

# *Eletricidade - Conceitos Iniciais*

*Prof. Dennyys Alves, MEng. - Versão 1.1.1*

0

# *Eletricidade- Conceitos Iniciais*

## *Dennys Lopes Alves*

Eletricista Industrial pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do RN – Senai/RN.

Eletricista de Automação e Instrumentação Industrial pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do RN – Senai/RN.

Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – IFRN.

Técnico em Telecomunicações pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do RN – Senai/RN.

1

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Universidade Potiguar – UNP.

Mestre em Engenharia de Petróleo e Gás com Ênfase em Automação Industrial pela Universidade Potiguar – UNP.

## Sumário

Lista de Figuras.....	6
Lista de Tabelas.....	11
1. Apresentação .....	11
2. Primeiro contato com a eletricidade .....	13
3. Energia .....	13
4. Eletrostática x eletrodinâmica.....	14
5. Eletrostática.....	14
6. Cargas elétricas .....	14
7. Modelo atômico.....	17
7.1. Quantização da carga elétrica.....	20
8. Princípios da eletrostática.....	21
8.1. Princípio da atração e repulsão.....	22
8.2. Princípio da conservação de cargas elétricas.....	22
9. Estados elétricos da matéria.....	23
9.1. Neutro .....	24
9.2. Eletrizado positivamente .....	24
9.3. Eletrizado negativamente .....	24
10. Eletrização dos corpos.....	25
11. Tipos de eletrização .....	26

## *Lista de Figuras*

11.1.	Eletrização por atrito .....	26
11.2.	Eletrização por contato .....	28
11.3.	Eletrização por indução .....	29
12.	Descarga entre Cargas elétricas.....	30
13.	Lei de Coulomb .....	30
14.	Campo elétrico .....	32
15.	Eletrodinâmica.....	35
16.	Condutores, semicondutores e isolantes.....	35
16.1.	Condutores .....	36
16.2.	Isolantes .....	38
16.3.	Semicondutores .....	39
17.	Tensão elétrica.....	40
17.1.	Tensão contínua .....	43
17.2.	Tensão alternada.....	46
18.	Associação de fontes .....	49
18.1.	Associação em série .....	50
18.2.	Associação em paralelo.....	52
18.3.	Associação mista.....	53
19.	Corrente elétrica .....	53
19.1.	Intensidade da corrente elétrica ( $I$ ).....	56
20.	Resistência elétrica .....	58

## *Lista de Figuras*

20.1.	Tipos de resistores .....	60
20.2.	Resistores de Filme de Carbono .....	60
20.3.	Resistores de Carvão.....	60
20.4.	Resistores de Fio.....	61
21.	Código de cores de resistores.....	61
22.	Associação de resistores.....	61
22.1.	Associação série.....	61
22.2.	Associação paralela .....	62
22.3.	Associação mista.....	64
22.4.	Associação Estrela e Triângulo .....	64
22.5.	Ponte de Wheatstone.....	65
23.	Lei de ohm .....	66
23.1.	1ª lei de ohm.....	66
23.2.	2ª lei de ohm.....	67
23.2.1.	Natureza do material.....	67
23.2.2.	Comprimento .....	67
23.2.3.	Área da seção transversal.....	68
23.2.4.	Temperatura.....	68
24.	Efeito Joule .....	69
25.	Potência elétrica em corrente contínua.....	70
26.	Máxima transferência de potência.....	71

## *Lista de Figuras*

27.	Circuitos elétricos em corrente contínua.....	71
27.1.	Circuito série.....	72
27.2.	Circuito paralelo .....	72
27.3.	Circuito misto .....	73
28.	Resolução de Circuitos em Corrente Contínua .....	73
28.1.	Conceitos Básicos de Análise de Circuitos .....	73
28.2.	Resolução por lei de Ohm.....	73
28.3.	Resolução por leis de Kirchhoff.....	74
28.3.1.	1º lei de Kirchhoff – Lei das correntes.....	74
28.3.2.	2º lei de Kirchhoff – Lei das tensões .....	74
29.	Teoremas de Resolução de Circuitos .....	75
29.1.	Teorema de Thévenin .....	75
30.	Capacitores.....	75
31.	Circuitos Trifásicos .....	76
32.	Ligação Estrela-Triângulo .....	76
32.1.	Ligação estrela:.....	76
32.2.	Ligação Triângulo: .....	76
Anexo A – Breve Revisão Matemática Aplicada .....		76
A.1.	Representação de números em potência de dez.....	76
A.2.	Prefixos numéricos.....	78
Referências.....		79

Sugestões de web sites.....

## **Lista de Figuras**

Figura 1- Possíveis transformações da energia. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999. ....	14
Figura 2-Molécula de água (H <sub>2</sub> O), constituída por átomos de oxigênio e hidrogênio. Disponível em: ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio. São Paulo: Érica, 1997. ....	15
Figura 3- Repulsão entre cargas elétricas. Disponível em: < <a href="http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele12.htm">http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele12.htm</a> > Acesso em: 21/05/2012. ....	6
Figura 4-Atração entre cargas elétricas. Disponível em: < <a href="http://fisicomaluco.com/experimentos/2008/09/28/como-construir-um-eletroscopio-com-materiais-caseiros-e-demonstrar-a-existencia-das-cargas-eletricas/">http://fisicomaluco.com/experimentos/2008/09/28/como-construir-um-eletroscopio-com-materiais-caseiros-e-demonstrar-a-existencia-das-cargas-eletricas/</a> >. Acesso em: 21/05/2012. ....	17
Figura 5- Regiões básicas do átomo. Disponível em: < <a href="http://enciclopediavirtual.vilabol.uol.com.br/quimica/atomistica/resumodosmodelos.htm">http://enciclopediavirtual.vilabol.uol.com.br/quimica/atomistica/resumodosmodelos.htm</a> >. Acesso em: 21/05/2012. ....	19
Figura 6- Constituição interna do átomo. Disponível em: < <a href="http://www.infoescola.com/quimica/atomos/">http://www.infoescola.com/quimica/atomos/</a> >. Acesso em: 21/05/2012. ....	19
Figura 7 - Atração e repulsão entre cargas elétricas. Disponível em: < <a href="http://www.brasile escola.com/fisica/os-tipos-carga-eletrica.htm">http://www.brasile escola.com/fisica/os-tipos-carga-eletrica.htm</a> >. Acesso em: 21/05/2012. ....	22
Figura 8- Exemplo do princípio de conservação das cargas elétricas. Disponível em: < <a href="http://dc140.4shared.com/doc/OE6NU9oy/preview003.png">http://dc140.4shared.com/doc/OE6NU9oy/preview003.png</a> >. Acesso em: 21/05/2012. ....	23

Figura 9- Formação dos cátions. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.....	25
Figura 10- Formação dos ânions. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.....	26
Figura 11- Exemplo de eletrização por atrito. Disponível em: < <a href="http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1_1999/Vildinei/eletro/intro.htm">http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1_1999/Vildinei/eletro/intro.htm</a> >. Acesso em: 31/07/2012.....	28
Figura 12- Exemplo de eletrização por contato. Disponível em: < <a href="http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1_1999/Vildinei/eletro/intro.htm">http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1_1999/Vildinei/eletro/intro.htm</a> >. Acesso em: 31/07/2012.....	28
Figura 13- Exemplo de eletrização por indução. Disponível em: < <a href="http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/fisica/eletrostatica/eletricidade_e_magnetismo/lei_coulomb">http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/fisica/eletrostatica/eletricidade_e_magnetismo/lei_coulomb</a> >. Acesso em: 31/07/2012.....	30
Figura 14- Linhas de campo divergente. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.....	33
Figura 15- Linhas de campo convergente. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.....	33
Figura 16- Comportamento das linhas de campo nas cargas positivas e negativas. Disponível em: < <a href="http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/aulas/775/imagens/Linhas_1.png">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/aulas/775/imagens/Linhas_1.png</a> >. Acesso em: 31/07/2012.....	33
Figura 17- Comportamento das linhas de campo entre duas placas planas de cargas opostas. Disponível em: < <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9trico">http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9trico</a> >. Acesso em: 31/07/2012.....	33
Figura 18- Comportamento das linhas de campo entre duas cargas opostas. Disponível em: < <a href="http://hermes.ucs.br/ccet/defq/miandreaza/CurAut01.htm">http://hermes.ucs.br/ccet/defq/miandreaza/CurAut01.htm</a> >. Acesso em: 31/07/2012.....	34



Figura 19- Comportamento das linhas de campo entre duas cargas positivas. Disponível em: < <a href="http://hermes.ucs.br/ccet/defq/mandreazza/CurAut01.htm">http://hermes.ucs.br/ccet/defq/mandreazza/CurAut01.htm</a> >. Acesso em: 31/07/2012.	34
Figura 20- Linhas de campo divergentes e convergentes entre cargas de mesmo sinal. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.	35
Figura 21- Comportamento dos materiais condutores. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.	38
Figura 22- Comportamento dos materiais isolantes: poucos elétrons livres. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.	39
Figura 23- Dínamo instalado em bicicleta. Disponível em: ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio. São Paulo: Érica, 1997.	42
Figura 24- Geradores eletroquímicos: pilhas, baterias e baterias automotivas. Disponível em: ALBUR-QUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio. São Paulo: Érica, 1997.	42
Figura 25- Geradores solares: célula de energia solar. Disponível em: ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio. São Paulo: Érica, 1997.	43
Figura 26- Gráfico da tensão elétrica fornecida por pilha de 1,5 volts. Disponível em: < <a href="http://eletronicoel.blogspot.com.br/2012/02/curso-de-eletronica.html">http://eletronicoel.blogspot.com.br/2012/02/curso-de-eletronica.html</a> >. Acesso em: 05/06/2012.	44
Figura 27- Gráfico da tensão elétrica contínua. Disponível em: < <a href="http://www.refrigeracao.net/Cursos/electronica/fonte_alimentacao_linear.htm">http://www.refrigeracao.net/Cursos/electronica/fonte_alimentacao_linear.htm</a> >. Acesso em: 05/06/2012.	45
Figura 28- Símbolos gráficos fonte de tensão contínua. Disponível em: < <a href="http://www.sabereletrico.com/leituraartigos.asp?valor=21">http://www.sabereletrico.com/leituraartigos.asp?valor=21</a> >. Acesso: 05/06/2012 e ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos corrente contínua, Material apoio. São Paulo: Érica: 1997.	45

## Lista de Figuras

Figura 29- Representação da tensão na fonte e no resistor. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.	45
Figura 30- Gráfico da tensão elétrica alternada. Disponível em: < <a href="http://www.refrigeracao.net/Cursos/electronica/fonte_alimentacao_linear.htm">http://www.refrigeracao.net/Cursos/electronica/fonte_alimentacao_linear.htm</a> >. Acesso em: 05/06/2012.	47
Figura 31- Símbolo gráfico da fonte de tensão elétrica alternada senoidal. Disponível em: < <a href="http://www.sabereletrico.com/leituraartigos.asp?valor=21">http://www.sabereletrico.com/leituraartigos.asp?valor=21</a> >. Acesso em: 05/06/2012.	48
Figura 32- Símbolos gráficos das formas de onda alternada: senoidal, quadrada e dente de serra. Disponível em: < <a href="http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/311">http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/311</a> >. Acesso em: 08/06/2012.	48
Figura 33- Pilhas de dimensões físicas diferentes fornecendo a mesma ddp: 1,5 volts. Disponível em: < <a href="http://eletronicanoel.blogspot.com.br/2012/02/curso-de-eletronica.html">http://eletronicanoel.blogspot.com.br/2012/02/curso-de-eletronica.html</a> >. Acesso em: 05/06/2012.	50
Figura 34 - Associação de fontes em série. Disponível em: < <a href="http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08_2.gif">http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08_2.gif</a> >. Acesso em: 23/05/2012.	9 51
Figura 35- Associação de fontes em série. Polaridade direta (a) e polaridade reversa (b). Disponível em: < <a href="http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap_04/assocfon.htm">http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap_04/assocfon.htm</a> >. Acesso em: 08/06/2012.	51
Figura 36- Associação de fontes com resistência interna em série na polaridade direta. Disponível em: < <a href="http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap_04/assocfon.htm">http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap_04/assocfon.htm</a> >. Acesso em: 08/06/2012.	52
Figura 37- Associação de fontes em paralelo. Disponível em: < <a href="http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08_2.gif">http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08_2.gif</a> >. Acesso em: 23/05/2012.	53
Figura 38- Movimento aleatório elétrons sem fonte externa e movimento ordenado cargas elétricas após aplicação ddp externa. Disponível em: < <a href="http://www.followscience.com/content/fisica-aula-20-carga-eletrica-e-corrente-eletrica-3104">http://www.followscience.com/content/fisica-aula-20-carga-eletrica-e-corrente-eletrica-3104</a> >. Acesso em: 23/05/2012.	55

Figura 39- Sentido real e sentido convencional da corrente elétrica. Disponível em: < <a href="http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica/">http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica/</a> >. Acesso em: 23/05/2012.....	56
Figura 40- Certa quantidade de cargas elétricas atravessando a seção transversal de um condutor. Disponível em: < <a href="http://fisicanoblog.blogspot.com.br/2010_04_01_archive.html">http://fisicanoblog.blogspot.com.br/2010_04_01_archive.html</a> >. Acesso em: 23/05/2012.....	57
Figura 41- Deslocamento de cargas negativas em sentido contrário ao campo elétrico. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.....	57
Figura 42- Propriedade gráfica da corrente elétrica. Disponível em: < <a href="http://www.colegioweb.com.br/fisica/propriedade-grafica.html">http://www.colegioweb.com.br/fisica/propriedade-grafica.html</a> >. Acesso em: 23/05/2012.....	58
Figura 43- Propriedade gráfica da corrente elétrica constante. Disponível em: < <a href="http://pt.scribd.com/doc/3370305/Fisica-Aula-20-Carga-eletrica-e-Corrente-eletrica">http://pt.scribd.com/doc/3370305/Fisica-Aula-20-Carga-eletrica-e-Corrente-eletrica</a> >. Acesso em: 23/05/2012.....	58
Figura 44- Símbolo gráfico resistor. Disponível em: < <a href="http://pt.scribd.com/doc/3370305/Fisica-Aula-20-Carga-eletrica-e-Corrente-eletrica">http://pt.scribd.com/doc/3370305/Fisica-Aula-20-Carga-eletrica-e-Corrente-eletrica</a> >. Acesso em: 08/06/2012.....	10 60
Figura 45- Associação de resistores em série: 2 e 3 resistores. Disponível em: < <a href="http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1194">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1194</a> >. Acesso em: 08/06/2012.....	62
Figura 46- Associação de resistores em paralelo: 2 e 3 resistores. Disponível em: < <a href="http://www.mundovestibular.com.br/articles/761/1/RESISTENCIAS/Paacutegina1.html">http://www.mundovestibular.com.br/articles/761/1/RESISTENCIAS/Paacutegina1.html</a> >. Acesso em: 08/06/2012.....	64
Figura 47- Associação de resistores em triângulo e estrela. Disponível em: < <a href="http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2013_04_01_archive.html">http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2013_04_01_archive.html</a> >. Acesso em: 02/01/2015.....	64
Figura 48- Ponte de Wheatstone. Disponível em: < <a href="http://www.mspsc.eng.br/eleomag/celetr0250.shtml">http://www.mspsc.eng.br/eleomag/celetr0250.shtml</a> >. Acesso em: 02/01/2015.....	65
Figura 49- Possíveis transformações da energia. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.....	72

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1-Exemplo de série triboelétrica.....	27
Tabela 2-Exemplo de múltiplos de base 10 .....	76
Tabela 3-Exemplo de submúltiplos de base 10.....	77
Tabela 4-Principais prefixos numéricos utilizados .....	78

## **1. Apresentação**

**N**este texto apresentamos alguns conceitos básicos associados ao entendimento mínimo necessário acerca da eletricidade aplicada em nível técnico-profissionalizante, em especial aos cursos técnicos da área industrial, tais quais eletrotécnica, eletroeletrônica, eletrônica, eletromecânica, automação industrial e similares.

No transcorrer do texto optamos por uma linguagem simples, clara e objetiva para abordar os temas, aproximando e correlacionando os mesmos com o dia a dia dos estudantes, hobbistas e profissionais que trabalham direta e indiretamente com eletricidade. O objetivo maior é fazer com que a eletricidade não seja mais um mistério para os leitores, através de um texto de leitura fácil e agradável.

Para tornar a leitura mais agradável, sempre que possível, às fórmulas matemáticas são apresentadas sem sua demonstração, garantindo maior dinâmica na exposição dos conteúdos, buscando atender as demandas dos cursos técnicos integrados ao ensino médio e técnicos subsequentes ao

ensino médio (lei nº 9394/96). Apresentamos ainda listas de exercícios como forma de desenvolver e verificar o aprendizado.

Como toda apostila, este texto fornece apenas um primeiro contato com o universo da eletricidade, não dispensando a consulta a publicações técnicas mais aprofundadas sobre esta temática, tais quais os que são apresentados nas referências.

Autorizamos previamente a reprodução deste material de forma parcial ou total, por qualquer forma, meio ou processo, desde que citada à fonte. Julgamos não ter ferido os direitos de propriedade intelectual uma vez que todas as imagens e gráficos foram devidamente referenciados, tendo sido dado o devido crédito aos detentores de direitos autorais. Eventuais falhas de direitos autorais serão prontamente retiradas.

Mesmo empenhando-se ao máximo, estamos cientes que são inevitáveis erros no texto, portanto receberei com atenção e gratidão eventuais correções, críticas e sugestões

acerca do conteúdo, técnico e pedagógico, desta apostila, aprimorando eventuais futuras versões.

## 2. Primeiro contato com a eletricidade

**A**s primeiras tentativas de explicar os fenômenos elétricos remontam aos filósofos gregos<sup>1</sup> como Demócrito (460-370 a.c.) que desenvolveu uma teoria na qual procurava descrever os fenômenos elétricos, explicando que todos os corpos existentes eram constituídos por inúmeras partículas minúsculas a quem posteriormente foi atribuído o nome de átomos.

Historicamente algumas bibliografias associam as primeiras observações relacionadas com a eletricidade a um material denominado de âmbar (material resultante do endurecimento de uma seiva proveniente de árvores. Possuem o aspecto de um plástico), que quando atritado com lã ou pelos

---

<sup>1</sup> É bastante provável que outros povos que tivessem conhecimento dos fenômenos elétricos, entretanto os relatos mais antigos remontam aos gregos.

de animais manifestava o comportamento de atrair objetos leves tais como pequenas penas e fios de algodão.

Para Demócrito os átomos eram indivisíveis, fato que posteriormente foi derrubado com a evolução dos estudos da química e da eletricidade, pois como trataremos mais adiante o átomo é subdividido ainda nas suas partículas subatômicas.

Alguns dos inúmeros e relevantes cientistas que contribuíram sobremaneira para o desenvolvimento dos estudos são: Franklin, Coulomb, Galvani, Volta, Faraday, dentre outros.

13

## 3. Energia

**T**rata-se de uma grandeza responsável por caracterizar os sistemas físicos. Seu valor mantém-se constante independentemente do número de transformações ocorridas no referido sistema.

No sistema internacional de unidades (SI) a energia é expressa em Joules:  $J$ . Os livros de física e eletricidade básica utilizam como símbolo de energia a letra tau:  $\tau$ .

Dependendo da interação entre os sistemas, a energia pode assumir múltiplas formas tais quais as apresentadas abaixo:

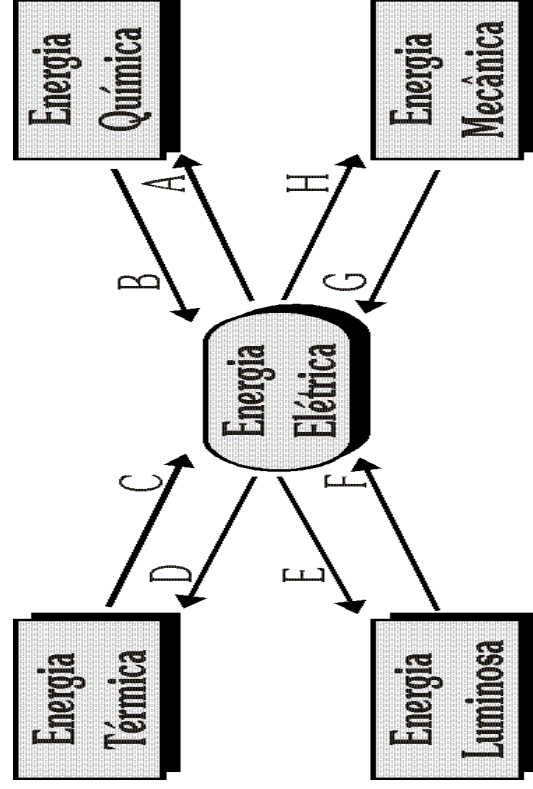


Figura 1 - Possíveis transformações da energia. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.

#### 4. Electroestática x eletrodinâmica

**C**onforme visualizamos no tópico anterior à eletricidade é uma forma de energia. Seu estudo divide-se em duas grandes áreas: a eletrostática e a eletrodinâmica.

#### 5. Electroestática

**A** Electroestática (eletricidade estática) trata do comportamento ou dos fenômenos associados às cargas elétricas que não estão em movimento, ou seja, que estão em repouso.

#### 6. Cargas elétricas

**N**uma abordagem simplificada, sabemos que a matéria é constituída por uma associação de partículas extremamente pequenas designadas de átomos, estes quando combinados (interligados quimicamente) formam as moléculas (qualquer que seja seu estado físico) e estas últimas formam as substâncias.

Comumente a matéria é descrita como tudo que possui massa e ocupa lugar no espaço. Elemento químico é a designação das matérias que possuem todos os seus átomos iguais. Ex.: oxigênio, hidrogênio, ferro, etc.

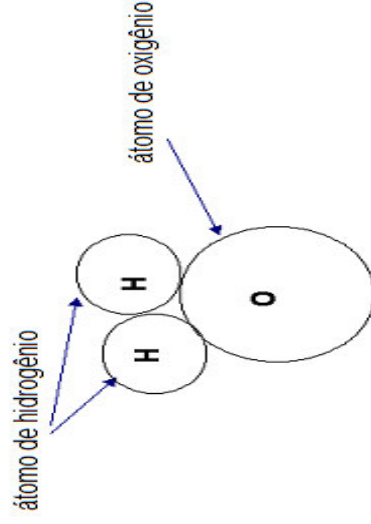


Figura 2-Molécula de água (H<sub>2</sub>O), constituída por átomos de oxigênio e hidrogênio. Disponível em: ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. *Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio*. São Paulo: Érica, 1997.

O modo com que os átomos se associam entre si vai dá origem aos infinitos tipos de substâncias químicas existentes. Cada tipo de matéria corresponde a uma substância.

Mesmo possuindo a mesma quantidade de átomos do mesmo elemento químico, dois corpos podem ser bastante diferentes, dependendo da forma com que as ligações são estabelecidas entre seus respectivos átomos.

A molécula pode ser descrita como a menor parte da matéria (divisões sucessivas), ou ainda, a menor parte de qualquer material que ainda possui suas propriedades básicas, ou seja, ainda conserva as características originais da substância.

Ao seccionarmos um material em partes cada vez menores obteremos como resultado átomos isolados, continuando as divisões obteremos as chamadas partículas subatômicas.



Todo átomo é constituído por várias partículas subatômicas, sendo que as mais diretamente relacionadas aos fenômenos elétricos são os prótons, os nêutrons e os elétrons.

As partículas que compõem a matéria (prótons, nêutrons e elétrons) ou partículas elementares da matéria, manifestam algumas propriedades elétricas que estão associadas à presença ou não de cargas elétricas. Estas cargas elétricas são caracterizadas pelo acúmulo de elétrons no corpo.

Experimentalmente, foi verificado que ao posicionarmos prótons em presença de prótons ou elétrons em presença de elétrons, constatamos que as partículas iguais se afastam. No caso de posicionarmos elétrons em presença de prótons, teremos uma atração mútua entre estas partículas. Por último a aproximação de um próton ou um elétron com um nêutron não gera nem atração e nem repulsão, de onde se conclui que os nêutrons não possuem carga elétrica.

Diante do exposto no parágrafo anterior podemos afirmar que os elétrons e os prótons interagem, exercendo forças entre si.

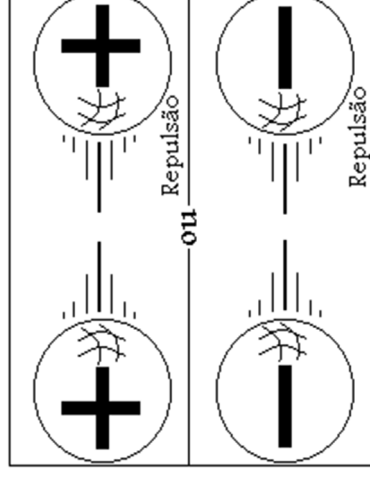


Figura 3- Repulsão entre cargas elétricas. Disponível em: <  
<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele12.htm> > Acesso em: 21/05/2012.

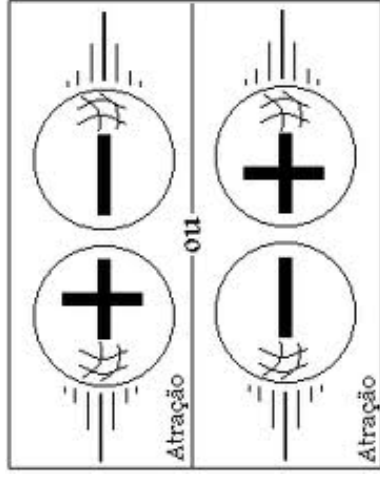


Figura 4-Atração entre cargas elétricas. Disponível em: <  
<http://fisicomaluco.com/experimentos/2008/09/28/como-construir-um-eletroscopio-com-materiais-caseiros-e-demonstrar-a-existencia-das-cargas-eletricas/>>. Acesso em: 21/05/2012.

Podemos resumir que:

- a) Partículas carregadas, ou seja, com carga elétrica: Prótons e elétrons;
- b) Partículas descarregadas, ou seja, sem carga elétrica: Nêutrons.

Os comportamentos dos prótons e dos elétrons são diferentes (opostos) em virtude do fato de que tais partículas

são portadoras de cargas elétricas de sinais opostos. Con-  
vencionou-se atribuir carga positiva aos prótons e negativa  
(carga fundamental da eletricidade) aos elétrons. Esta duali-  
dade das cargas elétricas que podem ser associadas a um  
material por vezes é denominada de polaridade positiva (pró-  
tons) ou polaridade negativa (elétrons). No caso dos nêutrons  
afirmaremos que os mesmos são despolarizados.

Em síntese podemos associar o seguinte comporta-  
mento às cargas elétricas:

- Prótons: carga elétrica positiva;
- Elétrons: carga elétrica negativa;
- Nêutrons: não possuem carga elétrica (não exercem ações elétricas).

## 7. Modelo atômico

Átomo pode ser dividido basicamente em duas grandes regiões ou áreas:

- a) O núcleo;
- b) A eletrosfera.

Dentro do núcleo têm-se os prótons e os nêutrons formando um grupo bem compacto. Ao redor do núcleo temos os elétrons desenvolvendo movimentos circulares em órbitas concêntricas e bem determinadas cuja região é denominada de eletrosfera.<sup>2</sup>

Este modelo atômico foi proposto por Bohr. O número de órbitas do átomo pode variar em função da natureza do material. A estrutura atômica é mantida pelas forças de atração entre o núcleo e seus elétrons.

Quanto às dimensões, estima-se que o núcleo corresponde a 0,01% do diâmetro do átomo, ou ainda que o diâ-

---

<sup>2</sup> Alguns livros mais antigos também chamam a eletrosfera de coroa.

tro do átomo vale aproximadamente  $10^{-10}$  m enquanto que seu núcleo tem diâmetro de  $10^{-15}$  m.

No universo da física quântica são estudadas outras partículas também situadas no núcleo e de dimensões ainda menores que os prótons e nêutrons.

Comparando-se as massas do próton e do elétron os cientistas afirmam que a massa do próton é aproximadamente 2000 vezes maior que a massa do elétron. Ao serem comparadas as massas dos prótons e dos nêutrons concluiu-se que os nêutrons possuem uma massa ligeiramente maior que a dos prótons, sendo em alguns casos consideradas iguais.

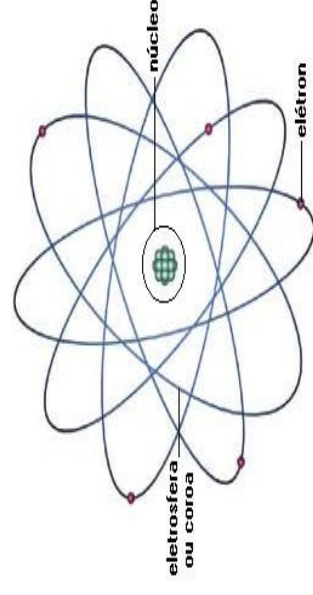


Figura 5- Regiões básicas do átomo. Disponível em: <  
<http://enciclopediavirtual.vilabol.uol.com.br/quimica/atomistica/resumosdosmodelos.htm>>. Acesso em: 21/05/2012.

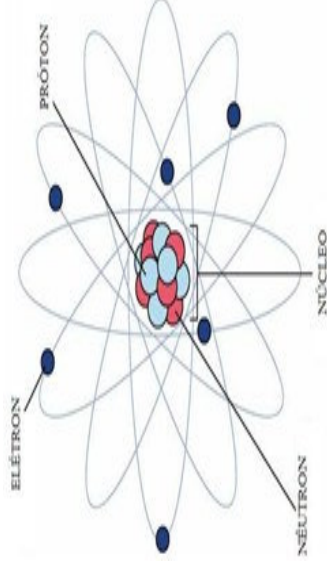


Figura 6- Constituição interna do átomo. Disponível em: <  
<http://www.infoescola.com/quimica/atomos/>>. Acesso em: 21/05/2012.

Algumas bibliografias traçam uma analogia entre o sistema solar e a estrutura atômica. Nesta analogia o núcleo do átomo seria o sol ao redor do qual giram os elétrons planetários.

Um corpo carregado é aquele que possui falta ou excesso de elétrons, pois são estas partículas que podem ser adicionadas ou retiradas dos átomos, nunca os prótons, uma

vez que estes últimos estão fortemente presos dentro do núcleo.

Outra característica relevante é o fato do núcleo atrair com maior intensidade (mais força) os elétrons situados nas camadas (órbitas) mais internas da eletrosfera, enquanto que os elétrons das órbitas mais externas são atraídos por forças de menor intensidade.

Os átomos são descritos como eletricamente neutros, quando o seu número de prótons for igual ao seu número de elétrons, neste caso não manifestam nenhuma propriedade elétrica em virtude do fato de que sua carga total positiva anula a sua carga total negativa. A igualdade entre o número de prótons e de elétrons garante ainda a estabilidade do átomo.

O movimento dos elétrons nas órbitas da eletrosfera é definido pelo equilíbrio das forças que atuam sobre o mesmo durante o desenvolvimento de tais movimentos. Sobre os elétrons atuam as seguintes modalidades de força:

- a) Força de atração;

b) Força centrífuga.

No primeiro caso, os prótons presentes no núcleo atraem eletricamente os elétrons, forçando os mesmos em direção à região central do átomo. A força de atração “força” a entrada do elétron no núcleo.

Quanto ao item (b), o movimento circular que os elétrons desenvolvem faz com que os mesmos sejam submetidos a forças centrífugas forçando-os na direção tangente a curva, ou seja, para fora da órbita da eletrosfera, ou ainda no sentido de expulsá-lo do átomo.

A associação conjunta das duas forças, a de atração para dentro e a centrífuga para fora, gera o equilíbrio (ambas se anulam) que mantém o elétron dentro de sua trajetória na respectiva órbita. O elétron só vai alterar sua trajetória ou sua órbita caso o mesmo sofra influência de alguma força externa.

### 7.1. Quantização da carga elétrica

As cargas elétricas correspondem às cargas inerentes a cada corpo e que são múltiplas da carga de cada elétron. A evolução das experiências no campo da eletricidade proporcionou a chamada quantização das cargas, gerando os seguintes valores de cargas elétricas para as partículas elementares:

$e = Q_P = +1,6 \times 10^{-19} C$ , sendo  $Q_P$  a carga do próton em Coulombs<sup>3</sup>.

$e = Q_E = -1,6 \times 10^{-19} C$ , sendo  $Q_E$  a carga do elétron em Coulombs.

20

A análise dos valores nos permite afirmar que as cargas do próton e do elétron são iguais em módulo (mesmo valor absoluto), porém de sinais contrários. A este valor denominamos de carga elementar.

---

<sup>3</sup> No sistema internacional de unidades a carga elétrica é expressa em Coulombs (C).

Matematicamente podemos determinar a carga total de um corpo através da expressão:

$$Q = n \times e$$

Onde:

$Q$  : Representa a carga total;

$n$ : Número de elétrons em falta ou excesso no material (elétrons inseridos ou retirados do corpo). Número de elétrons fornecidos (no caso de carga negativa) ou retirados (no caso de cargas positivas) do corpo.

$e$ : Corresponde a carga elemental:  $|e| = 1,6 \times 10^{-19} C$ .  
Chamada carga elétrica fundamental, que é a carga presente em cada próton ou elétron.

Normalmente as Grandezas físicas utilizadas no campo da eletricidade fazem parte do Sistema Internacional de Unidades (SI), mais conhecido como MKS (Metro, Kilograma, Segundo).

A carga elétrica fundamental, em Coulombs, vale aproximadamente  $1,6 \times 10^{-19} C$ . (valor muito pequeno)! Daí temos que, para conseguir cargas de 1 Coulomb, é necessária transferência de vários elétrons entre corpos.

$$1 C = 6,242 \times 10^{18} \text{ Eletrons} \cong 6,25 \times 10^{18} \text{ Eletrons}$$

1 Coulomb de carga positiva ou negativa teriam a mesma intensidade ou magnitude, porém polaridades opostas.

21

## 8. Princípios da eletroestática

**A** Eletroestática está fundamentada em dois princípios básicos, a saber:

- 1° Princípio: atração e repulsão;
- 2° Princípio: conservação das cargas elétricas.

### 8.1. Princípio da atração e repulsão

Afirma que cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais opostos se atraem.

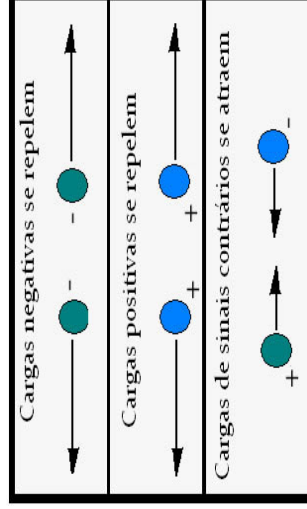


Figura 7 - Atração e repulsão entre cargas elétricas. Disponível em: <  
<http://www.brasilescola.com/fisica/os-tipos-carga-eletrica.htm>>.

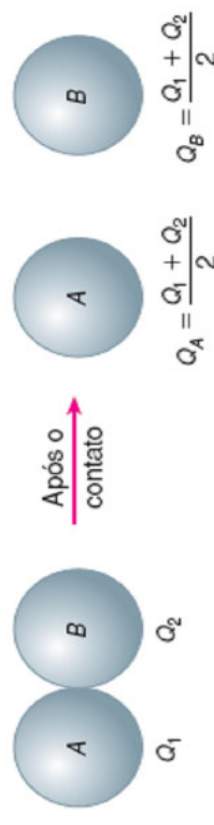
Acesso em: 21/05/2012.

### 8.2. Princípio da conservação de cargas elétricas

Num sistema eletricamente isolado a soma algébrica da quantidade total de cargas permanece constante. Sistemas eletricamente isolados são aqueles que não trocam cargas elétricas com o meio externo.

Posicionando dentro de um sistema eletricamente isolado, duas esferas metálicas idênticas (mesmas dimensões) A e B, num primeiro momento carregadas com cargas elétricas  $Q_1$  e  $Q_2$  e em seguida estabelecendo-se o contato entre as mesmas, verificaremos uma mútua troca de cargas elétricas.

Durante o contato entre as esferas a carga total será distribuída uniformemente na superfície externa das duas, uma vez que ambas são idênticas. Após a separação física cada esfera fica com partes iguais da carga total<sup>4</sup> em função de possuírem as mesmas dimensões. A soma será algébrica, logo devemos levar em consideração o sinal das cargas.



<sup>4</sup> Para esferas idênticas a carga final após o contato e posterior separação vai corresponder à média aritmética das duas cargas.



Figura 8- Exemplo do princípio de conservação das cargas elétricas.

Disponível em: <

<http://dc140.4shared.com/doc/OE6NU9oy/preview003.png> >. Acesso em: 21/05/2012.

Antes do contato:

Esfera A: Carga:  $Q_1$ ; Esfera B: Carga:  $Q_2$  e Carga total:  $\Sigma Q = Q_1 + Q_2$ ;

Após o contato:

Esfera A: Carga:  $Q'_1 = \frac{Q_1+Q_2}{2}$ ; Esfera B: Carga:  $Q'_2 = \frac{Q_1+Q_2}{2}$ ; Carga total:  $\Sigma Q = Q'_1 + Q'_2$

Pelo princípio da conservação teremos:  $Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2$ , ou seja, num sistema isolado a soma algébrica das cargas é a mesma antes e depois do contato.

O princípio da conservação das cargas elétricas fica evidenciado pelo fato de que a soma algébrica das cargas antes e depois do contato vai permanecer a mesma.

Conforme já citamos as cargas elétricas são medidas em Coulombs. Os principais submúltiplos do Coulomb são:

- Milicoulomb:  $mC = 10^{-3}C$  ;
- Microcoulomb:  $\mu C = 10^{-6}C$  ;
- Nanocoulomb:  $nC = 10^{-9}C$  ;
- Picocoulomb:  $pC = 10^{-12}C$  .

Os fenômenos elétricos são aqueles envolvendo transferências de elétrons entre corpos. Há processos envolvendo os prótons especificamente, que são do domínio da Física Nuclear, no entanto, tais eventos não fazem parte dos objetivos deste curso.

23

## 9. Estados elétricos da matéria

**P**odemos classificar os corpos em função de suas cargas elétricas. Os corpos podem assumir três estados:

- a) Corpo neutro;
- b) Corpo eletrizado positivamente;



c) Corpo eletrizado negativamente.

### 9.1. Neutro

Também denominado de estado descarregado ou estado fundamental da matéria. Neste estado o número total de prótons é igual ao número total de elétrons.

Conforme abordado anteriormente os prótons e elétrons possuem a mesma carga elétrica em módulo<sup>5</sup>, sendo uma positiva e outra negativa, fazendo com que a soma algébrica das mesmas seja nula.

Num corpo neutro ou descarregado:  $\sum Q = 0$ .

Caso seja estabelecido um desequilíbrio nesta igualdade teremos a formação dos chamados íons.

---

<sup>5</sup> Também denominado de valor absoluto.

### 9.2. Eletrizado positivamente

São os corpos que perderam elétrons e ficaram com excesso de cargas positivas ou ainda falta de elétrons. Os elétrons que foram forçados a sair de suas respectivas órbitas criam uma falta de cargas negativas em seus átomos de origem, tornando estes últimos positivos.

Num corpo eletrizado positivamente:  $\sum Q > 0$ : Número de prótons > Número de elétrons.

### 9.3. Eletrizado negativamente

São corpos que ganham elétrons e ficam com excesso de cargas negativas ou ainda excesso de elétrons. Os elétrons se fixam em novos átomos criando um excesso de cargas negativas, tornando estes últimos negativos.

Num corpo eletrizado negativamente:  $\sum Q < 0$ : Número de prótons < Número de elétrons.

Em qualquer uma das situações citadas acima sempre haverá transferência de elétrons, nunca de prótons, uma vez que estes últimos se encontram fortemente presos dentro do núcleo do átomo. Os elétrons são mais facilmente extraídos do átomo uma vez que demandam menor energia para se deslocarem entre as camadas que constituem o referido átomo.

## 10. Eletrização dos corpos

**F**ornecendo ou retirando cargas elétricas de um átomo estaremos eletrizando o mesmo. Um corpo é considerado eletrizado quando o mesmo possuir quantidades distintas de prótons e elétrons, ou seja, quando o mesmo estiver neutro. A partir da eletrização um corpo pode acumular em sua estrutura cargas elétricas positivas e negativas. O processo de retirar ou fornecer cargas elétricas a um átomo, tornando o mesmo eletrizado, é designado de ionização.

A ionização pode gerar a formação de materiais que manifestam dois comportamentos distintos denominados de:

- Íons positivos ou cátions: obtidos retirando elétrons dos átomos. Consequentemente teremos mais prótons do que elétrons;
- Íons negativos ou ânions: obtidos fornecendo ou inserindo elétrons aos átomos, logo teremos como consequência uma maior quantidade de elétrons do que de prótons.

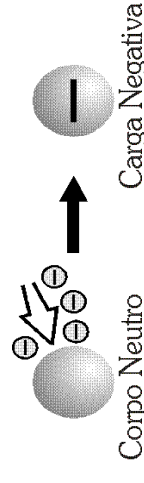
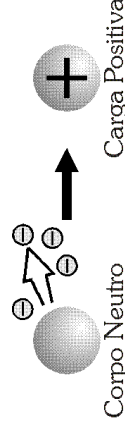


Figura 9- Formação dos cátions. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.

Figura 10- Formação dos ânions. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. *Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua*. São Paulo: Érica, 1999.

## 11. Tipos de eletrização

**A** eletrização corresponde ao fenômeno de fazer com que um determinado corpo possa adquirir cargas elétricas.

Os três tipos básicos de eletrização são:

- Eletrização por atrito;
- Eletrização por contato;
- Eletrização por indução.

### 11.1. Eletrização por atrito

Corresponde a modo de eletrização mais antigo que se tem notícia. Foi descoberto pelo filósofo grego Tales de Mileto, após atritar certos materiais e constatar que os mesmos

eram capazes de atrair pequenos pedaços de materiais leves (ex.: palhas e penas).

Dois corpos de materiais distintos (inicialmente neutros) são atritados, com a geração de energia térmica (calor) e movimento de elétrons, tendo como consequência a transferência de elétrons de um material para o outro, o que torna ambos eletrizados.

Após a eletrização por atrito um dos corpos perde elétrons e fica positivo enquanto o outro recebe elétrons e torna-se negativo. Na eletrização por atrito os corpos se carregam com cargas de sinais opostos.

O comportamento do material, no que tange a tendência de torna-se positivo ou negativo, durante a eletrização por atrito, pode ser avaliado a partir da análise de uma série designada a este fim e designada de série triboelétrica.

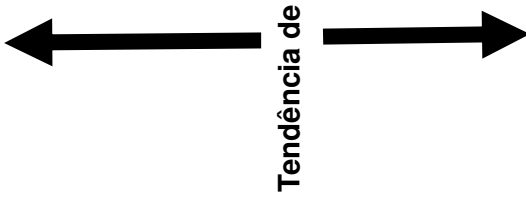
Exemplo: ao atritar vidro e cobre, o vidro, situado na parte superior da série, terá maior tendência de perder elétrons e torna-se positivo, e um comportamento contrário vai

## *Tipos de eletrização*

ocorrer no cobre, ou seja, este último terá maior tendência em torna-se negativo.

<b>Positiva</b>	
Pele de Coelho	
Vidro	
Mica	
Lã	
Pele de Gato	
Seda	
Algodão	
Madeira	
Âmbar	
Ebonite	
Cobre	
Enxofre	
Celuloide	
<b>Negativa</b>	

**Tendência de Eletrização**



27

Tabela 1-Exemplo de série triboelétrica

### **Série Triboelétrica**

Após o contato o corpo inicialmente neutro torna-se negativo. Na eletrização por contato os corpos se carregam com cargas de mesmo sinal.

Após o contato será atendido o atendido o princípio da conservação das cargas elétricas, portanto a carga resultante será dada pela média aritmética entre as cargas iniciais dos corpos em contato, caso os corpos tenham dimensões idênticas. Caso os corpos sejam tenham geometrias distintas permanece o fato de que o somatório total das cargas antes e depois do contato deverá permanecer o mesmo.

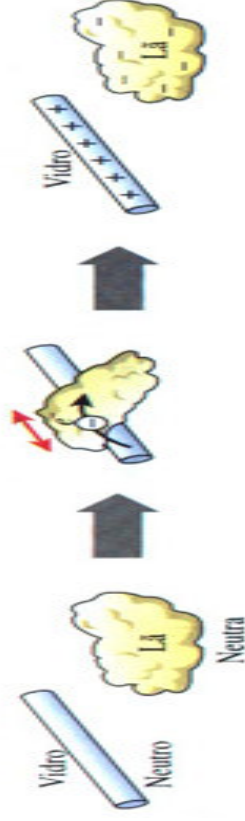


Figura 11- Exemplo de eletrização por atrito. Disponível em: <  
[http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1\\_1999/Vildinei/eletro/intro.htm](http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1_1999/Vildinei/eletro/intro.htm)>. Acesso em: 31/07/2012.

### 11.2. Eletrização por contato

Corresponde ao contato entre dois corpos, sendo um positivo ou negativo e o outro neutro. O contato entre corpos de cargas elétricas distintas vai provocar uma troca de carga entre os mesmos.

No caso do contato entre um corpo neutro e outro carregado negativamente, os elétrons em excesso no corpo neutro são transferidos (redistribuídos) para o corpo neutro até ser atingido o equilíbrio, denominado de equilíbrio eletrostático (a carga elétrica tende a se estabilizar).

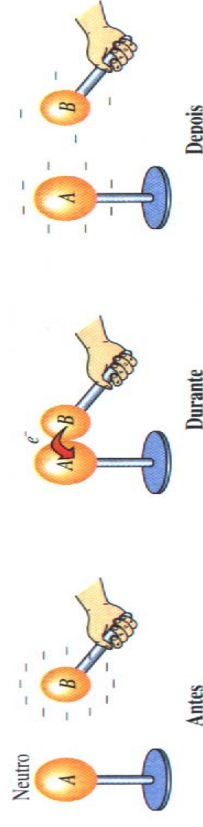


Figura 12- Exemplo de eletrização por contato. Disponível em: <  
[http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1\\_1999/Vildinei/eletro/intro.htm](http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1_1999/Vildinei/eletro/intro.htm)>. Acesso em: 31/07/2012.

### **11.3. Eletrização por indução**

Tipo de eletrização que guarda relação direta com o princípio da atração e repulsão entre cargas elétricas. Serão aproximados um corpo eletrizado, designado de indutor, e um corpo inicialmente neutro, intitulado de induzido.

Aproximando-se um corpo neutro de outro previamente carregado, sem que ocorra contato entre os mesmos, haverá uma separação entre as cargas que constituem o corpo neutro. Enfatizamos que os corpos não devem ser encostados, uma vez que esta ação descaracteriza a eletrização por indução e caracteriza a eletrização por contato.

Dois corpos, um neutro e outro eletrizado positivamente, são aproximados, porém sem haver contato entre os mesmos, fazendo com que os elétrons do corpo neutro sejam atraídos para a face mais próxima do corpo positivo (ocorre à aproximação entre os corpos, porém sem contato).

A eletrização por contato não forma íons, a consequência direta deste processo vai ser a polarização do corpo neutro, uma vez que este último vai ter falta de elétrons em uma face e excesso na outra, formando um polo positivo em uma extremidade e outro negativo na outra.

Desejando eletrizar o corpo neutro, deve-se após a polarização do mesmo, aterrar sua face positiva, até que os elétrons fluam da terra para o corpo, neutralizando suas cargas positivas.

Para concluir o procedimento o aterramento é desfeito e os dois corpos são afastados, fazendo com que o corpo inicialmente neutro fique eletrizado negativamente.

Se o corpo estiver eletrizado negativamente (excesso de elétrons), a terra receberá os elétrons excessivos tornando o corpo neutro.

## 12. Descarga entre Cargas elétricas

Aproximação entre corpos eletrizados com cargas de elevado valor faz com que ocorra uma centelha ou arco entre os mesmos como consequência de uma transferência brusca de cargas elétricas entre os corpos, mesmo que não exista contato entre estes últimos.

Um exemplo clássico de descarga entre cargas elétricas são os raios gerados a partir do atrito entre as nuvens e o ar atmosférico que as cerca.

## 13. Lei de Coulomb

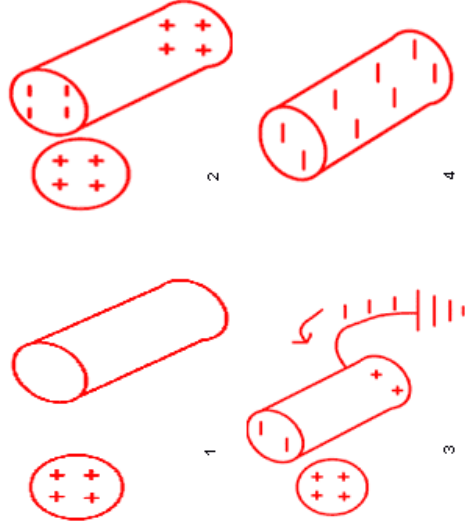


Figura 13- Exemplo de eletrização por indução. Disponível em: <  
[http://www.passeiweb.com/na\\_ponta\\_lingua/sala\\_de\\_aula/fisica/eletr\\_ostatica/eletricidade\\_e\\_magnetismo/lei\\_coulomb](http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/fisica/eletr_ostatica/eletricidade_e_magnetismo/lei_coulomb)>. Acesso em: 31/07/2012.

Para corpos eletrizados em contato com a terra podemos afirmar que:

Se o corpo estiver eletrizado positivamente (falta de elétrons), a terra doará elétrons para o mesmo tornando-o neutro.

Formulada pelo físico Charles Augustin Coulomb, trata-se de um equacionamento matemático que quantifica as forças de interação (atração e repulsão) entre cargas elétricas de dimensões desprezíveis (cargas puntiformes<sup>6</sup>).

Por tratar-se de uma força (grandeza vetorial), a direção e sentido dos vetores que a representam devem ser considerados. As forças de atração ou repulsão terão módulos ou intensidades iguais, porém com sentidos distintos.

O enunciado da lei de Coulomb afirma: “A intensidade da força elétrica de interação entre cargas puntiformes é proporcional ao produto dos módulos de cada carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa”.

Como consequência da análise do enunciado da lei em estudo, pode-se afirmar que cargas opostas se atraem mutuamente, entretanto a intensidade desta atração será reduzida a medida que as cargas se afastarem uma da outra.

<sup>6</sup> Cargas com massa e dimensões físicas desprezíveis.

Matematicamente:

$$F = k \times \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

$$k = 9,0 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$F$ : Força elétrica de atração ou repulsão medida em Newtons (N);

$k$ : Constante eletrostática do meio onde estão inseridas as cargas;

$Q_1, Q_2$ : Cargas elétricas em coulombs (C);

$d$ : Distância entre as duas cargas em metros (m).

Na expressão matemática associada a lei de Coulomb pode-se perceber que a distância entre as cargas e a força entre as mesmas vai gerar uma relação inversamente proporcional. Por tratar-se de um termo ao quadrado, a força vai ser reduzida drasticamente com a distância. Ex.: Se dobramos a distância a nova força será reduzida a  $\frac{1}{4}$  da força original.



Quadruplicando a distância a forma diminuirá para 1/16 da intensidade da força inicial.

## 14. Campo elétrico

**D**e modo análogo a terra, que possui um campo gravitacional, as cargas elétricas criam na região do espaço que as envolve um campo elétrico, sendo este o espaço onde atuam as forças elétricas. Graficamente este campo elétrico é representado por linhas imaginárias que tem como origem a carga elétrica. As tais linhas são denominadas de linhas de força eletrostáticas ou simplesmente linhas de campo.<sup>7</sup> As linhas de campo são responsáveis pelos efeitos da atração e da repulsão entre os corpos.

<sup>7</sup> O campo elétrico é um exemplo de grandeza vetorial, logo deve ser indicada sua intensidade, direção e sentido, a fim de caracterizar totalmente a grandeza.

O símbolo correspondente ao campo elétrico é a letra  $E$ , tendo como unidade de medida o Newton/Coulomb:  $N/C$ .

A intensidade do campo elétrico pode ser mensurada a partir da expressão:

$$E = \frac{Q}{q}$$

Onde:  $E$ : Intensidade do campo elétrico;  $Q$ : Carga geradora do campo;  $q$ : Carga de prova (carga que sofre a influência do campo elétrico).

32

Cargas positivas e negativas vão gerar linhas de campo elétrico de sentidos diferentes, de modo que:

- Cargas positivas: formam campo divergente e as linhas de campo são orientadas saindo da carga.

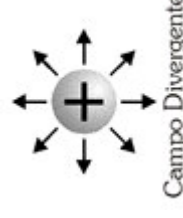


Figura 14- Linhas de campo divergente. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.

- Cargas negativas: formam campo convergente e as linhas de campo são orientadas chegando à carga.

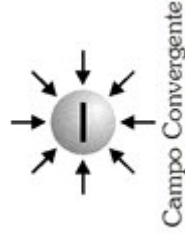


Figura 15- Linhas de campo convergente. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.

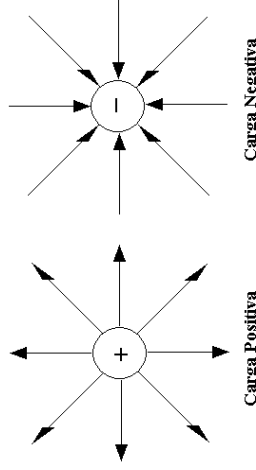


Figura 16- Comportamento das linhas de campo nas cargas positivas e negativas. Disponível em: < [http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/aulas/775/imagens/Linhas\\_1.png](http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/aulas/775/imagens/Linhas_1.png) >. Acesso em: 31/07/2012.

Duas placas eletrizadas com cargas opostas, de mesmas dimensões e dispostas de forma paralela, vão gerar na região entre as mesmas um campo elétrico uniforme, caracterizado por possuir linhas de campo posicionadas de forma paralela. Abaixo um exemplo desta configuração.

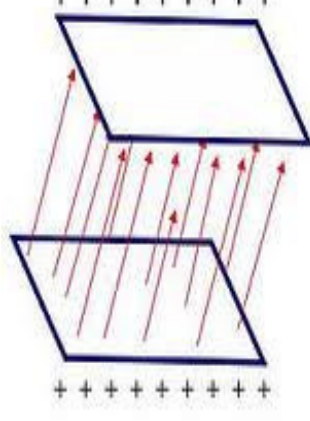


Figura 17- Comportamento das linhas de campo entre duas placas planas de cargas opostas. Disponível em: < [http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo\\_el%C3%A9trico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9trico) >. Acesso em: 31/07/2012.

Campos elétricos entre duas cargas elétricas de sinais opostos, possuem suas linhas de campo saindo da carga positiva e chegando na carga negativa (divergentes na carga positiva e convergentes na carga negativa). Abaixo exemplo

desta configuração, onde pode-se notar que a força entre as cargas elétricas é uma força de atração.

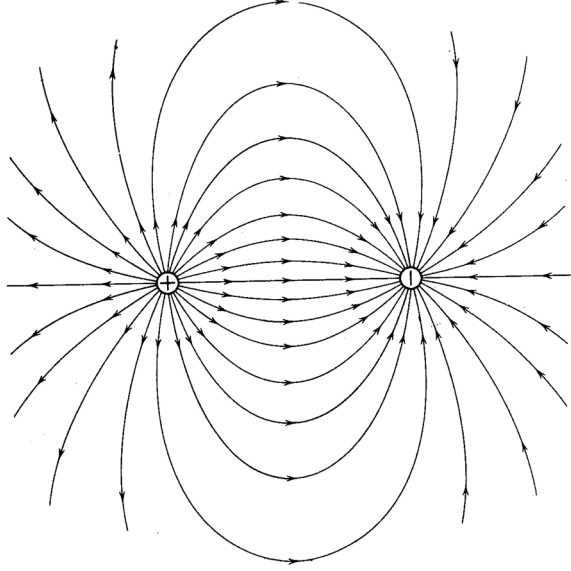


Figura 18- Comportamento das linhas de campo entre duas cargas opostas. Disponível em: < <http://hermes.ucs.br/ccet/defq/mlandreazza/CurAut01.htm> >. Acesso em: 31/07/2012.

No caso dos campos associados a duas cargas de mesmo sinal, teremos as linhas de campo convergentes ou

divergentes para ambas, a depender da modalidade da carga elétrica (positiva ou negativa). Esta disposição das linhas de campo caracteriza a força entre as cargas como sendo uma força de repulsão.

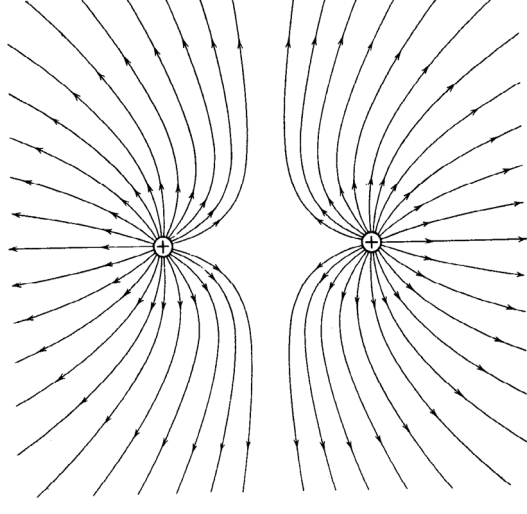


Figura 19- Comportamento das linhas de campo entre duas cargas positivas. Disponível em: < <http://hermes.ucs.br/ccet/defq/mlandreazza/CurAut01.htm> >. Acesso em: 31/07/2012.

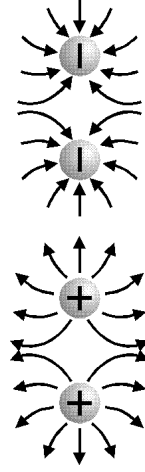


Figura 20- Linhas de campo divergentes e convergentes entre cargas de mesmo sinal. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.

A análise das figuras acima nos permite afirmar que as linhas de campo não se cruzam, apenas sofrem deformações quando aproximadas uma das outras. Outra aspecto relevante a ser explicitado é fato de que as linhas de campo são invisíveis sendo perceptíveis apenas os efeitos associados as mesmas.

## 15. Eletrodinâmica

Neste caso trataremos dos fenômenos associados às cargas elétricas em movimento.

## 16. Condutores, semicondutores e isolantes

Conforme já abordamos anteriormente as partículas elementares que constituem os materiais são carregadas com a carga elementar cujo valor numérico é de  $Q = 1,6 \times 10^{-19} C$ .

Os diversos tipos de materiais podem ser classificados em função de sua condutividade elétrica em:

- a) Condutores;
- b) Semicondutores;
- c) Isolantes.

Em relação ao meio de condução, a eletricidade pode ser estabelecida nos meios sólidos, líquidos e gasosos. Nos meios sólidos a condução de eletricidade é efetuada exclusivamente através de elétrons. Ex.: Condução de energia nos fios elétricos, condução nos metais.

Em meios líquidos a eletricidade é estabelecida por íons em solução (cátions e ânions). Ex.: Soluções eletrolíticas, soluções iônicas.

Nos gases temos a condução de eletricidade associada aos elétrons e íons. Ex.: Condução de eletricidade no interior das lâmpadas fluorescentes, gases ionizados.

### **16.1. Condutores**

São caracterizados por apresentarem facilidade em conduzir eletricidade, pois permitem que as cargas elétricas se desloquem com facilidade pelo mesmo, ou seja, demandam de pouca energia para colocar os elétrons em movimento.

Os bons condutores permitem, com relativa facilidade, a passagem de um intenso fluxo de elétrons a partir de forças (tensões elétricas) relativamente pequenas.

Possuem elevada quantidade de elétrons que podem ser facilmente libertados dos átomos, designados de elétrons

livres (elétrons da última camada<sup>8</sup> e que tem alta mobilidade e relativa facilidade de se libertar e se deslocar para entrar ou sair do átomo), ou seja, possuem elevada quantidade de portadores de cargas livres. Ex.: Metais (ouro, prata, cobre, alumínio, zinco, ferro, tungstênio, etc.), gases contidos no interior das lâmpadas fluorescentes convencionais, soluções aquosas (ex.: água + sal), carvão.

Estima-se que em uma polegada cúbica de cobre, considerando o mesmo na temperatura ambiente, existem  $1,4 \times 10^{24}$  elétrons livres.

Outra característica relevante associada aos condutores é o fato de que os mesmos possuem seus elétrons da última camada (camada de valência) fracamente ligados ao átomo, em virtude do afastamento existente entre o núcleo e a

---

<sup>8</sup> Os elétrons das primeiras camadas, mais próximas ao núcleo, sofrem maior influência da força de atração e são mais difíceis de serem retirados do átomo, pois necessitam de grande quantidade de energia para entrar ou sair dos átomos, manifestando pouca influência no comportamento elétrico do átomo.

órbita de valência, ou seja, a força existente entre os elétrons de valência e o respectivo núcleo do átomo é muito fraca.

Os condutores possuem poucos elétrons na camada de valência, normalmente 1, 2 ou 3 elétrons, e muitos elétrons livres, ou seja, muitos elétrons que já se libertaram<sup>9</sup> da camada de valência do átomo.

Após se tornarem elétrons livres os mesmos passam a desenvolver movimentos aleatórios (sem direção definida) dentro do material. Posteriormente constataremos que estes elétrons vão ser responsáveis pela condução de eletricidade.

Todo meio material no qual as cargas elétricas tenham facilidade de se deslocarem pode ser dito meio condutor ou material condutor. Conforme explicitado no tópico anterior estes meios podem ser sólidos, líquidos ou gasosos.

---

<sup>9</sup> Na temperatura ambiente os elétrons absorvem a energia térmica e adquirem energia suficiente para se libertar tornando-se elétrons livres.

Materiais que oferecem baixa oposição à passagem da corrente elétrica (baixa resistência elétrica) são ditos materiais condutores.

Quanto menor a resistência elétrica do material maior a sua condutividade. Quanto mais próximo do zero absoluto (-273,15 °C) menor torna-se a resistência elétrica dos materiais, fazendo com que os mesmos se comportem como condutores praticamente ideais.

A quantidade de elétrons livres que podem ser deslocados a partir da aplicação de uma determinada quantidade de energia é um dos parâmetros para avaliarmos se determinado material um bom condutor ou não. 37

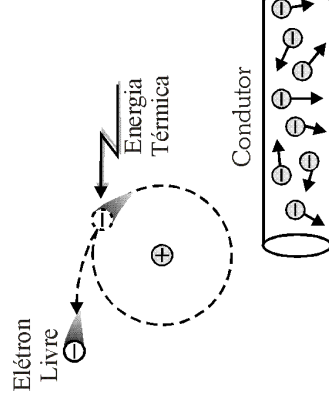


Figura 21- Comportamento dos materiais condutores. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. *Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua*. São Paulo: Érica, 1999.

## 16.2. Isolantes

São todos os materiais que oferecem elevada oposição à passagem de corrente elétrica (alta resistência elétrica). São caracterizados pelo fato de possuírem pequena quantidade de elétrons livres, minimizando as possibilidades de condução de eletricidade nas condições normais, uma vez que possuem poucos portadores de cargas elétricas. Ex.: Borracha, ar, papel, porcelana, plástico, vidro, água pura (isenta de sais minerais), madeira (seca), cerâmica, encapamento de fios condutores.

Em virtude da pouquíssima quantidade de elétrons livres disponíveis, tem-se que aplicar potenciais (tensões) muito elevadas para que sejam obtidas correntes mensuráveis.

Ao contrário dos condutores, os isolantes são caracterizados pelo fato de ter seus elétrons da órbita de valência fortemente ligados ao núcleo do átomo (forças interiores de atração que dificultam a liberação dos elétrons), fazendo com que a quantidade de elétrons livres seja muito baixa (poucos elétrons conseguem se libertar do átomo).

Qualquer meio no qual as cargas elétricas encontrem dificuldade de movimentação é dito isolante. Nos isolantes, para libertar os elétrons de valência, ou seja, para que sejam formados novos elétrons livres são demandadas quantidades elevadas de energia.

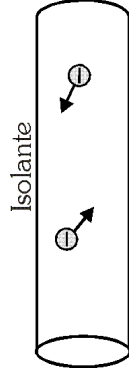
Em termos de número de elétrons, os isolantes típicos apresentam 5, 6 ou 7 elétrons na camada de valência.

Enfatizamos que não existe isolante perfeito uma vez que todos os materiais são capazes de conduzir eletricidade. O fator diferenciador é que determinadas classes de materiais conduzem eletricidade com maior dificuldade uma vez que sua quantidade de elétrons livres é praticamente desprezível.



Concluímos que não existem condutores perfeitos nem isolantes perfeitos apenas bons condutores e maus condutores.

Mesmo os melhores isolantes, uma vez submetidos a elevadas tensões, sofrem um processo de ruptura, através do qual passa a ocorrer um fluxo de cargas, de modo que o mesmo passa a funcionar como um condutor enquanto estiver submetido a esta elevada d.d.p.



**Figura 22- Comportamento dos materiais isolantes: poucos elétrons livres. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.**

### **16.3. Semicondutores**

Possuem comportamento elétrico intermediário entre os condutores e os isolantes. Em geral possuem 4 elétrons na órbita de valência.

Os principais semicondutores utilizados no universo da eletricidade são o silício e o germânio. Estes materiais têm vasta gama de aplicações na indústria eletroeletrônica, como por exemplo na fabricação de dispositivos eletrônicos e circuitos integrados. Outras misturas de átomos também podem gerar substâncias com características elétricas similares aos dos semicondutores, como por exemplo o arseneto de gálio (GaAs).

Os semicondutores podem ser utilizados como condutores ou isolantes dependendo da aplicação ao qual se destinam. Suas características de condução são alteradas a partir de técnicas denominadas de dopagem. Em função do elemento químico utilizado como dopante o semicondutor puro passa a manifestar comportamento de condutor ou de isolante.



Uma das propriedades mais relevantes dos semicondutores é fato de que estes materiais são classificados como fotocondutores, ou seja, a incidência de fótons (pequenos pacotes de energia) sobre tais materiais tem como consequência direta um aumento da densidade de cargas elétricas.

## 17. Tensão elétrica

**A**pós ser eletrizado, um corpo passa a ter cargas elétricas acumuladas, sendo que esta quantidade de cargas elétricas é usualmente denominada de potencial elétrico, uma espécie de energia concentrada ou armazenada (energia potencial) que foi adquirida pelo corpo.

A tensão elétrica é representada pelas letras  $E$ ,  $V$  ou  $U$  e representa a quantidade de energia fornecida pelo gerador a cada carga elétrica unitária que o atravessa, sendo portanto um agente capaz de produzir movimento nos elétrons. Representa ainda a força eletromotriz-fem associada ao gerador. A

força eletromotriz vai representar a capacidade de realizar trabalho objetivando provocar o movimento dos elétrons.

No S.I. a tensão elétrica tem como unidade o volt:  $V$  (homenagem ao cientista Alessandro Volta).

A literatura técnica descreve a tensão como uma espécie de força ou pressão capaz de mover as cargas elétricas, ou ainda, capaz de transferir energia para os elétrons submetidos a sua ação. O movimento das cargas elétricas é proporcional à força fornecida as mesmas.

40

A tensão elétrica é denominada ainda de diferença de potencial ou simplesmente d.d.p. Para que seja estabelecida a condução de eletricidade é necessário que as cargas elétricas sejam submetidas a uma diferença de potencial.

A d.d.p. pode ocorrer entre dois corpos ou entre dois pontos de um circuito elétrico.

Em termos matemáticos temos:

$$U = \frac{\epsilon_{el}}{Q} \Leftrightarrow U = \frac{W}{Q},$$

sendo  $U$ : tensão elétrica em Volts,  $\varepsilon_{el}$  ou  $W$ : energia elétrica em Joules,  $Q$ : carga em Coulombs.

Pode-se afirmar ainda que a unidade de tensão elétrica é o Joules/ Coulomb uma vez que:

$$U = \frac{\varepsilon_{el}}{Q} \Rightarrow V = \frac{J}{C} = \text{Joules/ Coulomb.}$$

Necessita-se de 1 Joule de energia para mover uma carga de 1 Coulomb submetida a uma tensão de 1 V.

Ex.: Um gerador de 12 volts fornece 12 joules de energia a todas as cargas unitárias que o atravessam.

Numa abordagem introdutória, a tensão elétrica pode ser designada como diferença de potencial (d.d.p), voltagem, tensão ou força eletromotriz (f.e.m.).

Todos os equipamentos elétricos possuem uma tensão típica de trabalho<sup>10</sup>, ou seja, um valor de tensão para o qual o mesmo foi projetado para atuar de forma segura e eficiente.

Devem ainda ser respeitados os valores de tensão máxima de trabalho que correspondem ao máximo valor suportável pelo equipamento sem que o mesmo seja danificado.

Ex.: lâmpada com tensão nominal de 110 volts não pode ser ligada em uma rede de 220 volts, pois a mesma será danificada.

41

A tensão elétrica pode ser classificada em duas modalidades:

- Tensão contínua:  $V_{CC}$  ou  $V_{DC}$ <sup>11</sup>;
- Tensão alternada:  $V_{CA}$  ou  $V_{AC}$ .

Os dispositivos responsáveis por fornecer tensão elétrica aos circuitos são designados genericamente de geradores,

<sup>10</sup> Também denominada de tensão nominal.

<sup>11</sup> O termo DC, deriva do inglês e significa *direct current*.

fontes de alimentação ou fontes de tensão. As fontes de tensão são, portanto, divididas em fontes contínuas e fontes alternadas.

Podemos classificar os geradores de energia elétrica em:

- Geradores Eletromecânicos: convertem energia mecânica em energia elétrica. Ex.: Dínamo;

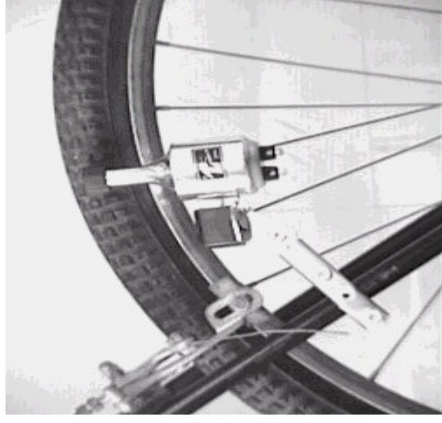


Figura 23- Dínamo instalado em bicicleta. Disponível em: ALBUR-QUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio. São Paulo: Érica, 1997.

- Geradores Eletroquímicos: convertem energia química em energia elétrica: Ex.: Pilhas e baterias;



Figura 24- Geradores eletroquímicos: pilhas, baterias e baterias automotivas. Disponível em: ALBUR-QUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio. São Paulo: Érica, 1997.

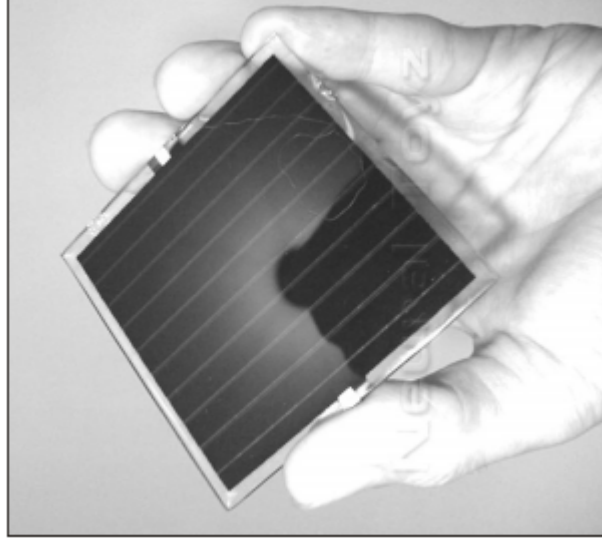
- Geradores Solares: convertem energia solar em energia elétrica. Ex.: célula solar.

O aparelho através do qual pode ser medida a tensão elétrica é denominado de voltímetro. Desejando medir a tensão entre dois pontos de um circuito elétrico ou entre os terminais de um dispositivo deve-se ligar o voltímetro em paralelo com o circuito ou dispositivo.

### **17.1. Tensão contínua**

A tensão contínua é a modalidade de tensão fornecida pelas pilhas e baterias. A terminologia contínua decorre do fato da tensão permanecer com sua polaridade invariável (fixa) no transcorrer do tempo. Implica ainda no fato da corrente gerada por esta tensão contínua permanecer sempre na mesma direção e sentido, ou seja, as cargas vão se deslocar de forma unidirecional.

O valor permanecerá constante enquanto o tempo de corre e a corrente vai fluir sempre do mesmo terminal da fonte.



**Figura 25- Geradores solares: célula de energia solar. Disponível em: ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos em corrente contínua, Material de apoio. São Paulo: Érica, 1997.**

- Fontes de Alimentação: obtida a partir de circuitos eletrônicos retificadores (circuitos destinados a converter tensão alternada em tensão contínua).

A tensão contínua corresponde a uma tensão entre dois pontos cuja polaridade permanece invariável (um lado sempre será positivo e o outro sempre será negativo). Posteriormente, após estudar a frequência elétrica, concluiremos a tensão contínua é aquela na qual sua frequência permanece igual a zero.

Fontes de tensão contínua fornecem corrente contínua aos dispositivos do circuito ao qual estão ligadas. A intensidade de da tensão fornecida pela fonte ligada, a princípio cresce de um valor mínimo até um ponto máximo, ponto a partir do qual permanecerá contínua e polarizada. Ao desligarmos a fonte a intensidade diminui até extinguir-se.

Abaixo o gráfico corresponde à tensão contínua fornecida por uma pilha de 1,5 volts:

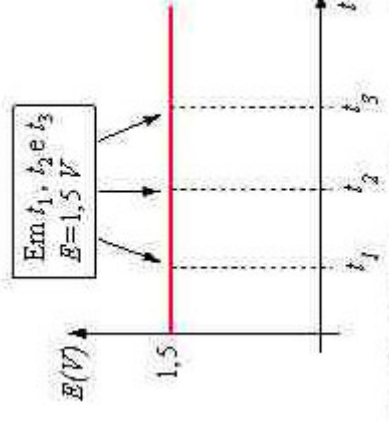


Figura 26- Gráfico da tensão elétrica fornecida por pilha de 1,5 volts. Disponível em: < <http://eletronicanoel.blogspot.com.br/2012/02/curso-de-eletronica.html> >. Acesso em: 05/06/2012.

Generalizando a forma de onda da tensão contínua é representada por uma linha reta tal qual apresentamos abaixo:

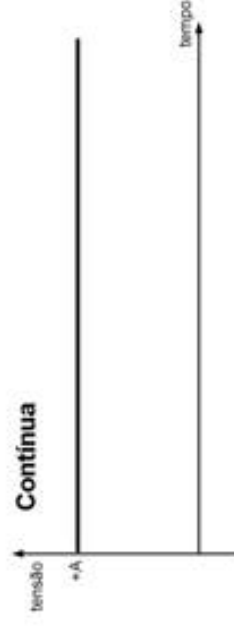


Figura 27- Gráfico da tensão elétrica contínua. Disponível em: < [http://www.refrigeracao.net/Cursos/electronica/fonte\\_alimentacao\\_linear.htm](http://www.refrigeracao.net/Cursos/electronica/fonte_alimentacao_linear.htm) >. Acesso em: 05/06/2012.

Nos diagramas de circuitos elétricos as fontes de tensão contínua são representadas por símbolos gráficos tais como os que estão apresentados abaixo:

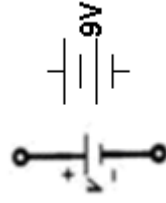
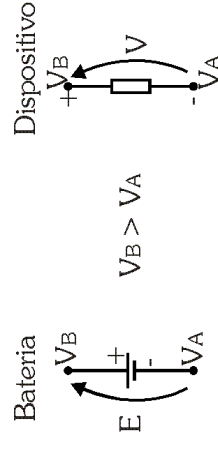


Figura 28- Símbolos gráficos fonte de tensão contínua. Disponível em: < <http://www.sabereletrico.com/leituraaartigos.asp?valor=21> >. Acesso: 05/06/2012 e ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. Análise de circuitos corrente contínua, Material apoio. São Paulo: Érica: 1997

O comprimento das barras horizontais define a polaridade dos terminais da fonte de tensão, de modo que a barra de maior comprimento vai corresponder ao terminal de polaridade positiva e por consequência o terminal de menor polaridade vai corresponder a polaridade negativa.

A tensão elétrica pode ser representada diretamente dos terminais da fonte que o produziu ou nos terminais de um dispositivo em que a mesma está presente, como por exemplo, a tensão sobre um resistor elétrico conforme representação abaixo<sup>12</sup>:



45

Figura 29- Representação da tensão na fonte e no resistor. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.

Outro símbolo bastante utilizado em circuitos elétricos é o que representa o potencial negativo da fonte ou o terminal terra do circuito.

<sup>12</sup> A flecha ou seta indica a polarização. A ponta da flecha aponta sempre em direção ao polo positivo da fonte.

Em laboratórios e oficinas profissionais de eletrônica/eletrônica faz-se uso de fontes de tensão eletrônicas ajustáveis ou variáveis, destinadas a converter a tensão CA da rede em CC visando efetuar testes, com níveis de tensão diferentes, em inúmeros equipamentos eletroeletrônicos. Essencialmente fornecem em seus terminais (bornes) de saída uma tensão contínua e livre de transientes (oscilações),

Encontram-se ainda as fontes de alimentação destinadas a conversão CA/CC com o propósito de alimentar equipamentos eletrônicos portáteis. Algumas bibliografias se referem a estes circuitos como a designação de circuitos eliminadores de bateria.

## **17.2. Tensão alternada**

É caracterizada por ter sua polaridade variável ao longo do tempo (polaridade variando constantemente). O valor e o sentido variam de forma periódica com o transcorrer do tempo. A corrente associada a tensão alternada vai fluir ora de um terminal e ora do terminal oposto.

O principal exemplo de tensão alternada que podemos citar é a tensão fornecida pelas tomadas residenciais (energia proveniente dos sistemas da rede distribuição das concessionárias de energia elétrica<sup>13</sup>). Nas tomadas temos dois polos distintos denominados fase e neutro (referencial). Nas tomadas residenciais situadas na região nordeste, por exemplo, teremos uma tensão elétrica de 220 V.

As tensões CA podem ser analisadas a partir de quatro características fundamentais, a saber:

- a) Ciclo;
- b) Período;
- c) Frequência;
- d) Forma de onda.

---

<sup>13</sup> Se analisarmos ainda mais profundamente as fontes de tensão alternadas são as hidrelétricas, termelétricas, parques eólicos, usinas nucleares dentre outras. A tensão alternada é mais eficaz na transmissão de energia elétrica em longos trechos em virtude do fato de que esta modalidade de tensão ter seu valor elevado ou abaixado fazendo-se uso de equipamentos denominados de transformadores.



O tipo mais comum de tensão alternada são as tensões de forma de onda senoidal caracterizadas por inverter sua polaridade várias vezes por segundo (a tensão “oscila” entre valores positivos, negativos e nulos). Nos circuitos alternados têm-se a corrente alternada invertendo periodicamente (clicamente) seu sentido, ou seja, circulando em alguns momentos em um sentido e posteriormente no sentido oposto.

No caso das tensões alternadas teremos polos sem polaridade fixa, ou seja, não existem polos positivos e negativos uma vez que ao mesmo tempo cada um dos polos pode ser positivo ou negativo dependendo do instante de tempo que estivermos analisando.

Abaixo o gráfico representativo de uma fonte de tensão alternada senoidal:

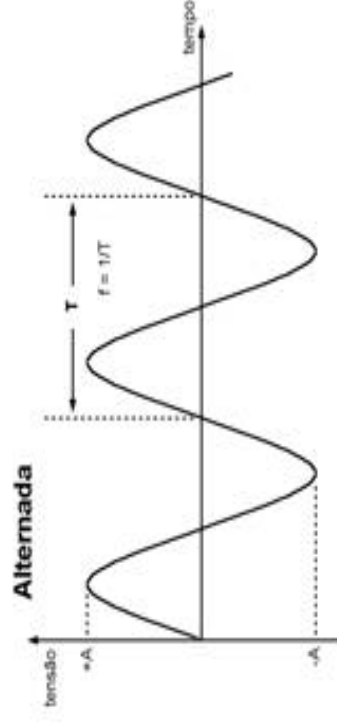


Figura 30- Gráfico da tensão elétrica alternada. Disponível em: <[http://www.refrigeracao.net/Cursos/eletronica/fonte alimentacao line ar.htm](http://www.refrigeracao.net/Cursos/eletronica/fonte_alimentacao_line ar.htm)>. Acesso em: 05/06/2012.

As grandezas alternadas são caracterizadas por possuir frequência ( $F$ ) e período ( $T$ ). Mais adiante nesta apostila apresentaremos outros conceitos essenciais associados às grandezas alternadas tais como: tensão de pico, tensão de pico-a-pico e tensão eficaz (RMS).

Neste momento, podemos afirmar apenas que as tensões alternadas são caracterizadas por possuírem frequência diferente de zero, sendo a frequência definida como o número de ciclos de um sinal alternado que ocorrem num determinado intervalo de tempo. Sua unidade é o Hertz (Hz).



As variações acima e abaixo do eixo horizontal caracterizam, respectivamente, as polaridades positivas e negativas da onda de tensão. O zero vai corresponder a linha horizontal que transpassa o centro do gráfico.

Graficamente podemos representar uma fonte de tensão alternada senoidal através do símbolo abaixo:



Figura 31- Símbolo gráfico da fonte de tensão elétrica alternada senoidal. Disponível em: < <http://www.sabereletrico.com/leituraartigos.asp?valor=21> >. Acesso em: 05/06/2012.

As tensões alternadas podem ser representadas, além da senoidal já apresentada, em outros formatos, tais como quadrada ou retangular, triangular ou dente de serra.



Figura 32- Símbolos gráficos das formas de onda alternada: senoidal, quadrada e dente de serra. Disponível em: < <http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/311> >. Acesso em: 08/06/2012.

Desejando representar outras fontes de tensão alternada não senoidal poderíamos substituir a senóide dentro do círculo da figura 11 por uma onda quadrada ou dente de serra.

A associação de fontes de tensão alternadas em um mesmo circuito envolve o conceito de defasagem entre sinais alternados e pode ser aprofundada na bibliografia referente à análise de circuitos em corrente alternada.

A tensão CA tem como vantagem o fato de que a mesma pode ser utilizada para alimentar dispositivos elétricos

designados de transformadores. Tais dispositivos permitem elevar ou abaixar os valores de tensão CA, viabilizando a transmissão de energia a longas distâncias.

## 18. Associação de fontes

**A**ssociam-se geradores com o intuito de obter uma maior tensão ou uma maior quantidade de energia fornecida. Por exemplo, podemos associar pilhas para alimentar determinados tipos de circuitos eletrônicos. No caso da associação de fontes teremos obviamente mais de uma fonte de alimentação junta no mesmo circuito.

Numa analogia com sistemas hidráulicos, podemos considerar a pilha como sendo uma bomba que empurra elétrons de uma extremidade para outra do circuito elétrico, fornecendo tensão e corrente as cargas elétricas conectadas ao circuito.

Uma pilha corresponde a um dispositivo constituído internamente de uma solução química eletrolítica que a partir de processos químicos transforma energia química em energia elétrica. A reação química que ocorre na pilha é finita consequentemente a quantidade de elétrons fornecidos pela pilha também é finito (a reação química libera uma quantidade cada vez menor de energia, disponibilizando tensões cada vez menores nos seus terminais)<sup>14</sup>. Em virtude deste fato as pilhas não recarregáveis perdem suas propriedades de elemento gerador de energia elétrica, pois seus elétrons foram todos consumidos pelas cargas.

A tensão nominal de cada pilha modelo AA é de 1,5 volts. A durabilidade da pilha guarda ligação intrínseca com a qualidade de seu eletrólito interno e suas dimensões físicas uma vez que pilhas de tamanho maior possuem maior quantidade de material químico tendo, portanto, maior durabilidade.

---

<sup>14</sup> Comercialmente e com ótima confiabilidade, já existem as pilhas e baterias recarregáveis quase sempre associadas a equipamentos de uso contínuo ou de alto consumo tais como celulares e câmeras fotográficas.

Ex<sub>1</sub>: Pilha tipo C dura mais tempo (quando submetidas às mesmas condições de operação) que a pilha tipo AAA, pois possui mais eletrólito.

Ex<sub>2</sub>: Para as mesmas dimensões físicas as pilhas alcalinas possuem maior durabilidade que a pilhas convencionais (eletrólitos ácidos).

Nos equipamentos domésticos teremos pilhas pequenas alimentando equipamentos de baixo consumo (ex.: controle remoto) e pilhas grandes fornecendo energia a equipamentos de maior consumo energético (aparelhos de som).



Figura 33- Pilhas de dimensões físicas diferentes fornecendo a mesma ddp: 1,5 volts. Disponível em: <  
<http://eletronicanoel.blogspot.com.br/2012/02/curso-de-eletronica.html> >. Acesso em: 05/06/2012.

As pilhas (fontes de f.e.m) podem ser associadas de três formas:

- Série;
- Paralelo;
- Mista.

## 18.1. Associação em série

50

A associação série normalmente é utilizada quando a tensão requerida para o funcionamento de um dispositivo é maior do que a tensão individual da pilha, logo pilhas interligadas em série aumentam a tensão total do circuito. Quanto à interligação, o terminal negativo de uma pilha é ligado ao terminal positivo da outra (polaridades no mesmo sentido). A tensão total da associação vai corresponder à soma das ten-

sões individuais de cada pilha, ou seja, as tensões das fontes conectadas em série são somadas<sup>15</sup>.

As polaridades das fontes vão ser observadas em relação a um determinado referencial, resultando em tensões elétricas positivas ou negativas. No caso da pilha consideramos seu terminal negativo como sendo equivalente a 0 volt enquanto o terminal positivo equivale a 1,5 volts.

A associação de fontes pode ser efetuada levando em consideração a resistência interna das mesmas quando se deseja um cálculo mais preciso da f.e.m fornecida pelo gerador. Quando a resistência interna da fonte for desprezível podemos suprimi-la do cálculo.

<sup>15</sup> No caso da d.d.p. entre dois pontos de mesma polaridade teremos como tensão resultante a diferença entre suas respectivas tensões.

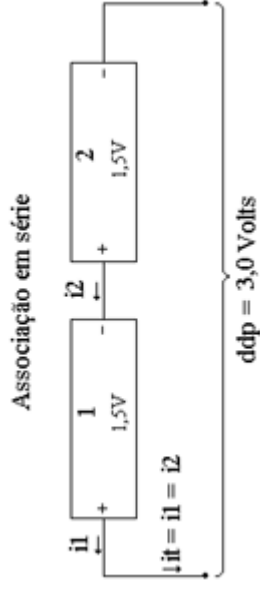


Figura 34 - Associação de fontes em série. Disponível em: <[http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08\\_2.gif](http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08_2.gif)>. Acesso em: 23/05/2012.

Quando as pilhas são ligadas de tal modo que suas polaridades não estejam no mesmo sentido, elas vão se opor mutuamente.

51

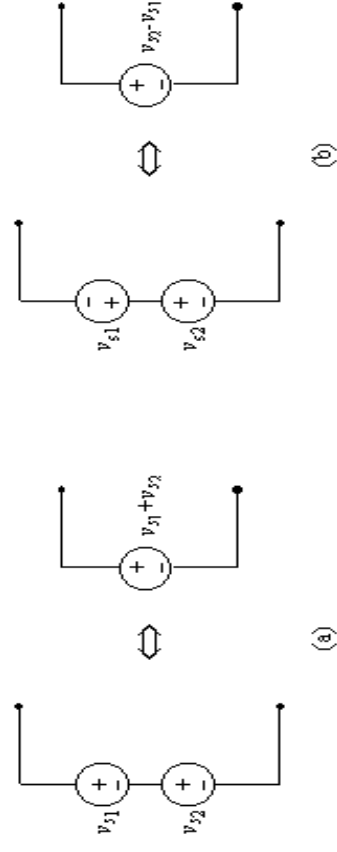


Figura 35- Associação de fontes em série. Polaridade direta (a) e polaridade reversa (b). Disponível em: <

[http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap\\_04/assocfon.htm](http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap_04/assocfon.htm) >. Acesso em: 08/06/2012.

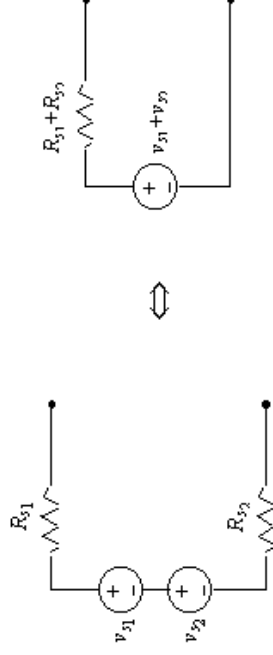


Figura 36- Associação de fontes com resistência interna em série na polaridade direta. Disponível em: <  
[http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap\\_04/assocfon.htm](http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap_04/assocfon.htm) >.

Acesso em: 08/06/2012.

Associando-se  $n$  pilhas de valor  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$  em série obteremos como resultado uma tensão:

$$E_{eq} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

## 18.2. Associação em paralelo

A associação em paralelo normalmente é utilizada quando a corrente do circuito excede o valor da corrente indi-

vidual da fonte (pilha), uma vez que vai ocorrer uma divisão do fluxo de elétrons que sai de cada pilha. Apresenta como vantagem um aumento da vida útil da pilha, pois a mesma está fornecendo apenas uma fração de sua corrente total. Quanto à interligação teremos a ligação de positivo com positivo e negativo com negativo, ou seja, ligam-se os terminais positivos e negativos entre si.

As fontes associadas em paralelo devem ter a mesma tensão de saída, ou seja, não vai haver nem soma e nem subtração. Caso esta condição de ligação não for atendida vai ocorrer passagem de corrente da fonte de tensão de maior magnitude para as demais fontes<sup>16</sup>. As fontes menores vão funcionar como carga para as fontes maiores.

<sup>16</sup> Neste caso esta corrente não vai ser fornecida para a carga, logo a mesma será perdida, o que não é propósito de uma associação de geradores.

A associação mista é aquela que reúne em um único circuito as características das associações em série e paralelo.

## 19. Corrente elétrica

**N**os condutores metálicos não submetidos a uma d.d.p, mesmo em temperatura ambiente, teremos uma movimentação desordenada e aleatória dos elétrons<sup>17</sup>, de modo que o fluxo

líquido em qualquer direção específica é zero . Ao interligarmos este material condutor de eletricidade aos polos de uma fonte de tensão (gerador), estabeleceremos uma diferença de potencial que provocará o alinhamento e o consequente movimento ordenado das cargas elétricas no interior do condutor, ou seja, pode-se fazer com que este fluxo de elétrons possa

<sup>17</sup> O fluxo líquido de elétrons em qualquer direção específica é igual a zero.

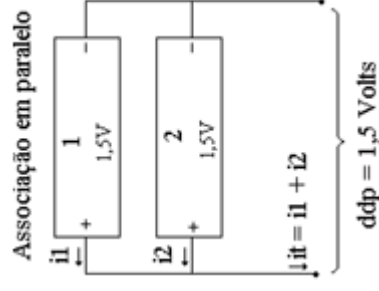


Figura 37- Associação de fontes em paralelo. Disponível em: < [http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08\\_2.gif](http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele08_2.gif) >. Acesso em: 23/05/2012.

Associando-se  $n$  pilhas de valor  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$  em paralelo obteremos como resultado uma tensão:

$$E_{eq} = E_1 = E_2 = E_3 = \dots = E_n$$

## 18.3. Associação mista

ser utilizado para realizar trabalho elétrico, dependendo do controle de sua direção e magnitude.

Os elétrons passam a se deslocar em direção ao polo positivo do gerador, gerando um fluxo de elétrons do terminal negativo para o terminal positivo da fonte, uma vez que o polo positivo da fonte estabelece um campo elétrico positivo capaz de atrair elétrons livres e o polo negativo por sua vez gera um campo elétrico negativo que vai repelir os elétrons livres em circulação. Ex. uma lâmpada de lanterna ligada através tensões fornecida por uma pilha (estabelecendo um caminho fechado entre os polos da pilha passando pela lâmpada a mesma acenderá com resultado da passagem dos elétrons pelo seu filamento.).

Em uma abordagem mais clássica a corrente elétrica é definida como sendo o fluxo ou movimento ordenado de cargas elétricas ou partículas eletrizadas entre dois corpos ou dois pontos de um circuito elétrico fechado, submetidos a uma d.d.p ou ainda sob a ação de um campo elétrico.

Não pode existir corrente elétrica sem que exista previamente uma tensão elétrica. A corrente elétrica surge como uma consequência da tensão elétrica, ou seja, a corrente elétrica é uma reação a tensão aplicada.

Na física do ensino médio os autores também definem a corrente como sendo o fluxo de elétrons de um ponto com excesso de elétrons para um ponto com falta de elétrons ou ainda como a movimentação ordenada destas cargas negativas em sentido contrário ao campo elétrico.

54

A corrente elétrica é representada pela letra  $I$  e sua unidade de medida é o Ampere: A (homenagem ao cientista André Marie Ampère).

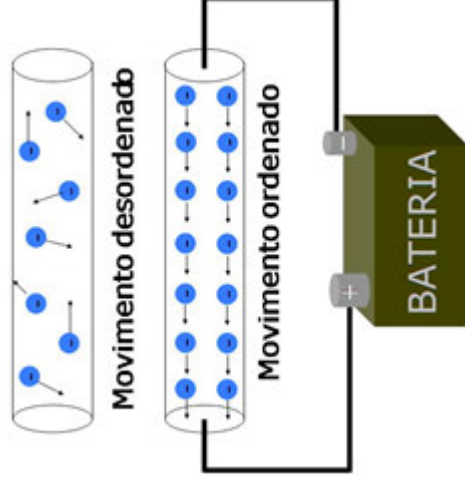


Quanto ao sentido de deslocamento das cargas elétricas podemos dividir o sentido da corrente elétrica em duas modalidades:

- Sentido real ou eletrônico;
- Sentido convencional.

No sentido real teremos que o deslocamento de cargas elétricas será igual ao dos elétrons, ou seja, do polo negativo para o polo positivo (potencial menor para o potencial maior) e no sentido convencional teremos o deslocamento em sentido oposto ou inverso (trata-se de um hipotético deslocamento de cargas positivas: potencial maior para o potencial menor).

Figura 38- Movimento aleatório elétrons sem fonte externa e movimento ordenado cargas elétricas após aplicação ddp externa. Disponível em: < <http://www.followscience.com/content/fisica-aula-20-carga-eletrica-e-corrente-eletrica-3104> >. Acesso em: 23/05/2012



A evolução dos estudos da eletricidade provou (J.J. Thomson em 1897) que a corrente elétrica gerada por uma tensão contínua, fluindo em um condutor, vai ocorrer do terminal negativo para o positivo, entretanto nos primórdios da eletricidade (por volta de 1830) os cientistas acreditavam que este fluxo ocorria em sentido contrário, gerando assim dois sentidos para a corrente elétrica.

O uso do sentido convencional vai levar a valores positivos de corrente elétrica ao contrário do sentido real que conduz a valores negativos para a intensidade da corrente elétrica.



Onde  $I$ : Intensidade da corrente elétrica em amperes (A)<sup>18</sup>;  $Q$ : Carga elétrica em Coulombs (C) e  $t$ : tempo em segundos.

Pode-se afirmar ainda que a unidade de corrente elétrica é o Coulombs/ segundo uma vez que:

$$I = \frac{|Q|}{\Delta t} \Rightarrow A = \frac{C}{s} = \text{Coulombs/ segundo.}$$

$$1 A = 6,28 \times 10^{18} \text{ Eletrons/segundo}$$

### 19.1. Intensidade da corrente elétrica ( $I$ )

A intensidade da corrente elétrica é representada pela letra  $I$  e corresponde a quantidade ou a rapidez no qual certa quantidade de cargas elétricas ( $Q$ ) atravessa a seção transversal de um condutor elétrico em um determinado instante de tempo  $t$ .

Matematicamente:

$$I = \frac{|Q|}{\Delta t} \text{ ou } I = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow q = I \times \Delta t$$

<sup>18</sup> Popularmente muitos técnicos se referem à corrente elétrica utilizando o termo amperagem.

O aparelho através do qual pode ser medida a corrente elétrica é denominado de amperímetro. Este aparelho deve ser ligado em série com trecho do circuito ou com o dispositivo em que se deseja medir a corrente elétrica.

Amperímetros ideais são aqueles que não oferecem resistência à passagem de corrente pelo seu interior, ou seja, amperímetros ideais são aqueles que possuem resistência interna nula.

Também podemos obter a quantidade de carga a partir do gráfico da corrente  $I$  em função do tempo  $t$ . A esta propriedade denominamos de propriedade gráfica. A área sob a curva que representa a corrente é numericamente igual à carga elétrica:  $Q = \int I dt$ .

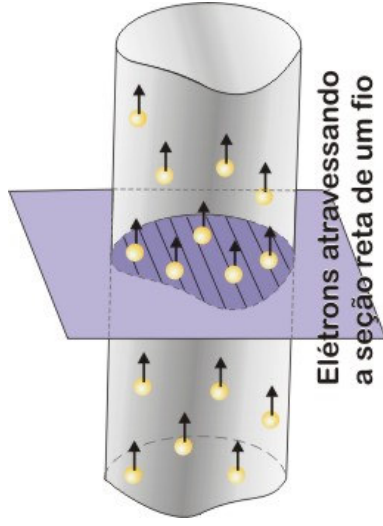


Figura 40- Certa quantidade de cargas elétricas atravessando a seção transversal de um condutor. Disponível em: < [http://fisicanoblog.blogspot.com.br/2010/04/01\\_archive.html](http://fisicanoblog.blogspot.com.br/2010/04/01_archive.html) >. Acesso em: 23/05/2012.

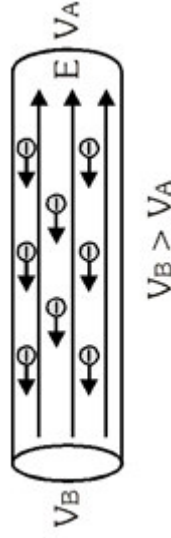


Figura 41- Deslocamento de cargas negativas em sentido contrário ao campo elétrico. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua. São Paulo: Érica, 1999.

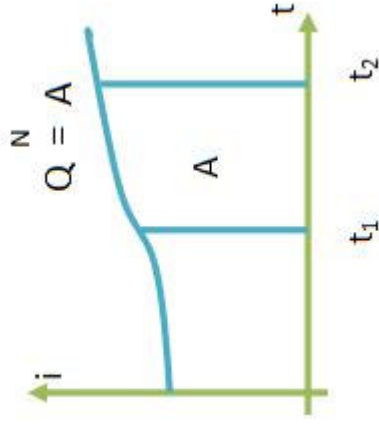


Figura 42- Propriedade gráfica da corrente elétrica. Disponível em: < <http://www.colegioweb.com.br/fisica/propriedade-grafica.html> >. Acesso em: 23/05/2012.

No caso particular no qual a intensidade da corrente permanece constante ao longo do tempo teremos:

$$A = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{N}{\Delta t} = \frac{N}{t_2 - t_1}$$

Figura 43- Propriedade gráfica da corrente elétrica constante. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/3370305/Fisica-Aula-20-Carga-eletrica-e-Corrente-eletrica> >. Acesso em: 23/05/2012.

O consumo de energia elétrica de um circuito está diretamente relacionado com a corrente elétrica que flui pelo mesmo, de modo que correntes elétricas maiores representam maiores consumos elétricos.

## 20. Resistência elétrica

Pode ser definida como qualquer oposição a passagem de corrente elétrica, sendo que tal oposição vai depender da quantidade de elétrons livres que o material possui em sua estrutura.

A resistência do material guarda relação direta com a fricção e as colisões entre os elétrons livres dentro do material, pois estes choques provocam a transformação da energia

elétrica em calor, aumentando a temperatura do material e do meio circundante ao mesmo.

Normalmente a resistência elétrica é representada pela letra  $R$ .

No caso de circuitos de corrente alternada o conceito de resistência é substituído pela grandeza impedância, conforme estudaremos em momento mais oportuno.

Qualquer elemento ou dispositivo que ofereça dificuldade ou oposição ao fluxo de elétrons vai corresponder a uma resistência elétrica. Ex.: Filamento da lâmpada incandescente, resistência de um chuveiro elétrico, resistência de um ferro de passar roupa, aquecedores elétricos, estufas, dentre inúmeros outros.

A unidade de resistência elétrica no sistema internacional de unidades é o Ohm representado pela letra grega ômega:  $\Omega$  (homenagem ao cientista alemão George Simon Ohm). Nos circuitos elétricos e eletrônicos a resistência elétrica é

associada principalmente aos dispositivos denominados de resistores.

Os resistores são dispositivos destinados a transformar energia elétrica exclusivamente em calor (convertem energia elétrica em energia térmica). Desejando-se medir a resistência de um resistor ou de outro dispositivo faremos uso de um instrumento intitulado ohmímetro, sendo este conectado em paralelo com o dispositivo a ser medido. Outro aspecto relevante relacionado aos ohmímetros é o fato de que os mesmos só podem ser ligados a circuitos que estão desenergizados, sob pena de que, em caso contrário o valor apresentado pelo equipamento será impreciso ou em casos mais extremos pode ocorrer a queima do ohmímetro.

Nas situações nas quais o resistor está ligado diretamente na placa, o mesmo deve ter pelo menos um de seus terminais desconectados da mesma, pois a resistência indicada pelo instrumento pode não corresponder ao valor real, uma vez que os demais dispositivos da placa podem influenciar na medição.

A simbologia gráfica de uma resistência elétrica (resistor) é apresentada abaixo:



Figura 44- Símbolo gráfico resistor. Disponível em: <  
<http://pt.scribd.com/doc/3370305/Fisica-Aula-20-Carga-eletrica-e-Corrente-eletrica>>. Acesso em: 08/06/2012.

As características mais relevantes associadas aos resistores são a sua resistência ôhmica e o seu percentual de tolerância, sendo:

- Resistência ôhmica: trata-se do valor nominal da resistência do dispositivo, ou resistência específica do componente;
- Percentual de tolerância: correspondem as variações do valor da resistência em torno de seu valor nominal padronizado. As variações podem ocorrer para mais ou para menos e estão associadas aos processos de fabricação dos resistores. Ex.: 20%, 10% e 5% (resisto-

res comuns ou convencionais) e 2% e 1% (resistores de precisão: utilizados em circuitos cujos valores de resistência são críticos).

### 20.1. Tipos de resistores

Os resistores podem ser classificados a partir de sua constituição interna, sendo os principais tipos:

- a) Resistores de filme de carbono ou resistores de película;
- b) Resistores de carvão;
- c) Resistores de fio.

60

### 20.2. Resistores de Filme de Carbono

São também designados de resistores de película.

### 20.3. Resistores de Carvão

Não são mais fabricados. Seu corpo é constituído por porcelana isolante.

#### **20.4. Resistores de Fio**

São caracterizados por serem constituídos por um corpo de porcelana ou cerâmica que serve como base de sustentação.

### **21. Código de cores de resistores**

**T**rata-se de uma técnica de especificação do valor nominal dos resistores a partir de um conjunto de anéis coloridos utilizados para indicar o valor nominal e a tolerância dos resistores. Existem resistores de 3, 4 ou 5 anéis (faixas coloridas).

O primeiro anel a ser lido é aquele que se localiza mais próximo de um dos terminais do resistor.

### **22. Associação de resistores**

**E**m situações práticas pode-se deparar com a necessidade de uma resistência de valor superior àquela fornecida por um único resistor individualmente ou ainda situações nas quais o resistor não suporta a intensidade da corrente elétrica que o percorre. Para atender a tal propósito podem-se associar resistores.

**61**

Um conjunto de resistores interligados forma uma associação de resistores. Os resistores podem ser associados em três configurações:

- a) Associação em série;
- b) Associação em paralelo;
- c) Associação mista.

#### **22.1. Associação série**

Uma associação em série é caracterizada por interligar os resistores de forma sequenciada (segundo um único trajeto, ou seja, um seguido do outro) de modo a oferecer um único percurso ou caminho para a passagem da corrente elétrica durante toda a extensão do circuito, ou seja, nesta associação a corrente que passa por todos os resistores é a mesma.

Na associação em série a resistência total vai corresponder à soma das resistências do circuito em série. Ex.: dois resistores de 100 e 200 ohms associados em série tem como resistência equivalente total 300 ohms.

A designação resistência equivalente corresponde ao fato de que este resistor vai corresponder em termos elétricos ao comportamento equivalente ao da associação que o originou (o resistor vai produzir o mesmo efeito que a associação).

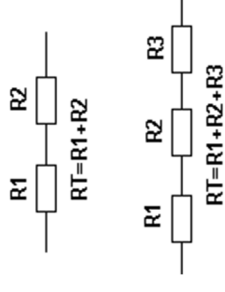
A expressão geral da associação de resistores em série é apresentada abaixo:

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

Ou escrevendo de outra forma:

$$R_{EQ} = \sum_{i=1}^N R_i$$

Onde  $R_{EQ}$ : Resistência elétrica equivalente total em ohms ( $\Omega$ ),  $N$ : Número total de resistores associados em série.



62

Figura 45- Associação de resistores em série: 2 e 3 resistores. Disponível em: <

<http://portaldoProfessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1194>>. Acesso em: 08/06/2012.

## 22.2. Associação paralela

Tipo de associação caracterizada por proporcionar mais de um caminho possível para circulação da corrente no

circuito elétrico, ou seja, nesta associação as correntes dependem dos valores dos resistores.

No caso da associação paralela que permanece constante é a tensão, logo a tensão nos terminais dos resistores será a mesma.

A associação de múltiplos resistores em paralelo pode ser reduzida a um resistor equivalente total cuja expressão é apresentada abaixo:

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

Ou escrevendo de outra maneira:

$$R_{EQ} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

A expressão da associação de apenas dois resistores em paralelo é apresentada abaixo:

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

Onde  $R_{EQ}$ : Resistência elétrica equivalente total em ohms ( $\Omega$ ),  $N$ : Número total de resistores associados em paralelo.

Outro caso particular corresponde à associação paralela entre vários resistores de mesmo valor, onde o resistor equivalente vai corresponder ao valor do resistor dividido pela quantidade total de resistores associados. Matematicamente:

$$R_{EQ} = \frac{R}{N}$$

63

Onde  $R_{EQ}$ : Resistência elétrica equivalente total em ohms ( $\Omega$ ),  $N$ : Número total de resistores associados em paralelo e  $R$ : Valor dos resistores associados em ohms.

Em todos os casos o resistor equivalente total deve ter valor sempre menor que a menor resistência associada.

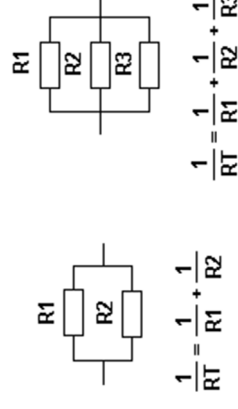




Figura 46- Associação de resistores em paralelo: 2 e 3 resistores.

Disponível em: <  
[http://www.mundovestibular.com.br/artigos/761/1/RESISTENCIAS/Para\\_cutequina1.html](http://www.mundovestibular.com.br/artigos/761/1/RESISTENCIAS/Para_cutequina1.html)>. Acesso em: 08/06/2012.

### 22.3. Associação mista

Tipo de associação que reúne em um único circuito as características das associações em série e paralelo. É, portanto composta por grupos de resistores em série e em paralelo.

### 22.4. Associação Estrela e Triângulo

Além das associações série, paralela e mista existem ainda duas modalidades de ligação designadas de ligação ípsilon ou estrela ( Y ) e ligação triângulo ou delta ( Δ ) .

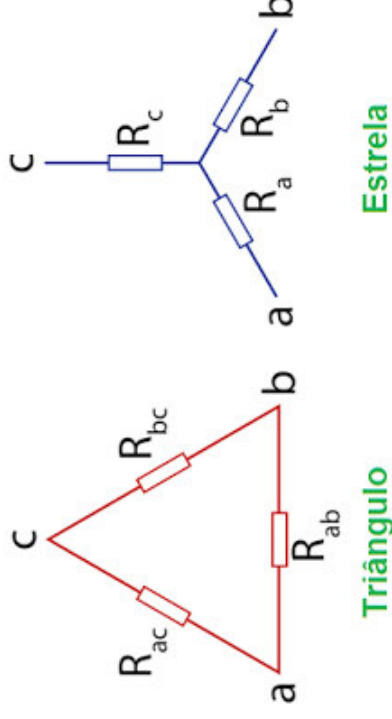


Figura 47- Associação de resistores em triângulo e estrela. Disponível em: <

[http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2013\\_04\\_01\\_archive.html](http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2013_04_01_archive.html)>. Acesso em: 02/01/2015.

64

Para resolução destas duas associações geralmente se faz necessário a transformação estrela em delta e vice versa.

- Transformação Δ – Y:

$$R_A = \frac{R_{ac} \times R_{ab}}{R_{ac} + R_{ab} + R_{bc}}$$

$$R_B = \frac{R_{ab} \times R_{bc}}{R_{ac} + R_{ab} + R_{bc}}$$

$$R_C = \frac{R_{bc} \times R_{ac}}{R_{ac} + R_{ab} + R_{bc}}$$

➤ Transformação Y – Δ:

$$R_{ac} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b}$$

$$R_{ab} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c}$$

$$R_{bc} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a}$$

## 22.5. Ponte de Wheatstone

Configuração especial para ligação de resistores muito utilizada na instrumentação eletrônica. Abaixo apresentamos este arranjo:

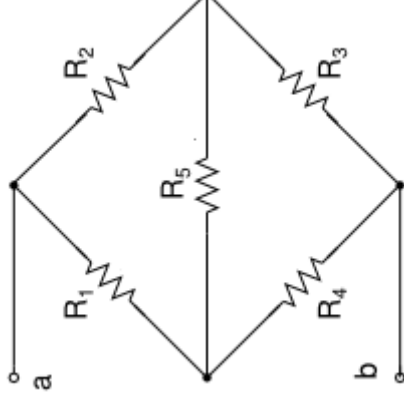


Figura 48- Ponte de Wheatstone. Disponível em: <  
<http://www.mspc.eng.br/elemag/celet0250.shtml> >. Acesso em:  
 02/01/2015.

65

O circuito ponte pode ser analisado segundo dois comportamentos:

- Ponte equilibrada;
- Ponte desequilibrada.

Dizemos que a ponte está equilibrada quando o ramo central da mesma (resistor R<sub>5</sub>) não é percorrido por corrente elétrica (A tensão nos terminais de R<sub>5</sub> será igual a zero). Nesta configuração teremos:

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \text{ e } I_{R5} = 0$$

No caso da ponte desequilibrada haverá circulação de corrente no ramo central da ponte, ou seja, teremos tensão nos terminais do resistor  $R_5$ . Nesta configuração teremos:

$$R_1 \times R_3 \neq R_2 \times R_4 \text{ e } I_{R5} \neq 0$$

Nos casos nos quais a ponte esteja desequilibrada deveremos efetuar a transformação delta em estrela para poder realizar a resolução do circuito ponte.

## 23. Lei de ohm

### 23.1. 1ª lei de ohm

Corresponde a um equacionamento matemático que relaciona três das principais grandezas utilizadas em eletrônica: à tensão elétrica ( $V$ ), a corrente elétrica ( $I$ ) e a resistência elétrica ( $R$ ):

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

Onde:

$V$ : tensão elétrica em Volts;

$R$ : resistência elétrica em Ohms;

$I$ : corrente elétrica em Amperes.

A expressão acima corresponde à primeira lei de Ohm aplicada a circuitos alimentados em tensão contínua, por isso as grandezas são representadas por letras maiúsculas. No caso dos circuitos elétricos CA, a lei de ohm será representada com suas letras minúsculas e a tensão elétrica vai corresponder ao seu valor eficaz (RMS). 66

A lei de Ohm surgiu como resultado das experiências de Ohm verificando a influência da tensão e da corrente na resistência elétrica.

Corrente elétrica e resistência elétrica são grandezas inversamente proporcionais, de modo que a corrente elétrica vai preferir sempre fluir pelos trechos de condutores com menor resistência, sempre retornando a sua fonte de origem.

A análise da lei de ohm nos permite afirmar que:

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

### **23.2. 2ª lei de ohm**

Também fruto dos estudos realizados por Ohm, a segunda lei relaciona os principais aspectos que influenciam no valor da resistência elétrica.

Os elementos que influenciam diretamente na resistência são:

- Natureza do material;
- Comprimento;
- Área da seção transversal;
- Temperatura.

#### **23.2.1. Natureza do material**

Após seus experimentos Ohm constatou que materiais diferentes tinham resistências diferentes, e em materiais

iguais submetidos a inúmeros ensaios permaneciam com os mesmos valores de resistências.

Para cada material foi associado uma constante de proporcionalidade:  $\rho$ . Esta constante recebeu a designação de resistividade elétrica do material. Materiais distintos possuem resistências diferentes, pois possuem diferentes quantidades de elétrons livres e estes últimos têm mobilidades diferentes.

A resistividade corresponde à resistência específica do material, uma vez que materiais diferentes possuem constituição diferente no que tange a organização de seus átomos. No

SI a resistividade é medida em Ohm x metro,  $\Omega \times m$  ou

$$\left[ \frac{\Omega \times m m^2}{m} \right] \times 10^6.$$

#### **23.2.2. Comprimento**

A resistência elétrica aumenta ou diminui de forma proporcional ao aumento ou diminuição do comprimento do mate-

rial. Logo, a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do condutor.

### **23.2.3. Área da seção transversal**

Em laboratório foi constatado que a resistência elétrica de um condutor é inversamente proporcional à área de sua seção transversal. Logo, quanto maior a área da seção menor a resistência elétrica do mesmo.

### **23.2.4. Temperatura**

O aumento da temperatura implica em aumento da resistência elétrica, em função do proporcional aumento do grau de agitação (vibração interna e movimento) das partículas constituintes do material.

Esta maior agitação ou maior mobilidade faz com que aumente a quantidade de choques e colisões entre as partí-

culas e elétrons do material, dificultando o movimento das cargas elétricas, logo temos um aumento da resistência.

Para vencer esta dependência da temperatura são utilizadas ligas metálicas especialmente preparadas para, mesmo com grandes aumentos de temperatura, sofrer apenas pequenas variações em sua resistência. Outra exceção são alguns compostos iônicos e a grafita, onde aumentos de temperatura geram a diminuição da resistência, fato que pode ser explicado pelo aumento do número de elétrons livres criado pela quebra das ligações ocasionado pelo aumento da temperatura (a geração de elétrons livres supera o aumento do grau de agitação das partículas).

Outro comportamento a ser destacado é a diminuição da resistência dos líquidos com o aumento da temperatura. O acréscimo de temperatura provoca uma diminuição da viscosidade dos líquidos, que gera maior mobilidade dos íons, logo gera uma menor resistência no líquido.

De um modo geral, pode-se afirmar que, quando comparados com os outros parâmetros, a temperatura tem menor

influência sob a resistência elétrica de um determinado material.

Matematicamente a 2ª Lei de Ohm corresponde ao equacionamento abaixo:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

*R*: Resistencia elétrica em Ohms  $\Omega$ ;

$\rho$ : Letra grega chamada de *rho* e representa a resistividade em Ohm.m ( $\Omega \cdot m$ );

*l*: Comprimento em metros (*m*);

*A*: Área de secção transversal em ( $m^2$ );

Uma avaliação da equação matemática que rege a 2º lei de Ohm nos permite concluir que:

- Quanto maior a resistividade, maior a resistência do condutor, e esta depende da temperatura, por este motivo normalmente a 2º lei de Ohm é aplicada a materiais que estão localizados na temperatura ambiente;

- Quanto maior o comprimento do condutor, maior a resistência;
- Quanto maior a área de um condutor, menor sua resistência.

## 24. Efeito Joule

**C**orresponde a conversão de energia elétrica em energia térmica (calor). O movimento dos elétrons dentro do condutor ocorre associado

69

aos choques mecânicos entre os mesmos ou entre os elétrons e as demais partículas que constituem o material condutor.

Quanto às aplicações podemos citar: Chuveiro elétrico, torradeira, ferro de passar roupa, torneiras elétricas, etc.

Todos os materiais, em maior ou menor proporção, manifestam o efeito joule ao serem percorridos por corrente elétrica. Determinadas aplicações, tais quais as descritas no parágrafo anterior, transformam esta característica em um

benefício, entretanto existem situações em que estas perdas térmicas são indesejadas como, por exemplo, em motores elétricos, pois nestes o calor influencia diretamente no seu rendimento (a resistência elétrica, dos fios das bobinas do motor, se aquecem por efeito joule).

Este calor gerado é considerada uma energia perdida ou de forma mais técnica uma energia dissipada, uma vez que ocorre uma troca de calor com o meio ambiente.

## 25. Potência elétrica em corrente contínua

**G**randezas elétricas correspondentes à capacidade de transformar energia elétrica em outras modalidades de energia, principalmente movimento, som, luz e calor. A potência estabelece uma relação direta entre a energia e o tempo gasto para consumi-la.

A potência elétrica no sistema internacional de unidades (SI) tem como unidade de medida o watt (W). A potência elétrica é representada pela letra P.

A fórmula matemática para o cálculo da potência elétrica dissipada em circuitos de tensão contínua é:

$$P = V \times I$$

Sendo: P: Potência elétrica em watts (W), V: Tensão elétrica em volts (V) e I: Corrente elétrica em amperes (A).

A associação da expressão da potência elétrica com a primeira lei de Ohm nos permite obter mais duas expressões para a potência:

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

Onde: P: potência elétrica em watts (W), V: tensão elétrica em volts (V), I: corrente elétrica em amperes (A) e R: resistência elétrica em ohms ( $\Omega$ ).

Ex.: Calcule a potência de um resistor de 200 ohms alimentado por uma fonte DC de 10 volts.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{10^2}{200} = 0,5 \text{ Watts.}$$

Do mesmo modo que os equipamentos e dispositivos possuem uma tensão máxima de trabalho, os mesmos vão possuir uma potência máxima de dissipação. Se este parâmetro for ultrapassado o dispositivo aquecerá excessivamente e vai queimar.

Nos circuitos alimentados por tensão alternada, a potência a ser calculada é a potência RMS, exceto quando se desejar a potência de pico ou pico a pico.

## 26. Máxima transferência de potência

**A**s fontes de tensão fornecem o máximo de potência às cargas a ela conectadas quando sua resistência interna for igual à resistência da

carga que a mesma alimenta, ou escrevendo de outra forma: a máxima transferência de potência ocorre quando a impedância da fonte é igual à impedância fora da fonte. Este aspecto é chamado de casamento de impedância.

Ex.: A impedância de saída de um amplificador de áudio deve ser igual à impedância de suas caixas de som. Se esta condição for satisfeita o máximo de potência gerada pelo amplificador será transferida para as caixas. Ressaltamos que as caixas devem ser dimensionadas para suportar esta potência máxima.

71

## 27. Circuitos elétricos em corrente contínua

**C**omo forma de melhor visualizar os conceitos associados aos circuitos elétricos apresentamos o princípio de funcionamento de uma lanterna portátil, a partir de seu respectivo circuito elétrico.



cimento deste último até a incandescência, emitindo por fim a luz desejada.

### 27.1. Circuito série

Tipo de circuito caracterizado pelo fato de que os bipolos (dispositivos elétricos de dois terminais) que o constituem tem cada um, individualmente, uma parcela da tensão da fonte. Por consequência afirmamos que num circuito série a tensão da fonte vai se dividir sobre cada elemento que constitui o mesmo, entretanto a corrente que circula pelo circuito vai permanecer constante.

No caso dos resistores, por exemplo, a tensão da fonte vai se dividir entre os resistores de forma a atender a 1° lei de Ohm.

### 27.2. Circuito paralelo

Tipo de circuito caracterizado pelo fato de que os bipolos que o constituem tem cada um, individualmente, uma par-

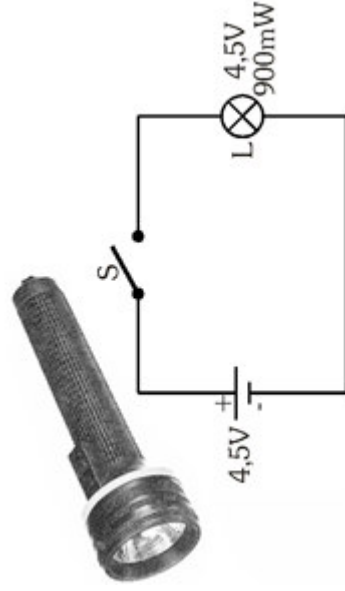


Figura 49- Possíveis transformações da energia. Disponível em: CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. *Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua*. São Paulo: Érica, 1999.

Os fios de material condutor (ex.: cobre) são utilizados para conectar a lâmpada da lanterna a uma fonte de tensão contínua (ex.: Bateria), estabelecendo deste modo um percurso fechado para passagem da corrente elétrica, este caminho fechado pode ser entendido como um exemplo de circuito elétrico.

Neste circuito, os elétrons livres do material condutor são atraídos em direção ao polo positivo da bateria e durante este movimento atravessam o filamento, provocando o aque-

cela da corrente da fonte. Por consequência afirmamos que num circuito paralelo a corrente da fonte vai se dividir sobre cada elemento que constitui o mesmo, entretanto a tensão nos terminais dos bipolos vai permanecer constante.

### **27.3. Circuito misto**

Reúne resistores interligados de modo aleatório (série e paralelo simultaneamente). Possui características das duas características anteriores.

## **28. Resolução de Circuitos em Corrente Contínua**

A resolução de circuitos em corrente contínua pode ser realizada através do uso sistemático da lei de Ohm, no caso dos circuitos de uma única fonte ou através das leis de Kirchhoff quando os circuitos em análise possuírem mais de duas fontes.

### **28.1. Conceitos Básicos de Análise de Circuitos**

O entendimento das técnicas de análise de circuitos depende diretamente do entendimento das definições que se seguem:

- **Nó:** ponto de interligação entre dois ou mais elementos do circuito;
- **Ramo:** caminho único de um nó até outro;
- **Laço:** qualquer percurso fechado do circuito;
- **Malha:** percurso fechado do circuito sem subdivisão.

73

### **28.2. Resolução por lei de Ohm.**

Aplica-se em circuitos que só possuem uma única fonte de alimentação. Em geral aplica-se a sequência de passos listados abaixo:

- **1° Passo:** Calcular o  $R_{EQ}^{19}$  ( $R_T$ ) dos resistores que constituem circuito;
- **2° Passo:** Calcular a corrente total do circuito:  $I_T$ :

---

<sup>19</sup> Resistor equivalente total ou simplesmente resistor total.

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

- **3º Passo:** Aplicar a lei de Ohm nos diversos ramos do circuito obtendo assim as correntes e tensões nos bipolos.

### **28.3. Resolução por leis de Kirchhoff**

Trata-se da aplicação da 1º e da 2º lei de Kirchhoff apresentadas a seguir.

#### **28.3.1. 1º lei de Kirchhoff – Lei das correntes**

*A soma das correntes que chegam ao nó deve ser igual a soma das correntes que saem do nó, ou ainda, a soma algébrica das correntes em um nó deve ser igual a zero.*

#### **28.3.2. 2º lei de Kirchhoff – Lei das tensões**

*Num percurso fechado do circuito a soma algébrica das quedas de tensão deve ser igual a zero.*

Para resolução dos circuitos devem ser respeitadas as regras abaixo:

- Nos pontos onde a corrente elétrica chega a mesma polariza o bipolo com sinal positivo (a corrente entra positiva e sai negativa).
- Ao atravessar uma fonte de tensão deve-se manter o sinal de saída da mesma.

Na resolução de circuitos com mais de duas fontes podemos utilizar duas técnicas principais:

- Resolução por correntes de ramo;
- Resolução por correntes de malha/laço.

74

#### ✓ **Resolução por correntes de malha/laço**

Em geral aplica-se a sequência de passos listados abaixo:

**1º Passo:** Atribuir uma corrente para cada malha;

**2º Passo:** Polarizar os bipolos elétricos;

**3º Passo:** Aplicar a lei das tensões para cada uma das malhas e obter as respectivas equações;

**4° Passo:** Montar o correspondente sistema de equações e resolver o mesmo.

## 29. Teoremas de Resolução de Circuitos

Neste tópico abordaremos os teoremas de Thévenin e Norton utilizados como alternativa a resolução de circuitos elétricos pelos métodos apresentados anteriormente.

### 29.1. Teorema de Thévenin

Uma rede de resistores e fontes pode ser substituída por uma única fonte de tensão e uma única resistência equivalente, ao qual chamaremos respectivamente de tensão de Thévenin ( $V_{TH}$ ) e resistência equivalente Thévenin ( $R_{TH}$ ).

Para utilização deste teorema devem ser seguidos os passos abaixo:

**1° Passo:** Identificar o trecho do circuito que contém as grandezas elétricas a serem calculadas;

**2° Passo:** Calcular o  $R_{TH}$  neste ponto, desligando as fontes do circuito;

**3° Passo:** Encontrar o  $V_{TH}$  desligando as fontes de tensão e de corrente (curto circuitar as fontes de tensão e substituir as fontes de corrente por um circuito aberto);

**4° Passo:** Substituir o circuito original apenas por  $V_{TH}$  e  $R_{TH}$ ;

**5° Passo:** Reconectar o trecho de interesse e calcular as grandezas desejadas.

## 30. Capacitores

**D**ispositivos elétricos, em geral, de dois terminais, constituídos internamente por duas placas metálicas separadas fisicamente por um material isolante (dielétrico). O dielétrico pode ser constituído por inúmeros materiais como, por exemplo: cerâmica, mica, materiais plásticos, ar, etc.

**31. Circuitos Trifásicos**

Números muito grandes ou números muito pequenos usualmente, por questões de comodidade ou facilidade de manipulação matemática, são representados utilizando a notação de potências de base dez, ou simplesmente potências de dez.

**32. Ligação Estrela-Triângulo**

**32.1. Ligação estrela:**

$$V_{\text{LINHA}} = V_{\text{FASE}} \times \sqrt{3} ; I_{\text{LINHA}} = I_{\text{FASE}}$$

**32.2. Ligação Triângulo:**

$$I_{\text{LINHA}} = I_{\text{FASE}} \times \sqrt{3} ; V_{\text{LINHA}} = V_{\text{FASE}}$$

**Anexo A – Breve Revisão Matemática Aplicada**

**A.1. Representação de números em potência de dez**

Como exemplo, podemos citar a massa aproximada de um elétron que equivale a:  $m_e = 0,0000000000000000000000000000091$  g, ou ainda a massa da terra:  $M_T = 6000000000000000000000000$  Kg.

76

As medidas representativas da eletricidade podem ser representadas por números muito pequenos ou muito grandes fazemos uso do conceito de múltiplos e submúltiplos das unidades principais. Abaixo apresentamos uma tabela com exemplos de múltiplos e submúltiplos de potências de base 10.

Tabela 2-Exemplo de múltiplos de base 10

<b>Múltiplos de 10</b>
------------------------

### A.1. Representação de números em potência de dez

Forma Conventional	Potência de Base 10
10	$10^1$
100	$10^2$
1000	$10^3$
10000	$10^4$
100000	$10^5$
1000000	$10^6$

0,01	$10^{-2}$	$\frac{1}{10^2}$	$\frac{1}{100}$
0,001	$10^{-3}$	$\frac{1}{10^3}$	$\frac{1}{1000}$
0,0001	$10^{-4}$	$\frac{1}{10^4}$	$\frac{1}{10000}$
0,00001	$10^{-5}$	$\frac{1}{10^5}$	$\frac{1}{100000}$

Tabela 3-Exemplo de submúltiplos de base 10

Submúltiplos de 10			
Forma Conventional	Potência de Base 10	Forma Fracionária	Potência de Base 10 Fracionária
0,1	$10^{-1}$	$\frac{1}{10^1}$	$\frac{1}{10}$

77

A representação de números muito grandes ou muito pequenos na forma de potências de 10 simplifica as operações matemáticas entre tais números. Abaixo alguns exemplos destas manipulações algébricas:

Ex<sub>1</sub>:

$$100 \times 1000 = 10^2 \times 10^3 = 10^{(2+3)} = 10^5$$

Ex<sub>2</sub>:

$$\frac{10^5 \times 10^{-2} \times 10^3}{10^3 \times 10^3} = \frac{10^{[5+(-2)+3]}}{10^{(3+3)}} = 10^{(6-6)} = 10^0 = 1$$

Ex3:

$$15000 \times 30000 = 15 \times 10^4 \times 3 \times 10^4 = 45 \times 10^{(4+4)} = 45 \times 10^8$$

Ex4:

$$\frac{0,006}{3000} = \frac{6 \times 10^{-3}}{3 \times 10^3} = \frac{6 \times 10^{-3} \times 10^{-3}}{3} = 2 \times 10^{(-3-3)} = 2 \times 10^{(-6)}$$

## A.2. Prefixos numéricos

Algumas potências de base 10 recebem designações específicas tais quais as apresentadas na tabela que segue:

Tabela 4-Principais prefixos numéricos utilizados

Múltiplos		
Designação	Simbologia	Valor Numérico Correspondente
Tera	T	$10^{12}$ [ 1 000 000 000 000]
Giga	G	$10^9$ [ 1 000 000 000]
Mega	M	$10^6$ [ 1 000 000]
Kilo	K	$10^3$ [ 1 000]
Submúltiplos		

Mili	$m$	$10^{-3}$ [ 0,001]
Micro	$\mu$	$10^{-6}$ [ 0,000001]
Nano	$n$	$10^{-9}$ [ 0,000000001]
Pico	$p$	$10^{-12}$ [ 0,000000000001]

## Referências

TORRES, Gabriel. **Fundamentos de Eletrônica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

CIPELLI, Marco; MARKUS, Otávio. **Ensino Modular: Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua**. São Paulo: Érica, 1999.

AIUB, José Eduardo; FILONI, Ênio. **Eletrônica: Eletricidade- Corrente Contínua**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2001.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução a Análise de Circuitos**. 10. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

MARKUS, Otávio. **Circuitos Elétricos: Corrente Contínua e Corrente Alternada**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2001.

LOURENÇO, Antônio Carlos de; CRUZ, Eduardo Cesar Alves; CHOUERI Júnior, Salomão. **Circuitos em Corrente Contínua**. 2. ed. São Paulo: Érica, 1996.

ALBURQUEQUE, Rômulo Oliveira. **Circuitos em Corrente Alternada**. São Paulo: Érica, 1997.

SILVA FILHO, Matheus Teodoro da. **Fundamentos de Eletricidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

79

## Sugestões de web sites