circuito e portanto partir para uma tradução. Podemos traduzir o texto da seguinte forma:

### Outros termos em inglês:

Antenna ou aerial – antena

Transmitter – transmissor

Receiver – receptor

Wave – onda

Noise – ruído

Interference – interferência

Amplitude modulation – modulação em amplitude

Frequency modulation – modulação em frequência

Phase modulation – modulação em fase

## QUESTIONÁRIO

1. A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no vácuo é de aproximadamente:
  - a) 340 m/s
  - b) Indeterminada
  - c) 300 000 km/h
  - d) 300 000 km/s
  
2. Qual é o comprimento de uma onda eletromagnética de 100 MHz?
  - a) 33 cm
  - b) 3 m
  - c) 10 m
  - d) 30 m
  
3. A faixa de frequências entre 30 e 300 MHz é chamada:
  - a) Onda Curta
  - b) VHF
  - c) UHF
  - d) SHF
  
4. A camada da atmosfera em que as ondas curtas podem refletir é chamada:
  - a) Troposfera
  - b) Ionosfera
  - c) Estratosfera
  - d) Atmosfera
  
5. Qual é tipo de sinal mais usado nas comunicações digitais?
  - a) AM
  - b) FM
  - c) Espectro espalhado
  - d) PWM



## » RESPOSTAS » LINKS UTEIS

**Lição 1:** 1-d, 2-c, 3-b, 4-a, 5-c, 6-b

**Lição 2:** 1-a, 2-b, 3-c, 4-a, 5-c, 6-c

**Lição 3:** 1-b, 2-b, 3-b, 4-c, 5-c, 6-c

**Lição 4:** 1-a, 2-b, 3-c, 4-b, 5-a, 6-c

**Lição 5:** 1-c, 2-b, 3-b, 4-b, 5-b, 6-c, 7-d, 8-b

**Lição 6:** 1-c, 2-a, 3-d, 4-b, 5-a, 6-c

**Lição 7:** 1-c, 2-c, 3-a, 4-b, 5-a, 6-a, 7-b

**Lição 8:** 1-a, 2-b, 3-c, 4-c, 5-a, 6-c

**Lição 9:** 1-d, 2-b, 3-b, 4-b, 5-c

### Artigos no Site

O site do autor deste curso, Newton C. Braga ([www.newtonc-braga.com.br](http://www.newtonc-braga.com.br)), contém uma grande quantidade de artigos que podem complementar este curso. São artigos em todos os níveis que, tanto servem para ajudar a entender melhor os conceitos do curso, como também para ir além, com mais conhecimentos e o entendimento mais profundo sobre os assunto abordados.

#### Lição 1

[ART431- Eletricidade estática e capacitores](#)

[OP007 – Alergia a eletricidade estática](#)

#### Lição 2

[ALM200 – Circuito elétrico](#)

[ART442 – O circuito elétrico e os efeitos da corrente](#)

[EL004 – O circuito elétrico doméstico](#)

[ALM148 – Corrente convencional e eletrônica](#)

[ART598 – Unidades elétricas- corrente, tensão e potência](#)

#### Lição 3

[MEC070 – Conheça os resistores](#)

[IP024 – Resistores de valores impossíveis](#)

[ALM104 – Resistores em série](#)

**Lição 4**

[MIN050 – Rejuvenescedor de pilhas](#)  
[MA051 – Lixo eletrônico- cuidado com as pilhas](#)  
[ART241 – Eliminadores de pilhas](#)  
[ART573 – Usinas, dínamos e alternadores](#)  
[DUV182 - Usando dínamos em fontes alternativas](#)  
[MA016 – Fontes alternativas - células solares](#)  
[EL009- Curto-circuito, fusíveis e disjuntores](#)

**Lição 5**

[MEC070 – Conheça os capacitores](#)  
[MIN044 – Teste de capacitores](#)  
[ART224 – Ultracapacitores](#)  
[EL001 – Aplicação de indutores, capacitores e filtros em circuitos](#)

**Lição 6**

[IP144 – Obtendo imãs](#)  
[ART221 - Indutores, capacitores e filtros](#)  
[ART572- Calculando pequenos indutores](#)

**Lição 7**

[ART094 – Os alternadores](#)  
[ART573 – Usinas, dínamos e alternadores](#)

**Lição 8**

[ART322 – Como instalar som ambiente](#)

**Lição 9**

[ART1199 - Transmitindo Energia Através de Ondas \(Sem Fio\)](#)  
[MA033 – Radiação de celulares](#)  
[TEL008 – Antenas](#)

## LIVROS RECOMENDADOS:

Para continuar a sua formação e conhecimento, recomendamos visitar a Biblioteca Newton C. Braga de livros. ([Clique Aqui](#))