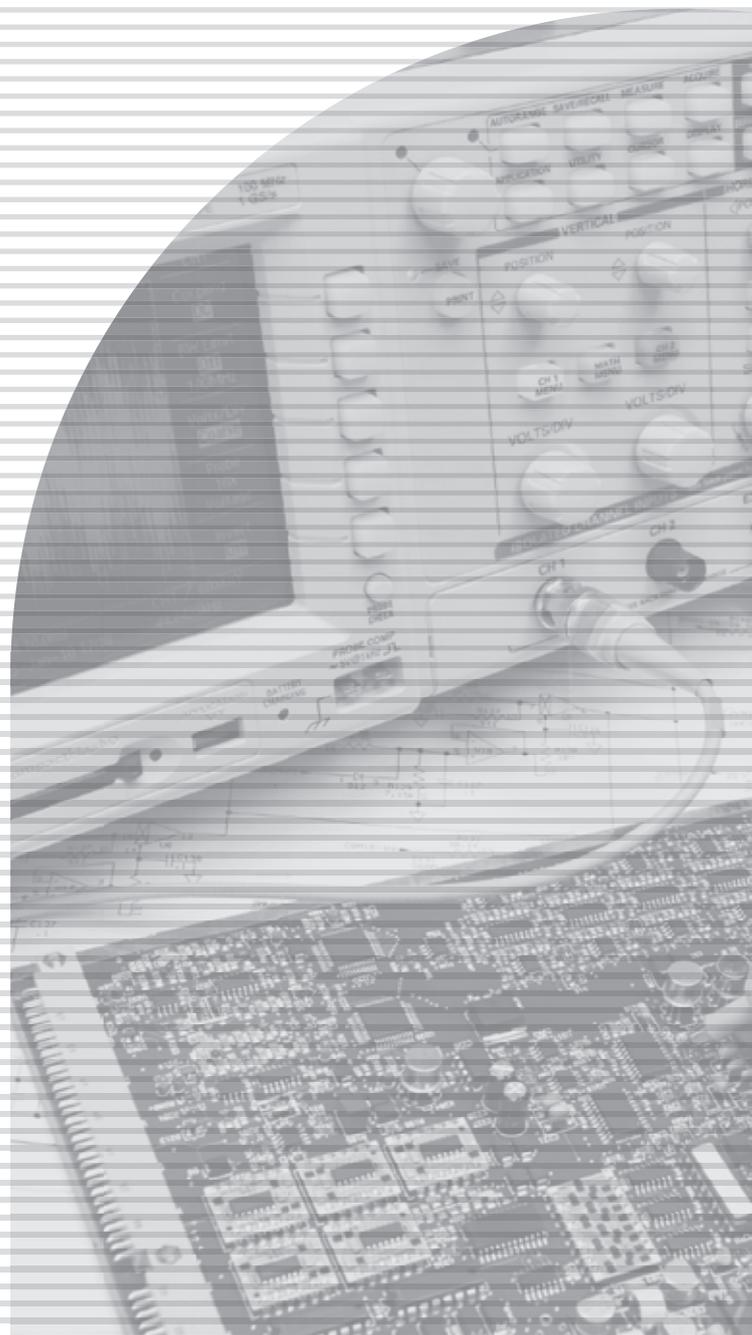


SENAI

Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

SÉRIE ELETROELETRÔNICA

FUNDAMENTOS DA ELETRICIDADE VOLUME 1



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente

DIRETORIA DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor de Educação e Tecnologia

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI

Conselho Nacional

Robson Braga de Andrade
Presidente

SENAI – Departamento Nacional

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor Geral

Gustavo Leal Sales Filho
Diretor de Operações

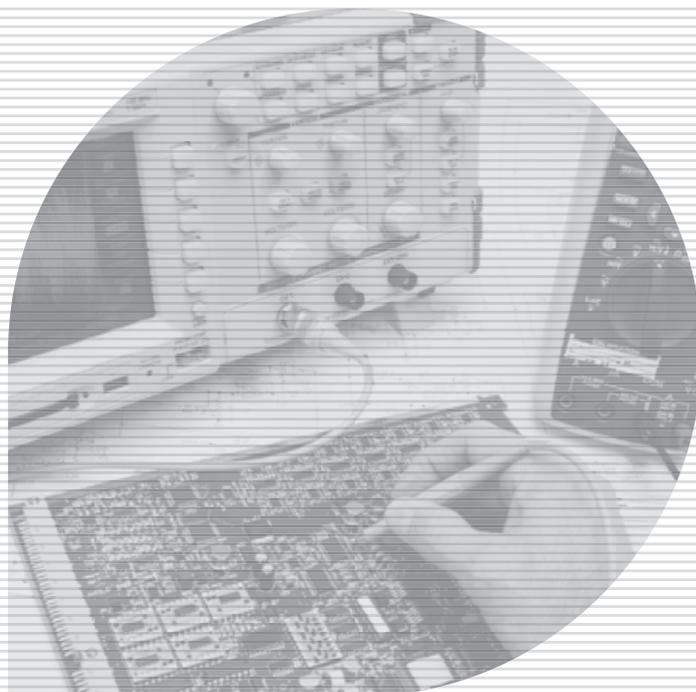
Regina Maria de Fátima Torres
Diretora Associada de Educação Profissional

SENAI

*Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria*

SÉRIE ELETROELETRÔNICA

FUNDAMENTOS DA ELETRICIDADE VOLUME 1



© 2013. SENAI – Departamento Nacional

© 2013. SENAI – Departamento Regional de São Paulo

A reprodução total ou parcial desta publicação por quaisquer meios, seja eletrônico, mecânico, fotocópia, de gravação ou outros, somente será permitida com prévia autorização, por escrito, do SENAI.

Esta publicação foi elaborada pela equipe do Núcleo de Educação a Distância do SENAI-São Paulo, com a coordenação do SENAI Departamento Nacional, para ser utilizada por todos os Departamentos Regionais do SENAI nos cursos presenciais e a distância.

SENAI Departamento Nacional

Unidade de Educação Profissional e Tecnológica – UNIEP

SENAI Departamento Regional de São Paulo

Gerência de Educação – Núcleo de Educação a Distância

FICHA CATALOGRÁFICA

S491g

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Nacional.
Fundamentos da Eletricidade, volume 1 / Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Nacional, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional de São Paulo. Brasília: SENAI/DN, 2013.
380 p. il. (Série Eletroeletrônica).

ISBN 978-85-7519-674-8

1. Eletricidade 2. Eletroeletrônica I. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional de São Paulo II. Título III. Série

CDU: 005.95

SENAI

Serviço Nacional de
Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional

Sede

Setor Bancário Norte • Quadra 1 • Bloco C • Edifício Roberto
Simonsen • 70040-903 • Brasília – DF • Tel.: (0xx61) 3317-9001
Fax: (0xx61) 3317-9190 • <http://www.senai.br>

Lista de figuras, quadros e tabelas

Figura 1 - Estrutura curricular da qualificação profissional do curso de Eletricista de Redes de Distribuição de Energia Elétrica.....	22
Figura 2 - Descarga elétrica de um relâmpago	26
Figura 3 - Exemplo de energia potencial.....	28
Figura 4 - Exemplo de energia cinética	28
Figura 5 - Exemplo de energia mecânica	29
Figura 6 - Exemplo de energia térmica	29
Figura 7 - Exemplo de energia química	30
Figura 8 - Molécula de água.....	45
Figura 9 - Átomo de oxigênio.....	45
Figura 10 - Nuvem eletrônica do átomo de hidrogênio	46
Figura 11 - Maneiras de representar os níveis de eletrônicos de energia	47
Figura 12 - Representação esquemática do comportamento do elétron livre	48
Figura 13 - Efeito de atração e efeito de repulsão de corpos eletrizados.....	52
Figura 14 - Eletrização por atrito	53
Figura 15 - Filete de água sendo atraído pelo pente eletrizado	56
Figura 16 - Interior de uma pilha comum	58
Figura 17 - Interior da pilha, identificando os seus polos.....	58
Figura 18 - Mostrador de voltímetro analógico	61
Figura 19 - Composição de multímetro digital	62
Figura 20 - Multímetro digital.....	62
Figura 21 - Pontas de prova inseridas nos bornes.....	63
Figura 22 - Posição dos cabos durante a medição.....	64
Figura 23 - Efeito da temperatura sobre o par termoelétrico	65
Figura 24 - Termopar e termômetro digital	65
Figura 25 - Esquema de uma célula fotovoltaica.....	66
Figura 26 - Cristais piezoelétricos gerando tensão elétrica	66
Figura 27 - Representação do funcionamento de um gerador.....	67
Figura 28 - Usina hidrelétrica	68
Figura 29 - Usina termoelétrica.....	69
Figura 30 - Usina nuclear.....	70
Figura 31 - Captação de energia eólica para geração de energia elétrica	71
Figura 32 - Representação de elétrons dentro do metal do condutor em um circuito aberto	76
Figura 33 - Comportamento dos elétrons dentro do condutor sob ação do campo elétrico (interruptor fechado).....	77

Figura 34 - Relâmpago: ocorrência natural de corrente elétrica	78
Figura 35 - Amperímetro analógico	82
Figura 36 - Multímetro na escala de ampère	83
Figura 37 - Multímetro digital com os cabos conectados.....	83
Figura 38 - Medição.....	84
Figura 39 - Lanterna em corte	85
Figura 40 - Componentes do circuito elétrico.....	86
Figura 41 - Circuitos elétricos com interruptor aberto e fechado	87
Figura 42 - Esquema (ou diagrama) elétrico com símbolos	90
Figura 43 - Circuito em série	91
Figura 44 - Circuito paralelo.....	92
Figura 45 - Circuito misto	93
Figura 46 - Representação da corrente elétrica fluindo.....	98
Figura 47 - Elétrons em materiais que apresentam resistência à passagem da corrente.....	98
Figura 48 - Ohmímetro digital	100
Figura 49 - Multímetro usado como ohmímetro	101
Figura 50 - Aparelho preparado para medição	102
Figura 51 - Medição com multímetro	102
Figura 52 - A influência do comprimento na resistência elétrica do condutor.....	104
Figura 53 - Influência da seção transversal na resistência elétrica do condutor.....	104
Figura 54 - Influência do material na resistência elétrica do condutor	105
Figura 55 - Associação em série de resistores.....	112
Figura 56 - Associação em paralelo de resistores.....	112
Figura 57 - Associação mista de resistores.....	113
Figura 58 - Associação em série de resistores	114
Figura 59 - Resistência equivalente do circuito	115
Figura 60 - Associação de resistores em paralelo	116
Figura 61 - Associação de dois resistores	121
Figura 62 - Associação mista de resistores	122
Figura 63 - Resistências associadas em paralelo	122
Figura 64 - Resistência equivalente da associação em paralelo	123
Figura 65 - Circuitos ficam equivalentes com a troca do resistor	123
Figura 66 - Resistência equivalente	124
Figura 67 - Primeiro circuito	132
Figura 68 - Segundo circuito	132
Figura 69 - Terceiro circuito	132
Figura 70 - Triângulo tensão <i>versus</i> resistência <i>versus</i> corrente	134

Figura 71 - Circuito do exemplo 1	135
Figura 72 - Circuito do exemplo 2	136
Figura 73 - Circuito do exemplo 3	136
Figura 74 - Distribuição da corrente em um circuito em paralelo	137
Figura 75 - Características do circuito com resistores ligados em paralelo	138
Figura 76 - Circuito em paralelo com amperímetros e voltímetros	139
Figura 77 - Circuito em paralelo com amperímetros e voltímetros.....	140
Figura 78 - Circuito em paralelo com nós identificados	141
Figura 79 - Circuito com todos os valores	142
Figura 80 - Circuito em paralelo com valores calculados	143
Figura 81 - Circuito com resistores em série	144
Figura 82 - Corrente no circuito em série.....	145
Figura 83 - Tensões no circuito em série	146
Figura 84 - Circuito misto	148
Figura 85 - Circuito misto atualizado com o valor de Req1	149
Figura 86 - Circuito equivalente final	150
Figura 87 - Circuito parcial	151
Figura 88 - Circuito com valores de corrente e tensão	152
Figura 89 - Circuito com três resistores	153
Figura 90 - Circuito misto com os valores calculados.....	154
Figura 91 - Quem está realizando mais trabalho?	158
Figura 92 - Lâmpadas produzem quantidades diferentes de luz.....	159
Figura 93 - Triângulo com potência <i>versus</i> tensão <i>versus</i> corrente	162
Figura 94 - Triângulos para determinar equação da potência por efeito joule.....	163
Figura 95 - Lâmpadas com a mesma potência e tensões de funcionamento diferentes.	167
Figura 96 - Circuito para cálculo de potência dissipada	168
Figura 97 - Bateria elementar	170
Figura 98 - Representação do interior de uma bateria elétrica	170
Figura 99 - Representação esquemática da resistência interna de uma bateria	171
Figura 100 - Circuito com a força eletromotriz (E) gerada e a resistência interna (RI).	171
Figura 101 - Circulação da corrente pelo circuito	172
Figura 102 - Magnetita.....	180
Figura 103 - Ímã artificial	181
Figura 104 - Polos dos ímãs.....	181
Figura 105 - Linha neutra	182
Figura 106 - Diferença de organização dos ímãs moleculares	183
Figura 107 - Inseparabilidade dos polos	183

Figura 108 - Representação da interação entre os ímãs	184
Figura 109 - Trem japonês cujo movimento é baseado no princípio da força de repulsão dos ímãs (linha de teste de Yamanashi)	184
Figura 110 - Linhas de indução magnética	185
Figura 111 - Trajetória das linhas de indução magnética	186
Figura 112 - Representação esquemática da densidade do fluxo	187
Figura 113 - Comportamento do material paramagnético em relação ao campo magnético	189
Figura 114 - Representação de material diamagnético	189
Figura 115 - Material ferromagnético	190
Figura 116 - Campo magnético B em condutor sendo percorrido por corrente elétrica	191
Figura 117 - Linhas de força do campo magnético	191
Figura 118 - Regra da mão direita	192
Figura 119 - Regra do saca-rolhas	193
Figura 120 - Direção de movimento das linhas de indução	194
Figura 121 - Identificando o polo sul	194
Figura 122 - Identificando o polo norte	195
Figura 123 - Símbolos de bobinas	195
Figura 124 - Representação do efeito da soma dos efeitos magnéticos em uma bobina	196
Figura 125 - Concentração de linhas de indução magnética	196
Figura 126 - Símbolo de indutor	197
Figura 127 - Primeira experiência de Faraday: circuito com condutor sem fonte de alimentação	198
Figura 128 - Circuito que reproduz a segunda experiência de Faraday	198
Figura 129 - Circuito que representa o sentido da corrente pela Lei de Lenz	200
Figura 130 - Efeito do campo elétrico e do campo magnético sobre uma carga elétrica	201
Figura 131 - Direção das forças magnéticas	202
Figura 132 - Regra da mão esquerda	202
Figura 133 - Representação esquemática de um circuito magnético	203
Figura 134 - Campo magnético de um eletroímã	203
Figura 135 - Alto-falante	205
Figura 136 - Circuito elétrico de corrente contínua	238
Figura 137 - Mudança de polaridade na bateria do circuito elétrico	238
Figura 138 - Bobina com medidor de tensão acoplado às extremidades	239
Figura 139 - Polo norte do ímã próximo da bobina = tensão positiva	239
Figura 140 - Polo sul do ímã próximo da bobina = tensão negativa	239
Figura 141 - Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil	241
Figura 142 - Representação esquemática de um gerador elementar	242

Figura 143 - Posição 0°: plano da espira perpendicular ao campo magnético	242
Figura 144 - Posição 90°: gerador atinge a geração máxima de f_{em}	243
Figura 145 - Posição 180°: formação do primeiro semiciclo (positivo)	244
Figura 146 - Posição 270°: geração máxima de f_{em} com sentido oposto ao ângulo de 90°	244
Figura 147 - Posição 360°: o segundo semiciclo (negativo) se forma	245
Figura 148 - Tensão de pico	248
Figura 149 - Tensão de pico positivo e tensão de pico negativo	248
Figura 150 - Medidas de pico a pico aplicam-se à corrente alternada senoidal	249
Figura 151 - Dissipação de potência em circuito alimentado por tensão contínua	250
Figura 152 - Dissipação de potência em circuito alimentado por tensão alternada	250
Figura 153 - Soma dos valores instantâneos	252
Figura 154 - Representação do valor médio da corrente alternada senoidal	253
Figura 155 - Circuito elétrico de corrente contínua	254
Figura 156 - Defasagem em circuito elétrico de CA com cargas resistivas	255
Figura 157 - Com cargas indutivas, a corrente se atrasa 90° em relação à tensão	255
Figura 158 - Com cargas capacitivas, a corrente se adianta 90° em relação à tensão	256
Figura 159 - Circuito elétrico indutivo para cálculo de potência	258
Figura 160 - Triângulo das potências	260
Figura 161 - Vetores das potências	263
Figura 162 - Potência em circuito elétrico indutivo	264
Figura 163 - Potência em circuito elétrico capacitivo	265
Figura 164 - Potência em circuito elétrico indutivo-capacitivo	265
Figura 165 - Circuito interno do wattímetro	266
Figura 166 - Diagrama do interior de um cossifímetro	267
Figura 167 - Representação esquemática de um capacitor	272
Figura 168 - Símbolos para capacitor não polarizado e capacitor polarizado	273
Figura 169 - Circuito com capacitor e sem tensão elétrica	274
Figura 170 - Circuito com chave fechada	275
Figura 171 - Processo de carga do capacitor	275
Figura 172 - Capacitor carregado	276
Figura 173 - Descarga do capacitor	277
Figura 174 - Associação de capacitores em paralelo	281
Figura 175 - Ligação em paralelo de capacitores polarizados	284
Figura 176 - Associação em série de capacitores	284
Figura 177 - Circuito com dois capacitores em série	286
Figura 178 - Exemplo de divisão de tensão com capacitores em série	287
Figura 179 - Divisão de tensão em um circuito real com capacitores em série	287

Figura 180 - Circuito com capacitores polarizados ligados em série	288
Figura 181 - Alimentação do capacitor despolarizado em circuito de CA	288
Figura 182 - Movimentação dos elétrons a cada semiciclo	289
Figura 183 - Aumento da reatância capacitiva	290
Figura 184 - A reatância capacitiva (X_c) diminui com o aumento da capacitância.....	290
Figura 185 - Capacitor conectado em CA	291
Figura 186 - Gráfico A: tensão <i>versus</i> corrente no instante zero	292
Figura 187 - Gráfico B: tensão <i>versus</i> corrente no instante 90°	293
Figura 188 - Gráfico C: tensão <i>versus</i> corrente no instante 180°	293
Figura 189 - Gráfico de tensão <i>versus</i> corrente no instante 270°	293
Figura 190 - Circuito com capacitor cujo valor da capacitância é desconhecido	294
Figura 191 - Indutor de saída de fonte	300
Figura 192 - Indutor de proteção de circuitos elétricos	300
Figura 193 - Indutor monofásico para proteção de circuitos elétricos	301
Figura 194 - Símbolos de indutores	301
Figura 195 - Representação das polaridades em indutores	302
Figura 196 - Indutor junto à carga	302
Figura 197 - Dois indutores para aumentar a indutância.....	302
Figura 198 - Tensão induzida no interior de um campo magnético	303
Figura 199 - Circuito com resistor	304
Figura 200 - Comportamento da corrente	304
Figura 201 - Circuito com indutor	304
Figura 202 - Comportamento da corrente	304
Figura 203 - Circuito com indutor e chave desligada	304
Figura 204 - Circulação da corrente na bobina	305
Figura 205 - Expansão do campo magnético	305
Figura 206 - Tensão aplicada à bobina	306
Figura 207 - Geração de f_{cem}	306
Figura 208 - Representação da f_{cem} como uma "bateria" no circuito	307
Figura 209 - Gráfico de variação do campo magnético no indutor (chave fechada)	307
Figura 210 - Gráfico de variação de tensão no indutor (chave aberta)	308
Figura 211 - Exemplo de ligação de uma lâmpada fluorescente convencional.....	308
Figura 212 - Posição A: não há passagem da corrente	310
Figura 213 - Campo magnético na posição B	311
Figura 214 - Não há campo magnético	311
Figura 215 - Polaridade do campo magnético é invertida	312
Figura 216 - Não há campo magnético.....	312

Figura 217 - Associação em série de indutores	314
Figura 218 - Associação em paralelo de indutores	316
Figura 219 - Circuito CA com indutor	318
Figura 220 - Circuito de CA com indutor	320
Figura 221 - Componentes de um sistema de aterramento.....	326
Figura 222 - Símbolo do aterramento, segundo ABNT	327
Figura 223 - Exemplo de aterramento em RDA.....	328
Figura 224 - Caixas e equipamentos aterrados segundo normas técnicas de segurança.....	329
Figura 225 - Hastes de aterramentos para cercas rurais	329
Figura 226 - Tipos de para-raios e símbolo para projetos	332
Figura 227 - Para-raios de redes de distribuição, da classe de 3 kV a 25 kV	333
Figura 228 - Cabo de interligação para ligação de para-raios instalado em redes de distribuição de energia elétrica.....	334
Figura 229 - Instalação de para-raios em poste do tipo circular de concreto.....	335
Figura 230 - Para-raios interligados entre si e a carcaça do transformador	335
Figura 231 - Exemplo de gerador de corrente contínua (dínamo) e símbolo para projeto	340
Figura 232 - Exemplo de gerador de corrente alternada e símbolo para projeto	341
Figura 233 - Modelos de geradores a óleo <i>diesel</i>	342
Figura 234 - Gerador acoplado em turbina elétrica, utilizado em hidrelétricas.....	343
Figura 235 - Exemplo de transformador e símbolo para projeto	346
Figura 236 - Campo magnético variável ao redor da bobina do transformador	346
Figura 237 - Primário e secundário do transformador	347
Figura 238 - Núcleo do transformador.....	347
Figura 239 - Efeito do núcleo no transformador.....	348
Figura 240 - Tipos de ligação do transformador no poste	349
Figura 241 - Transformador de alta-tensão	350
Figura 242 - Diagrama da estrutura básica de um transformador	350
Figura 243 - Transformador de baixa tensão.....	351
Figura 244 - Relação de espiras com tensão do transformador.....	352
Figura 245 - Tipos de transformadores	353
Figura 246 - Exemplo de transformador rebaixador	353
Figura 247 - Transformador com primário a quatro fios	354
Figura 248 - Camadas do transformador trifásico.....	356
Figura 249 - Detalhes técnicos do transformador (trafo) trifásico.....	357
Figura 250 - Foto de um transformador trifásico.....	359
Figura 251 - Transformador instalado em subestação	360
Figura 252 - Partes internas de um motor monofásico	365

Figura 253 - Tipos de rotores dos motores trifásicos	366
Figura 254 - Placa de identificação de um motor de indução trifásico	367
Figura 255 - Ferro móvel.....	373
Figura 256 - Bobina móvel.....	373
Figura 257 - Instrumento eletrodinâmico	374
Figura 258 - Instrumento ressonante	375
Figura 259 - Escala medidora homogênea para bobina móvel	376
Figura 260 - Escala medidora heterogênea para ferro móvel	376
Figura 261 - Escala heterogênea para instrumento eletrodinâmico	377
Figura 262 - Indicação de tensão de isolamento	380
Figura 263 - Exemplos de leituras	380
Figura 264 - Diagrama interno de um instrumento digital	381
Figura 265 - Categoria de multímetros: níveis de aplicação	385
Figura 266 - Medidores de fornecimento de energia elétrica	388
Figura 267 - Conta de fornecimento de energia elétrica.....	389
Figura 268 - Rotação do disco por dois campos magnéticos	390
Figura 269 - Medidor de corrente monofásico e representação esquemática de suas partes	390
Figura 270 - Medidor eletrônico de fornecimento de energia e o diagrama do circuito digital com seus módulos componentes	391
Figura 271 - Voltímetro analógico.....	392
Figura 272 - Voltímetro digital.....	393
Figura 273 - Amperímetro analógico.....	394
Figura 274 - Amperímetro digital.....	394
Figura 275 - Voltímetro e amperímetro instalados em um circuito de CA.....	395
Figura 276 - Ohmímetro digital	395
Figura 277 - Ohmímetro medindo resistência elétrica.....	396
Figura 278 - Wattímetro	397
Figura 279 - Representação da parte interna de um wattímetro	397
Figura 280 - Wattímetro medindo a potência elétrica de uma lâmpada.....	398

Quadro 1 - Efeitos da energia elétrica em diversos tipos de consumidores.....	31
Quadro 2 - Eventos históricos relacionados à energia elétrica.....	36
Quadro 3 - Conceito de átomo: evolução histórica.....	43
Quadro 4 - Elementos e seus elétrons de valência.....	49
Quadro 5 - Material A, com carga elétrica positiva.....	54
Quadro 6 - Material A, com carga elétrica negativa.....	54
Quadro 7 - Representação de polarização, aterramento e desaterramento.....	55
Quadro 8 - Componentes do circuito e seus símbolos e letras correspondentes.....	89
Quadro 9 - Características e aplicações de materiais.....	111
Quadro 10 - Regras para arredondamento de números.....	120
Quadro 11 - Símbolos e letras usados em circuitos elétricos.....	131
Quadro 12 - Fórmulas da Lei de Ohm e para cálculo de potência.....	165
Quadro 13 - Características dos capacitores e sua utilização.....	273
Quadro 14 - Fatores que influem na indutância.....	309
Quadro 15 - Representação dos fenômenos elétricos do transformador.....	351
Quadro 16 - Transformador (Trafo) trifásico – 60 Hz – 15 kV.....	358
Quadro 17 - Dados da placa de um motor.....	368
Quadro 18 - Posições de funcionamento dos instrumentos de medição.....	379
Quadro 19 - Diferenças entre o multímetro analógico e o digital.....	383
Quadro 20 - Vantagens e desvantagens do uso de multímetros analógicos e digitais.....	384
Quadro 21 - Dados comparativos do medidor eletromecânico em relação ao eletrônico.....	392
Tabela 1 - Prefixos, símbolos e fatores multiplicadores SI.....	33
Tabela 2 - Informação nutricional de embalagem de suco.....	34
Tabela 3 - Unidade de medida de tensão e seus fatores multiplicadores.....	59
Tabela 4 - Unidade de medida de corrente e seus fatores multiplicadores.....	80
Tabela 5 - Unidade de medida de resistência e seus fatores multiplicadores.....	99
Tabela 6 - Resistividade de materiais a 20 °C.....	106
Tabela 7 - Coeficiente de temperatura de materiais.....	109
Tabela 8 - Valores obtidos.....	133
Tabela 9 - Proporcionalidade entre resistência e corrente.....	133
Tabela 10 - Unidade de medida de potência e seus fatores multiplicadores.....	160
Tabela 11 - Unidade de medida de frequência e fatores multiplicadores.....	246
Tabela 12 - Unidade de medida de capacitância e seus submúltiplos.....	278
Tabela 13 - Unidade de medida de indutância e seus submúltiplos.....	313

1	Introdução.....	21
2	Histórias da eletricidade.....	25
2.1	A eletricidade está no ar?.....	26
2.2	O que é energia?	27
2.2.1	Formas de energia	27
2.3	Unidades de medida de energia	33
2.4	Como o homem conheceu a energia elétrica	35
3	Fundamentos da eletricidade	41
3.1	Composição da matéria.....	42
3.2	A molécula e o átomo	44
3.3	Materiais condutores e materiais isolantes	48
3.4	O que é eletricidade?.....	51
3.5	Eletrostática	52
3.5.1	Tensão elétrica.....	57
3.5.2	Como criar o desequilíbrio elétrico.....	57
3.5.3	Unidade de medida de tensão elétrica.....	59
3.5.4	Conversão da unidade de medida de tensão.....	60
3.5.5	Instrumento de medição de tensão elétrica	61
3.6	Geração de energia elétrica	64
3.6.1	Usinas geradoras de eletricidade.....	67
4	Corrente elétrica.....	75
4.1	Corrente elétrica.....	76
4.1.1	Sentido da corrente elétrica.....	77
4.1.2	Intensidade da corrente	78
4.1.3	Corrente contínua.....	80
4.1.4	Unidade de medida de corrente	80
4.1.5	Instrumento de medição de intensidade da corrente.....	82
4.2	O circuito elétrico.....	85
4.2.1	Simbologia dos componentes do circuito elétrico.....	89
4.2.2	Tipos de circuitos elétricos	91

5 Resistência elétrica.....	97
5.1 Conceito de resistência elétrica.....	98
5.1.1 Unidade de medida de resistência elétrica.....	99
5.1.2 Instrumento de medida de resistência.....	100
5.1.3 Segunda lei de Ohm.....	103
5.1.4 Resistividade elétrica.....	105
5.1.5 Influência da temperatura sobre a resistência.....	108
5.2 Associação de resistências.....	111
5.2.1 Resistência equivalente.....	113
6 Leis de Ohm e leis de Kirchhoff.....	129
6.1 Primeira Lei de Ohm.....	131
6.1.1 Determinação experimental da primeira Lei de Ohm.....	131
6.1.2 Aplicação da Primeira Lei de Ohm.....	134
6.2 Leis de Kirchhoff.....	137
6.2.1 Primeira Lei de Kirchhoff.....	137
6.2.2 Comprovação da Primeira Lei de Kirchhoff.....	143
6.3 Segunda Lei de Kirchhoff.....	144
6.3.1 Aplicação da Segunda Lei de Kirchhoff.....	148
6.4 As Leis de Kirchhoff e as Leis de Ohm em circuitos mistos.....	148
7 Potência elétrica em CC.....	157
7.1 Trabalho elétrico.....	158
7.2 Potência elétrica.....	159
7.2.1 Unidade de medida de potência elétrica.....	160
7.3 Determinação da potência de um consumidor em CC.....	162
7.4 Potência nominal.....	167
7.4.1 Limite de dissipação de potência.....	168
7.5 Fontes de alimentação de CC.....	169
7.5.1 Influência da resistência interna na tensão de saída do gerador.....	171
7.5.2 Rendimento do gerador.....	173
7.5.3 Máxima transferência de potência do gerador.....	174
8 Magnetismo e eletromagnetismo.....	179
8.1 Conceito de magnetismo.....	180
8.1.1 Ímãs.....	180
8.1.2 Polos magnéticos de um ímã.....	181
8.2 Origem do magnetismo.....	183
8.3 Propriedades características dos ímãs.....	183
8.4 Campo magnético – linhas de força.....	185
8.5 Densidade de fluxo da indução magnética.....	186
8.6 Imantação ou magnetização.....	189
8.7 Eletromagnetismo.....	190
8.7.1 Campo magnético em um condutor.....	191
8.7.2 Campo magnético em uma espira circular.....	193

8.8 Campo magnético em uma bobina (ou solenoide)	195
8.9 Principais leis do eletromagnetismo.....	197
8.9.1 Lei de Faraday.....	197
8.9.2 Lei de Lenz.....	200
8.9.3 Lei da Força de Lorentz	201
8.10 Circuitos magnéticos.....	202
8.11 Interação entre o magnetismo e o eletromagnetismo.....	205
Referências.....	209
Minicurriculo dos autores	211
Índice	213

9 Corrente alternada	237
9.1 Corrente e tensão alternadas monofásicas	238
9.2 Geração de corrente alternada	240
9.2.1 Frequência de uma corrente (ou tensão) alternada.....	245
9.3 Valor de pico e valor de pico a pico da tensão alternada senoidal	248
9.4 Tensão e correntes eficazes	249
9.5 Valor médio da corrente e da tensão alternada senoidal (IDC e VDC)	252
9.6 Potência elétrica em CA.....	254
9.6.1 Energia e potência em CA.....	254
9.6.2 Triângulo das potências	260
9.6.3 Fator de potência (FP)	262
9.6.4 Correção do fator de potência	264
9.6.5 Medidor de potência	266
9.6.6 Medidor de fator de potência (cossifímetro)	266
10 Capacitores.....	271
10.1 Conceito de capacitor.....	272
10.2 Características de carga e descarga do capacitor.....	274
10.3 Capacitância.....	278
10.3.1 Unidade de medida da capacitância	278
10.4 Tensão de trabalho.....	279
10.5 Associação de capacitores	281
10.5.1 Associação em paralelo.....	281
10.5.2 Associação em série.....	284
10.6 Reatância capacitiva.....	288
10.6.1 Funcionamento em CA.....	288
10.6.2 Fatores que influenciam na reatância capacitiva.....	289
10.6.3 Relação entre tensão CA, corrente CA e reatância capacitiva	290
10.6.4 Determinação experimental da capacitância de um capacitor.....	294

11 Indutores	299
11.1 O que é um indutor?	300
11.1.1 Polaridade magnética do indutor	301
11.2 Conceito de indução	302
11.3 Comportamento do indutor em corrente contínua – autoindução	303
11.4 Conceito de indutância	307
11.4.1 Efeito da indutância em um circuito de CA.....	310
11.4.2 Unidade de medida de indutância	312
11.5 Associação de indutores: em série e em paralelo.....	314
11.5.1 Associação em série de indutores	314
11.5.2 Associação em paralelo de indutores	316
11.6 Reatância indutiva.....	317
11.7 Fator de qualidade Q.....	319
11.8 Determinação experimental da indutância em um indutor.....	320
12 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e sistema de aterramento	325
12.1 Aterramentos elétricos	326
12.1.1 O que aterrar?	327
12.1.2 Interligação do sistema de aterramento.....	330
12.2 Descargas atmosféricas e suas interferências em redes de distribuição	331
12.3 Para-raios	332
12.3.1 Varistores e óxidos metálicos (ZNO)	333
12.3.2 Aplicação dos para-raios	334
13 Gerador elétrico	339
13.1 Características dos geradores	340
13.2 Funcionamento dos geradores	340
14 Transformador	345
14.1 Características dos transformadores	346
14.2 Funcionamento.....	346
14.3 Tipos de ligação de transformadores.....	348
14.4 Relação de transformação.....	349
14.5 Transformador (trafo) trifásico	355
15 Motores.....	363
15.1 Motores elétricos	364
15.2 Motores monofásicos.....	365
15.3 Motores trifásicos	365
15.4 Ligação dos motores trifásicos	366
15.5 Identificação dos motores	367

16 Instrumentos e ferramentas de medidas elétricas.....	371
16.1 Instrumentos de medição	372
16.1.1 Instrumentos analógicos: princípio de funcionamento	372
16.1.2 Instrumento digital: princípio de funcionamento.....	381
16.2 Multímetro	382
16.2.1 Graus de proteção do multímetro.....	384
16.2.2 Categorias de multímetros	385
16.3 Medidores de fornecimento de energia elétrica.....	388
16.3.1 Medidor eletromecânico de fornecimento de energia elétrica.....	389
16.3.2 Medidor eletrônico de fornecimento de energia elétrica	391
16.4 voltímetro.....	392
16.4.1 Voltímetro analógico	392
16.4.2 Voltímetro digital	393
16.5 Amperímetro	393
16.6 Ohmímetro	395
16.7 Wattímetro	396
Referências.....	401
Minicurriculo dos autores	403
Índice	405



Quando escolhemos uma profissão, assumimos vários compromissos: estudar para desenvolver todas as habilidades necessárias para atuar na área que nos atrai; ser um ótimo profissional nessa área; exercer a profissão com ética, entusiasmo, disciplina, responsabilidade e respeito pelos colegas de trabalho; manter-se atualizado, estudando sempre, já que, para cada nova informação, sobram ainda muitas outras a serem conhecidas.

Sua decisão de participar deste curso é, então, meio caminho andado e já o torna um vencedor! Dedicar tempo aos estudos sobre **eletricidade** no início do curso significa dar mais um passo no sentido de sua formação, pois você terá o suporte de conceitos para tudo o que for estudar depois, nos Módulos Específicos.

A unidade curricular **Fundamentos da Eletricidade** compõe o Módulo Básico do curso de **Eletricista de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. No quadro a seguir, veja a posição dessa unidade e o caminho a ser percorrido até que você atinja seu objetivo final.

QUADRO DE ORGANIZAÇÃO CURRICULAR	
Módulo Básico (276 h)	
• Técnicas de redação em Língua Portuguesa	(40 h)
• Fundamentos da Eletricidade	(104 h)
• Sistemas de Medida e Representação Gráfica	(32 h)
• Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança nos Serviços em Eletricidade	(40 h)
• Fundamentos da Redes de Distribuição	(60 h)
Módulo Específico I (80 h)	
• Montagem e Instalação de Redes de Distribuição	(80 h)
Módulo Específico II (64 h)	
• Operação de Equipamentos e Dispositivos de Redes de Distribuição	(32 h)
• Manutenção de Redes de Distribuição de Energia Elétrica	(32 h)
Módulo Específico III (40 h)	
• Execução de Serviços Técnicos Comerciais	(40 h)
Módulo Específico IV (40 h)	
• Montagem, Retirada e Manutenção de Iluminação Pública	(40 h)
Eletricista de Redes de Distribuição de Energia Elétrica (500 h)	

Figura 1 - Estrutura curricular da qualificação profissional do curso de Eletricista de Redes de Distribuição de Energia Elétrica
Fonte: SENAI-SP (2012)

Saiba que preparamos esse percurso de forma a torná-lo agradável e proveitoso para você.

Assim, nos próximos capítulos deste livro, reunimos todas as informações básicas de que você necessitará para prosseguir seus estudos.

Neles, você vai aprender, por exemplo, um pouco da história do contato do homem com a eletricidade; o que é eletricidade e como ela é gerada; quais são as grandezas fundamentais do circuito elétrico, como tensão, corrente e potência elétrica; o que é um circuito elétrico de corrente contínua e de corrente alternada e como as associações de resistores, capacitores e indutores se comportam neles; os segredos do magnetismo e do eletromagnetismo e sua importância, tanto na geração de energia quanto no funcionamento das máquinas elétricas; a utilização dos principais instrumentos de medidas elétricas.

Esses conhecimentos fornecerão subsídios para que você possa identificar:

- a) grandezas elétricas;
- b) ferramentas, equipamentos e instrumentos de medição adequados para as medições e testes de funcionamento;
- c) características elétricas de materiais, componentes, instrumentos e equipamentos;
- d) princípios de funcionamento dos equipamentos.

Além disso, queremos lembrar que um bom profissional deve cultivar uma série de capacidades que o ajudem a estabelecer um bom ambiente de trabalho, como: ser responsável; cumprir normas e procedimentos; ter consciência prevencionista em relação à segurança, à saúde e ao meio ambiente; ser observador; comunicar-se com clareza; zelar pelas ferramentas; manter concentração; cumprir prazos; ser organizado.

Agora que você aceitou todos esses desafios, vamos desvendar os segredos do maravilhoso mundo da eletricidade! Reunindo teoria e prática, você em pouco tempo verá que não há limites para quem quer aprender. Bons estudos!



Tente imaginar um mundo sem eletricidade assim como fez o historiador inglês Bill Bryson (2011) em seu livro “Em casa”:

Nós já nos esquecemos de como o mundo era dolorosamente escuro antes da eletricidade. Uma vela – uma boa vela – fornece apenas um centésimo da iluminação de uma única lâmpada de cem watts. Abra a porta da geladeira e você verá uma luz mais forte do que o total que havia na maioria dos lares do século XVIII. O mundo à noite, durante grande parte da história, era realmente tenebroso.

É realmente impossível pensar no mundo moderno sem ligá-lo imediatamente a todos os usos que hoje se faz da energia elétrica. Essa afirmação parece muito séria. E nem é preciso pensar muito para prová-la! Comece observando o lugar onde você mora: sua casa, sua rua, seu bairro, sua cidade. Praticamente tudo o que você vê funciona com energia elétrica.

Iluminação, aquecimento, processos industriais, transportes, telecomunicações, lazer, procedimentos médicos, conservação de alimentos são alguns dos campos de aplicação de energia elétrica que tornam nossas atividades diárias mais fáceis, seguras e confortáveis.

São muitos os exemplos de utilização, porém, nem sempre o mundo foi assim! O domínio da eletricidade é recente na história da humanidade, pois foi somente após a invenção de uma lâmpada elétrica comercialmente viável, em 1879, que a energia elétrica entrou definitivamente em nossas vidas.

Ao concluir este capítulo, você terá subsídios para:

- a) conceituar energia;
- b) identificar as diversas formas de energia;
- c) identificar unidades de medida de energia; e
- d) identificar os cientistas que estudaram a eletricidade e desenvolveram as tecnologias de geração e aplicação da energia elétrica, essenciais para o funcionamento das sociedades industriais modernas.

Estude com muita atenção e você logo perceberá que a eletricidade é fundamental para a realização de suas atividades como eletricista de redes de distribuição de energia elétrica.

2.1 A ELETRICIDADE ESTÁ NO AR?

A manifestação mais natural da existência da eletricidade é o relâmpago. E o ser humano reconheceu seu poder desde que passou a observar a natureza para obter dela os seus meios de sobrevivência.

Foi a labareda gerada pela descarga elétrica de um relâmpago sobre um galho de árvore que indicou ao homem o caminho para dominar o fogo.



Figura 2 - Descarga elétrica de um relâmpago

Fonte: SENAI-SP (2012)

Provavelmente, o mais corajoso do grupo pegou um dos galhos em chamas e levou-o para dentro da caverna, apanhou outros galhos e fez uma fogueira. Em seguida, viu como o ambiente ficou quente e confortável. Assim, até que descobrissem outra maneira de obter fogo, era obrigação de todos manter aquela chama acesa pelo maior tempo possível. Dessa maneira, o grupo podia aquecer-se, manter-se longe os predadores, cozer alimentos etc.

Sem saber, o homem pré-histórico estava obtendo uma forma de energia – a **energia térmica** do fogo – a partir de outra forma de energia: a **energia elétrica** presente na descarga do relâmpago. Porém, apesar de saber que esse tipo de força, para ele ainda misteriosa, existia, não tinha ideia de como dominá-la e usá-la em seu favor.

2.2 O QUE É ENERGIA?

Embora a **energia elétrica** seja o foco principal deste curso, é bom saber que ela não está sozinha, pois existem outras formas de energia que facilitam nossa vida.

Mas vamos começar pelo começo. Quando falamos a palavra **energia**, de que exatamente estamos falando?

Veja uma definição, encontrada em de um *site* português na internet:

Energia é... uma propriedade de todo o corpo ou sistema, graças à qual, a sua situação ou estado podem ser alterados ou... podem actuar sobre outros corpos ou sistemas, desencadeando nestes últimos, processos de transformação. (AGENEAL, 2012)

Parece meio difícil de entender essa definição, pois é português de Portugal, mas observe o que é importante nela: as expressões “situação ou estados podem ser alterados” e “desencadeando... processos de transformação” contêm a chave para entendê-la! Elas significam que há um processo de **mudança** quando a energia atua. E o nome dessa mudança é **trabalho**! É importante que você tenha isso em mente.

Ainda está difícil? Então, vamos ao dicionário:

Energia [Do grego *enérgeia*, pelo latim *energia*] *S. f.* Propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho. (DICIONÁRIO Michaelis, 2012)

Parece que já ficou mais fácil, não? Porém, para garantir, veja uma definição bem simples: “Energia é a capacidade que um corpo tem de realizar um trabalho” (SENAI-SP, 2012).

Creemos que essa definição cabe muito bem para a energia elétrica. E fica fácil compreendê-la se pensarmos em quantos tipos de trabalho a energia elétrica pode realizar! Por exemplo: aquecer, resfriar, mover, iluminar.

2.2.1 FORMAS DE ENERGIA

Nas definições de energia que apresentamos na seção anterior, você viu que a energia está **sempre** ligada à palavra **trabalho**. E assim como há várias maneiras de se realizar um trabalho, existem também várias formas de energia, que são:

- a) Energia **potencial**: é aquela que está armazenada em um corpo em **repouso** e que depende de sua posição, e não de seu movimento. Por exemplo, um *skate* no alto de uma rampa tem energia potencial. Quando ele se movimenta, possui energia **cinética**.



Figura 3 - Exemplo de energia potencial
Fonte: SENAI-SP (2012)

- b) Energia **cinética**: é a energia que um corpo em **movimento** possui devido à sua velocidade. É, portanto, a consequência do movimento. A energia do pé de um jogador de futebol, quando ele chuta a bola, é cinética e realiza o trabalho de levantar a bola do chão, apesar de existir a força da gravidade.



Figura 4 - Exemplo de energia cinética
Fonte: SENAI-SP (2012)

- e) Energia **química**: é a energia que aparece nas ligações responsáveis pela estrutura da matéria. Portanto, ela se dá no nível das interações entre moléculas. Isso acontece, por exemplo, quando certos corpos são colocados em contato e sua interação química provoca uma reação. É o caso das pilhas e das baterias, que transformam a energia química da interação entre os materiais contidos no seu interior em energia **elétrica**.

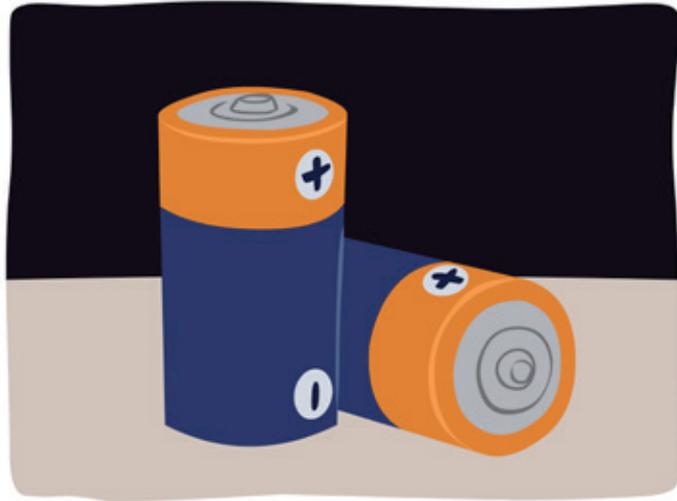


Figura 7 - Exemplo de energia química
Fonte: SENAI-SP (2012)

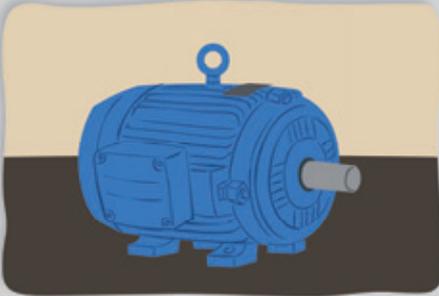


VOCÊ SABIA?

A energia química é responsável pelo desenvolvimento dos seres vivos. Um exemplo disso é a **fotosíntese**, que permite o armazenamento da energia da radiação solar em moléculas posteriormente usada nos processos de respiração e crescimento das plantas. Outro exemplo é a transformação do alimento que ingerimos em energia para as células.

- f) Energia **elétrica**: é um fenômeno físico originado por cargas elétricas estáticas ou em movimento e pela interação entre elas. Trata-se de uma forma de energia que pode ser transformada facilmente em outros tipos de energia. Essa transformação ocorre em equipamentos elétricos denominados **consumidores de energia** ou **receptores de energia** ou **carga**. Veja no quadro a seguir alguns exemplos das transformações da energia elétrica ocorridas em alguns tipos de consumidores.

Quadro 1 – Efeitos da energia elétrica em diversos tipos de consumidores

CONSUMIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA	ENERGIA OBTIDA	EXEMPLOS DE EFEITOS DE FORMAS DE ENERGIA
Motor elétrico	Mecânica	 <p data-bbox="708 781 1058 808">Efeito – movimento circular (rotação)</p>
Ferro de passar	Térmica	 <p data-bbox="817 1167 951 1193">Efeito térmico</p>
Lâmpada	Luminosa	 <p data-bbox="810 1581 957 1608">Efeito luminoso</p>
Bateria do celular em carga	Química	 <p data-bbox="817 1991 951 2018">Efeito químico</p>

Perceba que a palavra **eletricidade** refere-se a um fenômeno físico, como a luz e o calor. A expressão **energia elétrica**, por outro lado, refere-se ao **uso** da eletricidade para gerar **trabalho**.



VOCÊ SABIA?

A energia não pode ser criada nem destruída. Esse é o enunciado da **Lei da conservação de energia**, que trata da capacidade de uma forma de energia **transformar-se** em outra, como você estudou na seção anterior.



CASOS E RELATOS

As aulas de Física são bem mais interessantes quando o professor é criativo e consegue atrair a atenção de seus alunos lançando desafios que ponham a criatividade para funcionar.

Um desses professores, após ensinar a seus alunos o conceito de energia e as diversas maneiras de gerá-la, organizou uma pequena exposição. Nela, os alunos teriam de demonstrar seus conhecimentos criando, a partir de materiais simples, conjuntos capazes de movimentar uma hélice com a força da água corrente ou, então, usar fogo para aquecer água, gerando vapor, que movimentaria o dínamo de uma bicicleta, por exemplo.

Um dos alunos realmente fez muito sucesso com o seu trabalho! Usando uma calculadora que funcionava com uma bateria solar demonstrou que ela poderia funcionar com uma fonte de energia bastante inusitada!

Ele retirou a célula solar da bateria, pegou uma batata da despensa da mãe e espetou um pequeno pedaço zinco em uma das pontas da batata e um pedaço de cobre na outra. Isso formou uma bateria geradora de energia química na qual a condução da eletricidade era feita pelo ácido da batata!



FIQUE ALERTA

Devido à quantidade de acidentes com eletricidade, o governo brasileiro atualizou a Norma Regulamentadora 10 (NR10) – **Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Ela foi editada pela primeira vez por meio da portaria GM nº 3214, de 8 de junho de 1978, e atualizada em 7 de dezembro de 2004 pela portaria GM nº 598, estabelecendo as condições mínimas de medidas de controle para garantir a segurança e a saúde de quem trabalha com eletricidade.

2.3 UNIDADES DE MEDIDA DE ENERGIA

Depois de aprender o conceito de energia e de quantas formas de energia dispomos, chegou a hora de saber que toda grandeza física pode ser medida. São exemplos de grandeza física o calor, o frio, a largura, o comprimento, a energia.

Para medir o calor ou o frio, usa-se um termômetro. Para medir a largura ou o comprimento, usa-se uma trena. Outras grandezas, porém, exigem instrumentos específicos mais complexos para sua medição e têm, também, unidades de medidas específicas.

Existe um sistema que reúne e padroniza todas as unidades de medida de grandezas físicas. É o **Sistema Internacional de Unidades**, conhecido pela sigla **SI**.

As grandezas reunidas no SI têm, além de prefixos, os símbolos e os fatores multiplicadores (múltiplos e submúltiplos). Veja a tabela a seguir.

Tabela 1 – Prefixos, símbolos e fatores multiplicadores SI

PREFIXO SI	SÍMBOLO	FATOR MULTIPLICADOR
giga	G	$10^9 = 1.000.000.000$
mega	M	$10^6 = 1.000.000$
quilo	k	$10^3 = 1.000$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
micro	μ	$10^{-6} = 0,000\ 001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
pico	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$

Vamos começar a estudar as unidades SI conhecendo a unidade de medida de energia, que se chama **joule** e é representada pela letra **J**. É provável que você já a conheça, pois ela aparece em todas as embalagens de alimentos que encontramos nas prateleiras dos supermercados.

O joule faz parte das informações nutricionais de todo alimento industrializado que você compra e consome, pois serve para indicar a quantidade de energia fornecida por determinada porção de alimento. Assim, por exemplo, você poderá encontrar em uma caixinha de suco uma tabela parecida com esta:

Tabela 2 – Informação nutricional de embalagem de suco

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
QUANTIDADE POR PORÇÃO DE 200 ML (1 COPO)		% VD (*)
Valor energético	101 kcal = 424 kJ	5
Carboidratos	24 g	8
Proteína	0,7 g	1
Sódio	30 mg	1

(*) Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2000 kcal ou **8400 kJ**.

Na tabela 2, você deve ter percebido dois números seguidos de duas letras: **kJ**. Observando o quadro que apresenta os prefixos e símbolos do sistema SI, você verá que a letra **k** corresponde ao prefixo **quilo** que, por sua vez, tem como fator multiplicador 10^3 ($10 \times 10 \times 10$, ou 1.000).

Isso significa que o suco com o valor energético de 424 **kJ** (lê-se **quilojoule**) tem, na verdade, um valor energético de 424.000 joules. O prefixo **quilo** tem, portanto, a função de evitar que precisemos escrever todos os zeros do número. Prático, né? Maravilhas da matemática!

Para quem quer se tornar um electricista de redes de distribuição de energia elétrica, é muito importante conhecer os prefixos e também os múltiplos e submúltiplos do **SI**. Eles serão muito usados quando for necessário medir as grandezas elétricas.

Isso nos lembra de que o foco do estudo deste curso é uma forma de energia muito usada e que é uma conquista tecnológica muito recente na história da humanidade: a energia elétrica! E até que se chegasse a medir grandezas elétricas, um longo caminho foi percorrido e muitos fatos importantes aconteceram. É o que você vai estudar na próxima seção.

2.4 COMO O HOMEM CONHECEU A ENERGIA ELÉTRICA

A palavra **eletricidade** tem origem em uma palavra do grego *elektron*, que dá o nome a uma resina de origem vegetal chamada âmbar, usada por um filósofo grego no século VI a.C. É aí que começa a história da relação entre o ser humano e a eletricidade.

Se fizermos as contas, considerando que isso significa um período de quase 2.600 anos até hoje, veremos que a nossa história com essa forma de energia é muito antiga. Porém, antes que conseguíssemos fazer um uso prático e regular da energia elétrica, passaram-se 2.470 anos!

O que aconteceu nesse período? Será que a humanidade estava dormindo? Nada disso! Estávamos cuidando de nossas vidas, tentando sobreviver. Como não havia conhecimento, conseqüentemente, nem tecnologia suficientes para controlar essa força da natureza, íamos sobrevivendo como podíamos.

Foi graças à curiosidade, à disciplina e a muito estudo que os cientistas nos ajudaram a entender a eletricidade, principalmente a partir do século XIX. Esses homens dedicaram suas vidas às pesquisas sobre esse ramo de conhecimento. São exemplos de dedicação à ciência que devem ser lembrados por todo o legado de conforto que nos deixaram.



SAIBA MAIS

Vale a pena ler a biografia dos cientistas que contribuíram para o desenvolvimento do uso da energia elétrica. Entre os cientistas que você vai conhecer a seguir, há um encadernador, um tintureiro e um inventor, que era um grande empreendedor. Descubra quem são eles consultando *sites* de busca na internet.

O quadro a seguir resume os principais eventos que resultaram no uso da energia elétrica em nosso dia a dia. Ele reúne informações que respondem às perguntas: Quem? Quando? Onde? O quê?

Ao estudá-lo, preste bem atenção aos nomes e aos conceitos que aparecem, pois você os verá e os utilizará durante todo o curso.

Quadro 2 – Eventos históricos relacionados à energia elétrica

QUEM? ONDE? QUANDO?	O QUÊ?
Tales de Mileto Grécia Antiga Século VI a.C.	Esfregou um pedaço de âmbar – uma resina vegetal petrificada – em lã ou pelo de animais e percebeu que a resina adquiria o poder de atrair objetos leves, como penas, palha e pequenos pedaços de madeira.
William Gilbert Inglaterra Século XVII (1600)	Foi o primeiro a estudar sistematicamente a eletricidade e o magnetismo. Escreveu um livro chamado <i>De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure</i> , no qual explica que outros materiais, e não só o âmbar, tinham a capacidade de atrair corpos. Ele chamou essa força de “força elétrica” e de “elétricos” os objetos com essa capacidade.
Otto von Guericke Alemanha Século XVII (1672)	Inventou uma máquina eletrostática que gerava cargas elétricas. Era uma esfera de enxofre atravessada por um eixo, que era ligado a uma manivela. O atrito da bola de enxofre com o chão fazia a esfera acumular eletricidade estática, que podia ser descarregada na forma de faíscas.
Stephen Gray Inglaterra Século XVIII (1730)	Gray eletrizava corpos de diversos materiais e tocava-os com barras e fios, observando em que condições os efeitos elétricos apareciam ao longo deles. Esses experimentos contribuíram para a descoberta da condução da eletricidade. São deles os conceitos de condutores e isolantes elétricos.
Charles du Fay França Século XVIII (1733)	Comprovou a existência de dois tipos de força elétrica: uma de atração e outra de repulsão, dando a elas os nomes de “eletricidade vítrea” e “eletricidade resinosa”.
Benjamin Franklin Estados Unidos Século XVIII (1752)	Demonstrou que o relâmpago é um fenômeno elétrico resultado do desequilíbrio elétrico entre a nuvem e o solo. Para isso, usou uma pipa (ou papagaio) em um dia de tempestade, obtendo efeitos elétricos por meio da linha. Essa descoberta resultou na invenção do para-raios.
Alexandre Volta Itália Século XIX (1800)	Inventou a pilha elétrica empilhando discos de cobre e zinco separados por tecido embebido em solução de ácido sulfúrico. Sempre que fios condutores eram colocados na extremidade da pilha de discos, esta produzia eletricidade. A unidade de medida de potencial elétrico chama-se Volt (V) em homenagem a este cientista.
Hans Christian Ørsted Dinamarca Século XIX (1820)	Percebeu que há uma ligação entre o magnetismo e a eletricidade observando que a agulha de uma bússola move-se ao ser colocada junto a um condutor eletrizado. Ele lançou as bases do estudo do eletromagnetismo.
André M. Ampère França Século XIX (1820)	Com seus estudos, percebeu a ação magnética das correntes elétricas e estabeleceu as leis do eletromagnetismo. A unidade de medida da corrente elétrica recebeu o nome de Ampère (A) em homenagem a este cientista.

Joseph Henry Estados Unidos Século XIX (1827)	A partir de experiências com o eletromagnetismo, descobriu o conceito de indução elétrica. Assim, construiu o primeiro motor elétrico.
Georg Simon Ohm Alemanha Século XIX (1827)	Desenvolveu a Teoria dos Circuitos, que inclui a Lei de Ohm. A unidade de medida de resistência elétrica é denominada Ohm (Ω) em homenagem a este cientista.
George Westinghouse e Nikola Tesla Estados Unidos Século XIX (1895)	Construíram a primeira usina hidroelétrica em Niagara Falls que gerava e distribuía energia elétrica em corrente alternada, o que permitia levar a eletricidade a mais de 300 quilômetros de distância.



VOCÊ SABIA?

Os primeiros condutores de energia elétrica, usados nos experimentos dos cientistas, eram feitos de ferro e não tinham qualquer proteção. Depois, o cobre começou a ser usado, mas somente a partir de 1850 os fios foram recobertos por material isolante: na forma de uma camada de guta-percha (uma espécie de goma vegetal) vulcanizada ou de tecido.

Como foi possível mostrar no Quadro 2, descobrir como produzir e usar a eletricidade de forma prática, segura e barata não foi tarefa fácil. E, apesar das inegáveis vantagens desse tipo de energia, muitas pessoas tinham medo de utilizá-la por causa dos choques elétricos.

Além disso, o custo do fornecimento de energia elétrica era muito alto! Em 1882, os apenas 82 clientes da pequena usina de energia de Thomas Edison, que ficava em Nova York, pagavam (em valores de hoje) cinco dólares por quilowatt-hora de energia fornecida.

Felizmente, hoje o uso da eletricidade nas sociedades modernas cria um grande mercado de trabalho para quem tem conhecimentos nessa área. E quem a escolheu como área de estudo tem muitas oportunidades a serem aproveitadas.



RECAPITULANDO

Neste capítulo, estudamos o conceito de energia e quais são as formas de energia que facilitam a vida moderna.

Em seguida, você conheceu o joule, que é a unidade de medida de energia, e aprendeu que todas as medidas de grandezas físicas são padronizadas e estão reunidas no Sistema Internacional de Unidades, possuindo prefixos, símbolos e fatores multiplicadores que são usados e reconhecidos internacionalmente.

Por fim, apresentamos um resumo dos estudos e das invenções mais importantes que compõem a história da relação do homem com a eletricidade, desde a Antiguidade até o fim do século XIX. Foi nessa época que se estabeleceram as bases teóricas que resultaram em inventos como a lâmpada elétrica, o gerador e o motor, ou seja, a base para todo o uso que hoje fazemos da energia elétrica.



A vida moderna só pode ser chamada de “moderna” se tivermos acesso aos confortos proporcionados pelo uso da energia elétrica. E, como vimos no capítulo anterior, muito tempo se passou antes que o homem conseguisse utilizar a eletricidade para esse fim.

O verdadeiro impulso para o uso da energia elétrica só aconteceu quando os cientistas começaram a estudar de que é feita a **matéria**. Isso resultou no conhecimento das propriedades dos materiais, na identificação de materiais condutores e isolantes e na sua melhor utilização.

Neste capítulo, vamos estudar e entender a composição da matéria, o que acontece dentro das moléculas e dos átomos e qual é a relação disso com a existência da eletricidade. Vamos aprender que existem materiais capazes de conduzir a eletricidade e materiais que impedem seu fluxo. Descobriremos o que é a tensão elétrica e a sua unidade de medida, as fontes geradoras de energia elétrica e como é gerada a energia elétrica que chega até nossas casas.

Depois de estudar este capítulo, você terá subsídios para:

- a) explicar a composição da matéria a partir de suas moléculas e dos átomos que as compõem;
- b) entender como a eletricidade acontece por meio da interação das partículas que constituem os átomos;
- c) identificar os tipos de eletricidade que se pode gerar; e
- d) saber como é gerada a energia elétrica que consumimos e quais são os impactos ambientais que isso gera.

Estude tudo com atenção, pois o conteúdo deste capítulo é fundamental para prosseguir em sua caminhada dentro do fascinante mundo da eletricidade, além de ser um conhecimento básico e essencial para o eletricitista de redes de distribuição de energia elétrica.

3.1 COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA

Tudo o que existe no universo é constituído de **matéria**: desde as maiores galáxias, os planetas, as estrelas e os corpos celestes situados nos seus pontos mais afastados, até a menor partícula de poeira.

Por isso, o estudo da eletricidade ficará mais fácil se antes entendermos de que a matéria é composta. Isso porque os fenômenos elétricos acontecem dentro das minúsculas partículas que a compõem.

Neste momento, você pode perguntar: afinal, de que a matéria é feita? Acompanhe a explicação.

Buscando conhecer o mundo que o rodeava, o homem foi capaz de criar muitas teorias a respeito de como surgiram o céu e a terra e de que se compõe toda a matéria que está a nossa volta.

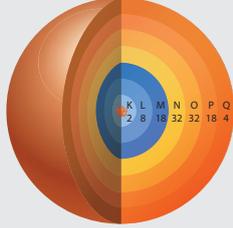
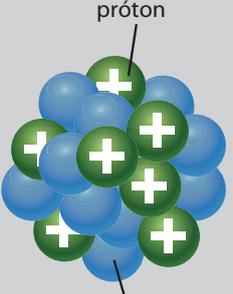
Os gregos foram os primeiros a criar uma teoria que considerava o átomo a menor partícula de que a matéria é composta.



VOCE SABIA?

A palavra átomo é de origem grega e quer dizer **indivisível**. Quem a usou, por volta do ano 400 a.C., para explicar que o átomo constitui toda e qualquer matéria, foi um filósofo grego chamado Demócrito de Abdera. Ele é considerado o pai do atomismo grego. Sabendo-se que essa ideia surgiu há mais ou menos uns 2.500 anos, pode-se perceber como essa teoria era revolucionária!

No século XIX, vários cientistas se interessaram pelo assunto e, a partir de 1897, as teorias foram desenvolvidas com a ajuda de testes experimentais. O quadro a seguir resume o que se descobriu sobre os átomos.

 <p>Niels Bohr Inglaterra (1912)</p>	<p>Bohr organizou os elétrons em sete camadas, ou níveis, de energia. Cada camada tem um número máximo de elétrons e recebeu uma letra para identificá-la: K, L, M, N, O, P, Q. A camada mais distante do núcleo (camada externa) é a Q.</p>	 <p>Átomo de Bohr</p>
 <p>James Chadwick Inglaterra (1932)</p>	<p>Chadwick descobriu uma partícula que tinha aproximadamente a mesma massa de um próton, mas não era eletricamente carregada. Ela recebeu o nome de nêutron, por ser eletricamente neutra.</p>	 <p>Núcleo do átomo de Chadwick</p>

Fonte: Wikimedia Commons (2012) (fotografias); SENAI-SP (2012) (esquemáticos)

Estudando o quadro, vemos que toda matéria constitui-se de átomos. Percebemos, também, que o átomo **não** é indivisível, como os gregos pensavam.

Podemos aprender algo mais com esse quadro. Algumas **palavras-chave** aparecem nele. Além de **matéria** e átomo, aparecem os termos **elétrons**, **prótons**, **nêutrons**, **cargas elétricas**. Guarde bem essas palavras, pois elas têm tudo a ver com o que iremos estudar neste capítulo.

3.2 A MOLÉCULA E O ÁTOMO

Já vimos na seção anterior que os cientistas provaram que toda a matéria é composta por átomos constituídos por um núcleo central de carga **positiva** (os **prótons**) e de carga **neutra** (os **nêutrons**) ao redor do qual se movimentam os **elétrons**, que são as partículas de carga **negativa**.

Porém, um átomo sozinho não faz a matéria. É aí que entra a **molécula**.

Nas aulas de química, aprendemos que uma **molécula** é a **menor** partícula em que se pode dividir uma substância mantendo-se, ainda, as mesmas características da substância que a originou.

Por exemplo, uma gota de água pode ser dividida continuamente até chegarmos à **molécula de água**, que é a menor partícula que conserva as características originais da água. Essa molécula é formada por **dois átomos de hidrogênio** e **um átomo de oxigênio**, portanto, sua fórmula química é H_2O .

Veja a seguir uma representação de uma molécula de água.

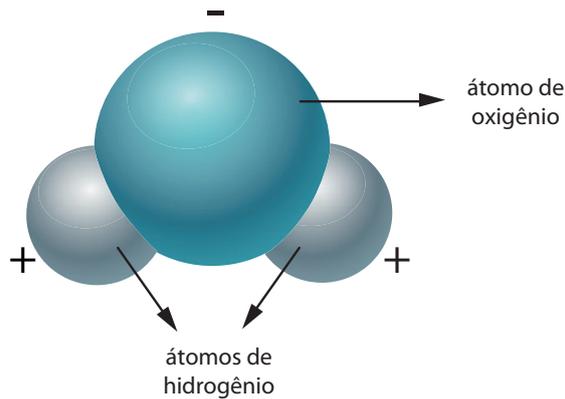


Figura 8 - Molécula de água
Fonte: SENAI-SP (2012)

Embora os átomos que formam as moléculas sejam compostos por partículas menores, para todos os efeitos eles são considerados uma **unidade fundamental** que apresenta algumas particularidades. Elas são:

- O átomo **não** tem **carga** porque o número de prótons é **igual** ao número de elétrons.
- Todos os átomos de um dado **elemento** são iguais. Por isso, um elemento e seu átomo recebem o **mesmo** nome. Assim, o elemento oxigênio é composto de átomos de oxigênio.

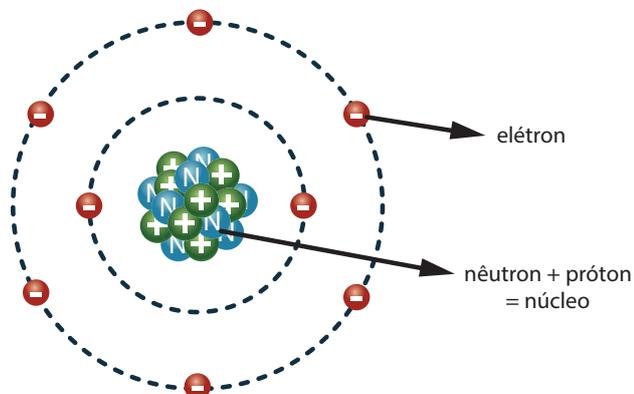


Figura 9 - Átomo de oxigênio
Fonte: SENAI-SP (2012)

¹ VALÊNCIA

A palavra **valência** significa capacidade de combinação que se refere à facilidade que os elétrons dessa camada têm de se desprenderem de seu átomo de origem.

- c) Uma grande força de atração mantém os nêutrons e prótons unidos, formando um corpo denso chamado **núcleo**. Os prótons têm carga elétrica **positiva** e os nêutrons **não** têm carga elétrica.
- d) Os elétrons têm carga **negativa**. Possuem quantidades pequenas e específicas de energia e localizam-se dentro de um conjunto de níveis de energias eletrônicas. Isso os impede de serem atraídos para o núcleo, mesmo tendo uma carga elétrica **diferente** da dele.
- e) Um **elétron** com uma determinada quantidade de energia localiza-se **em torno do núcleo**, em uma região chamada de **orbital**.
- f) **Orbital**, no átomo, é uma região do espaço em que, sob a ação do **núcleo**, o elétron com uma dada energia pode ser encontrado.
- g) Os elétrons movem-se com **elevada velocidade** em torno dos respectivos núcleos e **sem** trajetórias definidas.

Portanto, o modelo de átomo aceito atualmente compreende duas regiões:

- a) um **núcleo** minúsculo que contém **toda** a carga positiva e praticamente **toda a massa** do átomo; e
- b) uma região **fora do núcleo** que possui forma de **nuvem** e é composta, **principalmente**, de **espaço vazio**. É nessa nuvem que estão os elétrons.

De acordo com essa ideia, a representação do átomo seria semelhante à mostrada na próxima figura.

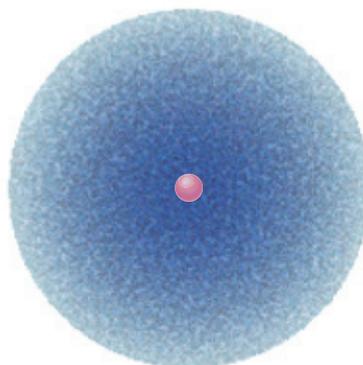


Figura 10 - Nuvem eletrônica do átomo de hidrogênio

Fonte: SENAI-SP (2012)



**VOCÊ
SABIA?**

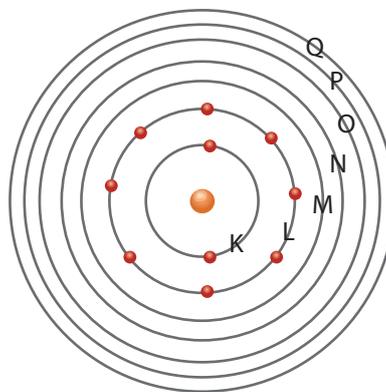
Para se ter uma ideia do tamanho do núcleo em relação ao restante do átomo, basta imaginar um átomo que pudesse ser tão grande a ponto de o seu núcleo ser do tamanho de uma bola de tênis. Neste caso, o átomo teria um diâmetro de mais ou menos 6,4 quilômetros!

Dentro da nuvem, que você viu representada na figura 10, os elétrons estão distribuídos em camadas ou níveis energéticos. De acordo com o número de elétrons presente em cada camada, ela pode apresentar de 1 a 7 níveis energéticos, denominados por Niels Bohr – como você já viu – de K, L, M, N, O, P e Q. A camada **K** é a que está **mais próxima** do núcleo e a camada **Q** é a que está **mais distante** dele.

Dependendo da quantidade de elétrons do átomo, ele pode ter um ou vários níveis energéticos, cada um com uma **quantidade específica** de elétrons. Isso pode ser visto na figura 11a, na qual a quantidade de elétrons de cada nível aparece abaixo de cada letra indicadora da camada. A título de curiosidade, na figura 11b você pode ver um outro modo de representar os níveis eletrônicos de energia.



a) Níveis eletrônicos de energia propostos por Bohr



b) Níveis eletrônicos de energia: outro modo de representar

Figura 11 - Maneiras de representar os níveis de eletrônicos de energia

Fonte: SENAI-SP (2012)

A esta altura, você já deve estar se perguntando por que estudar moléculas, átomos, núcleos, elétrons, orbitais. Observe que a próxima informação mostrará que o que estudamos até agora começa a fazer muito sentido.

A distribuição dos elétrons nas diversas camadas obedece a regras definidas. A regra **mais importante** para a sua área refere-se ao nível energético **mais distante** do núcleo, ou seja, a **camada externa (Q)**. Nessa região podem ser encontrados **no máximo** oito elétrons.

Os elétrons da camada mais distante do núcleo são chamados de **elétrons livres**, pois têm uma certa facilidade de se **desprender** de seus átomos. Todas as reações químicas e **elétricas** – e são essas as que nos interessam – acontecem na camada externa, chamada de **nível**, ou **camada de valência**¹.

Veja na figura a seguir uma representação esquemática do que acontece quando um elétron livre se desprende da camada de valência.

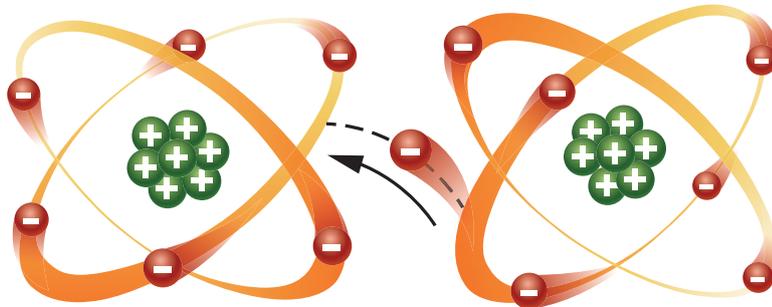


Figura 12 - Representação esquemática do comportamento do elétron livre

Fonte: SENAI-SP (2012)

Por essa razão, a teoria eletroeletrônica estuda o átomo **apenas** no aspecto da sua eletrosfera, ou seja, naquela região periférica, ou **orbital**, em que estão os elétrons.

Isso nos leva a outro conceito que nos interessa para a teoria eletroeletrônica: o íon.

O íon é o átomo em **desequilíbrio**. O desequilíbrio é causado **sempre** que forças externas, sejam **magnéticas**, **térmicas** ou **químicas**, atuam sobre o átomo, fazendo com que o número de elétrons seja **maior** ou **menor** que o número de prótons.

O **íon** pode ser:

- negativo**, chamado de **ânion**: é o átomo que **recebeu** elétrons.
- positivo**, chamado de **cátion**: é o átomo que **perdeu** elétrons.

Vamos relembrar que a **transformação** de um átomo em íon ocorre devido às **forças externas** ao próprio átomo. Uma vez cessada a causa externa que originou o íon, a tendência **natural** do átomo é atingir novamente o equilíbrio elétrico. E para alcançá-lo, ele **cede** os elétrons que estão em **excesso** ou **recupera** os que foram perdidos. Isso tem tudo a ver com a eletricidade e com os tipos de materiais que conduzem ou isolam a eletricidade.

3.3 MATERIAIS CONDUTORES E MATERIAIS ISOLANTES

A **facilidade** ou a **dificuldade** de os elétrons livres libertarem-se ou deslocarem-se entre as camadas de energia determina se o material é **condutor** ou **isolante**.

Como já estudamos neste capítulo, os elétrons encontrados na camada de valência recebem o nome de **elétrons de valência** e são eles que, geralmente, participam das reações químicas e dos fenômenos elétricos.

Os átomos que têm 1, 2 ou 3 elétrons de valência têm a **facilidade** de **ceder** elétrons. Os átomos com 5, 6 ou 7 elétrons de valência têm facilidade de **ganhar** elétrons. Os átomos com 4 elétrons de valência geralmente **não ganham nem perdem** elétrons.

O quadro a seguir identifica alguns elementos com essas propriedades.

Quadro 4 – Elementos e seus elétrons de valência

ELEMENTO	SÍMBOLO	QUANTIDADE DE ELÉTRONS DE VALÊNCIA	PROPRIEDADE
Sódio	Na	1	Facilidade em ceder elétrons.
Cobre	Cu	2	
Cálcio	Ca		
Alumínio	Al	3	
Gálio	Ga		
Índio	In		
Boro	B	4	Não ganham nem perdem elétrons.
Silício	Si		
Germânio	Ge	5	Facilidade em ganhar elétrons.
Antimônio	Sb		
Arsênio	As		
Fósforo	P		
Oxigênio	O		
Cloro	Cl	7	

O que caracteriza um material, por exemplo, o cobre, como bom **condutor** de eletricidade, portanto, é o fato de os elétrons de valência dos átomos estarem **fracamente** ligados ao núcleo, podendo ser **facilmente deslocados**. Isso permite a **movimentação** de cargas elétricas no interior do material. Os **condutores elétricos** mais comuns são os **metais**.

Isso significa que, se uma força capaz de impulsionar os elétrons for aplicada a uma barra de cobre, fará com que os **elétrons de valência** de **todos** os átomos de cobre se desloquem, originando uma corrente elétrica no material. Esses elétrons são comumente chamados de **elétrons livres**, ou elétrons **de condução**.

De forma oposta, os materiais **isolantes** devem corresponder aos materiais que apresentam os elétrons de valência **rigidamente** ligados aos núcleos de seus átomos.

Se, por exemplo, for aplicada uma tensão elétrica ao cloro, pelo fato de seus elétrons estarem **fortemente ligados** ao núcleo, não haverá a condução da eletricidade.



VOCÊ SABIA?

Até o corpo humano é condutor de eletricidade. Isso acontece porque o nosso corpo é composto de múltiplas substâncias condutoras. Se não fosse assim, ninguém morreria ao receber uma descarga elétrica de um relâmpago.

Na verdade, a divisão entre materiais condutores e materiais isolantes não é totalmente correta, pois até mesmo os materiais isolantes podem conduzir eletricidade, afinal, todos são compostos de átomos e todos têm elétrons. O certo é que há materiais que são **bons** ou que são **maus** condutores de eletricidade.

Sob esse ponto de vista, os **metais** são os **melhores condutores** e as substâncias compostas, como a borracha, a cerâmica, o vidro, as resinas, a madeira e o plástico, são os melhores **isolantes**, porque são **péssimos** condutores de eletricidade.

Alguns poucos materiais, por exemplo, o silício e o germânio, fazem parte de uma **terceira categoria de materiais**. Eles são os **semicondutores**, que são essenciais para o desenvolvimento e a fabricação de componentes **eletrônicos**. Sem eles, o computador não existiria. E sem a eletricidade, também não.



SAIBA MAIS

Em Eletrônica, estudamos os semicondutores, o tipo de material que é a base para o funcionamento dos circuitos eletrônicos tanto de uma simples calculadora como de um sistema para fazer um avião funcionar. Entre em um site de busca, escreva a palavra "semicondutor" e veja como esse material funciona em relação às suas valências e à passagem de corrente elétrica.



CASOS E RELATOS

Em uma grande empresa, os equipamentos não funcionam com uma alimentação de 220V, como ocorre em uma residência. Lá, normalmente, os equipamentos necessitam de muito mais energia – de 2400 V para cima.

Em um dia de chuva, um equipamento de uma siderúrgica, cuja alimentação era de 2400 V, estava desligando automaticamente por proteção e acusava defeito no sistema.

O eletricitista de plantão foi verificar as condições da máquina para ter certeza de que o equipamento não tinha sido afetado pela chuva e nada de anormal foi encontrado. Decidiu, então, substituir o sistema de proteção. Após a troca, o equipamento voltou a funcionar normalmente.

Como procedimento de rotina após a substituição de qualquer circuito, o eletricitista realizou testes no sistema de proteção. Ao efetuar a medição, verificou que haviam acontecido mudanças nas características do material isolante. A presença de pequenas gotas de chuva havia transformado o material isolante em condutor, provocando, assim, o defeito.

3.4 O QUE É ELETRICIDADE?

Usamos a eletricidade para quase tudo, às vezes sem nem perceber. Sempre que, por exemplo, tomamos um banho quente de chuveiro, aquecemos nosso sanduíche no micro-ondas, tocamos nossa música favorita, assistimos ao jogo do nosso time na televisão, elétrons invisíveis a olho nu realizam todo o trabalho por nós.

Embora a eletricidade seja invisível, podemos entender como ela acontece por meio dos estudos sobre átomos e elétrons que acabamos de realizar. Atente, agora, para a definição de eletricidade!

A **eletricidade** é uma forma de **energia natural** baseada na capacidade de **atração e repulsão de prótons e elétrons**.

Todavia, ainda não existe uma maneira de ver os elétrons se movimentando dentro de um condutor. Por isso dizemos que a eletricidade manifesta-se por meio de seus **efeitos**, que, como já vimos, podem ser térmicos, luminosos, magnéticos.

Para avançarmos um pouco mais, é importante que você saiba que existem **dois** campos de estudo da eletricidade:

- a) a **eletrostática**, que estuda os fenômenos elétricos resultantes das cargas elétricas **em repouso**; e
- b) a **eletrodinâmica**, que estuda os fenômenos elétricos resultantes das cargas elétricas **em movimento**.

Na próxima seção deste capítulo, estudaremos os princípios da **eletrostática**, pois precisamos compreendê-los para prosseguirmos nos estudos.

2 SOMA ALGÉBRICA

Operação em que adicionamos ou subtraímos números positivos e números negativos em uma só operação.

3.5 ELETROSTÁTICA

Na eletrostática, ou eletricidade estática, estudam-se as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso nos **corpos eletrizados**.

E, para entender o conceito de corpos eletrizados, vamos lembrar que, em condições **normais**, **qualquer** porção de matéria é eletricamente **neutra**. Isso quer dizer que, para que essa condição seja mudada, é necessário que alguma **força externa atue** sobre o material. Se isso não acontecer, o número total de prótons e elétrons de seus átomos ficará em **equilíbrio**.

Mas há um modo de “quebrar” esse equilíbrio. Para isso, basta submeter um corpo eletricamente neutro a um processo de **eletrização**.

Na eletrização, o corpo pode **ganhar** ou **perder** elétrons, conforme descrito a seguir.

- Se ele **ganha** elétrons, torna-se **negativamente** eletrizado, porque os elétrons são partículas de carga negativa.
- Se ele **perde** elétrons, torna-se **positivamente** eletrizado, porque ficou com uma quantidade **menor** de partículas negativas e **maior** de partículas **positivas**.

Uma vez eletrizados, os corpos adquirem a capacidade de **atrair** (efeito de **atração**) ou **afastar** (efeito de **repulsão**) outros corpos eletrizados. O efeito de atração acontece quando as cargas elétricas dos corpos eletrizados têm **sinais contrários**. O efeito de repulsão acontece quando as cargas elétricas dos corpos eletrizados têm **sinais iguais**.

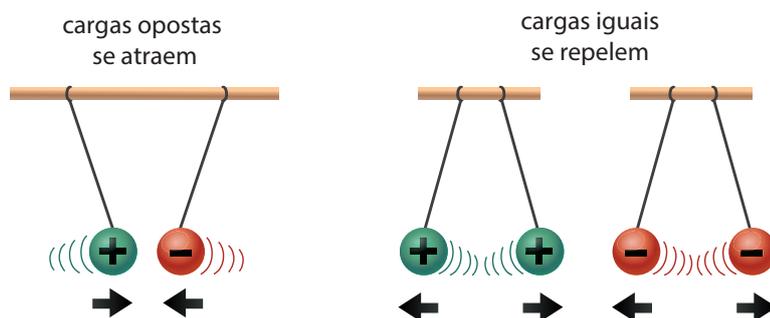


Figura 13 - Efeito de atração e efeito de repulsão de corpos eletrizados

Fonte: SENAI-SP (2012)

Isso acontece porque tanto os elétrons como os prótons criam, em torno de si, uma região de influência chamada de **campo de força**. Quando **um elétron** e **um próton** aproximam-se o suficiente para que seus **campos de força** possam influir um sobre o outro, eles **atraem-se** mutuamente. Mas se **dois elétrons** põem em

contato seus campos de força, eles se **repelem**, o que também acontece quando dois elétrons se aproximam.

Alguns dos processos de eletrização mais comuns são:

- eletrização **por atrito**;
- eletrização **por contato**; e
- eletrização **por indução**.

Eletrização por atrito

Quando atritamos dois materiais isolantes **neutros**, um contato **intenso** acontece entre partes deles. Esse contato permite a troca de elétrons de tal forma que o corpo que **cede** elétrons fica **positivamente eletrizado**, enquanto o corpo que **recebe** elétrons fica **negativamente eletrizado**.

Assim, se atritarmos um bastão de **vidro** com um pedaço de tecido de **lã**, os elétrons do bastão serão cedidos para a **lã** e o bastão ficará carregado **positivamente** enquanto a lã ficará carregada **negativamente**. Veja figura a seguir.

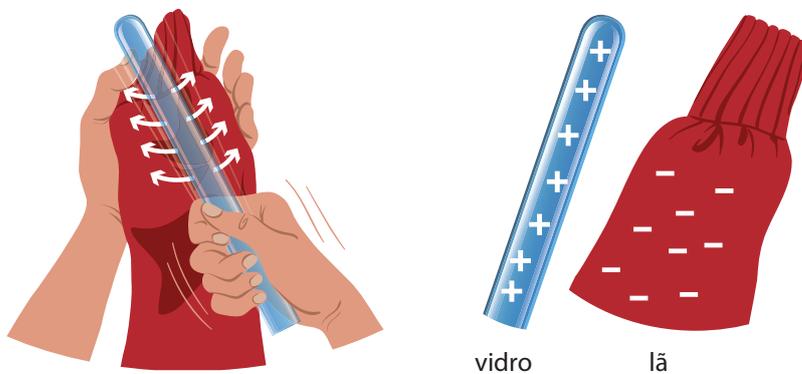


Figura 14 - Eletrização por atrito
Fonte: SENAI-SP (2012)

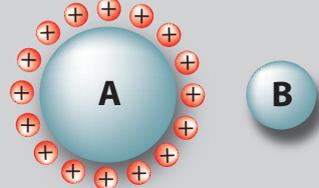
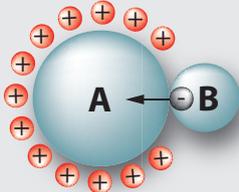
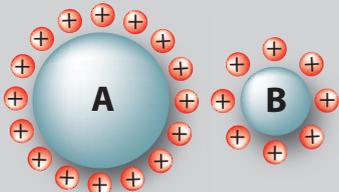
Isso aconteceu porque os elétrons dos átomos do vidro estão **menos** fortemente ligados que os elétrons dos átomos da **lã**. Mesmo que os dois materiais sejam inicialmente **neutros**, após o atrito eles adquirem cargas de **mesmo valor absoluto** e **sinais opostos**.

Essas cargas têm os **mesmos** valores absolutos e sinais opostos porque, em um sistema **eletricamente isolado**, a soma algébrica³ das quantidades de cargas positivas e negativas é constante. Isso é conhecido como **princípio de conservação de cargas elétricas**.

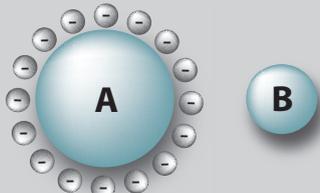
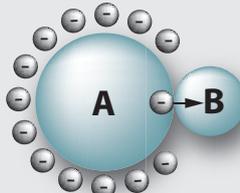
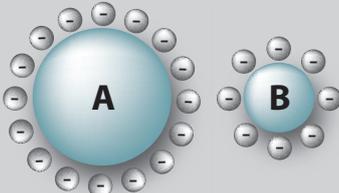
Eletrização por contato

Se colocarmos em contato dois materiais condutores, sendo um deles positivamente ou negativamente **eletrizado** (material A) e o outro **neutro** (material B), este ficará com carga de **mesmo sinal** que o eletrizado (A). Vejamos as figuras a seguir.

Quadro 5 – Material A, com carga elétrica positiva

	<p>Material A (positivo) e material B (neutro) isolados e afastados</p>
	<p>Colocando-se os materiais em contato por um breve tempo, os elétrons livres irão de B para A.</p>
	<p>Após o processo, A e B ficam com a mesma carga positiva.</p>

Quadro 6 – Material A, com carga elétrica negativa

	<p>Material A (negativo) e material B (neutro) isolados e afastados</p>
	<p>Colocando-se os materiais em contato por um breve tempo, os elétrons livres irão de A para B.</p>
	<p>Após o processo, A e B ficam com a mesma carga negativa.</p>

Eletrização por indução

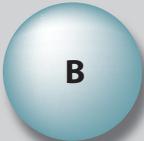
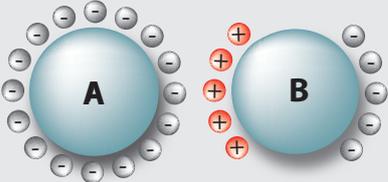
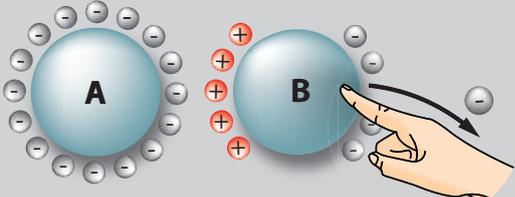
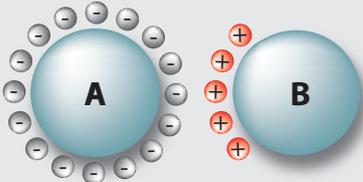
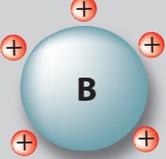
Quando um corpo neutro é colocado próximo de um corpo eletrizado **sem que exista contato**, o corpo neutro tem **parte** das cargas elétricas **separadas**, podendo ser eletrizado.

A consequência disso é que as moléculas do corpo neutro tendem a ficar **alinhas**, isto é, com seus **polos positivos em um lado** e os **polos negativos em outro**. Isso se chama **polarização**.

Se, depois de **polarizado**, o corpo **B** for **aterrado**, os elétrons escoarão dele para a terra. Da mesma forma, quando o corpo **B** for **desaterrado**, ele ficará com carga **positiva**, ou seja, **polarizado**, porque os **prótons** estarão todos **alinhas**. E se afastarmos o corpo **A**, os prótons se distribuirão por todo o corpo **B**, que ficará eletrizado **positivamente**.

Veja no quadro a seguir a representação dessa explicação.

Quadro 7 – Representação de polarização, aterramento e desaterramento

 <p>Fonte: SENAI-SP (2012)</p>	Corpo neutro isolado
 <p>Fonte: SENAI-SP (2012)</p>	Quando dois corpos se aproximam, o corpo B fica polarizado .
 <p>Fonte: SENAI-SP (2012)</p>	Aterrando-se o corpo B , seus elétrons serão drenados.
 <p>Fonte: SENAI-SP (2012)</p>	Aterramento desfeito
 <p>Fonte: SENAI-SP (2012)</p>	Afastando-se o corpo A , o corpo B fica eletrizado positivamente .

Se o corpo estiver carregado com cargas **negativas**, ele atrairá o lado **positivo** das moléculas do corpo neutro. Mas se o corpo estiver carregado **positivamente**, ele atrairá o lado **negativo** das moléculas do corpo neutro.

Esse fenômeno de separação de cargas, devido à simples presença de um corpo eletrizado junto a um condutor, é denominado **indução eletrostática**. O **corpo eletrizado** é chamado de **indutor**, já o **condutor**, que sofreu o processo de separação de cargas, é o **induzido**.

Como a força elétrica que surge da interação entre cargas depende da **distância** entre elas, as **forças de atração** entre cargas negativas e positivas serão **maiores** que as **forças de repulsão** entre as cargas negativas dos dois corpos. Isso fará com que o corpo carregado atraia para si o corpo neutro.

Você mesmo poderá comprovar a existência dessas forças de atração. É fácil e você poderá fazer isso com um simples pente! Faça assim:

- a) atrite fortemente um pente;
- b) abra a torneira e deixe escorrer um filete de água bem fino; e,
- c) aproxime o pente do filete sem tocá-lo e veja o que acontece!

Parece mágica, mas não é! O pente, que é o corpo carregado, atraiu a água, que é o corpo neutro. Veja na figura a seguir a representação do resultado dessa experiência.

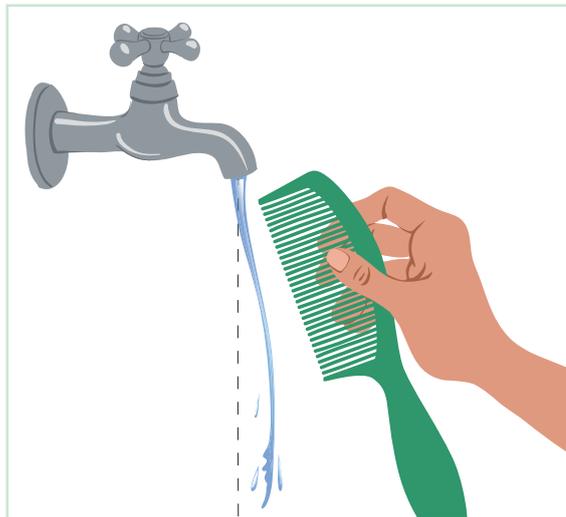


Figura 15 - Filete de água sendo atraído pelo pente eletrizado

Fonte: SENAI-SP (2012)

Por meio da eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem **intensamente** ou **fracamente eletrizados**. Quanto **maior** for a capacidade de realizar um trabalho, **maior** será o seu **potencial**. Portanto, podemos dizer que um pente **intensamente** eletrizado tem **maior potencial elétrico**.

O potencial elétrico, portanto, depende do **desequilíbrio** elétrico existente no corpo. Assim, se um corpo tiver desequilíbrio elétrico **duas vezes maior** que outro, terá o **potencial elétrico duas vezes maior**.

3.5.1 TENSÃO ELÉTRICA

Quando comparamos o trabalho realizado por dois corpos eletrizados, automaticamente estamos comparando os seus **potenciais elétricos**. A diferença entre os trabalhos realizados pelos dois corpos expressa diretamente a **diferença de potencial elétrico** entre eles. Essa diferença está presente entre corpos eletrizados com cargas **distintas** ou com o **mesmo** tipo de carga.

O mesmo acontece com o movimento das cargas elétricas dentro dos corpos eletrizados. Para que **sempre** haja o movimento dessas cargas, será necessário que dois corpos tenham **sempre** quantidades **diferentes** de elétrons, ou seja, **cargas diferentes**.

A diferença de potencial elétrico (abreviada para ddp) entre dois corpos eletrizados também é chamada de **tensão elétrica**, que em outras palavras é a força capaz de impulsionar os elétrons em um condutor. Essa expressão é muito importante nos estudos relacionados a eletricidade e à eletrônica.



VOCÊ SABIA?

Normalmente, os profissionais das áreas de eletrônica e de eletricidade, usam exclusivamente a palavra **tensão** para indicar a **ddp** ou **tensão elétrica**.

3.5.2 COMO CRIAR O DESEQUILÍBRIO ELÉTRICO

Um dos hábitos de consumo que melhor caracteriza o começo do século XXI é o uso de aparelhos eletrônicos portáteis. Normalmente, esses aparelhos funcionam por meio de pilhas ou de baterias elétricas, como as máquinas fotográficas digitais e os aparelhos que armazenam e tocam músicas. Os automóveis também não funcionam sem baterias!

A bateria é basicamente construída por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico, que reage com eles **retirando** elétrons de um e **levando-os** para o outro.

Um dos metais, a barra de carbono, fica com o **potencial elétrico positivo** e o outro, o zinco, fica com o **potencial elétrico negativo**. Cria-se, então, uma diferença de potencial elétrico, a chamada **tensão elétrica**.

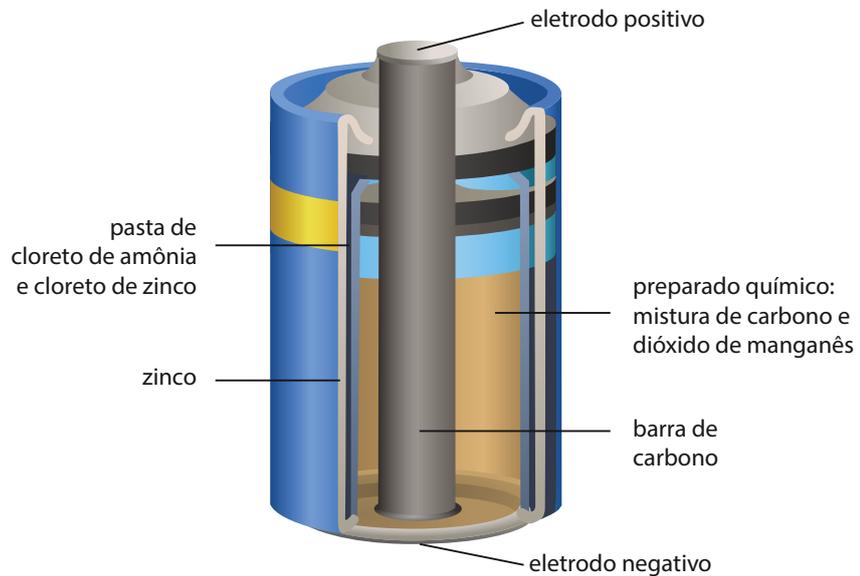


Figura 16 - Interior de uma pilha comum

Fonte: SENAI-SP (2012)

Muitos usuários desse tipo de bateria já perceberam que, por isso, ela tem dois terminais:

- um terminal chamado de **polo positivo**, que é marcado com o sinal +; e
- um terminal chamado de **polo negativo**, que é marcado com o sinal -.

Os elétrons ficam agrupados em **maior número** no **polo negativo** da bateria. O polo **positivo**, por sua vez, contém uma quantidade **menor** de elétrons. Esses polos **nunca** se alteram, portanto, a polaridade das pilhas é sempre **invariável**.

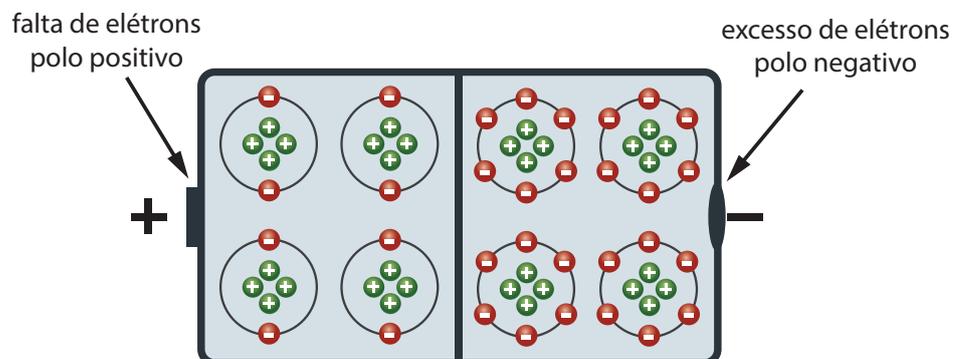


Figura 17 - Interior da pilha, identificando os seus polos

Fonte: SENAI-SP (2012)

Por ser invariável, a polaridade deve ser **sempre** observada quando encaixamos as pilhas nos nossos produtos eletrônicos portáteis. Se isso não for feito, o aparelho certamente não funcionará.

E já que a tensão fornecida pela pilha é uma tensão elétrica entre dois pontos com polaridade **invariável**, esse tipo de tensão é chamado de tensão **contínua**, ou tensão **CC**.

A tensão fornecida por uma pilha comum **não** depende de seu tamanho ser pequeno, médio ou grande, pois ela é **sempre** uma tensão contínua de 1,5 V. Por isso, se um aparelho precisa de uma tensão mais alta para funcionar, é necessário usar **mais** pilhas.

3.5.3 UNIDADE DE MEDIDA DE TENSÃO ELÉTRICA

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

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

Tabela 3 – Unidade de medida de tensão e seus fatores multiplicadores

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR EM VOLT (V)
Múltiplos (ou fatores multiplicadores)	megavolt	MV	10^6 V ou 1.000.000 V
	quilovolt	kV	10^3 V ou 1.000 V
Unidade	volt	V	-
Submúltiplos (ou fatores multiplicadores)	milivolt	mV	10^{-3} V ou 0,001 V
	microvolt	μ V	10^{-6} V ou 0,000001 V

Para as medições em eletricidade, utilizamos, com mais frequência, a unidade volt (**V**) e seus **múltiplos**: quilovolt (kV) e megavolt (MV).

Na área de eletrônica, utilizamos a unidade volt (**V**) e seus **submúltiplos**: milivolt (mV) e microvolt (μ V).

³ NANOTECNOLOGIA

É a manipulação da matéria em uma escala atômica e molecular.

⁴ INSTRUMENTO ANALÓGICO

Um instrumento analógico é aquele que avalia a grandeza elétrica com base nos efeitos físicos causados por ela. Podemos citar como exemplo de efeitos físicos as forças eletromagnéticas dos campos elétricos.



SAIBA MAIS

Existem mais palavras para indicar fatores multiplicadores que são usados com as unidades de medida do SI. Alguns deles já são bastante utilizados e, portanto, conhecidos. Por exemplo: **nano** (como na palavra **nanotecnologia**³); **mega** (como na palavra **megabytes**); e **giga** (como em **gigabytes**). Se você quiser saber mais sobre eles, visite o *site* do Inmetro em <www.inmetro.gov.br/consumidor>.

3.5.4 CONVERSÃO DA UNIDADE DE MEDIDA DE TENSÃO

No dia a dia do eletricista, muitas vezes é necessário, por exemplo, converter uma unidade de medida em um de seus múltiplos ou submúltiplos.

Para facilitar essa tarefa, até adquirir prática, você poderá usar o gabarito a seguir, no qual cada unidade de medida possui três casas, que correspondem a cada dígito do valor obtido na medição. Veja!

MV			kV			V			mV			μV		

Suponha que você precise converter volt (V) em milivolt (mV) e a medida que você tem é **3,75 V**.

Para usar o gabarito, você deve proceder da seguinte maneira:

- a) Coloque o número no gabarito na posição da unidade de medida, que, neste caso, é o volt. Mantenha a vírgula na linha após a unidade **V**. Observe que cada coluna identificada está subdividida em três casas na próxima linha.

MV			kV			V			mV			μV		
								3	7	5				
									↑ posição da vírgula					

- b) Coloque a **vírgula para a direita**. O novo valor gerado ocupará as três casas abaixo da coluna do milivolt. Neste exemplo, a vírgula deverá estar na linha **após mV**.



- c) Coloque um zero em cada casa vazia até preencher todas as casas da coluna mV. Observe que não será necessário completar os espaços à esquerda do número 3, pois o zero não terá valor nessa posição. O mesmo acontece na casa após a vírgula do mV.



O valor convertido será: $3,75 \text{ V} = 3750 \text{ mV}$

3.5.5 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO ELÉTRICA

O instrumento que mede a diferença de potencial entre dois pontos é o **voltímetro**. Veja na figura a seguir um voltímetro analógico⁴, no qual o valor (ponteiro) varia continuamente dentro de uma faixa preestabelecida.



Figura 18 - Mostrador de voltímetro analógico
Fonte: SENAI-SP (2012)

Embora o voltímetro seja o instrumento específico para medir a ddp, normalmente o aparelho usado para esse fim é o **multímetro digital**. Veja na figura a seguir os componentes de um multímetro.

5 DISPLAY

Display é a palavra usada para identificar o visor de um aparelho digital.

Display - visor para indicar a grandeza da medida

conectores inseridos nos bornes do multímetro

pontas que serão encostadas no componente cuja grandeza será medida

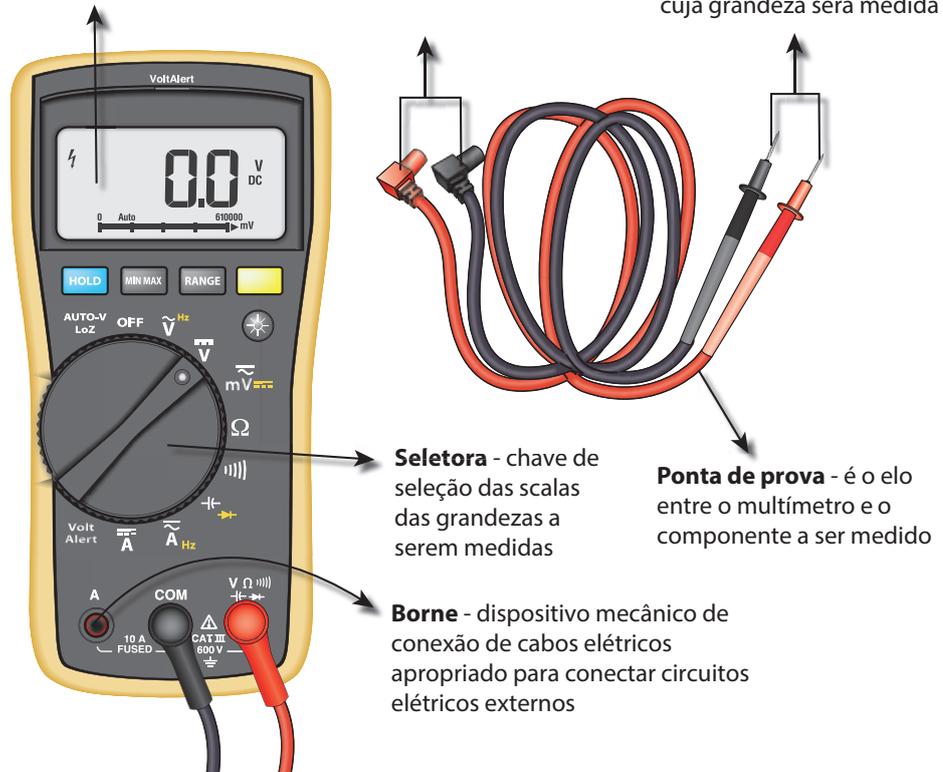


Figura 19 - Composição de multímetro digital

Fonte: SENAI-SP (2012)

Acompanhe agora o posicionamento do multímetro na escala para medição de tensão elétrica:

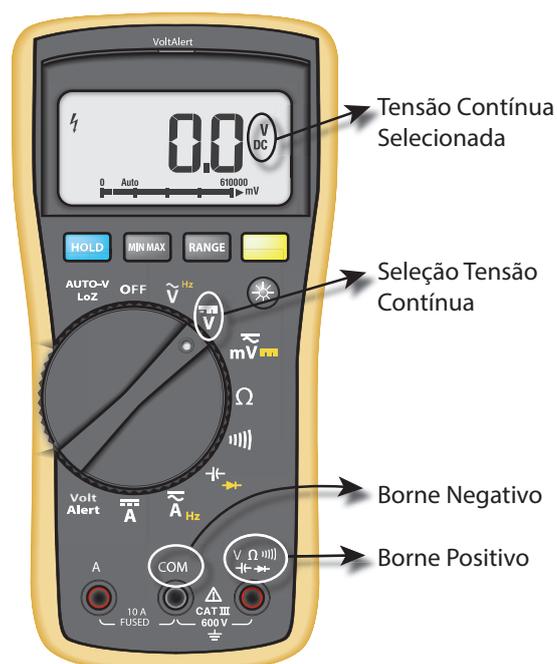


Figura 20 - Multímetro digital

Fonte: SENAI-SP (2012)

O multímetro é usado para medir as principais unidades de medida elétrica, por isso, substitui o voltímetro com vantagem. Assim como o voltímetro, ele tem duas pontas de prova – um cabo de cor preta e outro de cor vermelha – que são usadas para fazer a medição. Eles fazem a ligação entre o instrumento e o componente que está sendo medido.

Para usar o multímetro, devemos seguir as seguintes etapas a fim de preparar o aparelho e evitar que aconteça um acidente com o operador ou com o aparelho.

- Ajustar o **seletor de funções** na função correta, isto é, na grandeza a ser medida, que, no caso, é a **tensão elétrica**. O *display*⁵ (visor) indicará **VDC** porque no nosso exemplo o circuito a ser medido será de corrente contínua. Observe que, quando não se tem ideia do valor a ser medido, inicia-se pela escala de **maior valor** e, de acordo com o valor observado, diminui-se a escala até o valor ideal.
- Inserir as pontas de prova: cabo **vermelho** no **borne VΩ** e o cabo preto no **COM**.



Figura 21 - Pontas de prova inseridas nos bornes
Fonte: SENAI-SP (2012)

- Efetuar a medição, observando que o cabo preto deverá estar na polaridade **negativa** do circuito e o cabo vermelho, na polaridade **positiva**. Se a posição dos cabos for invertida, aparecerá um símbolo negativo (-) no *display*. Veja na figura uma aplicação de medição com multímetro em um circuito que utiliza uma pilha para ligar uma lâmpada.

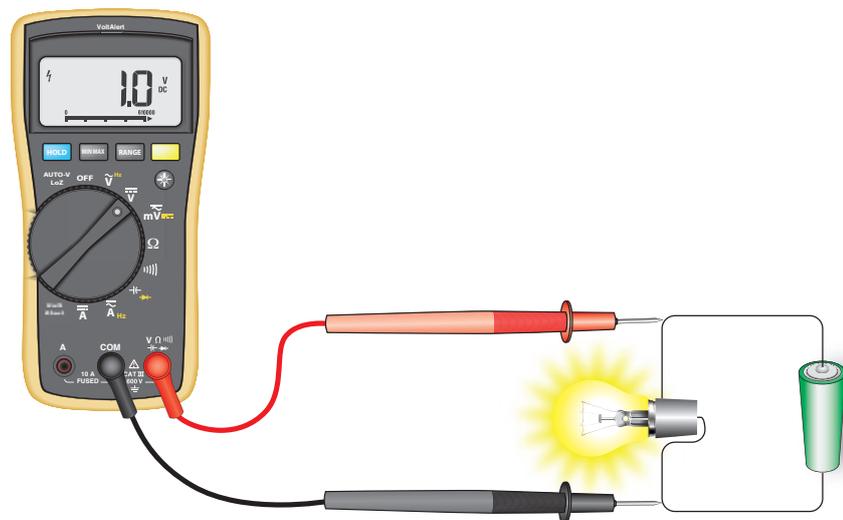


Figura 22 - Posição dos cabos durante a medição

Fonte: SENAI-SP (2012)

**FIQUE ALERTA**

Nunca se deve mudar de escala ou de função quando o instrumento de medição estiver conectado a um circuito ligado, pois isso poderá queimar o instrumento.

- Para mudar a **escala**, deve-se **desligar** antes da alimentação do circuito.
- Para mudar a **função**, deve-se desligar a alimentação do **circuito** e as pontas de prova.

3.6 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como já dissemos neste capítulo, para haver movimento dos elétrons livres em um corpo, é necessário aplicar nesse corpo uma **tensão elétrica** que é fornecida por uma **fonte geradora de energia elétrica**.

Além da pilha (ou da bateria elétrica), sobre a qual já falamos, para gerar tensão, existem outras maneiras de criar o desequilíbrio elétrico essencial para obter a tensão necessária para fazer funcionar algum circuito eletroeletrônico.

Essas outras formas de geração de energia elétrica são:

Geração de energia elétrica por ação térmica

A energia elétrica também pode ser obtida por meio do par termoelétrico, que consiste em duas tiras de metais diferentes, unidas por torção em uma das extremidades.

Quando essa junção é aquecida, produz-se uma tensão elétrica, como você pode observar na figura a seguir.

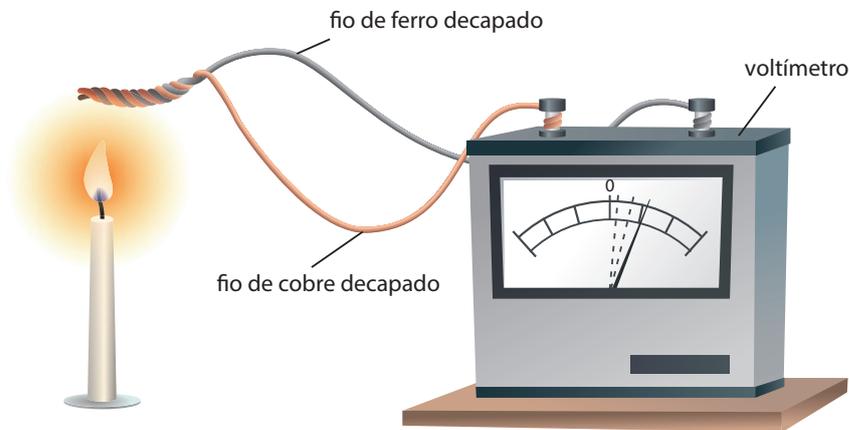


Figura 23 - Efeito da temperatura sobre o par termoeletrico
Fonte: SENAI-SP (2012)

A junção de vários pares termoeletricos tem como resultado uma pilha termoeletrica, que é um detector extremamente sensível de raios térmicos (infravermelhos).

O par termoeletrico, também chamado de termopar, é usado na indústria como sensor de temperatura. É usado, também, em termômetros digitais de uso médico ou industrial.

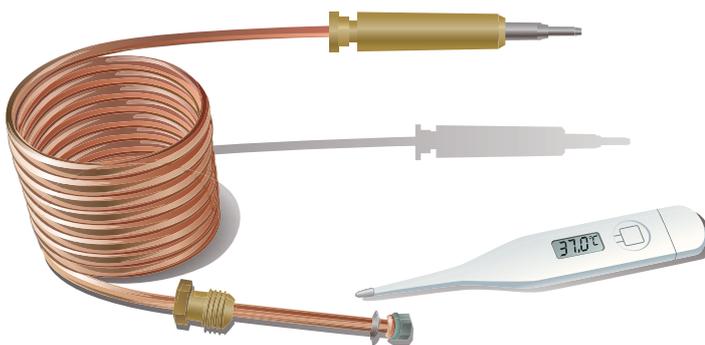


Figura 24 - Termopar e termômetro digital
Fonte: SENAI-SP (2012)

Geração de energia elétrica por ação da luz

Este tipo de energia é gerado por células fotovoltaicas. Elas são feitas da junção de duas finas camadas de silício (um material semicondutor, utilizado na indústria eletrônica) unidas em forma de sanduíche, no qual são ligados dois fios metálicos. Quando a luz do sol atinge a parte superior da junção, o feixe de energia da luz chamado de fótons começa a se chocar com os elétrons livres, que se

6 CORRENTE CONTÍNUA

Na corrente contínua (CC) os elétrons movimentam-se em um único sentido.

7 CORRENTE ALTERNADA

Na corrente alternada (CA) os elétrons movimentam-se ora em um sentido, ora em outro com a variação tempo.

movimentam de uma camada para a outra, fazendo com que circule uma carga elétrica entre os fios.

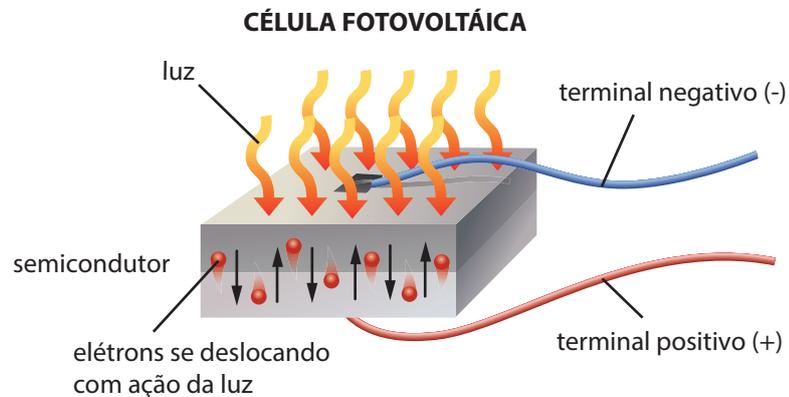


Figura 25 - Esquema de uma célula fotovoltaica

Fonte: SENAI-SP (2012)

As células fotovoltaicas são usadas na geração de eletricidade para:

- satélites e estações espaciais;
- recarga de baterias de carros elétricos;
- iluminação; e
- calculadoras portáteis.

Geração de energia por ação mecânica

Alguns cristais, como o quartzo, a turmalina, a mica, a calcita e os cristais de Rochelle, quando submetidos a ações mecânicas, como a compressão e a torção, desenvolvem uma diferença de potencial. Eles são chamados de **piezoelétricos**.

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

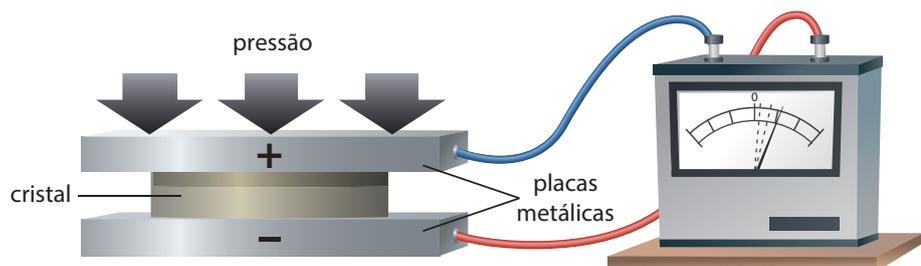


Figura 26 - Cristais piezoelétricos gerando tensão elétrica

Fonte: SENAI-SP (2012)

Algumas aplicações da geração de energia elétrica são, por exemplo, os geradores de alta-tensão, os acendedores elétricos e os alarmes antirroubo.



VOCÊ SABIA?

Quando aplicamos uma tensão contra a superfície de um cristal piezoelétrico, obtemos um efeito **piezorreverso**. Isso significa que, por exemplo, se os pulsos elétricos forem superiores a 20 mil ciclos, teremos como resultado o **ultrassom**, usado em aparelhos médicos que auxiliam o diagnóstico de diversas doenças.

Geração de energia por ação magnética

A geração de energia por ação magnética é o método mais comum e o mais amplamente usado. Ele é baseado na descoberta de Michael Faraday que possibilita produzir uma tensão elétrica toda vez que um condutor – ou muitas voltas dele, o que constitui uma bobina – corta um campo magnético.

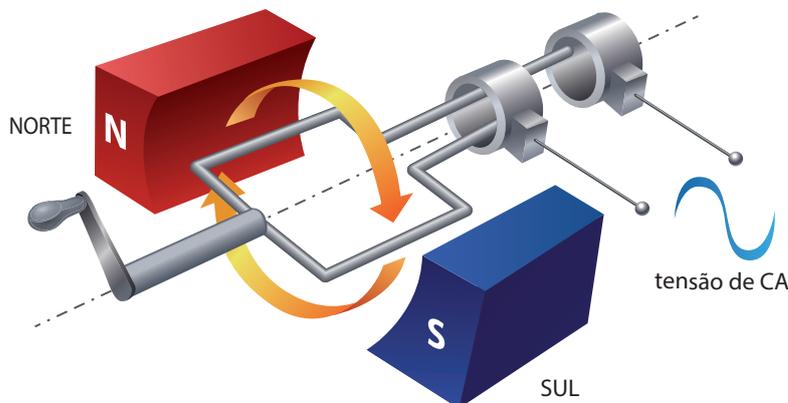


Figura 27 - Representação do funcionamento de um gerador

Fonte: SENAI-SP (2012)

Esse é o princípio de funcionamento dos dínamos que fornecem corrente contínua (CC)⁶; dos alternadores, que fornecem a corrente alternada (CA)⁷; e dos geradores eletromecânicos usados nas usinas hidroelétricas.

3.6.1 USINAS GERADORAS DE ELETRICIDADE

As usinas geradoras de eletricidade são conjuntos de obras de engenharia e de equipamentos que **transformam**, geralmente em larga escala, diversas formas de energia em **energia elétrica**. Partindo desse conceito, podemos dizer que os principais tipos de usinas geradoras de eletricidade são:

8 FISSÃO

É a reação nuclear espontânea ou provocada, em que um núcleo atômico se divide em duas partes, liberando uma grande quantidade de energia.

Usina hidrelétrica

É aquela que usa a energia potencial gravitacional da água, após represada por uma barragem, convertida em energia cinética, que faz girar a turbina, transformando a energia mecânica em energia potencial elétrica no gerador. A energia produzida pelo gerador é levada por meio de linhas de transmissão até ao consumidor.

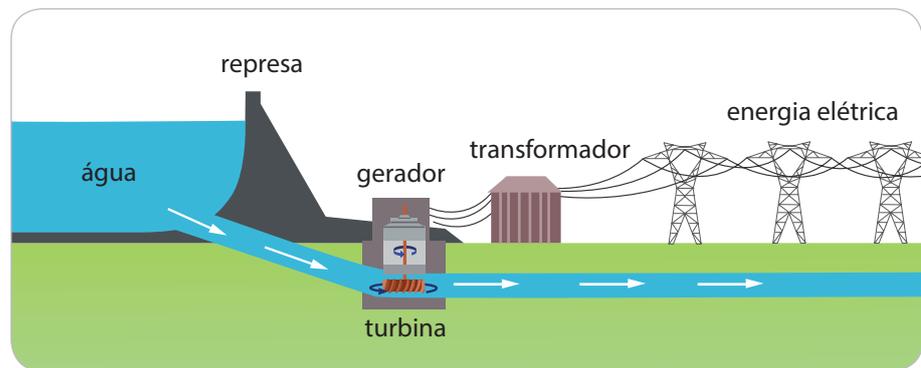


Figura 28 - Usina hidrelétrica
Fonte: SENAI-SP (2012)

Apesar dos impactos ambientais causados pela construção de uma hidroelétrica, como o alagamento de grandes áreas, a destruição da fauna e da flora e o deslocamento de pessoas que moram às margens dos rios represados, esse tipo de geração de energia elétrica é considerado limpo.



VOCE SABIA?

Em 2012, o Brasil conta com 111 usinas hidroelétricas de grande e médio porte. A maior é a Usina de Itaipu, no Rio Paraná, com capacidade de geração de 14 mil MWh (megawatts por hora) e a menor é a Hidroelétrica de Limoeiro, no Rio Pardo, cuja capacidade de geração é de 35 MWh.

Usina termoeletrica

Transforma a energia térmica da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural ou carvão) ou biomassa (bagaço de cana, lixo) em energia elétrica.

Para gerar a energia elétrica, essa usina retira água de uma fonte qualquer e aquece-a em uma caldeira, transformando-a em vapor em uma caldeira na qual a água é aquecida. Este, por sua vez, faz girar a turbina e, a partir daí, o processo é o mesmo da usina hidroelétrica.

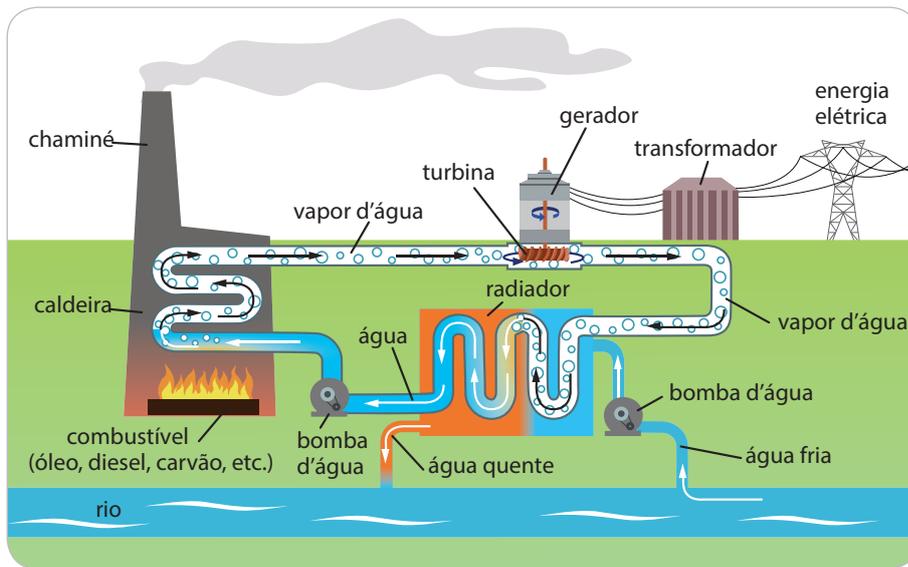


Figura 29 - Usina termoeletrica
Fonte: SENAI-SP (2012)

Do ponto de vista ambiental, o uso do gás natural, do petróleo e principalmente do carvão para gerar energia elétrica não é considerado “verde”, ou limpo, pois essa produção de energia por meio desses elementos tem como resultado a liberação de calor que, juntamente com o consumo de combustíveis em meios de transporte e para fins industriais contribuem para o aquecimento global. Além disso, a eficácia energética desse tipo de usina fica entre apenas 35% e 38%.

Usina nuclear

Transforma a energia nuclear, que é gerada pela fissão⁸ de combustível nuclear (urânio enriquecido), produzindo uma imensa quantidade de energia, posteriormente transformada em energia elétrica.

Para produzir energia elétrica, esse método utiliza a reação nuclear, que acontece no núcleo do reator e converte uma quantidade enorme de energia nuclear em energia térmica. Uma parte dessa energia é convertida depois em energia mecânica nas turbinas. A parte restante passa obrigatoriamente por uma fonte fria e resfria o reator, liberando para o ambiente o vapor de água aquecido e expelido pelas chaminés. A partir daí, o processo é o mesmo das outras usinas.

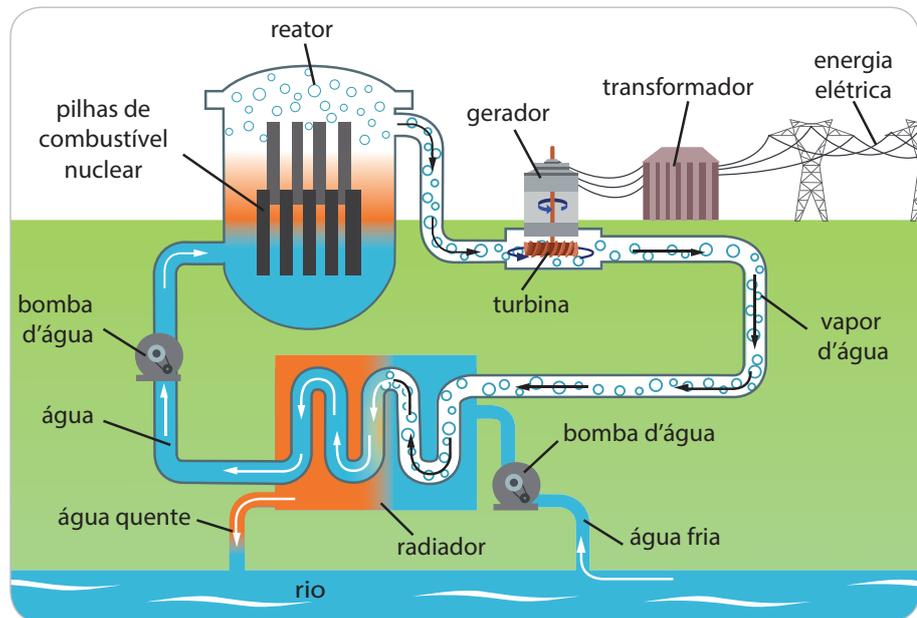


Figura 30 - Usina nuclear
Fonte: SENAI-SP (2012)

Mesmo desperdiçando tanta energia no resfriamento do reator, este pode funcionar por volta de 30 anos antes de necessitar ser reabastecido. Foi, aliás, a falta de resfriamento de um dos reatores da Usina de Fukushima danificados durante o *tsunami* que aconteceu no Japão que provocou o acidente nuclear em 2011.

Esse e outros acidentes em usinas nucleares estão gerando muitas discussões sobre a segurança desse método de produção de energia elétrica.



VOCÊ SABIA?

Em 2012, o Brasil conta com duas usinas nucleares em funcionamento. Elas estão situadas no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro.

Usina eólica

Transforma a energia eólica, ou seja, dos ventos, em energia elétrica. O movimento dos ventos gira uma turbina ligada diretamente a um gerador, que transforma essa energia mecânica em energia elétrica. O conjunto se chama aerogerador.

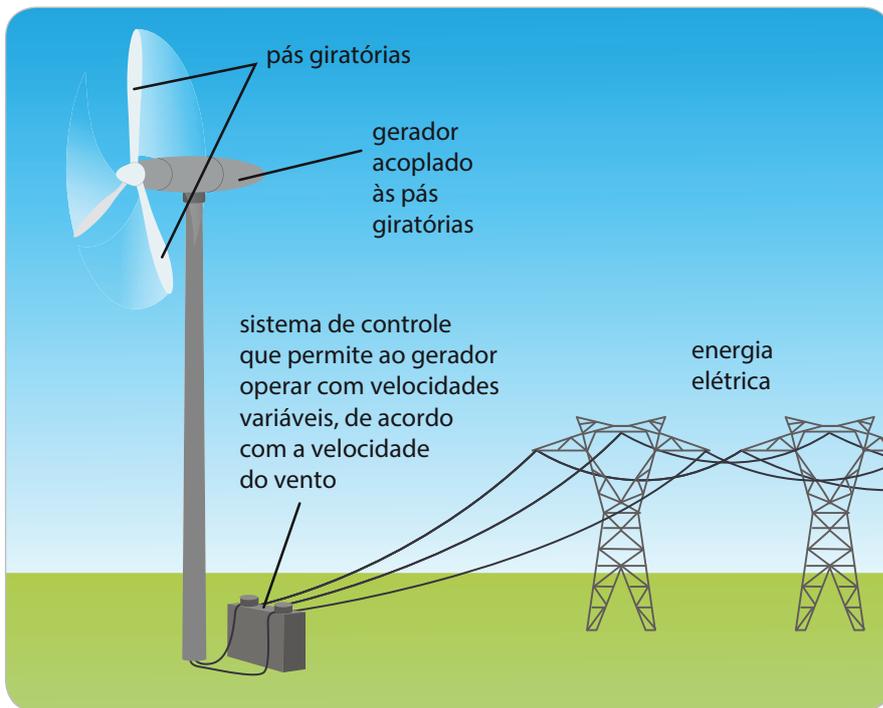


Figura 31 - Captação de energia eólica para geração de energia elétrica

Fonte: SENAI-SP (2012)

Esse modo de produzir energia elétrica é renovável e não poluente, portanto, é ecologicamente correto. Porém, um aerogerador, apesar das condições favoráveis de existência de ventos no Brasil, produz energia, em média, durante apenas 30% do tempo. Isso torna o custo de produção bastante alto em comparação com a energia produzida nas hidroelétricas. O grau de eficiência dos aerogeradores depende, além da quantidade e da qualidade de ventos, da altura da torre que suporta as pás e o gerador. Quanto mais alta ela for, mais eficaz será o aproveitamento da força dos ventos.

No ano de 2011, o governo brasileiro contratou a produção de 4 mil MWh de energia eólica.



RECAPITULANDO

Neste capítulo, estudamos:

- a) **Matéria** é tudo aquilo que nos cerca e ocupa lugar no espaço.
 - b) **Molécula** é a menor parte em que se pode dividir a matéria sem que esta perca suas características.
 - c) **Átomo** é a **menor** parte em que se pode dividir a molécula.
 - d) O átomo é composto de **prótons** (carga **positiva**), **elétrons** (carga **negativa**) e **nêutrons** (sem carga).
 - e) Carga elétrica é uma propriedade existente em prótons e elétrons que possibilita a sua **interação**.
 - f) Os **elétrons livres** são os da última camada de energia do átomo e têm a propriedade de se **desprenderem** do núcleo do átomo.
 - g) A **facilidade** ou a **dificuldade** de os elétrons livres libertarem-se ou deslocarem-se de suas órbitas determina se é o material é **condutor** ou **isolante**.
 - h) **Eletrização** é o processo de retirar ou acrescentar elétrons de um corpo e ela pode acontecer por **atrito**, por **contato** e por **indução**.
 - i) A **diferença de potencial (ddp)** acontece quando dois corpos eletrizados têm cargas **diferentes** ou o **mesmo** tipo de carga, mas com **quantidade** de elétrons **diferentes**.
 - j) A unidade de medida da tensão (ou **ddp**) é o **volt**, que é representado pelo símbolo **V**.
 - k) O instrumento de medição de tensão (ou **ddp**) é o **voltímetro**, que deve ser ligado em paralelo com o circuito a ser medido.
 - l) As fontes de geração de energia elétrica são por ação: **química** (bateria); **térmica** (termopar), **de luz** (célula fotovoltaica), **mecânica** (cristais **piezoelétricos**) e **magnética** (dínamo, alternador e gerador).
 - m) As **usinas geradoras de eletricidade** podem ser: hidrelétrica, termelétrica, nuclear e eólica.
-



No capítulo anterior, começamos juntos a descobrir que fica fácil compreender como os fenômenos elétricos acontecem quando aprendemos do que a matéria é composta e como as partículas dos átomos se comportam. E tudo gira em torno da facilidade ou da dificuldade que uma dessas partículas – o elétron – possui para movimentar-se entre as camadas de energia que ficam em torno do núcleo do átomo.

No capítulo 3, também aprendemos algo muito importante: o **conceito de tensão elétrica** – a **ddp**.

Agora, precisamos prosseguir em nossos estudos, pois há ainda muita coisa a ser aprendida. Portanto, neste capítulo, estudaremos as informações básicas sobre a **corrente elétrica** e o **circuito elétrico**.

Após estudar este capítulo, você terá subsídios para:

- a) identificar o que é a corrente elétrica e utilizar sua unidade de medida;
- b) medir a corrente elétrica usando corretamente um multímetro;
- c) identificar os componentes de um circuito elétrico por meio de seus respectivos símbolos; e
- d) identificar os tipos de circuitos elétricos: em série, paralelo e misto.

Observe que tudo o que se estuda em cada capítulo é essencial para a compreensão das informações que estarão nos capítulos posteriores. Por isso, estude tudo com muita atenção.

Bom trabalho!

4.1 CORRENTE ELÉTRICA

Já estudamos, no capítulo anterior, que existem dois campos de estudo da área eletroeletrônica:

- a) a **eletrostática**, que trata dos fenômenos elétricos resultantes das **cargas elétricas em repouso**; e
- b) a **eletrodinâmica**, que trata dos fenômenos elétricos resultantes das **cargas elétricas em movimento**.

Neste capítulo, aprenderemos como conseguimos que as cargas elétricas mantenham-se em movimento. Para que isso aconteça, é necessário criar um desequilíbrio elétrico, ou seja, uma diferença de potencial elétrico, chamado de **tensão elétrica**. Uma bateria (ou pilha) executa perfeitamente essa função.

Observe que, se apenas segurarmos uma bateria nas mãos, não perceberemos nenhum fenômeno elétrico acontecendo. Mas ele acontecerá se pegarmos um condutor elétrico que esteja conectado a alguma fonte de tensão.

Tanto na bateria como no condutor, os elétrons livres apresentam movimentos **desordenados**, isto é, movem-se sempre em **todas** as direções, como acontece no interior dos metais. Isso ocorre **mesmo** que a bateria seja inserida em um circuito cujo interruptor (*power*) não esteja acionado (circuito aberto). Veja a figura a seguir.

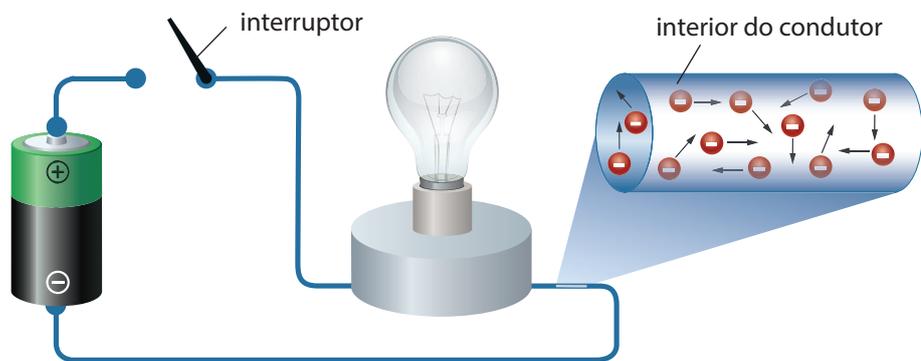


Figura 32 - Representação de elétrons dentro do metal do condutor em um circuito aberto

Fonte: SENAI-SP (2012)

Se o interruptor for acionado, os condutores ficarão com a **mesma diferença de potencial** da bateria. Dentro do condutor, isso vai originar um **campo elétrico**.

Nesse campo, cada elétron fica sujeito a uma **força elétrica**. Sob a ação dela, os elétrons **alteram** a sua velocidade, adquirindo um movimento **ordenado**. É esse **movimento ordenado** que constitui a **corrente elétrica**.

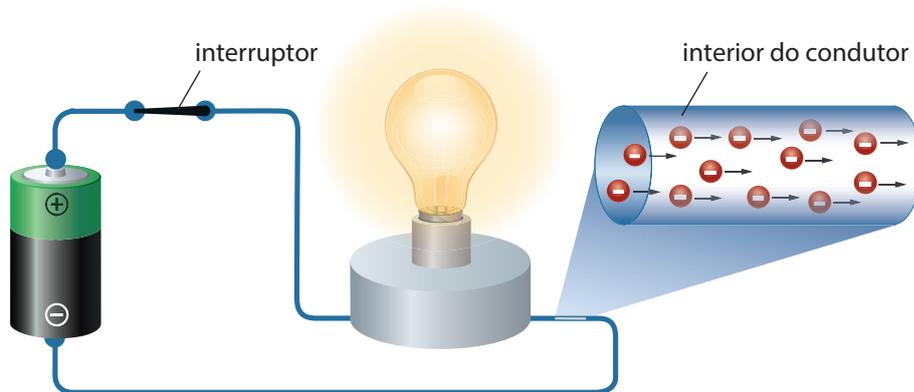


Figura 33 - Comportamento dos elétrons dentro do condutor sob ação do campo elétrico (interruptor fechado)

Fonte: SENAI-SP (2012)

Isso significa que: **corrente elétrica** é o movimento **ordenado** dos elétrons que acontece **apenas** quando há uma diferença de potencial (ddp, ou tensão) entre dois pontos. A condição para que haja a corrente elétrica é que o circuito esteja **fechado**, ou seja, o interruptor deverá estar acionado.

Podemos afirmar, então, que **não** existirá corrente **sem tensão**, mas pode haver tensão **sem corrente**, pois é a tensão que **orienta** as cargas elétricas.

4.1.1 SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA

Como vimos no capítulo 2, a eletricidade começou a ser utilizada para iluminar, acionar motores e também para outros usos, **antes** que os cientistas comprovassem experimentalmente a natureza do fluxo de elétrons. Por isso, naquela época, convencionou-se que a corrente elétrica era um movimento de cargas elétricas que fluía do polo **positivo** para o polo **negativo** da fonte geradora. Esse sentido de circulação recebeu o nome de **sentido convencional** da corrente.

Mais tarde, quando os estudos explicaram cientificamente os fenômenos elétricos, descobriu-se que nos condutores elétricos a tensão faz os elétrons movimentarem-se do polo **negativo** para o polo **positivo**. Esse sentido de circulação dos elétrons recebeu o nome de **sentido eletrônico** da corrente.

Escolher o sentido eletrônico ou o convencional não altera de forma alguma os resultados obtidos nos estudos dos fenômenos elétricos. Neste material, utilizaremos o sentido **convencional** (do + para o -) da corrente elétrica.

¹ COULOMB

Coulomb é a unidade de medida da carga elétrica.

4.1.2 INTENSIDADE DA CORRENTE

Um relâmpago é uma manifestação mais do que comum na natureza e é também um exemplo comum de descarga elétrica e de **corrente elétrica**.

**VOCÊ SABIA?**

No relâmpago, a corrente que passa de uma nuvem para outra flui por um canal de alguns centímetros de diâmetro e comprimento médio de três quilômetros. Ao passar por esse canal, o ar é expandido e “bate” no ar que está em volta. Isso provoca um efeito sonoro conhecido como trovão, resultante da alta temperatura do relâmpago, que pode atingir 30.000 °C.

O que acontece é o seguinte: o **atrito** das nuvens com o ar faz com que elas fiquem muito eletrizadas e adquiram um alto potencial elétrico. Quando duas nuvens de potencial elétrico **diferentes** aproximam-se, ocorre o relâmpago na forma de uma descarga elétrica. Esta não passa de uma transferência **orientada** de cargas elétricas de uma nuvem para outra, ou seja, o relâmpago é nada mais que uma **corrente elétrica** provocada pela tensão elétrica existente entre duas nuvens.

Observe que, dependendo do tamanho do desequilíbrio elétrico existente entre as duas nuvens, a **corrente elétrica** pode ter **maior** ou **menor intensidade**.



Figura 34 - Relâmpago: ocorrência natural de corrente elétrica

Fonte: SENAI-SP (2012)

Usamos esse exemplo para explicar que a corrente pode ser **quantificada** por sua **intensidade**, que pode ser **calculada**. Vamos explicar.

Já sabemos que a corrente elétrica é o **movimento ordenado** de elétrons dentro de um condutor. Quanto **mais elétrons** passarem pela seção transversal de um condutor durante o **menor período de tempo maior** será a **intensidade** da corrente.

Intensidade da corrente é, pois, o **fluxo** de elétrons que passa dentro da **seção transversal** de um condutor durante um **determinado período de tempo**.

Então, vamos imaginar que poderemos contar a quantidade de elétrons que passam pela seção transversal do condutor e, dessa forma, determinar a intensidade da corrente. E, na verdade, podemos mesmo fazer isso!

Primeiramente, precisamos saber que cada elétron apresenta uma **carga elétrica elementar**. Ela é representada pela letra **e** e equivale a $1,6^{-19}$ **Coulombs**¹.

Para conhecer a quantidade de carga elétrica (Q), multiplica-se o **número de elétrons (n)** pela **carga elétrica (e)**. Então:

$$Q = n \cdot e$$

Com esses dados, podemos calcular a **intensidade de corrente elétrica (I)** com a ajuda da seguinte fórmula:

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

Sendo que:

- I é a **intensidade de corrente**;
- ΔQ (lê-se **delta Q**) é a **quantidade de carga elétrica** (na seção transversal);
- Δt (lê-se **delta t**) é o **período de tempo**.



VOCÊ SABIA?

O símbolo **I** vem da palavra francesa *intensité*, que quer dizer **intensidade**.

4.1.3 CORRENTE CONTÍNUA

Como já estudamos neste capítulo, a corrente elétrica é o movimento das cargas elétricas. Nos materiais sólidos, as cargas que se movimentam são os elétrons.

Quando o material é líquido ou gasoso, o movimento pode ser de elétrons ou de íons **positivos**, que também são chamados de cátions.

Além disso, também já vimos, as pilhas e baterias têm como característica fornecer aos circuitos a corrente sempre no **mesmo sentido**, pois têm sempre a **mesma** polaridade.

Quando o movimento de cargas elétricas acontece em um único sentido, mantendo sempre a **mesma polaridade**, a corrente elétrica é chamada de **corrente contínua** e representada pela sigla **CC**.



VOCÊ SABIA?

É possível que, em algumas publicações técnicas, a sigla CC seja substituída pela sigla **DC**, que é simplesmente a abreviação de *direct current*, termo que significa corrente contínua em Inglês.

4.1.4 UNIDADE DE MEDIDA DE CORRENTE

Assim como a tensão, a corrente é uma grandeza elétrica e, como toda a grandeza, pode ter a sua **intensidade** medida por meio de instrumentos específicos. A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é o **ampère** (que é o **Coulomb** por segundo), representado pelo símbolo **A**.

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

Tabela 4 – Unidade de medida de corrente e seus fatores multiplicadores

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR EM RELAÇÃO AO AMPÈRE (A)
Múltiplos	mega-ampère	MA	10^6 A ou 1.000.000 A
	quiloampère	kA	10^3 A ou 1.000 A
Unidade	ampère	A	
Submúltiplos	miliampère	mA	10^{-3} A ou 0,001 A
	microampère	μ A	10^{-6} A ou 0,000.001 A
	nanoampère	nA	10^{-9} A ou 0,000.000.001

Como profissional da área, você precisará sempre ter em mente que no campo da **eletricidade** emprega-se habitualmente a unidade **ampère (A)** e seus **múltiplos**.

Faz-se a conversão de valores de forma semelhante às outras unidades de medida. Os passos são os mesmos da conversão de valores do volt, que já vimos no capítulo 3. Usaremos, também, o mesmo tipo de gabarito:

MA			kA			A			mA			μA			nA		

Por exemplo, suponha que você precise converter ampère (A) em miliampère (mA) e a medida que você tem é **1,2 A**.

Para usar o gabarito, você deve proceder da seguinte maneira:

- a) Coloque o número no gabarito na posição da unidade de medida, que, neste caso, é o ampère. Lembre-se que a vírgula deverá estar na linha após a unidade. Observe que cada coluna identificada está subdividida em três casas na próxima linha.

A			mA			μA			
		1	2						
			↑	posição da vírgula					

- b) Mova a posição da vírgula para a direita. O novo valor gerado aparecerá quando as três casas abaixo da coluna do miliampère estiverem preenchidas. Neste caso, a vírgula deverá estar na linha após mA.

A			mA			μA			
		1	2						
nova posição da vírgula						↑			

- c) Como cada linha abaixo da coluna mA tem três casas, todas elas deverão ser preenchidas. Portanto, complete com zero as casas vazias. Observe que não será necessário completar os espaços à esquerda do dígito 1 (A), pois o zero não terá valor nessa posição.

A			mA			μA		
		1	2	0	0			
nova posição da vírgula						↑		

Após preencher o gabarito, o valor convertido será: 1,2 A = 1.200 mA

4.1.5 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE INTENSIDADE DA CORRENTE

Para medir a intensidade de corrente, usamos o amperímetro. Veja ilustração a seguir.



Figura 35 - Amperímetro analógico

Fonte: SENAI-SP (2012)

Além do amperímetro, podemos usar também os instrumentos a seguir:

- a) miliamperímetro:** para correntes da ordem de miliampères; e
- b) microamperímetro:** para correntes da ordem de microampères.

Assim como no caso do voltímetro, embora o amperímetro seja o instrumento específico para medir a corrente elétrica, normalmente o aparelho usado para esse fim é o multímetro digital. Veja figura a seguir.



Figura 36 - Multímetro na escala de ampère
Fonte: SENAI-SP (2012)

Antes de efetuar a medição, é necessário preparar o aparelho corretamente. Para isso, siga estas etapas:

- gire a chave seletora, selecionando **corrente contínua**, pois é esse tipo de corrente que será medido. O *display* deverá indicar **DC A**;
- coloque o cabo vermelho no borne **A** e o cabo preto no **COM**.



Figura 37 - Multímetro digital com os cabos conectados
Fonte: SENAI-SP (2012)

Para efetuar a medição, proceda da seguinte maneira:

- desligue o circuito (que deverá estar **sempre** desligado);
- interrompa uma parte do condutor;
- ligue o cabo vermelho no condutor aberto mais próximo do lado **positivo** da bateria e o cabo preto na outra ponta, que ficou aberta. Caso haja inversão de polaridade, aparecerá um símbolo negativo (-) no *display*;
- ligue o circuito e faça a leitura;
- Desligue o circuito, emende os cabos e isole a emenda.

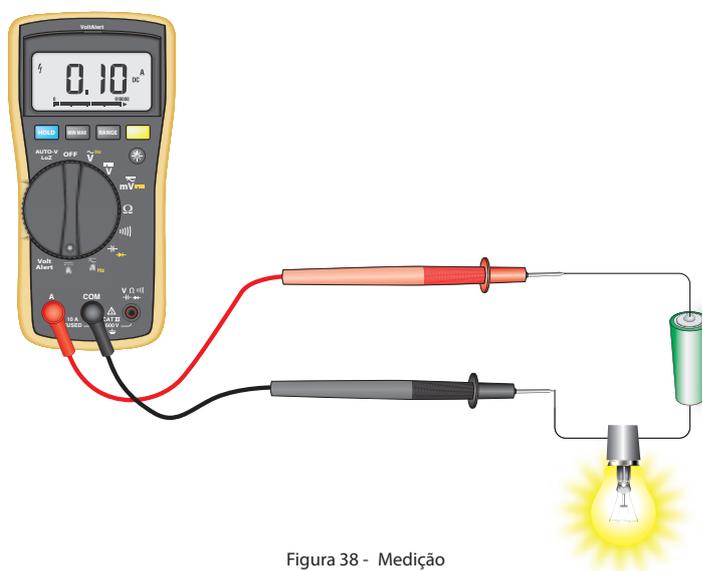


Figura 38 - Medição
Fonte: SENAI-SP (2012)



FIQUE ALERTA

Como é uma operação em que é preciso cortar ou desligar o fio, por medida de segurança é necessário **desligar** o circuito antes de fazer essa atividade.

A explicação anterior mostra o instrumento sendo usado na medição em um circuito. Isso pode estar gerando uma boa pergunta na sua cabeça: afinal, o que é um circuito?

4.2 O CIRCUITO ELÉTRICO

A eletricidade é usada para gerar os mais diversos efeitos: movimentar, aquecer, resfriar, iluminar etc. Embora os efeitos sejam diferentes e bem diversificados, todos os seus usos têm um ponto em comum: todos acontecem a partir do **circuito elétrico**.

Para compreender o que é um circuito elétrico, vamos usar uma figura que representa o interior de uma lanterna:

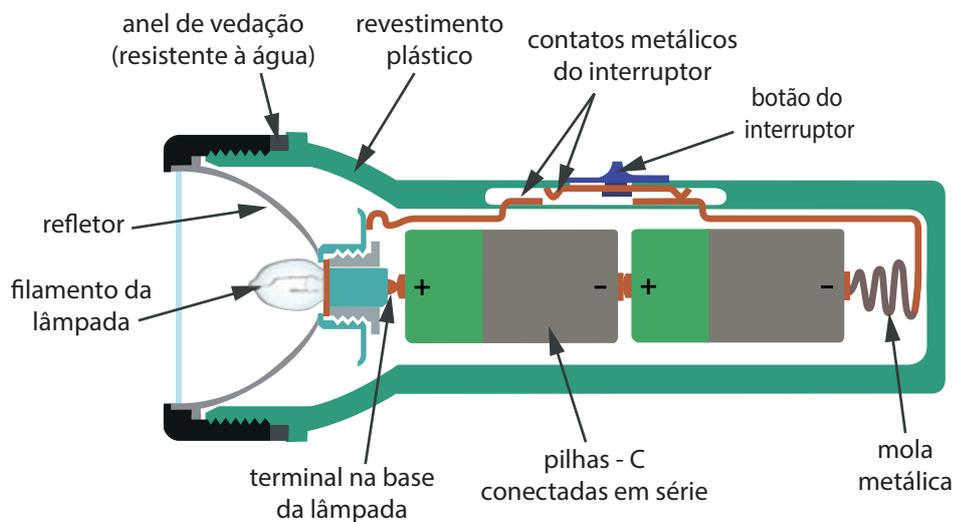


Figura 39 - Lanterna em corte
Fonte: SENAI-SP (2012)

Quando o interruptor é acionado, a **corrente sai** da **bateria** (polo negativo), **passa** pelo **condutor** e segue até o **interruptor**, que, após ser pressionado, **fecha** o circuito. Isso permite que a corrente continue seu caminho pelo condutor até a lâmpada (ligada ao polo **positivo**). Ela acende e permite que a corrente **retorne** à bateria para continuar o percurso até que o interruptor seja novamente acionado e reabra o circuito.

O que acabamos de descrever é o caminho percorrido pela corrente em qualquer circuito de qualquer aparelho ou máquina eletroeletrônico que usarmos, não importa quantos componentes ele tenha. Do mais simples, como o que acabamos de mostrar, ao mais complexo e sofisticado, o percurso é o **mesmo**.

Então, podemos dizer que o **circuito elétrico é o caminho fechado pelo qual circula a corrente elétrica**.

Como foi possível perceber, um circuito é **sempre** formado por:

- uma **fonte geradora** de energia elétrica: fornece a tensão necessária à existência da corrente elétrica;

- b) **carga**: também chamada de **consumidor** ou **receptor** de energia elétrica. É o componente do circuito que transforma a energia elétrica fornecida pela fonte em outro tipo de energia. A lâmpada da lanterna de nosso exemplo transforma a energia elétrica em energia luminosa;
- c) **condutores**: são o elo entre a fonte geradora de energia e a carga e servem de meio de transporte da corrente elétrica.

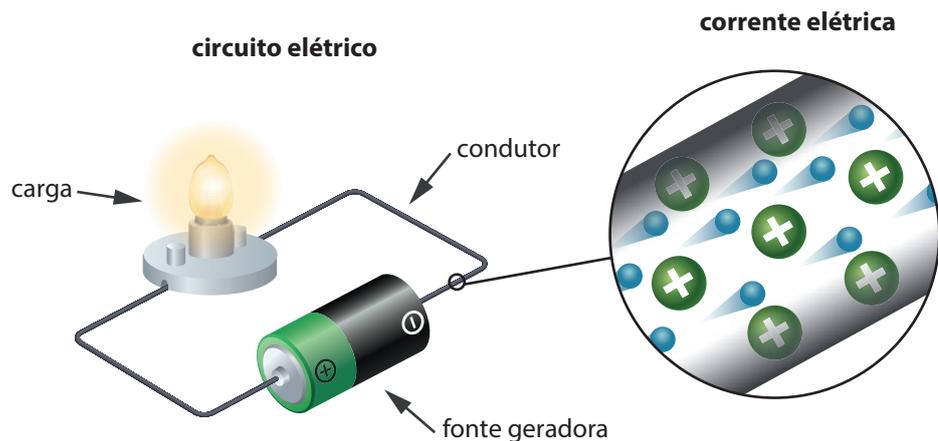


Figura 40 - Componentes do circuito elétrico
Fonte: SENAI-SP (2012)

Lembre-se de que o **movimento** das cargas elétricas presentes nesse circuito acontece **sempre** em um único sentido (do polo **negativo** para o polo **positivo**) e mantém **sempre a mesma polaridade**. Isso quer dizer que a corrente presente nele é **contínua**, que, como já vimos, é representada pela sigla **CC**.

Mas há ainda um detalhe a ser observado no circuito elétrico padrão: o **interruptor**. Sem ele, na lanterna de nosso exemplo, a lâmpada permaneceria acesa até que a carga das baterias se esgotasse ou precisaríamos retirá-las e recolocá-las no circuito sempre que quiséssemos, respectivamente, apagar ou acender a lanterna. E isso não seria nada prático!

A função do interruptor, também chamado de dispositivo de manobra, é, portanto, "cortar" o caminho da corrente elétrica.

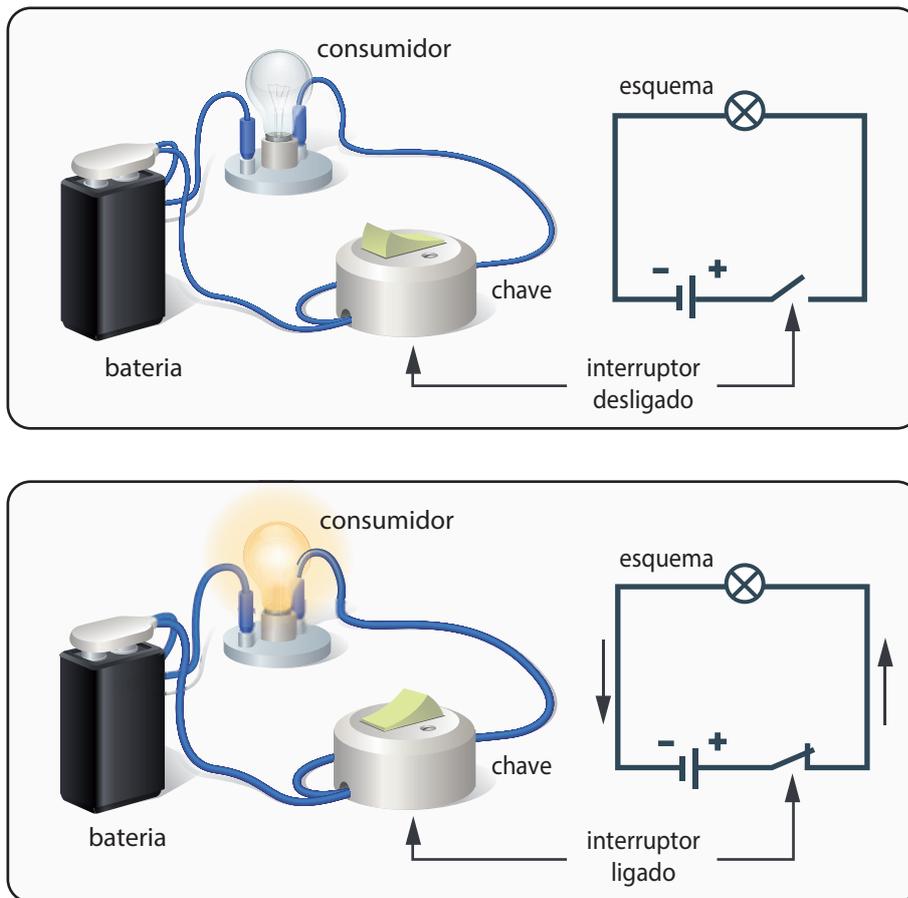


Figura 41 - Circuitos elétricos com interruptor aberto e fechado

Fonte: SENAI-SP (2012)

Como você pode ver na figura anterior, quando **aberto** (ou desligado), o interruptor provoca uma abertura em um dos caminhos dos condutores, o que impede que a corrente chegue até a carga (ou consumidor), pois não há circulação de corrente. Ao ser acionado, o interruptor deixa de impedir que a corrente faça o caminho, fechando o circuito elétrico e assim fazendo com que a corrente chegue à lâmpada.

Mas os interruptores não têm apenas a função de ligar e desligar um circuito a fim de fazer um aparelho funcionar ou não. Ele também tem uma função de **segurança**, pois, ao impedir que a corrente circule, permite que reparos sejam feitos e que acidentes sejam impedidos ou minimizados. Por exemplo, em caso de incêndio, para a segurança dos bombeiros a primeira coisa que se faz é desligar a entrada de energia. Assim, nessa categoria de componentes estão também as chaves gerais, os disjuntores e os relês.



SAIBA MAIS

Thomas Edison não foi somente o inventor da lâmpada elétrica. Foi também responsável pela implantação do primeiro sistema de transmissão de energia elétrica. Faça uma pesquisa utilizando um *site* de busca e descubra onde, como e quando ele fez isso.



CASOS E RELATOS

Energia elétrica é fundamental para as operações de qualquer empresa. Isso é ainda mais crítico em locais que funcionam 24 horas por dia, como siderúrgicas. Nesse tipo de empresa, as equipes de eletricitas se revezam em turnos, a fim de que sempre haja alguém de plantão para atender a toda e qualquer emergência no momento em que ela aconteça.

Assim, em certo final de semana, quando uma equipe se apresentou para substituir a turma do turno anterior, um dos eletricitas percebeu que havia um setor da empresa parado. Os dois eletricitas (o que estava entrando e o que estava saindo do plantão) conversaram sobre o problema. O eletricista que saía disse que, na medição feita no disjuntor de proteção do referido setor, havia sido encontrado um defeito, mas, como o seu turno estava encerrando, não havia tempo para trocar o componente.

Ao dar prosseguimento no serviço, o eletricista que iniciava o turno teve dúvida sobre o defeito encontrado e, após realizar alguns testes, decidiu energizar novamente o circuito sem substituir o disjuntor. Foi quando o inesperado aconteceu, causando um grande susto em toda a equipe: uma labareda surgiu, queimando o eletricista. Felizmente, as queimaduras foram superficiais, pois ele estava usando uniforme e o fogo não propagou. Que bom, já que o acidente poderia ter sido muito mais grave!

A equipe que analisa acidentes constatou que o amperímetro usado pelo eletricista estava com o fusível queimado e, por isso, ao realizar testes de continuidade no disjuntor defeituoso, o profissional não percebeu que o instrumento estava em curto-circuito.

Desse caso, ficamos com a lição: verifique as condições de equipamentos, ferramentas e instrumentos antes de utilizá-los, pois você é diretamente responsável pelos seus atos no exercício profissional.

4.2.1 SIMBOLOGIA DOS COMPONENTES DO CIRCUITO ELÉTRICO

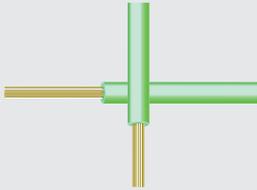
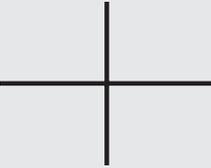
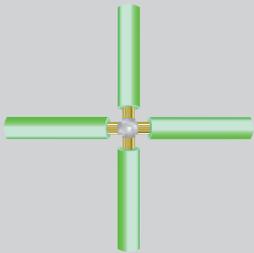
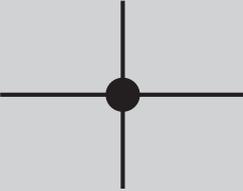
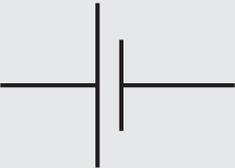
Se você prestou atenção na figura 41, deve ter percebido que há um pequeno desenho ao lado do circuito “real”. É um esquema (ou diagrama elétrico) que representa **exatamente** o que se vê ao lado dele: um circuito com uma fonte geradora de energia (a bateria), a carga (a lâmpada), os condutores e o interruptor.

Agora, pense bem! Não seria muito complicado sempre desenhar os componentes como eles realmente se parecem? Já pensou como isso seria trabalhoso?

É por essa razão que foram criados símbolos bem simples para representar graficamente cada componente necessário ao funcionamento de qualquer tipo de instalação ou aparelho elétrico que se queira montar ou reparar.

O quadro a seguir mostra alguns símbolos mais comuns utilizados em esquemas elétricos e seus respectivos componentes.

Quadro 8 – Componentes do circuito e seus símbolos e letras correspondentes

NOME DO COMPONENTE	FIGURA	SÍMBOLO	LETRA
Condutor			-
Cruzamento sem conexão			-
Cruzamento com conexão			-
Fonte, gerador, ou bateria			G

Lâmpada			H
Interruptor			S

Fonte: SENAI-SP (2012)

Nesse quadro, as letras que aparecem na quarta coluna têm a finalidade de garantir a padronização dos componentes. Elas evitam que várias letras de identificação sejam usadas para um mesmo componente, o que dificultaria a interpretação do esquema. Assim, por exemplo, além do símbolo, o interruptor é também identificado pela letra **S** para que se evite o uso de I (de interruptor) ou B (de botão).

O esquema a seguir é um circuito elétrico formado por lâmpada, condutores, interruptor e bateria, que estão identificados por seus respectivos símbolos e pelas letras correspondentes.

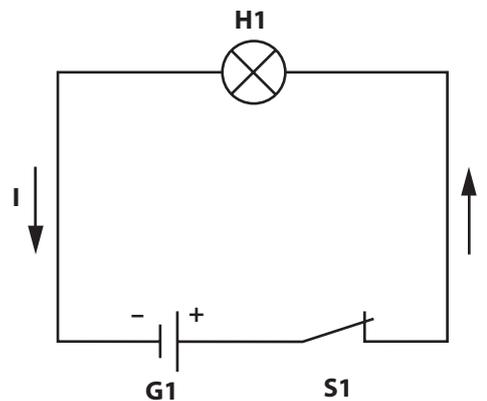


Figura 42 - Esquema (ou diagrama) elétrico com símbolos

Fonte: SENAI-SP (2012)

Observe que, nesse diagrama, a corrente elétrica está identificada pela letra **I**. A letra **I**, como já vimos, é o símbolo de intensidade da corrente e as setas ao seu lado indicam o sentido **convencional** da corrente elétrica.

Veja, também, como os símbolos estão identificados pelas letras mostradas no quadro.

4.2.2 TIPOS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

O circuito que usamos de exemplo até agora é bem simples e básico. Mas, dependendo da maneira como os componentes de um circuito são ligados entre si, eles podem ser classificados de modos diferentes.

Por isso, existem três tipos de circuitos:

- em série;
- paralelo; e
- misto.

O **circuito em série** é aquele cujos componentes (cargas) são ligados um **após** o outro. Esse modo de ligação faz com que exista **apenas um caminho** para a corrente elétrica, que sai do polo positivo da fonte, passa pelo primeiro componente (H1), pelo próximo (H2) e assim por diante, até chegar ao polo negativo da fonte. A representação esquemática do circuito em série é mostrada no diagrama a seguir.

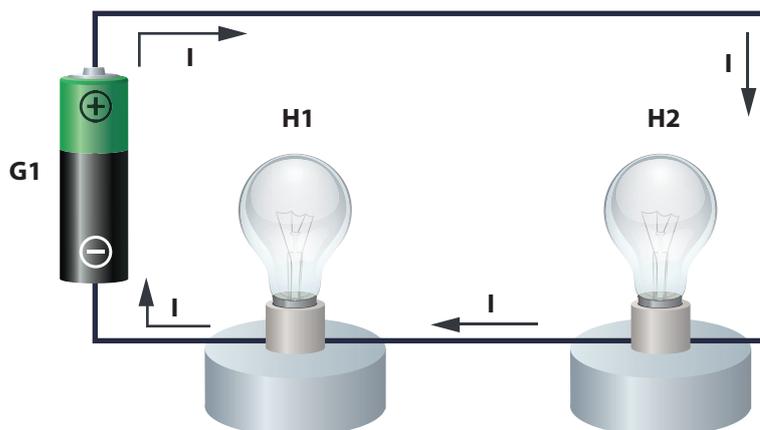


Figura 43 - Circuito em série
Fonte: SENAI-SP (2012)

O circuito em série tem algumas particularidades que o caracterizam. Elas são:

- fornece **apenas um caminho** para a corrente elétrica percorrer;
- a intensidade da corrente é **sempre a mesma** em **qualquer** ponto do circuito; e
- o funcionamento desse circuito é dependente, isto é, se houver alguma falha ou se qualquer um dos componentes for retirado do circuito, cessa a circulação da corrente elétrica.

Um exemplo de circuito em série é o conjunto de lâmpadas que usamos para decorações de Natal. Quando uma lâmpada queima, todas as outras se apagam. E encontrar a lâmpada queimada é um exercício de paciência!

O **circuito paralelo** é aquele cujos componentes estão ligados em paralelo, como mostra a representação esquemática a seguir.

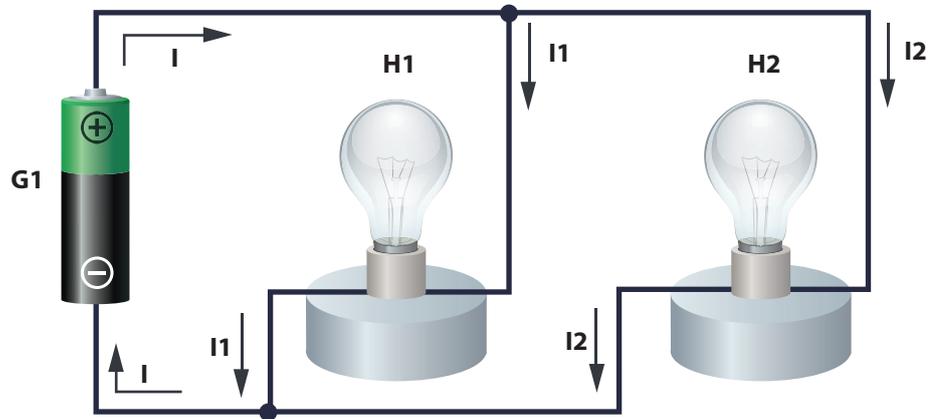


Figura 44 - Circuito paralelo
Fonte: SENAI-SP (2012)

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

As características do circuito paralelo são:

- fornece **mais de um caminho** para a corrente elétrica percorrer;
- a tensão é sempre a **mesma** em qualquer componente; e
- o funcionamento desse circuito é **independente**, ou seja, se houver alguma falha ou se qualquer um dos componentes for retirado do circuito, o outro permanecerá com a circulação da corrente elétrica.

Um exemplo de circuito paralelo é a instalação elétrica das residências. Nela, se uma das lâmpadas queimar, todos os componentes restantes do circuito continuarão funcionando.

No **circuito misto**, os componentes são ligados tanto em série como em paralelo, como ilustra o esquema a seguir.



RECAPITULANDO

Neste capítulo, você viu que:

- a) **corrente elétrica** é o movimento **ordenado** de elétrons;
- b) para termos a corrente elétrica, necessitamos de um **circuito fechado**, e os componentes necessários para que isso ocorra são três: a fonte geradora, a carga e o condutor;
- c) **intensidade** da corrente é a quantidade de carga que passa em uma **seção** do fio, durante um **período de tempo**, e é representada pela letra **I**;
- d) a unidade de medida da corrente elétrica é o ampère, representado pela letra **A**;
- e) o **circuito elétrico é o caminho fechado pelo qual circula a corrente** e ele pode ser montado em **série**, em **paralelo** e **misto**; e
- f) o aparelho de medição da corrente elétrica é o **amperímetro**, que deve ser ligado em série em relação ao circuito.

Lembre-se de que esses conhecimentos são essenciais para interpretar as unidades de medida, fazer medições e interpretar o funcionamento de circuitos eletroeletrônicos.



Agora que você já aprendeu os conceitos básicos – o que é tensão, o que é corrente e o que é circuito –, podemos considerar que já entramos no maravilhoso mundo da eletricidade.

Com o que você aprenderá neste capítulo, por exemplo, a compreensão do comportamento das cargas dentro dos circuitos, já será possível, por exemplo, fazer corretas associações de resistências.

Para aprender esse conteúdo, vamos precisar de alguns conhecimentos básicos de matemática. Mas quem já se esqueceu de como se encontra o mínimo múltiplo comum de frações, por exemplo, não precisa se preocupar, pois faremos uma revisão com exemplos bem explicados.

Ao concluir este capítulo, você terá subsídios para:

- a) usar corretamente a unidade de medida de resistência (ohm), realizando medições com o multímetro ajustado na escala correta;
- b) dimensionar corretamente as associações de resistências, considerando a segunda lei de Ohm; e
- c) interpretar o funcionamento das associações de resistências em circuitos eletroeletrônicos.

Se você estudou bem os capítulos anteriores, não terá dificuldades em aprender o que verá neste capítulo. Então, mãos à obra!

5.1 CONCEITO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Resistência elétrica é a **oposição** que um material apresenta à passagem de corrente elétrica. Essa resistência tem origem na estrutura atômica do material.

Com o que estudamos até agora, já sabemos que o conceito de resistência elétrica é mais do que verdadeiro. Lembre-se de que já aprendemos que, em virtude das próprias características da matéria e do comportamento das partículas dos átomos, é possível afirmar que **todos** os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam **certa oposição** à passagem da corrente elétrica.

Quando uma ddp é aplicada a um condutor e se estabelece uma corrente elétrica, uma quantidade de elétrons livres começa a se deslocar nele. Nesse processo, os elétrons podem **colidir** entre si e também com os átomos que constituem o metal de que o condutor é feito. Então, duas coisas podem acontecer.

- a) Quando os átomos de um material **liberam** elétrons livres com **facilidade**, a corrente elétrica flui **facilmente** por meio desse material. Nesse caso, a resistência elétrica desses materiais é **pequena**.

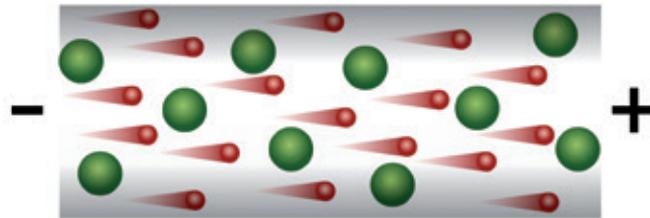


Figura 46 - Representação da corrente elétrica fluindo
Fonte: SENAI-SP (2012)

- b) Por outro lado, nos materiais cujos átomos apresentam **dificuldade** em liberar seus elétrons livres, a corrente elétrica **não** flui com facilidade, porque a resistência elétrica desses materiais é **grande**.

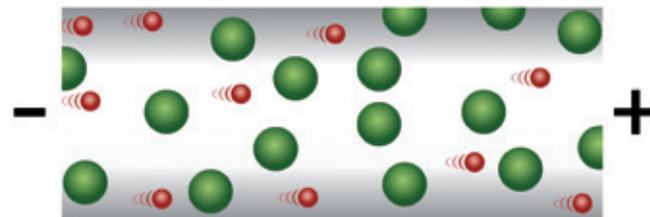


Figura 47 - Elétrons em materiais que apresentam resistência à passagem da corrente
Fonte: SENAI-SP (2012)

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

O efeito causado pela resistência elétrica tem muitas aplicações práticas em eletricidade e eletrônica. Ele pode gerar, por exemplo, o aquecimento da água que sai do chuveiro e o calor do ferro de passar, do ferro de soldar e do secador de cabelos.

5.1.1 UNIDADE DE MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A unidade de medida da resistência elétrica é o **ohm**, representado pela letra grega ômega: Ω .

Como toda unidade de medida, o ohm apresenta fatores multiplicadores – múltiplos e submúltiplos. Aqueles que são mais utilizados estão apresentados no quadro a seguir.

Tabela 5 – Unidade de medida de resistência e seus fatores multiplicadores

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR EM OHM (Ω)
Múltiplos (ou fatores multiplicadores)	megohm	$M\Omega$	$10^6 \Omega$ ou 1.000.000 Ω
	quilohm	$k\Omega$	$10^3 \Omega$ ou 1.000 Ω
Unidade	ohm	Ω	-
Submúltiplos	miliohm	$m\Omega$	$10^{-3} \Omega$ ou 0,001 Ω
	microhm	$\mu\Omega$	$10^{-6} \Omega$ ou 0,000.001 Ω

Na eletricidade, utilizamos frequentemente a unidade ou os seus múltiplos, e em eletrônica, a unidade ou os seus submúltiplos.

Faz-se a conversão de valores de forma semelhante às outras unidades de medida. Os passos são os mesmos da conversão de valores do volt, que já vimos no capítulo 3. Usaremos, também, o mesmo tipo de gabarito:

$M\Omega$			$K\Omega$			Ω			$m\Omega$			$\mu\Omega$		

Assim, digamos que você precise converter ohm (Ω) em quilohm ($k\Omega$) e a medida que você tem é **120 Ω** .

Para usar o gabarito, procede-se da seguinte maneira:

- Coloque o número no gabarito na posição da unidade de medida, que, neste caso, é o ohm. Lembre-se de que a vírgula deverá estar na linha após o ohm. Observe que cada coluna identificada está subdividida em três casas na próxima linha.

kΩ			Ω			mΩ			μΩ		
			1	2	0						
						↑	posição da vírgula				

- c) Mova a posição da vírgula para a direita. O novo valor gerado aparecerá quando a primeira casa abaixo da coluna do quilohm estiver preenchida.

kΩ			Ω			mΩ		
		0	1	2	0			
			↑	nova posição da vírgula				

Após preencher o gabarito, o valor convertido será: $120 \Omega = 0,12 \text{ k}\Omega$

5.1.2 INSTRUMENTO DE MEDIDA DE RESISTÊNCIA

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

Com esses instrumentos, mede-se a **resistência** que o **componente**, que está no circuito, oferece à passagem da corrente elétrica. Veja um ohmímetro digital de precisão na figura a seguir.



Figura 48 - Ohmímetro digital

Fonte: SENAI-SP (2012)



**FIQUE
ALERTA**

Nunca se deve usar o ohmímetro em componente ou equipamento energizado, pois isso poderá provocar um curto-circuito e acidentes elétricos graves.

Há ohmímetros indicados especialmente para cada necessidade, dependendo do tipo de equipamento ou do componente a ser medido. Assim:

- o **microhmímetro** é indicado para as leituras **entre** $0,1 \mu\Omega$ e 100Ω ;
- o **ohmímetro** é indicado para as leituras de valores **maiores** do que 10Ω e **menores** do que $100 \text{ M}\Omega$; e
- o megôhmímetro é indicado para a leitura de valores **maiores** do que $10 \text{ k}\Omega$ e $1000.000 \text{ M}\Omega$.

Um multímetro pode ser usado em lugar do ohmímetro. Veja a representação de um multímetro usado para medir a resistência na figura a seguir.



Figura 49 - Multímetro usado como ohmímetro
Fonte: SENAI-SP (2012)

Antes de fazer qualquer medição, é necessário preparar o aparelho corretamente. Para isso, proceda da seguinte maneira:

- gire a chave seletora e selecione a opção resistência (Ω). O *display* mostrará a opção Ω ;
- coloque o cabo vermelho no borne $V\Omega$ e o cabo preto no COM.



Figura 50 - Aparelho preparado para medição
Fonte: SENAI-SP (2012)

Para medir, faça o seguinte:

- a) certifique-se de que o circuito está desligado. Se não estiver, desligue-o;
- b) meça o componente com o instrumento conectado **em paralelo** com ele. Esse componente deverá estar isolado, ou seja, com uma das pontas desligada. Isso é necessário para evitar que outros componentes do circuito possam interferir na leitura.

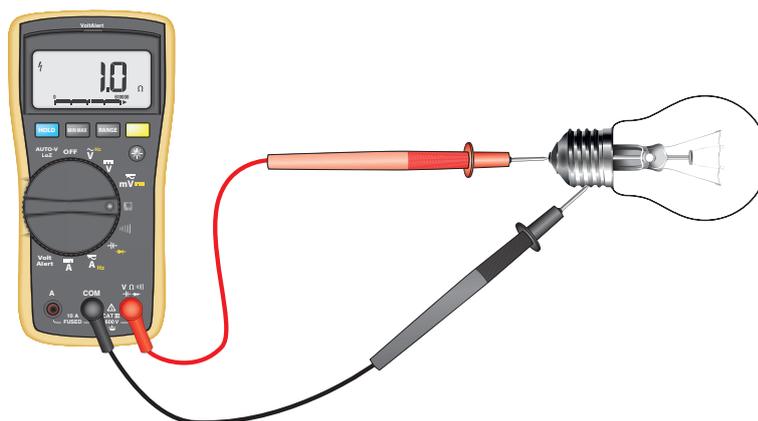


Figura 51 - Medição com multímetro
Fonte: SENAI-SP (2012)

Nesse caso, não há problema de polaridade.

**SAIBA
MAIS**

Para efetuar a medição em um motor elétrico e verificar se ele está em boas condições de funcionamento, é normal utilizar o megômetro. Você poderá descobrir como esse instrumento funciona fazendo uma pesquisa em um *site* de busca, na internet.

5.1.3 SEGUNDA LEI DE OHM

No segundo capítulo deste livro, dissemos que os nomes que foram citados na história da convivência do homem com a eletricidade apareceriam novamente.

Nos capítulos anteriores você já conheceu o **volt** – a unidade de medida de tensão elétrica, que recebeu o nome em homenagem a Alexandre Volta – e o **ampère** – a unidade de medida de corrente elétrica, que recebeu esse nome em homenagem a André Ampère.

Talvez você lembre, também, de que George Simon Ohm foi o cientista que estudou a resistência elétrica do ponto de vista das grandezas que têm influência sobre ela. Por esse estudo, ele concluiu que a **resistência elétrica** de um condutor **depende** fundamentalmente de quatro fatores, a saber:

- o **comprimento** (**L**) do condutor;
- a **área** de sua seção transversal (**S**);
- o **material** do qual o condutor é feito; e
- a **temperatura** no condutor.

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

Assim, vamos usar a mesma estratégia para explicar a descoberta de Ohm. Veremos a seguir cada um dos fatores.

Influência do comprimento do condutor

Para estudar esse tipo de influência, o cientista manteve constante o tipo de material, a sua temperatura e a área da seção transversal, variando apenas seu comprimento.

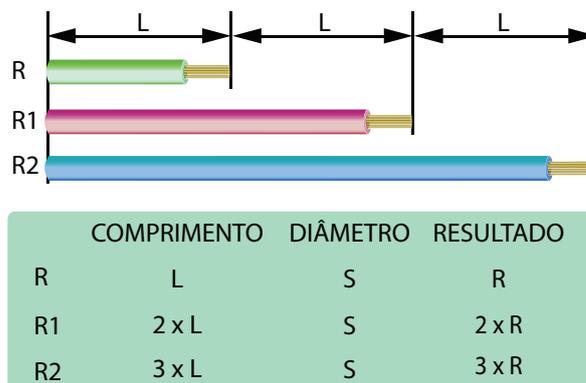


Figura 52 - A influência do comprimento na resistência elétrica do condutor
Fonte: SENAI-SP (2012)

Analisando os resultados, ele concluiu que a resistência elétrica **aumentava** ou **diminuía** na **mesma proporção** em que **aumentava** ou **diminuía** o **comprimento do condutor**. Isso significa que a resistência elétrica é **diretamente proporcional** ao **comprimento** do condutor.

Influência da seção transversal

Neste teste, manteve-se o comprimento do condutor, o tipo de material e a sua temperatura, variando **apenas sua seção transversal**.

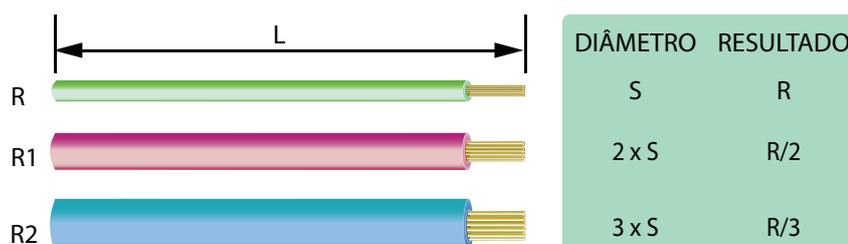


Figura 53 - Influência da seção transversal na resistência elétrica do condutor
Fonte: SENAI-SP (2012)

A conclusão à qual o cientista chegou foi que a resistência elétrica **diminuía** à medida que se **aumentava** a **seção transversal do condutor**. Por outro lado, quando se **diminuía** a **seção transversal do condutor**, a **resistência elétrica aumentava**.

Portanto, a resistência elétrica de um condutor é **inversamente proporcional** à sua área de seção transversal.

Influência do material

No teste para avaliar a influência do tipo de material, o comprimento, a seção transversal e a temperatura foram mantidos constantes, variando apenas o **tipo de material**:



Figura 54 - Influência do material na resistência elétrica do condutor

Fonte: SENAI-SP (2012)

Ao fazer isso, Ohm percebeu que, utilizando materiais **diferentes**, não havia pontos que estabelecessem relação entre eles. Com o **mesmo material**, todavia, ele percebeu que a resistência elétrica mantinha **sempre o mesmo valor**.

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

5.1.4 RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Agora você deve estar sentindo falta do quarto fator que influencia a resistência elétrica de um condutor: a **temperatura**. Quando estudamos a **resistividade elétrica**, é sobre a influência da temperatura em um condutor de que falamos, já que ela é a resistência elétrica **específica** de um condutor com um metro de comprimento, um milímetro quadrado de área de seção transversal quando medida em **temperatura ambiente constante de 20 °C**.

A maneira correta de representar temperatura utilizando a escala Celsius é a seguinte:

valor numérico símbolo da unidade grau Celsius

↓ ↓
25 °C

↑
espaço de até um caractere



Fonte: Inmetro <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/unidLegaisMed.asp>>

O **símbolo** da resistividade é a letra grega ρ (lê-se **rô**) e sua unidade de medida de resistividade é o $\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$.

Diante dos resultados de seus experimentos, George Simon Ohm estabeleceu a sua segunda lei, que diz:

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

Matematicamente, essa lei é representada pela seguinte equação:

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

Sendo que:

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

A tabela a seguir apresenta alguns materiais com seu respectivo valor de resistividade a uma temperatura de 20 °C.

Tabela 6 – Resistividade de materiais a 20 °C

MATERIAL	RESISTIVIDADE ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$) A 20 °C
Alumínio	0,0278
Bronze	0,0670
Cobre	0,0173
Constantan	0,500
Chumbo	0,210
Estanho	0,1195
Ferro	0,1221
Grafite	13
Latão	0,067
Manganina	0,480

Mercúrio	0,960
Níquel-cromo	1,100
Níquel	0,0780
Ouro	0,024
Prata	0,0158
Platina	0,106
Tungstênio	0,050
Zinco	0,0615



CASOS E RELATOS

Usar equipamentos antigos e tecnologicamente defasados pode causar vários tipos de prejuízos: a produtividade é baixa, o produto não apresenta qualidade competitiva e gasta-se muito em manutenção e com a conta de fornecimento de energia, porque esses equipamentos geralmente consomem mais energia para funcionar.

Assim, a diretoria de uma empresa optou por modernizar seu parque de máquinas antes que os prejuízos começassem a aparecer.

Alguns dos equipamentos antigos tinham o cabo de alimentação de alumínio, que oferece uma resistência à passagem da corrente 1,6 vezes maior que o cobre.

Por descuido de um dos instaladores, as sobras desses cabos acabaram sendo guardadas junto com os cabos de cobre. Um dia, foi necessário trocar cinco metros de cabo de um dos novos equipamentos instalados. Sem saber que os cabos estavam misturados no depósito, um dos eletricitistas pegou, inadvertidamente, o cabo de alumínio e utilizou-o normalmente.

Após algum tempo de uso, aquele cabo de alumínio danificou a cobertura isolante por ter resistência maior e, por isso, aqueceu além do normal, sendo substituído novamente.

O erro do eletricitista, além do uso do cabo inadequado para aquele tipo de equipamento, foi não medir a corrente do circuito com o equipamento em funcionamento, pois o cabo correto estava dimensionado para a corrente limite do cobre, que é muito maior do que a do alumínio.

5.1.5 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A RESISTÊNCIA

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

Na maior parte dos materiais, o **aumento da temperatura** significa **maior resistência** elétrica. Isso acontece porque o aumento da temperatura leva ao **aumento da agitação** das partículas que constituem o material e isso **aumenta as colisões** entre as partículas e os elétrons livres no interior do condutor.

Isso é o que normalmente acontece no interior dos metais e suas ligas. E, quando isso acontece, é necessário um **grande aumento** na temperatura para que se possa notar uma **pequena variação** na resistência elétrica. É por esse motivo que eles são usados na fabricação de resistores.

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

Assim, é possível determinar um novo valor quando o condutor está em uma nova temperatura se conhecemos a resistividade do seu material em uma determinada temperatura. Isso é feito matematicamente com a ajuda da seguinte expressão:

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

Nela, temos:

- ρ_f representa a **resistividade** do material na temperatura final em $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$;
- ρ_o é a **resistividade** do material na temperatura inicial (geralmente, 20°C) em $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$;
- α é o **coeficiente de temperatura** do material (encontrado em tabelas); e
- $\Delta\theta$ (lê-se delta **teta**) é a **variação de temperatura**, ou seja, a diferença entre a temperatura final e a temperatura inicial ($t_f - t_i$), em °C.

Analisando a fórmula anterior, tenha em mente que a resistividade dos metais puros **aumenta** com o **aumento** da **temperatura**. Por isso, a resistência elétrica de resistores constituídos de metais puros **também aumenta** com a temperatura.

Ocorre que, com o **aquecimento**, há um **aumento** do estado de vibração das partículas que constituem o condutor e isso **dificulta** a passagem da corrente elétrica.

Por outro lado, o aquecimento provoca um **aumento** do número dos **elétrons livres**, que são essenciais para a existência da corrente elétrica. Mas, no caso dos metais puros, o **aumento** do estado de **vibração das partículas** do condutor sobrepõe-se ao aumento do número de elétrons livres, tornando-os **mais resistivos**.

Outro fato a ser observado é que existem **ligas metálicas**, tais como a manganina e o constantan – ligas de manganês e cobre, respectivamente –, nas quais os dois efeitos praticamente **se compensam**. Para essas ligas, a resistividade e a resistência elétrica **praticamente não variam** com a temperatura.

Para o grafite, o **aumento** do número de **elétrons livres** (segundo efeito do aumento de temperatura) **predomina** sobre o **aumento** de estado de **vibração das partículas** (primeiro efeito), o que os torna **menos resistivos** à medida que a temperatura **umenta**.

Portanto, vale anotar que:

- os **metais puros** possuem coeficientes **positivos** de temperatura (α);
- as **ligas especiais** possuem coeficientes de temperaturas **praticamente nulos**; e
- o coeficiente de temperatura do grafite é **negativo**.

A tabela a seguir mostra os valores dos coeficientes de temperatura de alguns materiais. Acompanhe!

Tabela 7 – Coeficiente de temperatura de materiais

MATERIAL	COEFICIENTE DE TEMPERATURA α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Alumínio	0,0032
Cobre	0,0039
Constantan	0,00001
Ferro	0,005
Grafite	-0,0002 a -0,0008
Latão	0,0015
Níquel-cromo	0,0002
Platina	0,003
Prata	0,004
Tungstênio	0,0045

Como **exemplo** de aplicação da fórmula para o cálculo da variação da resistividade elétrica de um metal sob a influência do aumento de temperatura, vamos determinar a resistividade do cobre na temperatura de 50 °C, sabendo-se que à temperatura de 20 °C, sua resistividade é $0,0173 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$.

Primeiramente, vamos indicar o valor referente a cada componente da expressão:

- $\rho_o = 0,0173 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$
- $\alpha = 0,0039 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$
- ρ_f = é o valor que se quer encontrar.

Como $\rho_f = \rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$, substituindo os valores, temos:

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

Efetuada a subtração dentro dos colchetes, temos:

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

Efetuada a multiplicação dentro dos parênteses, o resultado é:

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

Efetuada a última operação e eliminando os parênteses, alcançamos o resultado:

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

Assim, temos que o valor da resistividade elétrica do cobre a 50°C é:

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

O quadro a seguir indica as características e as aplicações de alguns materiais usados na fabricação de condutores e cabos. Acompanhe!

Quadro 9 – Características e aplicações de materiais

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Cobre	baixa resistividade	Fabricação de condutores e cabos elétricos
	alta flexibilidade	
Tungstênio	baixa resistividade	Fabricação de filamentos para lâmpadas incandescentes
	alta temperatura de fusão	
Carbono	alta resistividade	Fabricação de resistores de baixa e média potências
	baixo coeficiente de temperatura	
Constantan	média resistividade	Fabricação de resistores de baixa e média potências
	coeficiente de temperatura nulo	
Mica	alta resistividade	Revestimento de resistências de aquecimento
	baixa resistência térmica	
Plástico	alta resistividade	Revestimento de fios, cabos elétricos e ferramentas
Borracha	alta flexibilidade	
Baquelite	alta resistividade	Revestimento de dispositivos de controle e proteção, como disjuntores
	baixa flexibilidade	

Fonte: Markus (2008, p. 35)

As resistências aparecem na constituição da maioria dos circuitos e formam **associações de resistências**. É sobre elas que falaremos a seguir.

5.2 ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS

Por sua presença constante nos circuitos, é muito importante conhecer os tipos e as características das associações de resistências, que são a base de qualquer conjunto de componentes, de aparelho ou de máquina que funcione com a utilização de circuitos eletroeletrônicos.

Para explicá-las, vamos usar um exemplo que tem a ver com a vida das pessoas: todos nós costumamos nos reunir por motivos diversos e em situações diferentes. Encontramo-nos com amigos na balada, somos sócios de clubes, vamos à igreja, trabalhamos em grupo.

Sempre que isso acontece, estamos nos reunindo e formando associações, pois ficamos juntos com a mesma **finalidade**: diversão, oração, trabalho.

De mesma forma, as resistências também podem trabalhar reunidas, formando uma associação: a **associação de resistências**.

Na **associação de resistências**, é necessário considerar:

- os **terminais**, que são os pontos da associação conectados à fonte geradora;
- os **nós**, que são os pontos em que ocorre a interligação de três ou mais resistências;
- a **porção do circuito**, que liga dois nós consecutivos é chamada de ramo, ou braço; e
- a **malha**, que é que é o conjunto de ramos que delimitam um percurso fechado.

Além disso, temos de saber também que, apesar do número de associações diferentes que se pode fazer no circuito, todas podem ser classificadas a partir de três designações básicas:

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

Na **associação em série**, as resistências são interligadas de forma que haja **apenas um** caminho para a circulação da corrente elétrica entre os terminais.

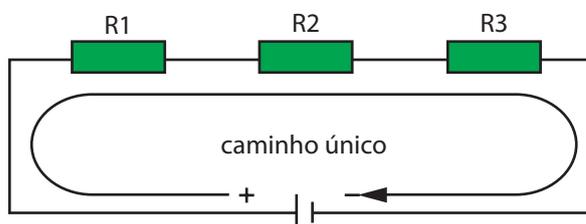


Figura 55 - Associação em série de resistores
Fonte: SENAI-SP (2012)

Na **associação em paralelo**, os terminais das resistências estão interligados de forma que exista **mais de um caminho** para a circulação da corrente elétrica.

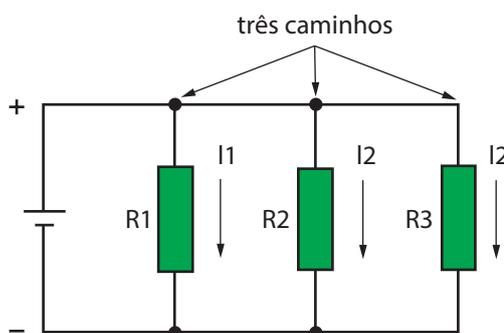


Figura 56 - Associação em paralelo de resistores
Fonte: SENAI-SP (2012)

E a **associação mista** é aquela composta por **grupos de resistências em série** e em **paralelo**.

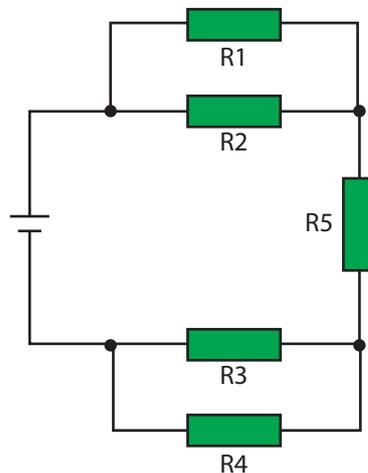


Figura 57 - Associação mista de resistores
Fonte: SENAI-SP (2012)

5.2.1 RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

Quando falamos em associações de resistências, estamos falando de um **conjunto** de dois ou mais componentes. É bom lembrar que em nossas casas esses conjuntos de componentes estão presentes em **todos** os eletrodomésticos, nos equipamentos de iluminação e em tudo mais que funcione com eletricidade.

Imaginemos, então, que para conhecer o consumo **total** de eletricidade da casa fosse necessário conhecer o **consumo de cada um** desses componentes. Talvez tivéssemos de colocar um medidor **em cada um deles** e depois somar tudo. Mas para evitar esse transtorno aquele único medidor da concessionária (que algumas pessoas chamam de “relógio de luz”), que mede o **consumo total** de todos os eletrodomésticos de nossa casa, faz isso. Usando esse exemplo, vamos explicar o que acontece com as resistências de um circuito.

Já vimos neste capítulo que nas associações devem existir no mínimo duas resistências e que uma associação pode conter **várias** resistências. Quando associam-se resistências, a resistência elétrica entre os terminais é **diferente** das individuais. Por essa razão, a resistência de uma associação recebe uma denominação específica: **resistência total**, ou **resistência equivalente (R_{eq})**.

A resistência equivalente de uma associação **depende** das **resistências** que a compõem e do **tipo de associação**. A **resistência total** é a **soma** das resistências **parciais**.

Assim como o medidor da concessionária faz com que todos os equipamentos da casa tornem-se um, para simplificar o cálculo da **resistência equivalente (Req)** ou **total**, fazemos com que **todas** essas resistências do circuito tornem-se apenas **uma**.

A primeira coisa que precisamos aprender é que, dependendo do tipo de associação de resistência e das resistências que a compõem, há uma maneira específica de calcular a resistência equivalente. Por isso, temos o:

- cálculo da resistência equivalente de uma associação em série;
- cálculo da resistência equivalente de uma associação em paralelo; e
- cálculo da resistência equivalente de uma associação mista.

Veja a seguir como devemos realizar esses cálculos.

Cálculo da resistência equivalente de uma associação em série

Para obtermos a resistência equivalente de uma associação em série, usamos a seguinte fórmula:

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

Por **convenção**, $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ são os **valores ôhmicos** das resistências associadas.

Para entender melhor essa fórmula, pense em uma estrada, na qual, em certo ponto, há uma quantidade de carros e, em outro ponto, outra quantidade de carros. A quantidade **total** de carros trafegando por essa estrada em determinado momento será a **soma** dos carros em cada ponto, certo? O mesmo acontece com a associação em série que tem uma resistência de 120Ω (R_1) e outra de 270Ω (R_2), conforme representado no circuito da figura a seguir.

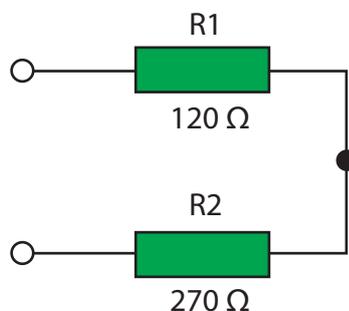


Figura 58 - Associação em série de resistores
Fonte: SENAI-SP (2012)

Nesse caso, obtemos a resistência equivalente entre os terminais da seguinte forma:

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

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

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

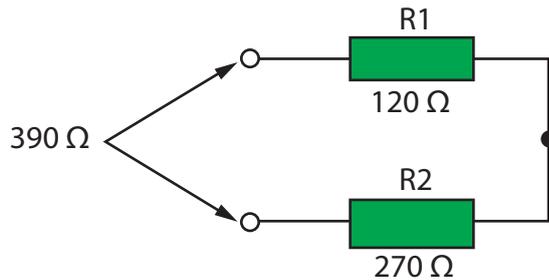


Figura 59 - Resistência equivalente do circuito
Fonte: SENAI-SP (2012)

Sempre que fazemos esse cálculo, devemos nos lembrar de que:

- o valor da resistência equivalente de uma associação de resistências em série é sempre **maior** que a **resistência de maior valor** da associação; e
- se todas as resistências tiverem o **mesmo** valor, a **Req** seria o número de resistências multiplicado pelo valor de qualquer uma delas. Assim, se o circuito em série tiver uma associação de três resistências de 120 Ω a Req, será:

$$R_{eq} = 3 \times 120$$

$$R_{eq} = 360 \, \Omega$$

Cálculo da resistência equivalente de uma associação em paralelo

Para calcular a **Req** na associação em paralelo, inicialmente precisamos nos lembrar de que há **dois** ou **mais** caminhos para a circulação da corrente elétrica.

Depois, precisamos aprender que, no caso de uma associação em paralelo de resistências, a **Req** é dada pela seguinte equação:

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

Essa equação também pode ser representada da maneira a seguir:

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

Da mesma forma que no circuito em série, por convenção, para o cálculo da **Req** da **associação em paralelo**, R_1 , R_2 , R_3 , ... R_n são os valores ôhmicos das resistências associadas.

Para entender o cálculo, pense novamente na estrada, imaginando que todos os carros que lá trafegam terão de passar pelo pedágio. Quanto **mais** cabines de pedágio existir, **menor** será o número de carros a passar em cada uma delas. Ou seja, a mesma quantidade de carros que entra na estrada, sai da estrada, **mas a quantidade de carros que passa em cada cabine é diferente**.

O mesmo acontece com o circuito paralelo, no qual cada resistor corresponderia a uma cabine de pedágio. Assim como a quantidade de veículos que passam pelos pedágios é diferente, os valores ôhmicos dos resistores também são diferentes.

Vamos ao exemplo usando a associação em paralelo a seguir, em que os valores das resistências são:

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 25 \Omega$$

$$R_3 = 20 \Omega$$

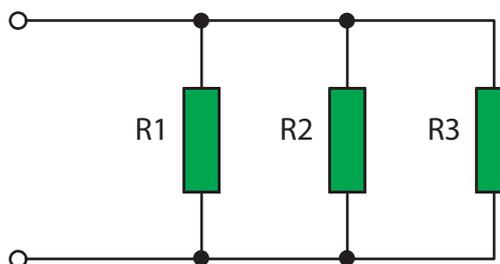


Figura 60 - Associação de resistores em paralelo

Fonte: SENAI-SP (2012)

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

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

Colocando os valores do circuito, teremos:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{25\Omega} + \frac{1}{20\Omega}}$$

Como podemos ver, essa é uma **soma de frações**. Então, usando o próprio exemplo, vamos fazer uma revisão de como se faz essa soma, lembrando que:

- a) Uma fração é a representação matemática de parte(s) de um todo. Ela é composta por dois termos: o **numerador**, que é o número disposto **acima** do traço, e o **denominador**, que é o número localizado **abaixo** do traço.

$$\frac{1}{10} \leftarrow \begin{array}{l} \text{numerador} \\ \text{denominador} \end{array}$$

- b) Para somar frações com **denominadores diferentes**, como as frações de nosso exemplo, é necessário, inicialmente, encontrar o **mínimo múltiplo comum** (MMC) dos denominadores, a fim de obter um **denominador comum** para as frações.
- c) Encontramos o MMC de dois ou mais números **decompondo-os** em seus **fatores primos**.



VOCÊ SABIA?

Números primos são os números naturais que só podem ser divididos por 1 ou por eles mesmos. De 1 a 100, os números primos são os seguintes: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71, 73, 79, 83, 89, 97

O procedimento é o seguinte:

- a) No exemplo do circuito da figura 60, precisaremos decompor os números **10**, **25** e **20** em seus fatores primos. Na primeira linha, verificamos quais números são divisíveis pelo **menor número primo**. Nesse caso, apenas **10** e **20** são divisíveis por **2** (o menor número primo). O resultado aparece na segunda linha:

$$\begin{array}{l|l} 10, 25, 20 & \mathbf{02} \\ 05, 25, 10 & \end{array}$$

- b) Dos números da segunda linha, somente **10** é divisível por **2** (o menor número primo). O resultado aparece na terceira linha:

$$\begin{array}{l|l} \mathbf{10}, 25, 20 & \mathbf{02} \\ 05, 25, \mathbf{10} & \mathbf{02} \\ 05, 25, 05 & \end{array}$$

¹ ARREDONDAMENTO

O **arredondamento** é um **recurso** para **abreviar** números que possuem muitas casas decimais, desde que isso não comprometa o resultado.

- c) Na terceira linha, não há mais números divisíveis por **2**. Então, procuramos o próximo número primo pelo qual os números **5** e **25** são divisíveis. É o número **5**:

$$\begin{array}{r|l} 10, 25, 20 & 02 \\ 05, 25, 10 & 02 \\ 05, 25, 05 & 05 \\ 01, 05, 01 & \end{array}$$

- d) Na quarta linha ainda há um número divisível por **5**:

$$\begin{array}{r|l} 10, 25, 20 & 02 \\ 05, 25, 10 & 02 \\ 05, 25, 05 & 05 \\ 01, 05, 01 & 05 \\ 01, 01, 01 & \end{array}$$

Esse processo é repetido até que todos os resultados das divisões sejam **1**.

- e) Em seguida, multiplicamos todos os números primos usados nas divisões:

$$2 \times 2 \times 5 \times 5 = 100$$

O quadro de números ficará da seguinte forma:

$$\begin{array}{r|l} 10, 25, 20 & 02 \\ 05, 25, 10 & 02 \\ 05, 25, 05 & 05 \\ 01, 05, 01 & 05 \\ 01, 01, 01 & \\ & 100 \end{array}$$

O **MMC** de 10, 25 e 20 é, portanto: **100**.

Agora, vamos pegar o valor do **MMC**, **dividi-lo** pelo **denominador** de cada fração e, em seguida, **multiplicá-lo** pelo **numerador**. Na fração **1**, teremos, então:

$$100 \div 10 \times 1 = 10$$

Na fração **2**, teremos:

$$100 \div 25 \times 1 = 4$$

E na fração **3**, teremos:

$$100 \div 20 \times 1 = 5$$

Colocamos os valores obtidos no **numerador** das frações, que são o denominador da fórmula, e essa ficará assim:

$$Req = \frac{1}{\frac{10}{100} + \frac{4}{100} + \frac{5}{100}}$$

Como temos agora o **mesmo** denominador, podemos **somar** os **numeradores** e ficaremos com o seguinte resultado:

$$Req = \frac{1}{\frac{19}{100}}$$

Invertendo os termos da fórmula, teremos:

$$\frac{1}{Req} = \frac{19}{100}$$

Isolando-se o **Req** e dividindo 100 por 19, teremos:

$$Req = \frac{100}{19} = 5,2631578947 \Omega$$

Observe que o número obtido apresenta dez casas, chamadas de **casas decimais** depois da vírgula. Um número tão grande pode complicar a vida de qualquer um! Por isso, a matemática nos permite usar a regra do **arredondamento**.

Veja, no quadro a seguir, as regras de arredondamento utilizadas na Matemática.

Quadro 10 – Regras para arredondamento de números

ALGARISMO A SER DESCARTADO	PROCEDIMENTO	EXEMPLO	EXEMPLO COM ARREDONDAMENTO PARA DUAS CASAS DECIMAIS
Menor que 5	O algarismo à esquerda deve permanecer inalterado.	56,34478	56,34
Maior que 5	Aumenta-se de uma unidade o algarismo que deve permanecer.	56,34812	56,35
Igual a 5	Se à direita do 5 houver um algarismo diferente de zero em qualquer casa, aumenta-se de uma unidade no algarismo a permanecer.	56,345001	56,35
Igual a 5	Se o 5 for o último algarismo ou se à direita do 5 só seguirem zeros, o último algarismo a ser conservado só será aumentado de uma unidade se for ímpar.	56,345 ou 56,335	56,34

Voltando ao nosso exemplo, o resultado final é $R_{eq} = 5,26 \Omega$.

Sempre que fizermos o cálculo de **Req** de uma associação em paralelo, deveremos nos lembrar de que:

- a resistência equivalente da associação em paralelo é **menor** que a **resistência de menor valor**;
- se **todas** as resistências tiverem o mesmo valor, a **Req** corresponderá ao **valor da resistência dividido** pela quantidade de resistências; e
- para associações em paralelo com apenas **duas resistências**, pode-se usar uma equação **mais simples**, deduzida da equação geral. Assim, tomando-se a equação geral, com apenas duas resistências, temos:

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

Invertendo ambos os termos, obtém-se:

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

Colocando o **denominador comum** no segundo membro, temos:

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

Invertendo os dois membros, obtemos:

$$R_{eq} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

Portanto, R1 e R2 são os valores ôhmicos das resistências associadas.

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

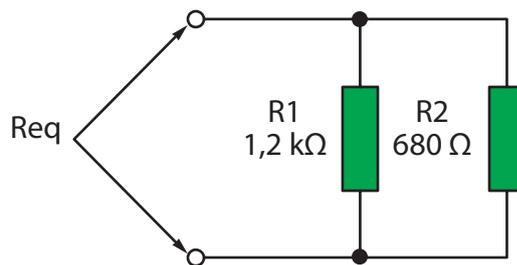


Figura 61 - Associação de dois resistores
Fonte: SENAI-SP (2012)

O procedimento é o seguinte:

a) Substituir os valores na fórmula:

$$R_{eq} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2} \longrightarrow R_{eq} = \frac{1200 \Omega \times 680 \Omega}{1200 \Omega + 680 \Omega}$$

b) Realizar as operações de multiplicação no numerador e soma no denominador:

$$R_{eq} = \frac{816000 \Omega}{1880 \Omega}$$

c) Dividir o valor do numerador pelo valor do denominador. O resultado obtido nesta operação é o valor de Req em uma associação de duas resistências em paralelo:

$$R_{eq} = 434 \Omega$$

Cálculo da resistência equivalente de uma associação mista

Para determinar a **resistência equivalente de uma associação mista**, procedemos da seguinte maneira.

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

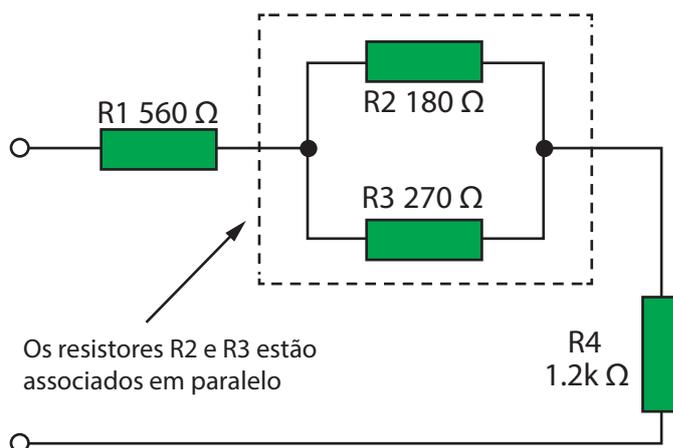


Figura 62 - Associação mista de resistores

Fonte: SENAI-SP (2012)

- b) Uma vez identificados os nós, analisamos como estão ligadas as resistências entre cada dois nós do circuito. Nesse caso, as resistências **R2** e **R3** estão **em paralelo**.
- c) Desconsideramos, então, **tudo** o que está **antes** e o que está **depois** desses nós, e examinamos a forma como **R2** e **R3** estão **associadas** para verificar se esta é uma associação em **paralelo de duas resistências**.

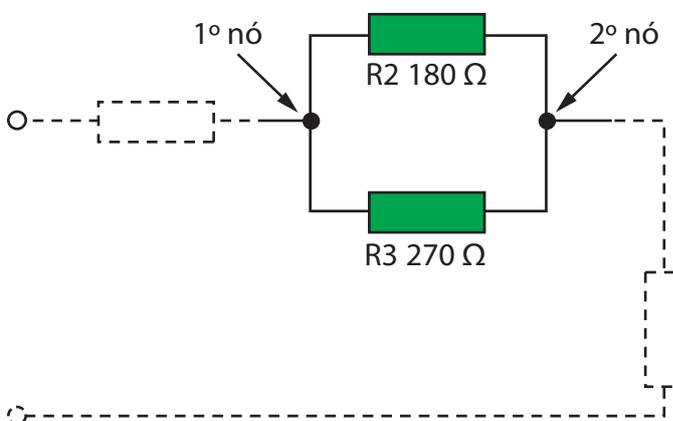


Figura 63 - Resistências associadas em paralelo

Fonte: SENAI-SP (2012)

- d) Determinamos, então, a Req dessas duas resistências associadas em paralelo aplicando a fórmula já mostrada.

$$Req1 = \frac{R2 \times R3}{R2 + R3} = \frac{180 \times 270}{180 + 270} = \frac{48600}{450} = 108 \Omega$$

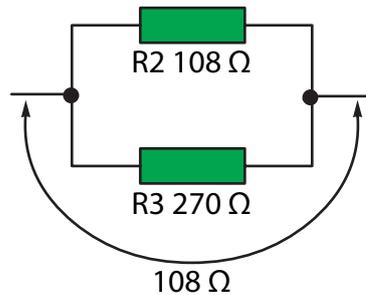


Figura 64 - Resistência equivalente da associação em paralelo
Fonte: SENAI-SP (2012)

Portanto, as resistências associadas R2 e R3 apresentam 108 Ω de resistência à passagem da corrente no circuito. Se as resistências R2 e R3 (em paralelo) forem substituídas por uma resistência de 108 Ω, identificada, por exemplo, por Req1, o circuito **não será alterado**.

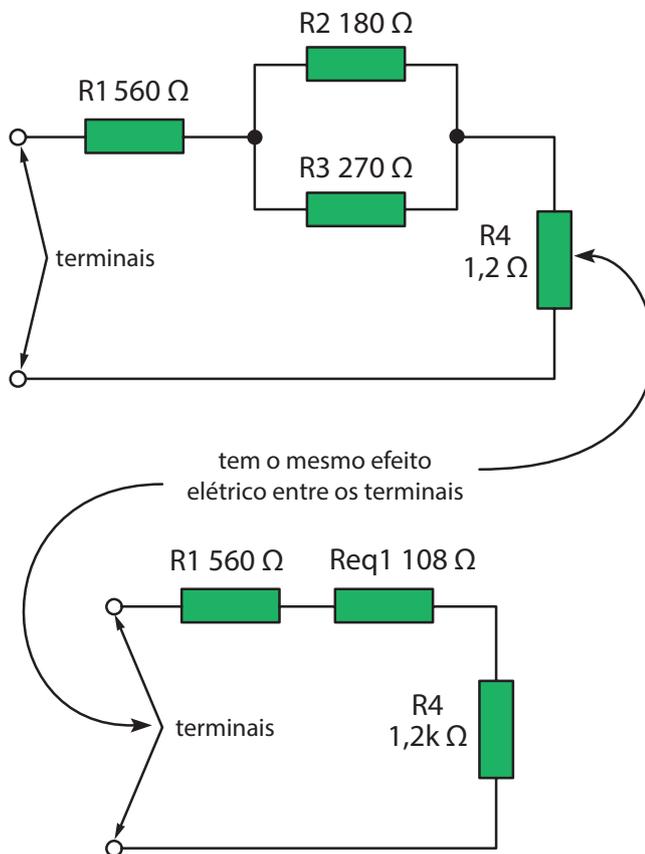


Figura 65 - Circuitos ficam equivalentes com a troca do resistor
Fonte: SENAI-SP (2012)

Ao substituir a associação mista original, a associação **resultante** torna-se uma **associação em série simples**, constituída pelas resistências R1, Req1 e R4.

A partir do valor de Req1 e das outras resistências existentes no circuito, determina-se a resistência equivalente de **toda** a associação por meio da equação da associação em série:

$$R_{eq} = R1 + R_{eq1} + R4$$

Substituindo os valores, teremos:

$$R_{eq} = 560 + 108 + 1200$$

A resistência equivalente desse circuito será, então: $R_{eq} = 1868 \Omega$.

Esse resultado significa que **toda** a associação mista original tem o **mesmo** efeito para a corrente elétrica que **uma única resistência** de **1868 Ω** . Veja esta equivalência na figura a seguir.

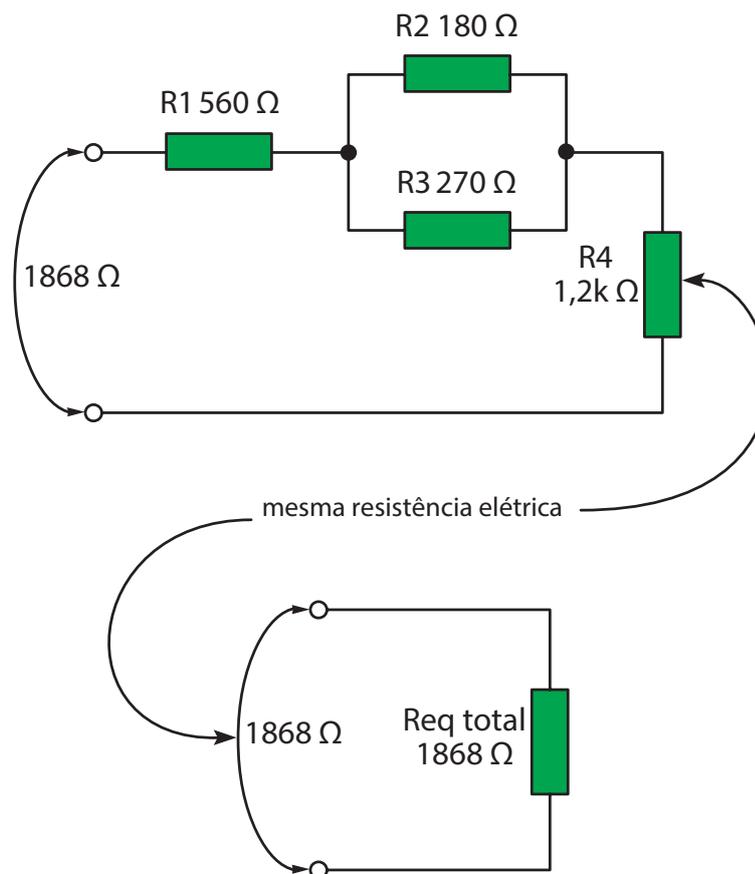


Figura 66 - Resistência equivalente

Fonte: SENAI-SP (2012)

Aqui terminamos este capítulo. Agora você pode relembrar tudo o que estudamos na seção Recapitulando. Acompanhe!



RECAPITULANDO

Neste capítulo, você aprendeu que:

- resistência elétrica é a oposição que um material apresenta ao fluxo de corrente elétrica;
- a unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, que é representado pela letra grega Ω (ômega);
- o instrumento de medição da resistência elétrica é o ohmímetro;
- a resistividade elétrica é a resistência elétrica específica de um condutor com 1 metro de comprimento, 1 mm^2 de área de seção transversal e que é medida em temperatura ambiente constante de 20°C (Segunda Lei de Ohm);
- a fórmula da resistividade é: $R = \frac{\rho \cdot L}{S}$;
- são três os tipos de associação de resistências: em série, paralela e mista;
- na associação em série, as resistências são interligadas de forma que haja apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica entre os terminais;
- na associação paralela, os terminais das resistências estão interligados de forma que haja mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica;
- a associação mista é a associação de resistências em série e em paralelo;
- a resistência equivalente em série é dada pela fórmula: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ e o valor será maior que o maior valor da resistência;
- a resistência equivalente em paralelo é dada pela fórmula:

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

resistência; e

- l) quando há duas resistências em paralelo no circuito, podemos usar a seguinte fórmula:

$$R_{eq} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}.$$

Esses conhecimentos são essenciais para interpretar o funcionamento de circuitos eletroeletrônicos, um dos fundamentos mais importantes desta unidade curricular.

Leis de Ohm e leis de Kirchhoff

6



Você já conhece os conceitos de tensão, corrente, resistência, circuito série, circuito paralelo, circuito misto e aprendeu a calcular a resistência equivalente das associações em série, paralela e mista. Uau! Quanta coisa!

Neste capítulo, chegou a hora de começar a aplicar todos esses conhecimentos em circuitos mais complexos. Agora, você conhecerá as leis que regem os cálculos dos valores reais de cada componente de um circuito.

Para fazer isso, primeiramente vamos estudar a Lei de Ohm, que trata da forma como a corrente elétrica é medida. A partir daí, será possível determiná-la matematicamente e medir os valores das grandezas elétricas em um circuito.

Em seguida, estudaremos as Leis de Kirchhoff, que tratam da medição da tensão e da corrente em circuitos com mais de uma carga, a fim de que você possa calcular e medir tensões e correntes em circuitos desse tipo.

São muitos conteúdos, e para você dimensionar a importância deles, leia a seguir algumas manchetes publicadas em jornais de várias cidades do nosso país:

“Curto em aparelho provoca incêndio em hospital, dizem bombeiros em MS. Fogo começou em uma sala no térreo do hospital, em Campo Grande. Segundo os bombeiros, não foi necessário remover pacientes do prédio.” (Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso-do-sul/noticia/2012/02/curto-em-aparelho-provoca-incendio-em-hospital-dizem-bombeiros-em-ms.html>>. Acesso em: 01 jun. 2012).

“Curto-circuito pode ter causado incêndio em favela de Votuporanga. Alguns barracos foram consumidos pelas chamas.” (Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2012/02/curto-circuito-pode-ter-causado-incendio-em-favela-de-votuporanga.html>>. Acesso em: 01 jun. 2012).

“Incêndio em porta-aviões deixa um morto e dois feridos. As causas do incêndio no porta-aviões São Paulo, da Marinha Brasileira, ainda não foram divulgadas, mas acredita-se que tudo começou com uma pane elétrica.” (Disponível em: <<http://www.noticiasbr.com.br/incendio-em-porta-avioes-deixa-1-morto-e-2-feridos-42834.html>>. Acesso em: 01 jun. 2012).

“Curto-circuito termina em fogo e deixa bairro sem energia em João Pessoa. Incidente aconteceu na manhã desta segunda-feira (31) no bairro da Torre. Moradores ficaram sem energia elétrica por algumas horas.” (Disponível em: <http://g1.globo.com/paraiba/noticia/2011/10/curto-circuito-termina-em-fogo-e-deixa-bairro-sem-energia-em-joao-pessoa.html?utm_medium=twitter&utm_source=twitterfeed>. Acesso em: 01 jun. 2012).

Essas notícias são bem mais comuns do que gostaríamos. Quantas vezes você já viu ou ouviu falar em incêndio causado por causa de uma sobrecarga ou de um curto-circuito? Isso pode acontecer em uma residência, uma loja, um hospital, uma fábrica ou até mesmo em um equipamento de uma concessionária de fornecimento de energia elétrica.

Um curto-circuito pode acontecer quando um condutor é ligado diretamente entre os polos de uma fonte (bateria) ou tomada da rede elétrica e a corrente tende a ser extremamente elevada. Isso produzirá o Efeito Joule e pode provocar incêndio na instalação. É para prevenir esse tipo de acidente que fazemos os cálculos que estudaremos neste capítulo.

Ao final deste capítulo, você terá subsídios para:

- a) compreender como é formada uma rede de nós e malhas em um circuito;
- b) calcular a distribuição da intensidade da corrente em um nó;
- c) calcular a distribuição de tensões em uma malha;
- d) calcular a resistência equivalente de várias resistências conectadas em paralelo;
- e) calcular a resistência equivalente de várias resistências conectadas em série;
- f) indicar como um resistor e um divisor de tensão limitam a tensão.

Vamos lá? Bom estudo!

6.1 PRIMEIRA LEI DE OHM

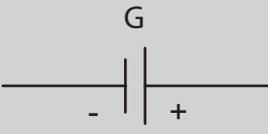
Lembra-se daqueles cientistas, mencionados no capítulo 2 deste livro, que se dedicaram ao estudo da eletricidade? Pois bem, foi com base nos estudos de **George Simon Ohm** que foi formulada a **Primeira Lei de Ohm** e também a Segunda Lei de Ohm, que você já estudou no capítulo 5.

Embora, graças ao desenvolvimento tecnológico, os conhecimentos sobre eletricidade tenham se ampliado largamente, a Primeira Lei de Ohm continua sendo uma lei básica da eletricidade e da eletrônica. Por isso, conhecê-la é fundamental para o estudo e a compreensão dos circuitos eletroeletrônicos.

Essa lei estabelece a relação entre corrente (**I**), tensão (**V**) e resistência (**R**) em um circuito. Ela é verificada a partir das medições dessas grandezas elétricas em circuitos elétricos simples, formados com uma fonte geradora e um resistor.

Para um melhor entendimento, vamos utilizar os símbolos e as letras padronizadas conforme a IEC 1082-1 e a NBR 5280 mostrados no quadro a seguir.

Quadro 11 – Símbolos e letras usados em circuitos elétricos

SÍMBOLO	LETRA	SIGNIFICADO
	-	Amperímetro
	-	Voltímetro
	R	Resistor
	G	Bateria ou fonte de alimentação.

No símbolo G, observe que o traço **menor**, na vertical do símbolo da bateria, sempre será o **negativo** e o traço **maior**, o **positivo**.

6.1.1 DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA PRIMEIRA LEI DE OHM

Vamos verificar a Primeira Lei de Ohm realizando medições de tensão, de corrente e de resistência. Veja o circuito a seguir.

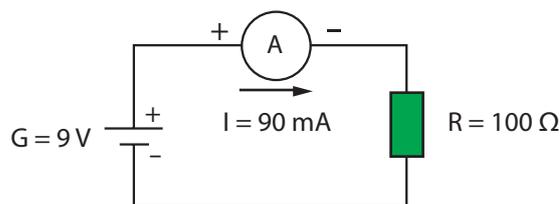


Figura 67 - Primeiro circuito

Fonte: SENAI-SP (2012)

Observe que há o símbolo de um amperímetro no circuito. Lembre-se de que para inserir o amperímetro no circuito este deverá estar aberto, ou seja, o condutor deverá estar **cortado**. O borne **positivo** do amperímetro deverá estar conectado no lado **positivo** da bateria. O borne COM estará conectado ao resistor na outra ponta do condutor, que vai para o polo negativo da bateria.

Sua leitura indica que, com uma fonte geradora (bateria) de 9 V e um resistor de 100 Ω , o fluxo de corrente elétrica é de **90 mA**.

Substituindo o resistor de 100 Ω por outro de 200 Ω , a corrente passa para **45 mA**. Veja isso no circuito a seguir.

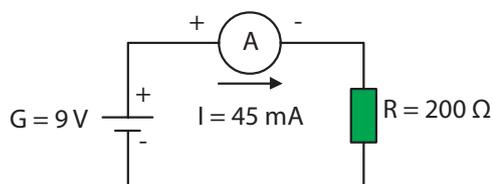


Figura 68 - Segundo circuito

Fonte: SENAI-SP (2012)

À medida que o resistor é trocado por um de valor **maior, aumenta** a oposição à passagem da corrente elétrica. Esta **decrece na mesma proporção** do aumento do valor do resistor. Veja no terceiro circuito:

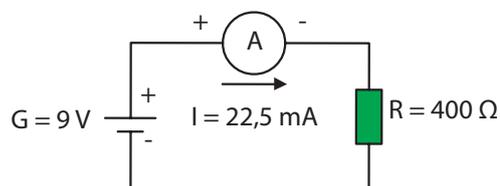


Figura 69 - Terceiro circuito

Fonte: SENAI-SP (2012)

Os valores obtidos podem ser melhor interpretados na tabela 8, a seguir:

Tabela 8 – Valores obtidos

GRANDEZAS	PRIMEIRO CIRCUITO	SEGUNDO CIRCUITO	TERCEIRO CIRCUITO
Tensão da bateria	9V	9V	9V
Valor do resistor	100 Ω	200 Ω	400 Ω
Corrente no circuito	90 mA	45 mA	22,5 mA

Analisando a tabela, podemos verificar que:

- a tensão aplicada ao circuito é **sempre a mesma**; e
- aumentado** o valor da resistência, **diminui** o valor da corrente.

A relação entre o aumento da resistência e a diminuição da corrente tem proporcionalidade, pois, mantendo-se a tensão da bateria **constante**, cada vez que o valor da resistência **dobra**, a corrente **diminui** na mesma proporção. Veja na tabela a seguir.

Tabela 9 – Proporcionalidade entre resistência e corrente

CIRCUITO	TENSÃO	RESISTÊNCIA	CORRENTE
Primeiro circuito	9V	100 Ω	90 mA
Segundo circuito	9V	100 x 2 = 200 Ω	90 / 2 = 45 mA
Terceiro circuito	9V	200 x 2 = 400 Ω	45 / 2 = 22,5 mA

Tendo como base esta tabela, podemos afirmar que a **corrente** e a **resistência** são **inversamente proporcionais**, isto é, quando uma grandeza (R) **aumenta** de valor, o valor da outra grandeza (A) **diminui proporcionalmente**. Matematicamente, isso pode ser representado pela seguinte fórmula:

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

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

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

6.1.2 APLICAÇÃO DA PRIMEIRA LEI DE OHM

Utiliza-se a Primeira Lei de Ohm para determinar os valores de tensão (**V**), corrente (**I**) ou resistência (**R**) em um circuito.

E para obter o valor da grandeza **desconhecida** em um circuito, basta conhecer **dois** dos valores da equação da Lei de Ohm: **V e I, I e R** ou **V e R**.

Para determinar um valor desconhecido, a partir da fórmula básica, $I = \frac{V}{R}$, pode-se isolar o termo procurado com a ajuda de operações matemáticas, obtendo-se as **fórmulas derivadas**:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{e} \quad V = R \times I$$

Uma dica que torna bem fácil montar as fórmulas derivadas é escrever as unidades fundamentais dentro de um triângulo, como mostra a figura a seguir:

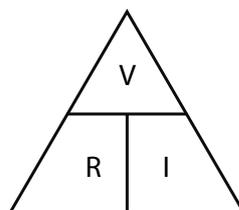


Figura 70 - Triângulo tensão versus resistência versus corrente
Fonte: SENAI-SP (2012)

- Se quisermos encontrar o valor da **tensão**, é só ocultar letra **V** e a equação será: $V = R \times I$.
- Se quisermos encontrar o valor da **resistência**, é só ocultar a letra **R** e a equação será: $R = \frac{V}{I}$.
- Se quisermos encontrar o valor da **corrente**, é só ocultar a letra **I** e a equação será: $I = \frac{V}{R}$.



VOCÊ SABIA?

Para as equações da Primeira Lei de Ohm, as grandezas deverão ser expressas nas unidades fundamentais volt (**V**), ampère (**A**) e ohm (**Ω**). Caso os valores sejam expressos em múltiplos e submúltiplos das unidades, eles devem ser convertidos para as unidades fundamentais **antes** de serem usados nas equações.

Veja, agora, alguns exemplos de aplicação da Lei de Ohm.

Exemplo 1

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

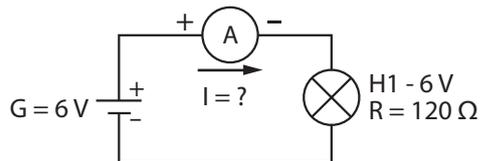


Figura 71 - Circuito do exemplo 1

Fonte: SENAI-SP (2012)

Formulando a questão, temos:

- $I =$ valor a ser encontrado
- $V = 6\text{ V}$
- $R = 120\ \Omega$

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

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

Substituindo os valores, temos:

$$I = \frac{6}{120}$$

Assim, o valor de I será:

$$I = 0,05\text{ A} \quad (\text{ou } I = 50\text{ mA})$$

O resultado é dado na **unidade fundamental** de intensidade de corrente: **$I = 0,05\text{ A}$** .

Portanto, quando a lâmpada é ligada, circulam **0,05 A** (ou 50 mA) de corrente no circuito.

Exemplo 2

Vamos supor que outra lâmpada, agora de 9 V, tem uma corrente de 230 mA. Qual é a resistência da lâmpada?

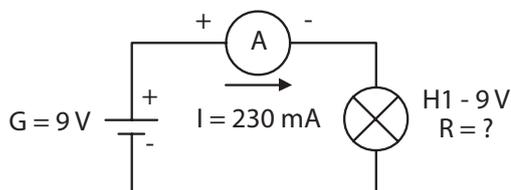


Figura 72 - Circuito do exemplo 2

Fonte: SENAI-SP (2012)

Formulando a questão, temos:

- $I = 230 \text{ mA}$ ou $0,23 \text{ A}$
- $V = 9 \text{ V}$
- $R = ?$ é o valor que queremos descobrir

Usamos, agora, a fórmula para encontrar a **resistência**:

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

Substituindo os valores, temos:

$$R = \frac{9}{0,23}$$

Efetuada a divisão, temos o seguinte resultado:

$$R = 39,13 \Omega$$

Portanto, a resistência da lâmpada é **39,13 Ω** .

Exemplo 3

Por fim, vamos supor que um resistor de $22 \text{ k}\Omega$ foi conectado a uma fonte cuja tensão de saída é desconhecida. Um miliamperímetro, colocado em série no circuito, indicou uma corrente de $0,75 \text{ mA}$. Qual é a tensão na saída da fonte?

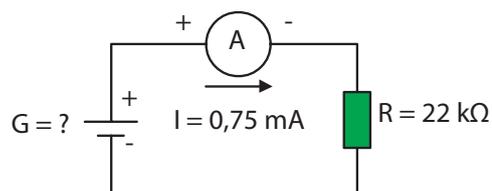


Figura 73 - Circuito do exemplo 3

Fonte: SENAI-SP (2012)

Formulando a questão, temos:

- $I = 0,75 \text{ mA}$ ou $0,00075 \text{ A}$
- $V =$ é o valor desconhecido
- $R = 22 \text{ k}\Omega$ (ou 22000Ω)

Usando a fórmula de tensão temos:

$$\begin{aligned}V &= R \times I \\V &= 22000 \times 0,00075 \\V &= 16,5 \text{ V}\end{aligned}$$

Assim, sabemos que a tensão de saída da fonte é **16,5 V**.

6.2 LEIS DE KIRCHHOFF

Os três circuitos que acabamos de analisar foram fáceis, pois todos eles tinham um único componente, o que é bastante incomum. Porém, geralmente os circuitos eletrônicos constituem-se de vários componentes, todos funcionando simultaneamente.

Você já viu um aparelho eletrônico aberto? Se não viu, tente abrir um, se puder, e observe que há **muitos componentes** para fazê-lo funcionar. Por isso, ao ligar um aparelho, a corrente flui por **muitos caminhos** e a tensão fornecida pela fonte de energia distribui-se pelos componentes. Essa distribuição de corrente e tensão obedece a **duas leis** fundamentais, que foram formuladas pelo físico de origem russa Gustav Kirchhoff em 1847.

Entretanto, para compreender a distribuição das correntes e das tensões em circuitos que compõem qualquer aparelho eletroeletrônico, precisamos compreender antes como ela ocorre em circuitos simplificados, formados apenas por resistores e lâmpadas.

6.2.1 PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF

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

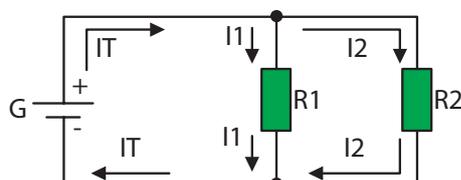


Figura 74 - Distribuição da corrente em um circuito em paralelo

Fonte: SENAI-SP (2012)

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

Observe o circuito a seguir:

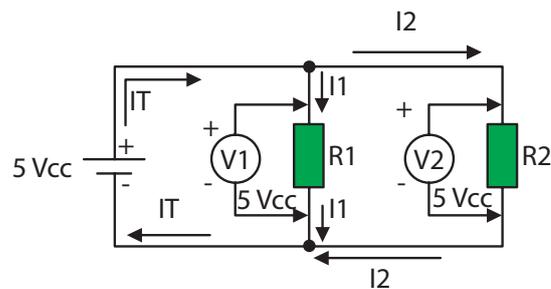


Figura 75 - Características do circuito com resistores ligados em paralelo

Fonte: SENAI-SP (2012)

O circuito em paralelo representado na figura apresenta as três características fundamentais desse tipo de circuito:

- fornece **mais de um** caminho à circulação da corrente elétrica, representados no circuito por **I1** e **I2**;
- a **tensão em todos** os componentes associados é a **mesma**: a bateria é de 5 V e os instrumentos V1 e V2 indicam 5 V; e
- as cargas são independentes: no circuito há duas cargas distintas – R1 e R2.

Essas características são importantes para a compreensão das leis de Kirchhoff. Observe que tanto a primeira como a segunda resistência têm um dos terminais ligado **diretamente** ao polo positivo e o outro, ao polo negativo da fonte. Dessa forma, **cada** resistor conecta-se **diretamente** à bateria e recebe 5 V nos seus terminais.

As correntes na associação em paralelo

A fonte de alimentação tem a função de fornecer aos consumidores a corrente necessária para o seu funcionamento.

Quando um circuito possui **apenas uma** fonte de alimentação, a corrente fornecida por ela chama-se **corrente total** (I_T), que depende **diretamente** da **resistência total** dos consumidores e da tensão aplicada.

Matematicamente, a corrente total é obtida com a ajuda da seguinte fórmula:

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

Essa fórmula não faz você se lembrar de uma outra já conhecida? Vamos ver se essa percepção é correta. Para isso, tentaremos determinar as correntes do circuito inicial da figura a seguir, que inclui amperímetros.

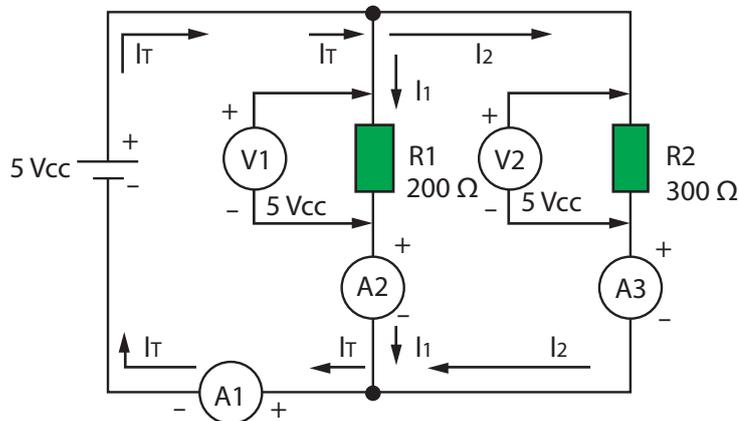


Figura 76 - Circuito em paralelo com amperímetros e voltmímetro

Fonte: SENAI-SP (2012)

No exemplo, a corrente total depende da tensão de alimentação e da resistência total das resistências R1 e R2, que estão em paralelo.

Para tornar um circuito mais fácil de compreender, a tensão do resistor R1 é medida pelo voltmímetro V1; a tensão do resistor R2, pelo voltmímetro V2; a corrente total, pelo amperímetro A1; a corrente do resistor R1, pelo amperímetro A2; e a corrente do resistor R2, pelo amperímetro A3.

Para conhecermos a corrente total (I_T), primeiramente será necessário calcular a **resistência equivalente total** do circuito para depois aplicar a fórmula da Primeira Lei de Ohm.

A fórmula para calcular a resistência equivalente de um circuito em paralelo é:

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

Mas, como você deve se lembrar, com os dois resistores em paralelo, a fórmula poderá ser simplificada para:

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

Vamos utilizar essa fórmula para nosso circuito. Substituindo na fórmula o valor de R1 (200 Ω) e de R2 (300 Ω), teremos:

$$R_{eq} = \frac{200 \times 300}{200 + 300}$$

Efetuada a multiplicação no numerador e a soma no denominador, teremos:

$$R_{eq} = \frac{60000}{500}$$

Efetuada a divisão, chegamos ao seguinte resultado:

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

Agora, para conhecer a I_T , vamos utilizar a Primeira Lei de Ohm:

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

Inserindo os valores de V e R_T , temos:

$$I_T = \frac{5}{120}$$

E efetuando a divisão, chegamos ao resultado:

$$I_T = 0,042 \text{ A (ou } I_T = 42 \text{ mA)}$$

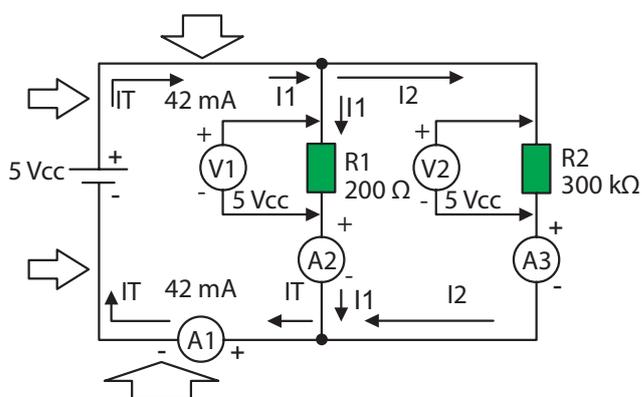


Figura 77 - Circuito em paralelo com amperímetros e voltmíetros

Fonte: SENAI-SP (2012)

No circuito em que os condutores estão sendo indicados pela seta, a corrente será de 42 mA, valor que indicará o amperímetro A1.

Antes de seguir adiante, vamos recordar que **nó** é a interligação de dois ou mais condutores.



VOCÊ SABIA?

Quando você usa uma extensão em sua casa, ela funciona como um **nó**. Nela, existem dois condutores que a ligam à fonte (a tomada na parede) e dela saem vários conectores aos quais são ligados os diversos aparelhos que se quer usar.

Nesse circuito, temos **dois nós**, que estão representados pelas letras A e B:

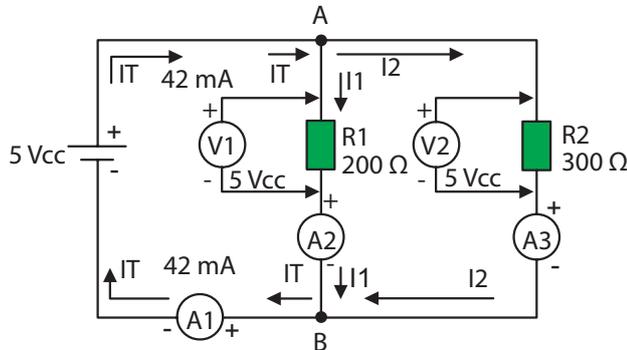


Figura 78 - Circuito em paralelo com nós identificados
Fonte: SENAI-SP (2012)

A partir do nó A (no terminal **positivo** da fonte), a I_T **divide-se** em duas partes, chamadas de correntes parciais, aqui denominadas de I_1 (para o resistor R1) e I_2 (para o resistor R2).

A forma como a corrente I_T divide-se a partir do nó depende **unicamente** dos resistores. Assim, o resistor de **menor resistência** permitirá a passagem da **maior** parcela da corrente I_T .

Portanto, a corrente I_1 do resistor R1 (de **menor resistência**) será **maior** que a corrente I_2 no resistor R2, ou seja:

$$I_1 > I_2$$

Por meio da Primeira Lei de Ohm, podemos calcular o valor da corrente que circula em cada ramal. Para isso, basta conhecer a tensão aplicada e o valor de cada resistor. Desse modo, para o resistor R1, vamos usar a fórmula:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_{R1}}$$

Assim, temos:

$$I_1 = \frac{5}{200}$$

$$I_1 = 0,025 \text{ A (ou } I_1 = 25 \text{ mA)}$$

E para o resistor R2, temos:

$$I_2 = \frac{V_2}{R_{R2}}$$

$$I_2 = \frac{5}{300}$$

$$I_2 = 0,017 \text{ A (ou } I_2 = 17 \text{ mA)}$$

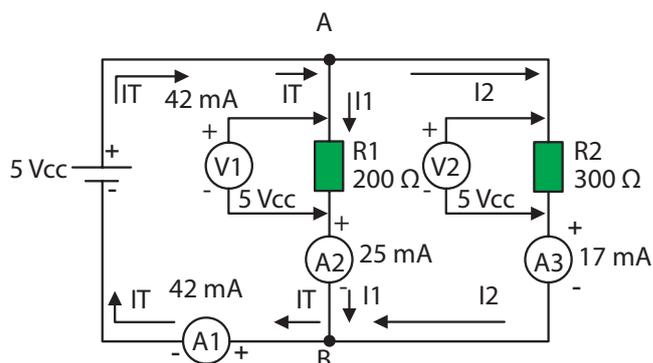


Figura 79 - Circuito com todos os valores

Fonte: SENAI-SP (2012)

Com essas noções sobre o circuito em paralelo, podemos compreender melhor a Primeira Lei de Kirchhoff, que diz:

“A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem.”

Matematicamente, isso resulta na seguinte equação:

$$I_T = I_1 + I_2$$

O enunciado dessa lei nos indica que se conhecermos os valores de corrente que chegam ou saem dos nós, é possível determinar um valor desconhecido de corrente.



CASOS E RELATOS

Um eletricista de rede de distribuição recebeu a incumbência de verificar uma instalação em um endereço com suspeita de fraude no consumo de energia elétrica. O consumo não era compatível com a carga instalada.

Ao chegar ao local, o eletricista efetuou a medição da corrente na entrada da unidade consumidora (no poste) e obteve uma corrente da ordem de 12 A. Em seguida, com autorização do proprietário, mediu a corrente na saída do medidor de energia elétrica, constatando uma corrente de 20 A.

Lembrou, então, dos seus conhecimentos sobre as leis de Kirchhoff e concluiu que realmente havia irregularidade naquele local, pois como seria possível ter uma corrente de 12 A na entrada e de 20 A na saída? De onde vinha a diferença de 8 A?

Não foi difícil localizar uma derivação (um nó) da rede, escondida sob o reboco mal-acabado de uma parede. Diante da constatação, o electricista registrou um termo de não conformidade, e a concessionária pode cobrar os prejuízos e regularizar a instalação.

6.2.2 COMPROVAÇÃO DA PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF

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

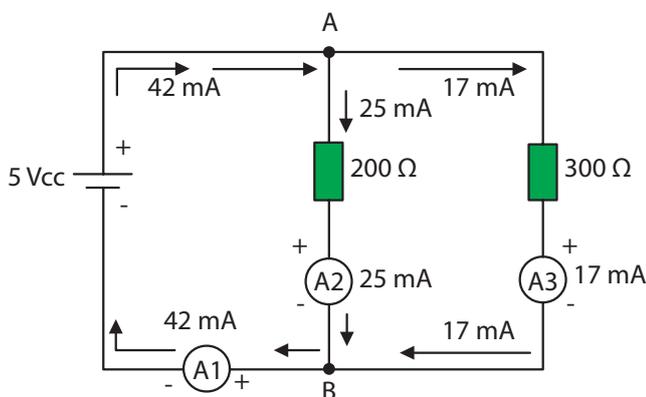


Figura 80 - Circuito em paralelo com valores calculados

Fonte: SENAI-SP (2012)

Vamos considerar, agora, o **nó A**. Observe os valores de corrente nesse nó. Nele, o valor da corrente que está entrando no nó (seta saindo do polo positivo da fonte e direcionada para dentro do nó,) é a mesma da soma das correntes que saem dele (seta para fora, em direção ao polo negativo da fonte). Veja:

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$42 \text{ mA} = 25 \text{ mA} + 17 \text{ mA}$$

6.3 SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF

A Segunda Lei de Kirchhoff, também conhecida como Lei das Malhas, ou Lei das Tensões de Kirchhoff (LTK), refere-se à **forma** como a tensão se distribui nos circuitos em série. Por isso, para compreender essa lei, é necessário conhecer antes algumas **características do circuito em série**.

Ele apresenta três características importantes:

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

Veja o circuito a seguir.

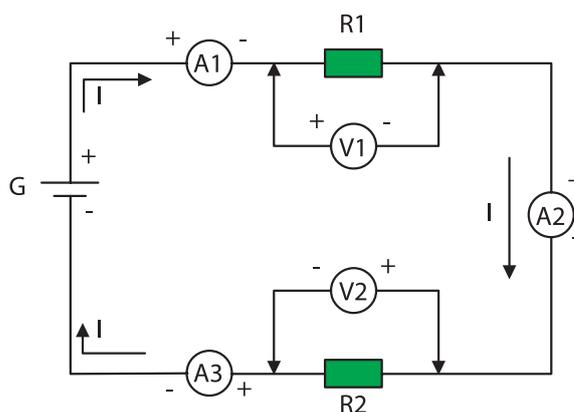


Figura 81 - Circuito com resistores em série

Fonte: SENAI-SP (2012)

Este circuito ilustra a **primeira característica** do circuito em série: como existe **um único caminho** para a circulação da corrente, a mesma corrente que sai do polo positivo da fonte passa pelo resistor R1, chega ao resistor R2 e retorna à fonte pelo polo negativo. Isso significa que um medidor de corrente (amperímetro ou miliamperímetro) pode ser colocado em qualquer parte do circuito. Em qualquer posição, o valor indicado pelo instrumento será o mesmo.

Como a corrente é a **mesma** em todo o circuito (**segunda característica**), ela pode ser indicada simplesmente pela notação **I**.

A forma de ligação das cargas, uma após a outra, (R1 em série com R2), como mostra o circuito da figura 81, ilustra a **terceira característica**. Caso um dos resistores (ou **qualquer** tipo de carga) seja retirado do circuito ou rompido, o circuito elétrico fica aberto e a corrente cessa, como acontece nas lâmpadas natalinas!

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

A corrente na associação em série

Pode-se determinar a **corrente de igual valor** ao longo de todo o circuito em série com o auxílio da Lei de Ohm. Nesse caso, deve-se usar o valor da tensão dos terminais da associação. Sua **resistência total** será como calculada a partir da seguinte expressão:

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

Observe o circuito a seguir.

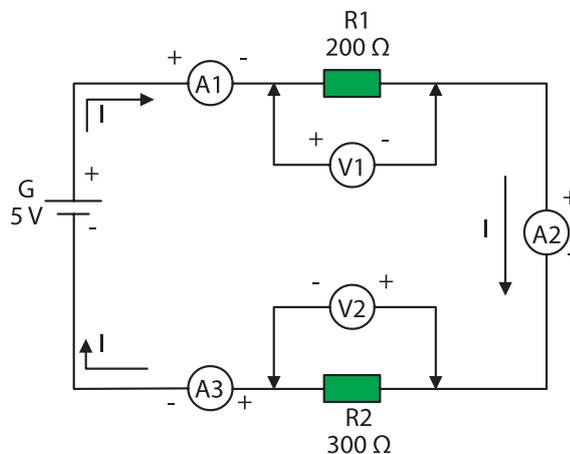


Figura 82 - Corrente no circuito em série
Fonte: SENAI-SP (2012)

Vamos relembrar a fórmula da resistência equivalente em um circuito em série:

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

No circuito da figura, vamos calcular a resistência equivalente dos **dois** resistores:

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

$$R_{eq} = 200 + 300$$

$$R_{eq} = 500 \Omega$$

Sabendo desse valor e colocando-os na fórmula, vamos calcular a corrente do circuito:

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

$$I = \frac{5}{500}$$

$$I = 0,01 \text{ A (ou } I = 10 \text{ mA)}$$

Tensões no circuito em série

Em um circuito em série não existem nós. Isso significa que os dois terminais da carga não estão ligados diretamente à fonte. Por causa disso, a tensão nos componentes de um circuito em série é diferente da tensão da fonte de alimentação.

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

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

No circuito com que estamos trabalhando, a queda de tensão pode ser medida com voltímetro, indicado por V1 e V2.

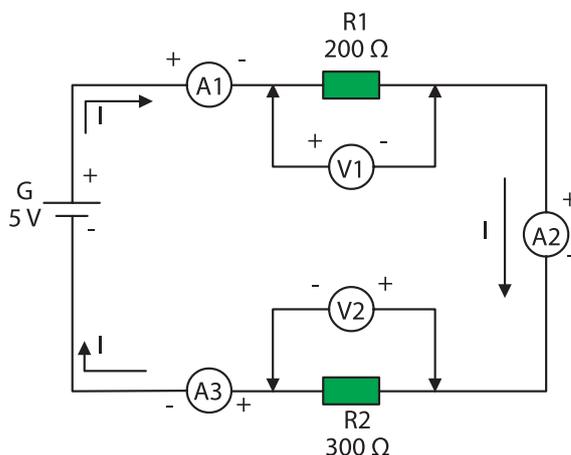


Figura 83 - Tensões no circuito em série
Fonte: SENAI-SP (2012)

Determinação da queda de tensão

A queda de tensão em cada componente da associação em série pode ser determinada pela Lei de Ohm. Para isso, precisamos conhecer tanto o valor da corrente no circuito como os seus valores de resistência.

Sabemos que a corrente que sai da bateria é a mesma que passa pelo resistor R1 e pelo resistor R2. Também já calculamos a corrente total do circuito equivalente.

Usamos a Primeira Lei de Ohm para calcular a tensão. Lembre-se da fórmula que usamos anteriormente:

$$V = R \times I$$

Perceba que, para calcular a tensão em cada componente, necessitamos do seu valor de resistência, bem como da corrente que está passando nele.

Em um circuito em série, a corrente total é a mesma corrente que passa em cada resistor, portanto, já temos um valor fixo para colocarmos na fórmula.

Tensão na resistência R1:

$$\begin{aligned}V_{R1} &= R_1 \times I \\V_{R1} &= 200 \times 0,01 \\V_{R1} &= 2 \text{ V}\end{aligned}$$

Tensão na resistência R2:

$$\begin{aligned}V_{R2} &= R_2 \times I \\V_{R2} &= 300 \times 0,01 \\V_{R2} &= 3 \text{ V}\end{aligned}$$

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

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

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

maior resistência → **maior** queda de tensão
menor resistência → **menor** queda de tensão

Com essas noções sobre o circuito em série, fica mais fácil entender a Segunda Lei de Kirchhoff, que diz:

“A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação em série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos.”

Podemos exemplificar essa lei tomando como referência os valores de tensão nos resistores do circuito determinado anteriormente e somando as quedas de tensão nos dois resistores:

$$\begin{aligned}V &= V_{R1} + V_{R2} \\5\text{V} &= 2\text{V} + 3\text{V}\end{aligned}$$

Observe que V é a tensão **da fonte**.



**SAIBA
MAIS**

Você consegue identificar alguma ligação em série dentro de uma residência? Para saber mais sobre isso, pesquise sobre o tema e tente encontrar esse tipo de ligação em sua própria casa.

¹ POLARIZAR

Polarizar significa aplicar determinados polos de tensão contínua em cada um dos terminais do componente para que o mesmo possa desempenhar suas funções nos circuitos.

6.3.1 APLICAÇÃO DA SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF

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

O divisor de tensão é usado para **diminuir** a tensão e polarizar¹ os componentes eletrônicos, tornando a tensão adequada à finalidade do circuito em relação à polaridade e à amplitude.

Ele também é usado em **medições** de tensão e de corrente **dividindo** a tensão em amostras conhecidas em relação à tensão medida. Quando os valores dos resistores são dimensionados, pode-se dividir a tensão de entrada da forma que for necessária.

A Segunda Lei de Kirchhoff é a ferramenta adequada para determinar quedas de tensão desconhecidas em circuitos eletrônicos.

6.4 AS LEIS DE KIRCHHOFF E AS LEIS DE OHM EM CIRCUITOS MISTOS

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

Os valores elétricos de cada componente do circuito podem ser determinados por meio dos procedimentos a seguir:

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

Esses procedimentos serão demonstrados a partir do circuito a seguir:

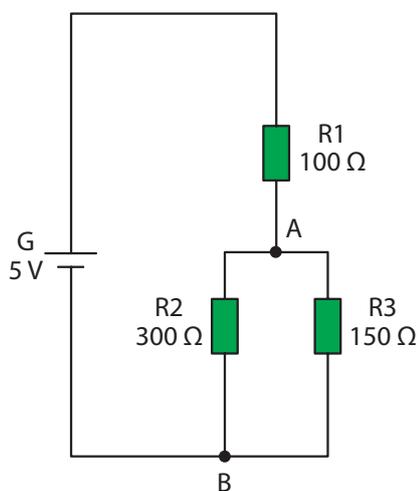


Figura 84 - Circuito misto
Fonte: SENAI-SP (2012)

Determinação da resistência equivalente

Como você deve lembrar, para determinar a resistência equivalente, ou total (RT), do circuito, ele é dividido em circuitos parciais. A partir destes, reduz-se o circuito original de modo a simplificá-lo até alcançar o valor de **um único resistor**.

Analisando o circuito apresentado anteriormente, vamos determinar sua resistência equivalente. Para isso, vamos inicialmente calcular a Req do circuito paralelo entre os nós **A** e **B**. O resultado desse cálculo será chamado de **Req1**. Agora, vamos usar a fórmula e determinar a resistência equivalente 1 (Req1):

$$Req1 = \frac{R2 \times R3}{R2 + R3}$$

Substituindo os valores na fórmula, temos:

$$Req1 = \frac{300 \times 150}{300 + 150}$$

Efetuando as operações de multiplicação e soma, temos:

$$Req1 = \frac{45000}{450}$$

E, finalmente, dividindo 45000 por 450, o valor de Req1 é:

$$Req1 = 100 \Omega$$

O circuito atualizado ficou deste jeito:

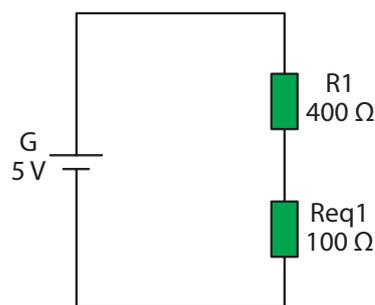


Figura 85 - Circuito misto atualizado com o valor de Req1
Fonte: SENAI-SP (2012)

Veja que, neste momento, os nós deixaram de existir, pois um único resistor equivalente (Req1) foi colocado no lugar de R2 e R3.

O valor da **resistência equivalente total** (ReqT) será encontrado com a ajuda dos valores dos resistores ligados em série e da seguinte fórmula:

$$Req = R1 + Req1$$

Substituindo os valores, temos:

$$R_{eq} = 400 + 100$$

Após efetuar a operação de soma, temos o valor total de R_{eq} :

$$R_{eq} = 500 \Omega$$

Esse resultado indica que o circuito tem uma resistência equivalente total de **500 Ω** . Portanto, o circuito final fica desta forma:

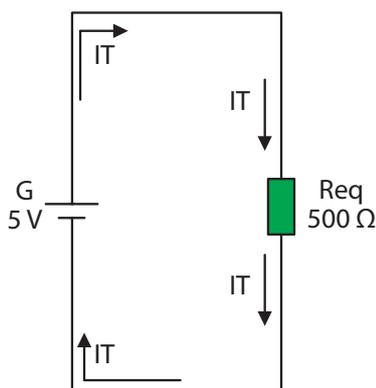


Figura 86 - Circuito equivalente final

Fonte: SENAI-SP (2012)

Observe que o circuito ficou com apenas uma resistência, que é a resistência equivalente total (R_{eqT}) do circuito.

Determinação da corrente total

Podemos determinar a corrente total do circuito apresentado na figura 86 aplicando a Primeira Lei de Ohm ao circuito equivalente final.

Lembre-se de que o circuito equivalente final é uma representação **simplificada** do circuito original (figura 84) e do circuito parcial (figura 85). Consequentemente, a corrente calculada também é válida para esses circuitos.

A corrente total é dada pela fórmula a seguir:

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

Substituindo os valores, temos:

$$I = \frac{5}{500}$$

Efetuando a divisão, temos que o valor da corrente será:

$$I = 0,01A \quad (\text{ou } I = 10mA)$$

Determinação das tensões e das correntes individuais

A corrente total aplicada ao circuito parcial permite determinar a **queda de tensão** no resistor R1 e na resistência equivalente Req1, que são os resistores R2 e R3 ligados em paralelo no circuito original apresentado na figura a seguir.

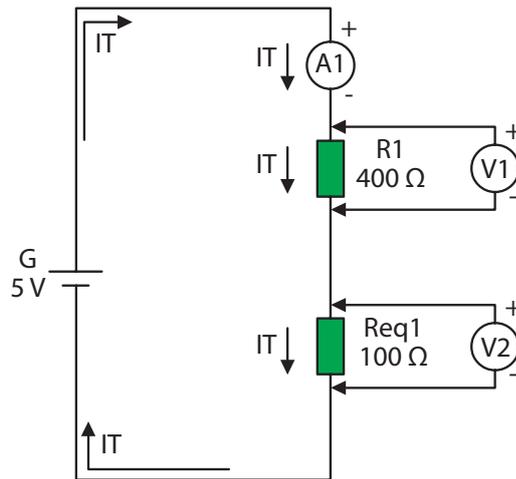


Figura 87 - Circuito parcial
Fonte: SENAI-SP (2012)

Retornando pelo sentido inverso das etapas que desenvolvemos até agora, podemos começar a efetuar os cálculos das correntes e das tensões individuais.

Veja, na figura 87, que a corrente no amperímetro A1 é de 10 mA, a **mesma** corrente que está passando por R1 e também pela resistência equivalente Req1.

Como você já sabe, para aplicar a Lei de Ohm, necessitamos de **duas** grandezas fixas para efetuar cálculos. É isso o que acontece no circuito, pois temos os valores de R1, de Req1 e da corrente no circuito.

Assim, para calcular a tensão em R1, usamos a seguinte fórmula:

$$V_1 = R_1 \times I_T$$

Substituindo os valores na fórmula, temos:

$$V_1 = 400 \times 0,01$$

O valor obtido é:

$$V_1 = 4 \text{ V}$$

Para calcular a tensão no Req1, usamos esta fórmula:

$$V_2 = \text{Req}_1 \times I_T$$

Substituindo os valores na fórmula, temos:

$$V_2 = 100 \times 0,01$$

Após efetuar a operação, chegamos ao seguinte valor:

$$V_2 = 1 \text{ V}$$

A Segunda Lei de Kirchhoff diz que:

“A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação em série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos.”

E isso é verdade, como podemos ver por meio dos cálculos, pelos quais podemos exemplificar essa lei. Veja!

$$V_{\text{fonte}} = V_1 + V_2$$

$$5 \text{ V} = 4 \text{ V} + 1 \text{ V}$$

O circuito da figura 87, já com os valores da corrente e tensão, ficará assim:

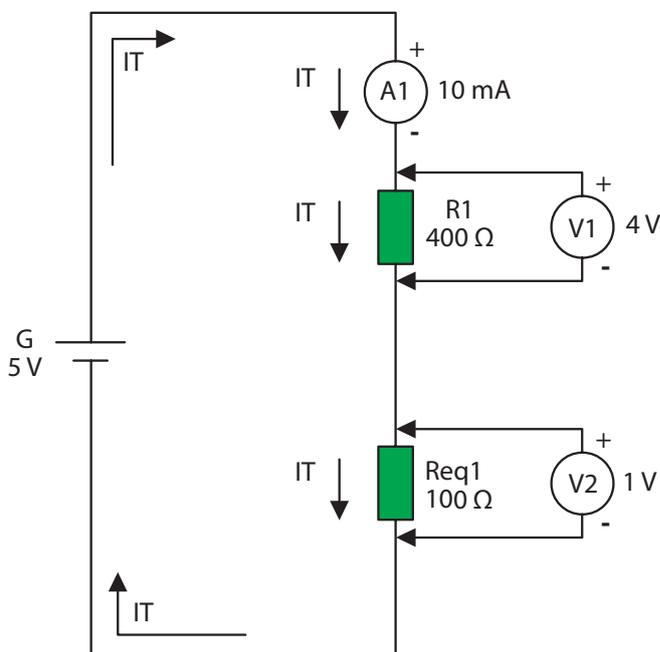


Figura 88 - Circuito com valores de corrente e tensão
Fonte: SENAI-SP (2012)

Agora, é necessário retornar ao circuito original, porque nele existem **três** resistores. Observe bem o circuito a seguir, pois vamos analisá-lo!

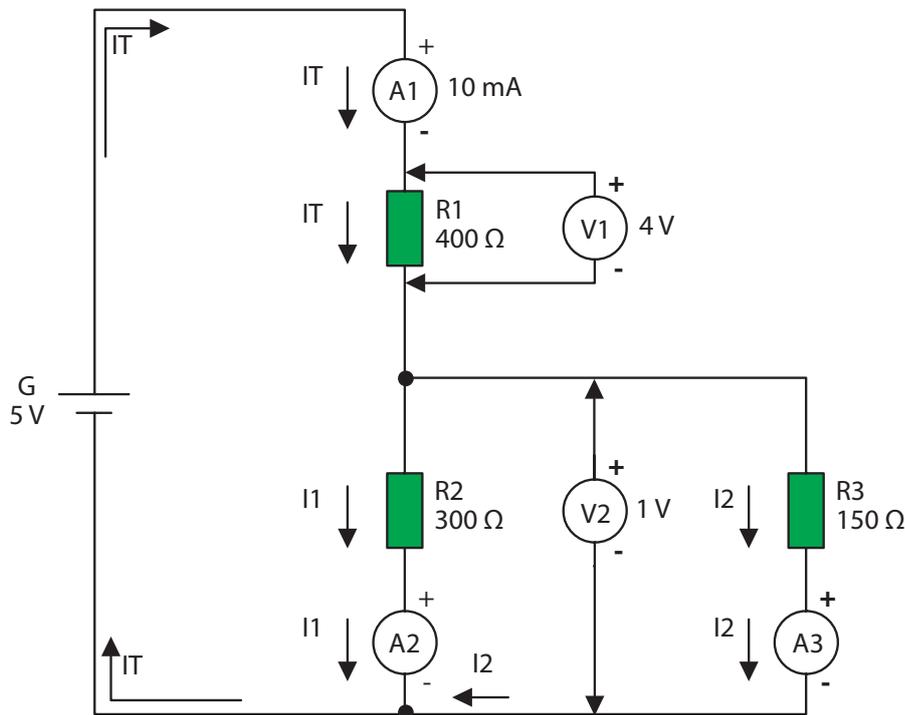


Figura 89 - Circuito com três resistores
Fonte: SENAI-SP (2012)

Desmembramos o Req1, que volta a ser R2 e R3. Mas, veja o voltímetro V2, que continua no mesmo local em que estava na figura 88. Ele mostra que a tensão em Req1 é a **mesma** que a presente em R2 e em R3.

Voltamos também a ter novamente os nós **A** e **B**. Podemos perceber que no nó A chega a corrente I_T por meio de R1. Vemos também que desse nó estão saindo duas correntes: I_1 e I_2 .

Como nesses resistores que acabamos de desmembrar estão duas grandezas fixas – a tensão V2 e os valores dos resistores –, podemos calcular a corrente que passa em cada resistor.

Para calcular a corrente no resistor R2, usamos a seguinte fórmula:

$$I_1 = \frac{V_2}{R_2}$$

Substituindo os valores, temos:

$$I_1 = \frac{1}{300}$$

O valor obtido é:

$$I_1 = 0,0033 \text{ A (ou } I_1 = 3,3 \text{ mA)}$$

Para calcular a corrente no resistor R3, o procedimento é o mesmo:

$$I_2 = \frac{V_2}{R_3}$$

$$I_2 = \frac{1}{150}$$

$$I_2 = 0,0067 \text{ A (ou } I_2 = 6,7 \text{ mA)}$$

A Primeira Lei de Kirchhoff diz que:

“A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem.”

Para comprovar isso, observe que a corrente que chega ao nó **A** é a I_T (corrente total) e a que sai do nó está dividida em I_1 e I_2 . Matematicamente, temos o seguinte:

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$10 \text{ mA} = 3,3 \text{ mA} + 6,7 \text{ mA}$$

Os valores do circuito misto ficaram assim:

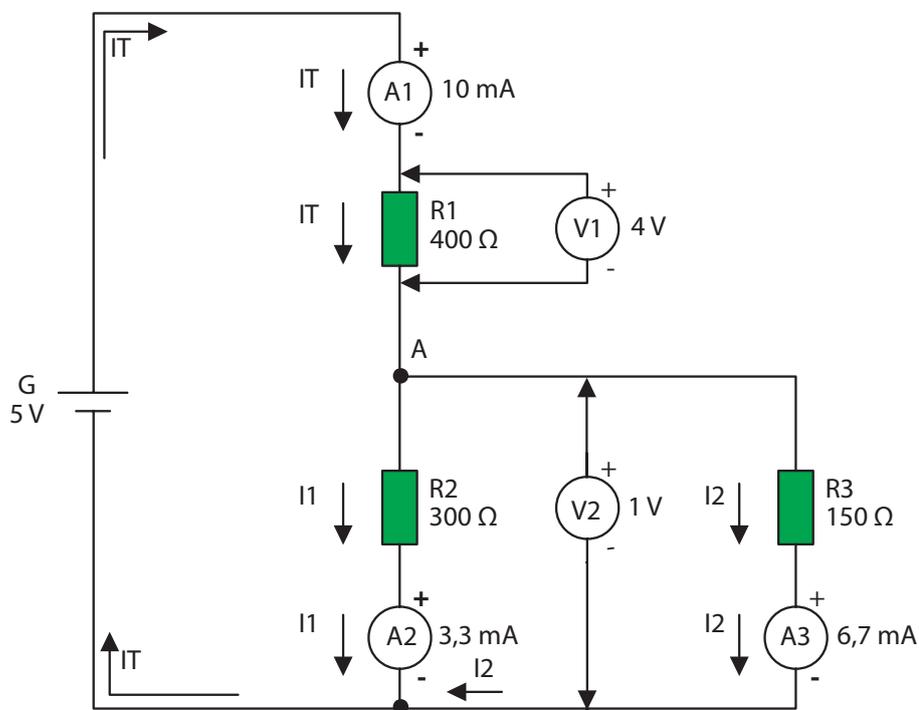


Figura 90 - Circuito misto com os valores calculados

Fonte: SENAI-SP (2012)



RECAPITULANDO

Neste capítulo, estudamos que:

a) em um circuito elétrico, a Primeira Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas – tensão (**V**), corrente (**I**) e resistência (**R**) – e diz que “A intensidade da corrente elétrica em um circuito é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à sua resistência.”;

b) a fórmula da Primeira Lei de Ohm é $I = \frac{V}{R}$

c) a unidade de medida de tensão é **V** (volt), a de resistência é Ω (ohm) e a de corrente é **A** (ampère);

d) a Primeira Lei de Kirchhoff diz que “A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem.”;

e) o circuito paralelo tem três características fundamentais: (1) fornece mais de um caminho à circulação da corrente elétrica; (2) a tensão em todos os componentes associados é a mesma; e (3) as cargas são independentes;

f) no circuito paralelo, a corrente será maior no menor valor de resistência;

g) a Segunda Lei de Kirchhoff diz que “A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação em série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos.”;

h) o circuito em série tem três características muito importantes: (1) fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica; (2) a intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito; e (3) o funcionamento de qualquer um dos consumidores depende do funcionamento dos consumidores restantes;

i) no circuito em série a tensão será maior no maior valor da resistência; e

Esses conhecimentos são muito importantes para interpretar o funcionamento de circuitos eletroeletrônicos e efetuar medições neles.



Você se lembra de quantas vezes a sua mãe ficou brava por você demorar muito tempo no banho? Ela poderia dizer: “Sai desse chuveiro! Olha a conta da luz!”.

E, provavelmente, você já ouviu falar que trocar as lâmpadas incandescentes por lâmpadas eletrônicas, bem mais econômicas, faz uma enorme diferença na conta de fornecimento de energia elétrica no fim do mês.

Há ainda os aparelhos eletroeletrônicos com selo PROCEL que indica se eles são energeticamente eficientes, ou seja, gasta-se pouca energia para funcionar. Se o refrigerador da sua casa é novo, com certeza tem um desses selos!

Essas são coisas simples do dia a dia, mas, quando falamos em gastar menos energia elétrica, estamos aplicando um conceito de física chamado **potência**.

Esse conceito está diretamente ligado à ideia de força, produção de som, calor e luz e ao consumo de energia elétrica.

Neste capítulo, vamos estudar a potência elétrica em CC. Com esse conhecimento, você deverá ser capaz de:

- a) identificar a unidade de medida de potência elétrica, seus múltiplos e submúltiplos;
- b) determinar a potência de um consumidor em CC;
- c) identificar o conceito de potência nominal;
- d) determinar a potência dissipada por uma carga ligada a uma fonte de energia elétrica;
- e) calcular a potência de um componente quando os valores de tensão e de corrente do circuito são desconhecidos; e
- f) conhecer e aplicar as fórmulas corretas nos cálculos de potência.

Esses conhecimentos são muito importantes para que você consiga realizar bem suas atividades profissionais no futuro, como interpretar o funcionamento de circuitos elétricos.

¹ LÚMEN

Lúmen (lm) é a unidade do Sistema Internacional de Medidas (SI) para o fluxo luminoso (ou a quantidade de luz) produzido por qualquer objeto que emita luz. Assim, uma vela decorativa, por exemplo, emite cerca de 12 lúmens.

7.1 TRABALHO ELÉTRICO

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

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

Observe a figura a seguir e reflita: quem está realizando mais trabalho?



Figura 91 - Quem está realizando mais trabalho?

Fonte: SENAI-SP (2012)

Assim como o homem mais alto parece estar realizando **mais** trabalho que o mais baixo, as cargas elétricas possuem capacidades **diferentes** de produzir trabalho. Para isso, os circuitos elétricos são montados visando ao melhor aproveitamento da energia elétrica, que pode ser convertida em calor, luz e movimento.

Como vimos no capítulo 2, o trabalho elétrico pode gerar vários efeitos:

- calorífico – quando a energia elétrica converte-se em calor. Ele está presente, por exemplo, nos chuveiros e nos aquecedores;
- luminoso – quando a energia elétrica converte-se em luz nas lâmpadas e uma parcela também transforma-se em calor; e
- mecânico – quando um motor elétrico, como o de um ventilador, converte energia elétrica em força motriz, ou seja, em movimento.

7.2 POTÊNCIA ELÉTRICA

Analisando um tipo de carga, como as lâmpadas, dá para perceber que nem todas produzem a **mesma** quantidade de luz. Umas produzem **grandes** quantidades e outras, pequenas quantidades. Veja, no exemplo a seguir, uma lâmpada incandescente que produz 60 W e outra, 100 W.

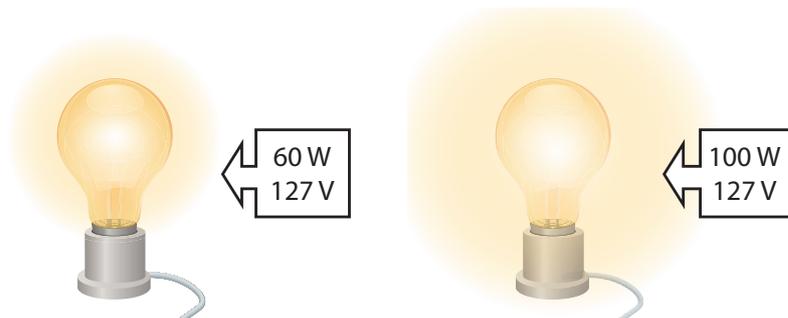


Figura 92 - Lâmpadas produzem quantidades diferentes de luz

Fonte: SENAI-SP (2012)



VOCE SABIA?

Uma lâmpada incandescente de 60 W tem 715 lúmens¹ de fluxo luminoso e uma lâmpada econômica de 15 W tem 790 lúmens. Portanto, se você trocar a lâmpada incandescente de 60 W por uma lâmpada econômica de 15 W, você estará economizando 45 W de consumo de energia. Isso acontece porque na lâmpada incandescente de 60 W, aproximadamente 50 W transformam-se em calor e apenas 10 W, em luz.

Vamos dar outro exemplo: talvez você já tenha entrado em um elevador tão rápido que deu até um “frio na barriga” quando ele se movimentou. Em outras ocasiões, porém, você pode ter ficado nervoso por achar que o elevador está demorando demais para chegar ao piso em que você quer ir.

Os dois elevadores fazem o **mesmo** trabalho: levam você de um piso a outro do edifício. A diferença é que um deles, tendo um motor mais potente, desloca-se mais rapidamente, portanto, realiza o trabalho em menor tempo.

A **potência** permite **relacionar** o **trabalho** elétrico realizado e o **tempo** necessário para sua realização. Assim, a capacidade de cada consumidor **produzir um trabalho** em determinado tempo por meio da energia elétrica, é chamada de **potência elétrica**, que é representada pela seguinte fórmula:

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

Nessa fórmula:

- **P** é a potência;
- τ (lê-se “tau”) é o trabalho; e
- **t** é o tempo necessário para realizar o trabalho.

Para dimensionar corretamente cada componente em um circuito elétrico, é necessário conhecer a sua potência. Isso é muito importante em instalações elétricas, por exemplo, quando o profissional tem de considerar, durante a instalação, a potência de cada equipamento elétrico que será utilizado para poder dimensionar corretamente os condutores que fornecerão a energia.

7.2.1 UNIDADE DE MEDIDA DE POTÊNCIA ELÉTRICA

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

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

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

Tabela 10 – Unidade de medida de potência e seus fatores multiplicadores

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR EM RELAÇÃO AO WATT (W)
Múltiplos	megawatt	MW	10^6 W ou 1.000.000 W
	quilowatt	kW	10^3 W ou 1.000 W
Unidade	Watt	W	
Submúltiplos	miliwatt	mW	10^{-3} W ou 0,001 W
	microwatt	μ W	10^{-6} W ou 0,000.001 W

Valores habituais: no campo da eletricidade, empregam-se habitualmente a unidade Watt (W) e seus múltiplos; e na eletrônica, usam-se normalmente as unidades (W) e miliwatt (mW).

Faz-se a conversão de valores de forma semelhante às outras unidades de medida. Os passos são os mesmos da conversão de valores do volt, que já vimos no capítulo 3. Usaremos, também, o mesmo tipo de gabarito:

MW	kW	W	mW	μ W

7.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE UM CONSUMIDOR EM CC

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

Nessa fórmula:

- V é a tensão entre os terminais do consumidor expressa em volts (V);
- I é a corrente circulante no consumidor expressa em ampères (A); e
- P é a potência dissipada expressa em watts (W).

Podemos utilizar a fórmula colocando-a em um triângulo:

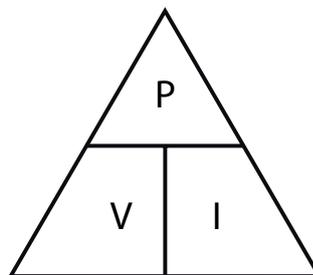


Figura 93 - Triângulo com potência *versus* tensão *versus* corrente
Fonte: SENAI-SP (2012)

Observe que agora podemos ter fórmulas derivadas. Assim, para conhecer a **tensão**, a fórmula será:

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

Para conhecer a **corrente**, a fórmula será:

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

Acompanhe um exemplo de uso da fórmula:

Uma lâmpada de lanterna de 12 V solicita uma corrente de 0,5 A das baterias. Qual é a potência da lâmpada?

Se:

- $V = 12$ V (tensão nos terminais da lâmpada);
- $I = 0,5$ A (corrente através da lâmpada); e
- P = é o valor a ser encontrado.

Então, usando a fórmula e inserindo os valores conhecidos, teremos:

$$P = 12 \text{ V} \times 0,5 \text{ A}$$

Efetuando a multiplicação, teremos o valor de P:

$$P = 6 \text{ W}$$

Equação da potência por efeito Joule

Muitas vezes, é necessário calcular a potência de um componente, mas os valores de tensão e de corrente não são conhecidos. E quando não conhecemos o valor da tensão (V), **não** é possível calcular a potência por meio das equações que você viu até aqui.

Essa dificuldade pode ser solucionada com o auxílio da Lei de Ohm. Para que você possa analisar, vamos colocar lado a lado os dois triângulos para determinar as equações:

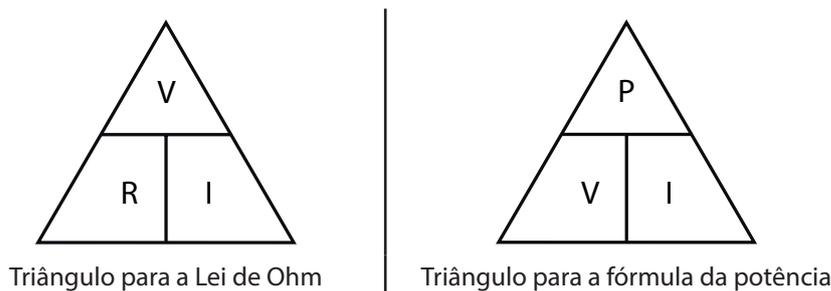


Figura 94 - Triângulos para determinar equação da potência por efeito joule
Fonte: SENAI-SP (2012)

Pela Lei de Ohm, temos:

$$V = R \times I \text{ (equação 1)}$$

E pela fórmula da potência, temos:

$$P = V \times I \text{ (equação 2)}$$

Se substituirmos **V** da **equação 2** pela fórmula da equação, teremos:

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

E simplificando a fórmula, temos:

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

Essa equação pode ser usada para determinar a potência de um componente e é conhecida como **equação da potência por efeito joule**.

Podemos realizar o mesmo tipo de dedução para obter uma outra, que permita determinar a potência a partir da tensão e da resistência.

Assim, pela Lei de Ohm, temos:

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

Pela fórmula da potência teremos:

$$P = V \times I$$

Substituindo **I** da fórmula de potência pela Lei de Ohm, teremos:

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

Simplificando a fórmula, teremos:

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

E, finalmente, simplificando mais uma vez, a fórmula fica assim:

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

A partir das equações básicas, é possível obter outras equações por meio de operações matemáticas. Para maior facilidade, o quadro a seguir contém as fórmulas que aprendemos.

Para o dia a dia do profissional da área, é indispensável conhecer e aprender muito bem estas fórmulas, pois elas serão usadas constantemente. O quadro a seguir reúne todas as fórmulas estudadas até agora.

Quadro 12 – Fórmulas da Lei de Ohm e para cálculo de potência

	FÓRMULA	UNIDADE	DERIVAÇÃO DA FÓRMULA	UNIDADE
Primeira Lei de Ohm	$I = \frac{V}{R}$	A	$V = R \times I$	V
			$R = \frac{V}{I}$	Ω
	$P = V \times I$	W	$V = \frac{P}{I}$	V
			$I = \frac{P}{V}$	A
Potência	$P = R \times I^2$	W	$R = \frac{P}{I^2}$	Ω
			$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$	A
	$P = \frac{V^2}{R}$	W	$V = \sqrt{P \times R}$	V
			$R = \frac{V^2}{P}$	Ω

Acompanhe os exemplos de aplicação a seguir.

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

Separando os dados que nos foram dados, temos:

- $I = 10 \text{ A}$
- $R = 8 \Omega$
- $P = ?$

Fórmula a ser utilizada é:

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

Assim, substituindo os valores, temos:

$$P = 8 \times 10^2$$

Efetando o cálculo de 10^2 , o resultado é:

$$P = 8 \times 100$$

Efetando a multiplicação, chegamos ao resultado:

$$P = 800 \text{ W}$$

Portanto, a potência do aquecedor é **800 W**.

b) Um isqueiro de automóvel funciona com 12 V, que são fornecidos pela bateria. Sabendo que a resistência do isqueiro é de 3Ω , calcule sua potência dissipada.

Formulando a questão, temos:

- $V = 12 \text{ V}$
- $R = 3 \Omega$
- $P = ?$

A fórmula a ser aplicada é:

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

Substituindo os símbolos das unidades, temos:

$$P = \frac{12^2}{3}$$

Calculando 12^2 , teremos:

$$P = \frac{144}{3}$$

Efetando a divisão 144 por 3, obtemos o resultado:

$$P = 48 \text{ W}$$

Portanto, a potência dissipada do isqueiro é de **48 W**.

7.4 POTÊNCIA NOMINAL

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

A tensão para a qual esses aparelhos são fabricados chama-se **tensão nominal de funcionamento**. Por isso, os aparelhos que apresentam tais características devem sempre ser ligados na tensão correta (nominal), normalmente especificada em seu corpo.

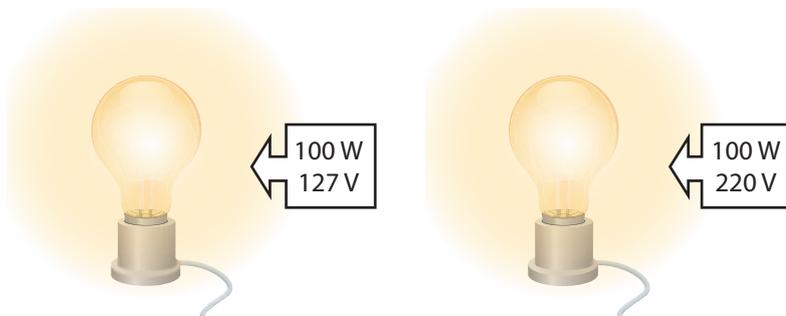


Figura 95 - Lâmpadas com a mesma potência e tensões de funcionamento diferentes.

Fonte: SENAI-SP (2012)

Quando esses aparelhos são ligados corretamente, a quantidade de calor, luz ou movimento produzida é **exatamente** aquela para a qual foram projetados. Por exemplo, uma lâmpada de 127 V/100 W ligada corretamente (em 127 V) produz 100 W em luz e calor. A lâmpada, nesse caso, está dissipando a sua potência nominal. Portanto, **potência nominal** é a potência para qual um aparelho foi projetado. Enquanto uma lâmpada, um aquecedor ou um motor trabalha dissipando sua potência nominal, sua condição de funcionamento é **ideal**.



CASOS E RELATOS

A **crise do apagão** foi uma crise nacional de fornecimento de energia elétrica ocorrida no Brasil entre os anos de 2001 e 2002. Ela afetou o fornecimento e a distribuição de energia elétrica e foi causada por falta de chuvas, que deixaram várias represas de hidroelétricas abaixo do nível ideal para a geração de eletricidade.

Foram estabelecidas metas de redução de consumo e cada consumidor passou a ser responsável por atingi-las. Isso obrigou os brasileiros a diminuir seu consumo de energia elétrica, sob ameaça de ter seu fornecimento de eletricidade suspenso.

A maneira encontrada foi o desligamento de aparelhos ou a substituição de aparelhos eletrodomésticos antigos e com alto consumo de energia, como *freezers* e refrigeradores com mais de dez anos de uso.

Por serem mais eficientes, os refrigeradores modernos com a mesma capacidade têm fator de potência maior e consumo menor, podendo proporcionar uma economia de até 30% da energia anteriormente consumida.

7.4.1 LIMITE DE DISSIPACÃO DE POTÊNCIA

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

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

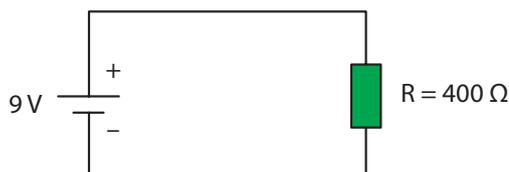


Figura 96 - Circuito para cálculo de potência dissipada

Fonte: SENAI-SP (2012)

A potência dissipada é calculada pela fórmula: $P = \frac{V^2}{R}$.

Inserindo os valores na fórmula, temos:

$$P = \frac{9^2}{400}$$

Calculando 9^2 , temos:

$$P = \frac{81}{400}$$

Assim, chegamos ao valor de P:

$$P = 0,2025 \text{ W (ou } P = 202,5 \text{ mW)}$$

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

Isso quer dizer que:

- quanto **maior** for a **potência** dissipada, **maior** será o **aquecimento**; e
- quanto **menor** for a **potência** dissipada, **menor** será o **aquecimento**.

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

7.5 FONTES DE ALIMENTAÇÃO DE CC

Estudaremos agora as fontes de alimentação CC que são denominadas geradores de tensão. Um exemplo de gerador de tensão é a bateria que faz funcionar os telefones celulares.

É importante saber que o **gerador ideal** é aquele capaz de manter a tensão na saída **sempre constante**, independentemente da corrente fornecida ao circuito que está alimentando. Mas em um circuito **real** isso não acontece e uma das causas é a resistência **interna do gerador**.

Para explicar o porquê disso, vamos usar uma bateria como exemplo de elemento gerador. A figura a seguir mostra o interior de uma bateria elementar, constituída de eletrólito, de placas e de terminais.

² FORÇA ELETROMOTRIZ

Energia que o gerador fornece ao circuito durante certo tempo.

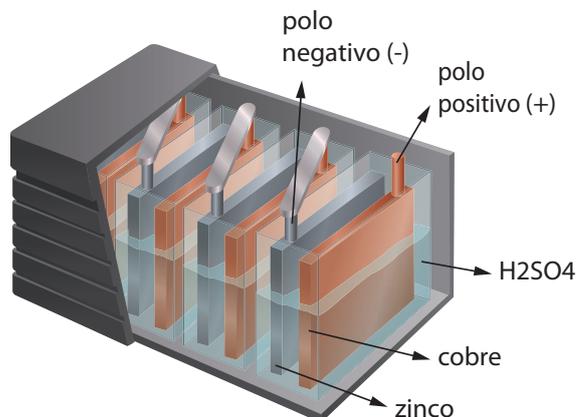


Figura 97 - Bateria elementar

Fonte: SENAI-SP (2012)

Cada elemento que compõe a bateria elétrica apresenta uma **resistência elétrica**. Ela pode ser representada como uma **fonte de tensão em série** com as resistências de seus elementos. Observe a figura a seguir.

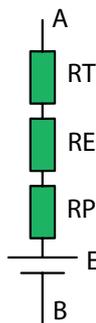


Figura 98 - Representação do interior de uma bateria elétrica

Fonte: SENAI-SP (2012)

Entre os pontos A e B, temos:

- **E** – força eletromotriz² gerada;
- **RE** – resistência do eletrólito;
- **RP** – resistência das placas; e
- **RT** – resistência dos terminais.

A soma das resistências elétricas existentes dentro da bateria é denominada de **resistência interna**. Veja um exemplo desse tipo de resistência na figura a seguir.

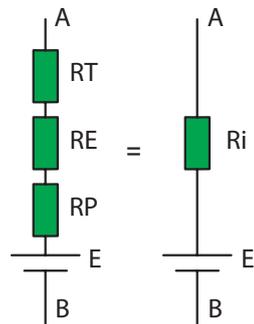


Figura 99 - Representação esquemática da resistência interna de uma bateria

Fonte: SENAI-SP (2012)

7.5.1 INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA INTERNA NA TENSÃO DE SAÍDA DO GERADOR

A bateria que gera internamente uma força eletromotriz possui uma resistência interna e tem capacidade de fornecer **corrente**.

Quando uma bateria está **desligada** do circuito, **não** existe circulação de corrente elétrica em seu interior, portanto, **não há queda de tensão** na resistência interna. Ao conectar um voltímetro aos terminais da bateria, ele indicará o valor da **força eletromotriz E** que foi gerada.

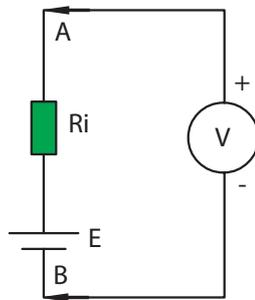


Figura 100 - Circuito com a força eletromotriz (E) gerada e a resistência interna (Ri).

Fonte: SENAI-SP (2012)

Quando uma carga é conectada aos terminais de uma bateria, ocorre a circulação de corrente pelo circuito e também por sua resistência interna.

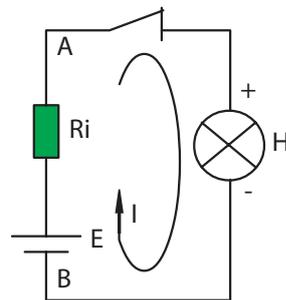


Figura 101 - Circulação da corrente pelo circuito

Fonte: SENAI-SP (2012)

Aqui, vamos aplicar a Segunda Lei de Kirchhoff, que diz: “A soma das tensões nos componentes é igual à tensão da fonte”.

Para o nosso caso:

- **E** é a tensão da fonte;
- **V** é a tensão da lâmpada; e
- **VR_i** é a tensão da resistência interna.

Aplicaremos a fórmula:

$$E = V + VR_i$$

Observe que a corrente circulando **dentro** da resistência provoca uma queda de tensão. Temos, então, a seguinte fórmula:

$$VR_i = R_i \times I$$

Logo, a tensão na lâmpada será:

$$V = E - (R_i \times I)$$

E a resistência interna será:

$$R_i = \frac{E - V}{I}$$

O que podemos deduzir dessa fórmula é que a tensão presente nos terminais de uma bateria é **igual** à força eletromotriz gerada **menos** a queda de tensão em sua resistência interna.

7.5.2 RENDIMENTO DO GERADOR

O **rendimento** do gerador mede o seu **desempenho**. Ele corresponde à relação entre sua tensão de saída e sua tensão interna. Essa relação pode ser representada matematicamente da seguinte forma:

$$\eta = \frac{V_s}{E} \quad \text{ou}$$
$$\eta = \frac{V_s}{E} \times 100 (\%)$$

Nessas fórmulas:

- η é o rendimento;
- V_s é a tensão de saída, nos terminais A e B; e
- E é a força eletromotriz.

Acompanhe um exemplo de aplicação:

Os terminais de um gerador alimentam uma lâmpada, pela qual passa uma corrente de 1 A (I) e cujos terminais possuem a tensão de 100 V (V_s). Sabendo disso e que a resistência interna do gerador é de 25 Ω (R_i), qual é o seu rendimento (η) e a sua força eletromotriz (E)?

Para calcular a força eletromotriz (E), siga estes passos:

- a) Calcule primeiramente a tensão de queda na resistência interna:

$$V_i = R_i \times I$$
$$V_i = 25 \Omega \times 1 \text{ A}$$
$$V_i = 25 \text{ V}$$

A força eletromotriz (E) é a tensão **total**, logo:

$$E = V_s + V_i$$
$$E = 100 \text{ V} + 25 \text{ V}$$
$$E = 125 \text{ V}$$

Para calcular o rendimento, usa-se a fórmula:

$$\eta = \frac{V_s}{E} \times 100\%$$

Colocando os valores na fórmula, temos:

$$\eta = \frac{100}{125} \times 100\%$$

Efetuada a divisão de 100 por 125, encontramos:

$$\eta = 0,8 \times 100\%$$

$$\eta = 80\%$$

Isso significa que esse gerador gera 125 V, mas consegue fornecer 80% na sua saída. Os 20% restantes são perdas internas.

7.5.3 MÁXIMA TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA DO GERADOR

Quando se conecta uma carga a um gerador, deseja-se, em princípio, que toda a energia fornecida pelo gerador seja transformada em trabalho útil na carga. Mas, como vimos no exemplo de aplicação anterior, isso não acontece.

Devido à **resistência interna** existente no gerador, esse aproveitamento não é possível, pois a corrente que circula pela resistência interna do gerador provoca uma dissipação de potência em seu interior sob a forma de calor. Essa potência tem seu valor determinado pela seguinte expressão:

$$PR_i = I^2 \times R_i$$

Sendo que:

- PR_i é a potência dissipada na resistência interna;
- R_i é a resistência interna do gerador; e
- I é a corrente fornecida pelo gerador.

A potência na resistência interna que se dissipa no interior do gerador é caracterizada como **perda**. A corrente que circula por meio da resistência interna também flui na resistência da carga e provoca uma dissipação de potência, resultando em trabalho útil.

No circuito em análise, a resistência total R é uma associação em série de duas resistências: R_i e R_L . Assim, a equação fica da seguinte forma:

$$I = \frac{E}{R_i + R_L}$$

Nela:

- I é a corrente elétrica do circuito;
- E é a força eletromotriz gerada;
- R_i é a resistência interna; e
- R_L é a resistência da carga.

Daí, podemos concluir que a equação da potência na carga é matematicamente expressa por:

$$PR_L = \frac{E^2 \times R_L}{(R_i + R_L)^2}$$

Nota-se que a potência dissipada depende da força eletromotriz do gerador, que é fixa; da resistência interna, que também é fixa; e da resistência de carga, que é variável. Desta forma, conclui-se que a potência de carga depende, em grande parte, da resistência de carga.

Pois, um gerador transfere o **máximo** de potência para uma carga, quando o valor da resistência da carga for **igual** à resistência interna do gerador e, consequentemente, a **tensão** na carga será a **metade** da tensão do gerador.



SAIBA MAIS

É comum que em materiais didáticos se fale muito sobre lâmpadas incandescentes. A chegada das lâmpadas eletrônicas, muito mais econômicas, gera a pergunta: "Mas, e daqui a trinta anos, o que teremos?". Pesquise na internet, em jornais e em revistas e tire suas próprias conclusões sobre o futuro do uso dessas lâmpadas.



RECAPITULANDO

Neste capítulo, você aprendeu que:

- o trabalho elétrico, realizado pelo consumidor ou pela carga, é a transformação de energia elétrica em outra forma de energia;
- potência elétrica é a capacidade que cada consumidor possui para produzir um trabalho, em determinado tempo, a partir da energia elétrica. Ela é representada pela seguinte fórmula: $P = \frac{\tau}{t}$;
- a unidade de medida da potência elétrica é o watt, simbolizado pela letra W;
- um watt (1 W) corresponde à potência desenvolvida no tempo de um segundo em uma carga alimentada por uma tensão de 1 V, na qual circula uma corrente de 1 A;

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

f) com relação às Leis de Joule:

“A energia elétrica dissipada em uma resistência, num dado intervalo de tempo Δt , é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade de corrente que o percorre”. Ou seja, $P = R \times I^2$.

g) tensão nominal é a tensão de fabricação dos equipamentos que devem ser ligados sempre à tensão correta (nominal), que normalmente é especificada no seu corpo;

h) limite de dissipação de potência é a máxima dissipação de potência que a resistência pode realizar sem ser danificada;

i) resistência interna é a soma das resistências elétricas existentes dentro do gerador; e

j) rendimento é a medida do desempenho do gerador. Ele corresponde à relação entre sua tensão de saída e sua tensão interna. Matematicamente:

$$\eta = \frac{V_s}{E} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{V_s}{E} \times 100 (\%)$$

k) quando se conecta uma carga a um gerador, ocorrem perdas devido à resistência interna do próprio gerador e, em muitos casos, deseja-se o máximo de transferência de potência para a carga. A máxima transferência de potência para uma carga ocorre quando o valor da resistência da carga for igual à resistência interna do gerador e, conseqüentemente, a tensão na carga será a metade da tensão do gerador.

Esses conhecimentos são essenciais para interpretar o funcionamento de circuitos elétricos.

Magnetismo e eletromagnetismo

8



Neste capítulo, vamos aprender que não poderíamos usufruir de nenhum aparelho que nos ajuda a iluminar, a aquecer, a resfriar e, por que não, a alegrar nossas vidas, sem que grandes cientistas tivessem dedicado sua energia criativa em estudos na tentativa de explicar o que a eletricidade tinha a ver com o magnetismo.

Gilbert, Franklin, Ørsted, Henry, Faraday e Maxwell são nomes que você já conhece, pois estavam no capítulo 2 deste livro. Neste capítulo, você saberá o que as pesquisas desses cientistas nos ensinam e vai descobrir que não existiriam os motores, os geradores, os transformadores e nem mesmo a produção de energia elétrica em larga escala, sem suas descobertas sobre a interação da eletricidade com os ímãs.

Portanto, ao final dos estudos deste capítulo, você terá conhecimentos sobre:

- a) a origem do magnetismo e as características dos ímãs;
- b) como o magnetismo e o eletromagnetismo explicam os fenômenos magnéticos gerados pela circulação da corrente elétrica por um condutor;
- c) como o eletromagnetismo tem importância fundamental para a compreensão do funcionamento de motores, de geradores e de transformadores;
- d) o cálculo da densidade de fluxo, ou indução magnética; e
- e) as Leis de Faraday, as Leis de Lenz e a Força de Lorentz, que explicam respectivamente a quantificação da indução eletromagnética, o sentido da corrente em relação à variação do campo magnético que a gera e a força eletromagnética total em um condutor.

Bom trabalho!

8.1 CONCEITO DE MAGNETISMO

Não é de hoje que o magnetismo atrai a curiosidade humana. Desde a antiguidade, chamava a atenção um material denominado **magnetita**, que tinha a propriedade de **atrair** outros materiais.

Hoje sabemos que a magnetita é um composto de óxido de ferro (Fe_3O_4) que constitui um **ímã natural**.

O **magnetismo** é, portanto, uma propriedade de certos materiais que o tornam capazes de exercer uma **atração** sobre outros materiais, como o ferro, o aço, o níquel, o cobalto e as ligas especiais.

É necessário diferenciar a força de **atração magnética** e a força do fenômeno **eletrostático** de atração, que estudamos no capítulo 3. Nesta, materiais **atritados** tendem a se atrair devido à movimentação dos elétrons de um material (qualquer) para outro (qualquer). O efeito eletrostático desaparece assim que as cargas elétricas dos dois materiais atingem o equilíbrio. Assim, a atração que um pente atritado exerce sobre a água é um fenômeno **elétrico**.

A força de atração **magnética**, ao contrário, é duradoura e própria de um pequeno grupo de materiais metálicos, como o ferro e o níquel. É muito importante notar, porém, que nem todos os metais reagem às forças magnéticas da mesma forma que os materiais ferrosos. Para que haja atração entre os materiais metálicos é necessário que eles se transformem em **ímãs**.

8.1.1 ÍMÃS

Um ímã é qualquer material que possui propriedades magnéticas, ou seja, que tem a capacidade de **atrair** substâncias magnéticas, como os metais ferrosos em geral.

Existem dois tipos de ímãs:

- Os ímãs **naturais**, que são materiais encontrados na natureza e que apresentam propriedades magnéticas, por exemplo, a magnetita.



Figura 102 - Magnetita

Fonte: Wikimedia Commons (2012)

Uma característica desse tipo de ímã é que ele conserva **permanentemente** a sua propriedade magnética.

b) Os ímãs **artificiais** são barras de materiais ferrosos magnetizadas por processos artificiais e cujos campos magnéticos podem ser **temporários** ou **permanentes**.

Um exemplo de ímã **permanente** é aquele usado nos alto-falantes. Ele é fabricado com uma liga de alumínio, níquel e cobre, que é conhecida como **ALNICO**.

Em geral, os ímãs artificiais têm propriedades magnéticas mais intensas que os ímãs naturais.

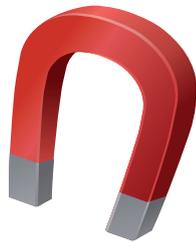


Figura 103 - Ímã artificial
Fonte: SENAI-SP (2012)

Os ímãs artificiais são muito empregados porque podem ser fabricados nos mais diversos formatos, atendendo às mais variadas necessidades, como é o caso do ímã de geladeira.

8.1.2 POLOS MAGNÉTICOS DE UM ÍMÃ

As forças de atração magnética de um ímã manifestam-se com maior intensidade nas suas **extremidades**, que são denominadas de **polos magnéticos**.

Cada um deles – um chamado de **polo sul** e outro, de **polo norte** – apresenta propriedades magnéticas específicas.

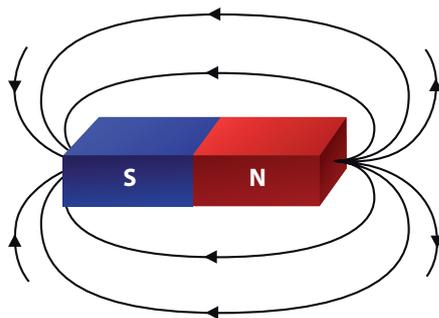


Figura 104 - Polos dos ímãs
Fonte: SENAI-SP (2012)



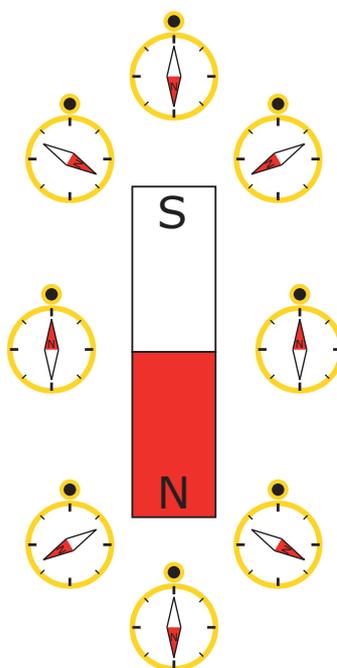
VOCÊ SABIA?

Não devemos confundir os polos geográficos da Terra com os polos magnéticos do planeta: eles estão próximos, mas não coincidem nem em sua localização nem em sua denominação. Pelo contrário: o polo magnético sul da Terra está próximo ao seu polo norte geográfico e o polo magnético norte, por outro lado, fica próximo ao polo sul geográfico. Isso significa que o norte magnético da agulha da bússola, ao apontar o polo norte geográfico, está sendo atraído pelo polo sul magnético da Terra. Isso é explicado pela propriedade da interação entre ímãs, que diz que polos magnéticos **diferentes** se atraem. Interessante, não é?

Uma vez que as forças magnéticas dos ímãs são **mais concentradas** nos **polos**, é possível concluir que a **intensidade** dessas propriedades **diminui** em direção ao **centro** do ímã. Isso significa que, na região central do ímã, estabelece-se uma linha em que as **forças de atração** do polo sul e do polo norte **são iguais** e se **anulam**.

Essa linha é denominada de **linha neutra** e estabelece a fronteira divisória entre os polos do ímã.

ponteiro norte da bússola
acompanha o polo sul do ímã



os ponteiros não
acompanham o ímã.
É a linha neutra

ponteiro sul da bússola
acompanhando o polo norte
do ímã

Figura 105 - Linha neutra
Fonte: SENAI-SP (2012)

8.2 ORIGEM DO MAGNETISMO

No capítulo 3, você viu que a matéria é composta por moléculas, que, por sua vez, são compostas por átomos.

Teoricamente, cada molécula, em virtude de sua organização atômica, é um pequeno ímã natural, que é chamado de **ímã molecular**, ou **domínio**. Todavia, seus efeitos magnéticos não são percebidos porque esses pequenos ímãs estão dispostos no corpo de tal forma que suas ações **anulam-se mutuamente**. Isso resulta em um material **sem** magnetismo natural.

Se, durante a formação do material, as moléculas assumem uma **orientação única** ou **predominante**, os efeitos magnéticos de cada ímã molecular somam-se, dando origem a um ímã com propriedades magnéticas naturais.

Para que haja ação magnética em um corpo, é necessário haver a **imantação**, que consiste em “organizar” os ímãs moleculares de modo que suas ações **somem-se**. É isso o que acontece quando são fabricados os ímãs artificiais.

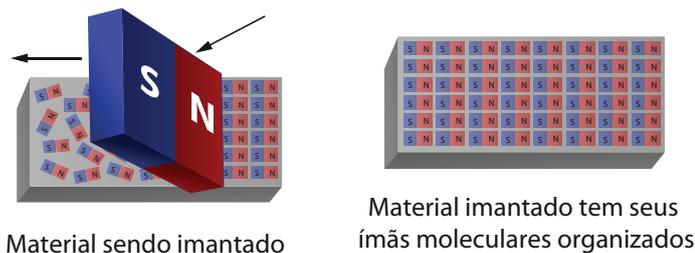


Figura 106 - Diferença de organização dos ímãs moleculares

Fonte: SENAI-SP (2012)

8.3 PROPRIEDADES CARACTERÍSTICAS DOS ÍMÃS

Os ímãs têm duas propriedades características:

a) Inseparabilidade dos polos

Cada vez que um ímã é dividido, ímãs menores são obtidos. Apesar de menores, todos os ímãs resultantes de uma divisão apresentam um polo norte e um polo sul.

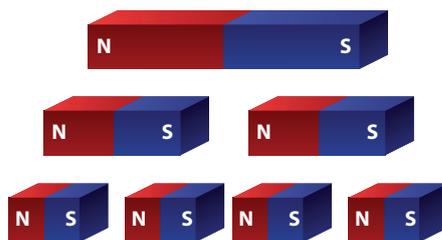


Figura 107 - Inseparabilidade dos polos

Fonte: SENAI-SP (2012)

b) Interação entre ímãs

Quando os polos magnéticos de dois ímãs estão próximos, suas forças magnéticas reagem entre si de forma característica. Assim, se dois polos magnéticos **diferentes** forem aproximados (o **norte** de um com o **sul** do outro), haverá uma **atração** entre os dois ímãs.

Se dois polos magnéticos **iguais** forem aproximados (**norte** de um próximo ao **norte** do outro), haverá uma **repulsão**.

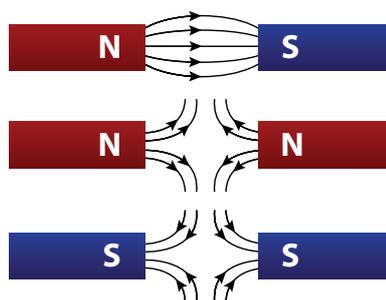


Figura 108 - Representação da interação entre os ímãs
Fonte: SENAI-SP (2012)



**VOCÊ
SABIA?**

A interação entre os ímãs foi aproveitada por cientistas japoneses no desenvolvimento de trens que usam um sistema de suspensão eletrodinâmica (SED), que é baseado na **força de repulsão** dos ímãs.



Figura 109 - Trem japonês cujo movimento é baseado no princípio da força de repulsão dos ímãs (linha de teste de Yamanashi)
Fonte: Wikimedia Commons (2012).

8.4 CAMPO MAGNÉTICO – LINHAS DE FORÇA

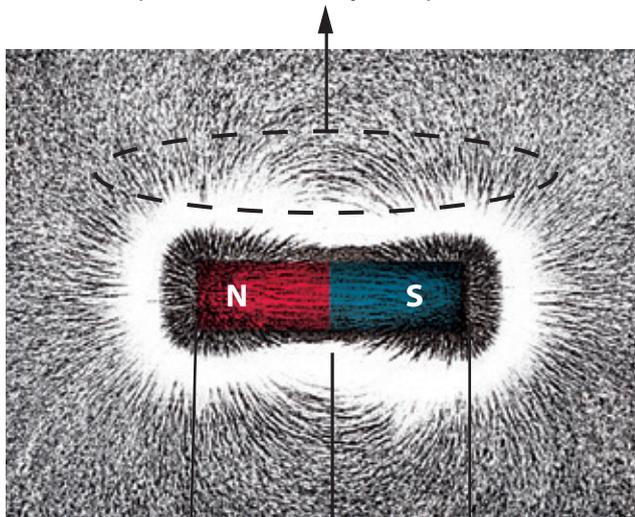
O espaço ao redor do ímã em que há a atuação das forças magnéticas é chamado de **campo magnético**. Os efeitos de atração ou repulsão entre dois ímãs ou de atração de um ímã sobre os materiais ferrosos ocorrem devido à existência desse campo magnético.

Para facilitar o estudo do campo magnético, admite-se a existência de linhas de indução magnética ao redor do ímã. São linhas invisíveis, mas que podem ser percebidas colocando-se um ímã sob uma lâmina de vidro e espalhando limalha de ferro sobre ela. As limalhas se **orientam** conforme as linhas de força magnética.

Trata-se de uma energia que não se vê e que faz com que as limalhas de ferro se agrupem para formar linhas curvas e demonstram o poder que os ímãs têm de atrair partículas de ferro mediante essa força invisível.

Limalha de ferro mostrando o campo magnético de um ímã

O campo faz uma curva que sai do polo norte em direção ao polo sul



O campo de força é mais concentrado nas pontas

O campo de força é mais concentrado nas pontas

No centro, temos a linha neutra, em que o campo é nulo

Figura 110 - Linhas de indução magnética
Fonte: SENAI-SP (2012)

Embora não possamos definir com precisão a natureza das linhas de indução magnética, podemos ter um conceito claro delas se estabelecermos suas propriedades mediante a observação dos fenômenos magnéticos.

¹ SISTEMA CENTÍMETRO-GRAMA-SEGUNDO

O Sistema Centímetro-Grama-Segundo (CGS) é um sistema de unidades físicas que precedeu o Sistema Internacional de Unidades (SI). Muitas fórmulas usadas para cálculos de eletromagnetismo ficam mais simples com as unidades CGS.

Essas propriedades são:

- as linhas de indução magnética são o resultado de uma **energia** que atua em forma de uma **curva fechada**, partindo do polo norte do ímã, passando pelo ar ou por outro meio condutor até chegar ao polo sul, de onde regressa ao polo norte por meio do ferro do ímã;
- as linhas de indução não se **cruzam**. Ao contrário, elas se repelem, porque procuram se separar umas das outras o máximo possível; e
- as linhas de indução magnética **concentram-se** nos **polos** do ímã, razão pela qual obtemos **maior força magnética** nas imediações dos **polos**.

Quando colocamos um pedaço de ferro ou de aço na trajetória das linhas de força, observamos que elas tendem a prosseguir em sua trajetória através do metal, e não através do ar, uma vez que esses metais lhes proporcionam um caminho mais fácil, conforme ilustra a figura a seguir.

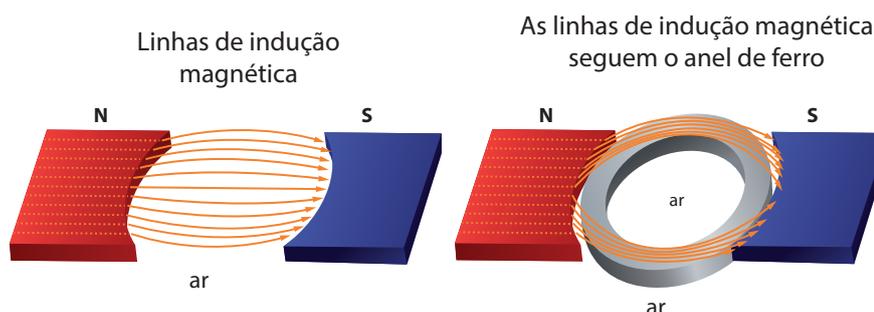


Figura 111 - Trajetória das linhas de indução magnética

Fonte: SENAI-SP (2012)

Para padronizar os estudos sobre o magnetismo e as linhas de indução magnética, convencionou-se que as linhas de força de um campo magnético dirigem-se do polo norte para o polo sul. Essa convenção se aplica às linhas de força externas ao ímã.

8.5 DENSIDADE DE FLUXO DA INDUÇÃO MAGNÉTICA

Em um ímã, o **fluxo da indução magnética** é a **quantidade total** de linhas de indução magnética que constituem seu campo magnético. É representado graficamente pela letra grega φ (lê-se "fi").

O fluxo da indução magnética é uma grandeza e, como tal, pode ser medido. No Sistema Internacional de Medidas (SI), sua unidade de medida é o weber (Wb). No Sistema Centímetro-Grama-Segundo¹ (CGS) de medidas, sua unidade é o maxwell (Mx).


VOCÊ SABIA?

Para transformar weber em maxwell, usa-se a seguinte relação: $1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb}$.

Quando um condutor é submetido a um campo magnético e este varia do valor máximo a zero no tempo de um segundo, provocando aparecimento de uma ddp de um volt entre os terminais do condutor, dizemos que o **fluxo magnético** é de **um Webber**.

A **densidade do fluxo da indução magnética** é o número de linhas de indução magnética que atravessam uma seção transversal do campo magnético de área unitária, ou seja, um centímetro quadrado.

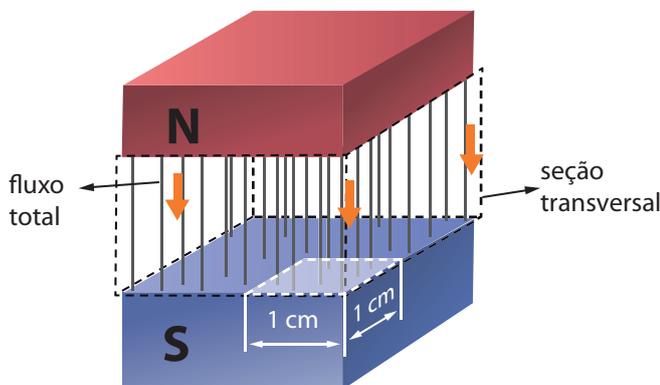


Figura 112 - Representação esquemática da densidade do fluxo

Fonte: SENAI-SP (2012)

A densidade do fluxo é representada graficamente pela letra maiúscula **B**. Sua unidade de medida no sistema SI é o tesla (**T**) e no CGS é o Gauss (**G**). Ela é calculada pela fórmula:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

Sendo que:

- **B** é a densidade do fluxo magnético em **G**;
- Φ é fluxo da indução magnética em **Mx**; e
- **S** é a seção transversal em **centímetros quadrados**.


VOCÊ SABIA?

Para transformar **gauss** em **tesla**, usa-se a seguinte relação: $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

Conhecendo o valor da superfície (seção transversal **S**) em que estão concentradas as linhas de indução magnética e a densidade do fluxo magnético **B**, pode-se enunciar a fórmula do fluxo de indução magnética como sendo o produto da densidade do fluxo **B** pela seção transversal **A**. Assim, matematicamente, temos:

Nessa fórmula:

- φ é o fluxo de indução magnética em **Mx**;
- **B** é a densidade de fluxo magnético em **G**; e
- **S** é a seção transversal em **centímetros quadrados**.

Acompanhe os exemplos de cálculos:

a) Calcule o fluxo de indução magnética em que a densidade de fluxo é 6.000 G e está concentrada em uma seção de 6 cm².

Aplicando a fórmula, temos:

$$\varphi = B \times S$$

$$\varphi = 6000 \times 6$$

$$\varphi = 36000 \text{ Mx}$$

Transformando **Mx** em **Wb**, temos:

$$1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb}$$

Logo:

$$36000 \text{ Mx} = 0,00036 \text{ Wb}$$

b) Calcule a densidade de fluxo em uma seção de 6 cm² sabendo que o fluxo magnético é de 36.000 Mx (ou linhas).

$$B = \frac{\varphi}{S}$$

$$B = \frac{36000}{6}$$

$$B = 6000 \text{ G}$$

Transformando gauss em tesla, temos:

$$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$$

Logo:

$$6000 \text{ G} = 0,6 \text{ T}$$

Esse cálculo é utilizado para conhecermos o fluxo magnético, por exemplo, de um transformador.

8.6 IMANTAÇÃO OU MAGNETIZAÇÃO

Imantação (ou magnetização) é o processo pelo qual os ímãs atômicos (ou dipolos magnéticos) de um material são alinhados, o que acontece por meio da ação de um campo magnético externo.

É possível classificar os materiais de acordo com a **intensidade** com que eles se imantam, isto é, o modo como ordenam seus ímãs atômicos sob a ação de um campo magnético. Assim, esses materiais podem ser classificados em:

- a) Paramagnéticos** são materiais que possuem elétrons desemparelhados que se alinham quando na presença de um campo magnético como o de um ímã. Isso faz surgir um ímã que tem a capacidade de provocar um **leve aumento** na intensidade do valor do campo magnético em um ponto qualquer. Esses materiais são **fracamente** atraídos pelos ímãs.

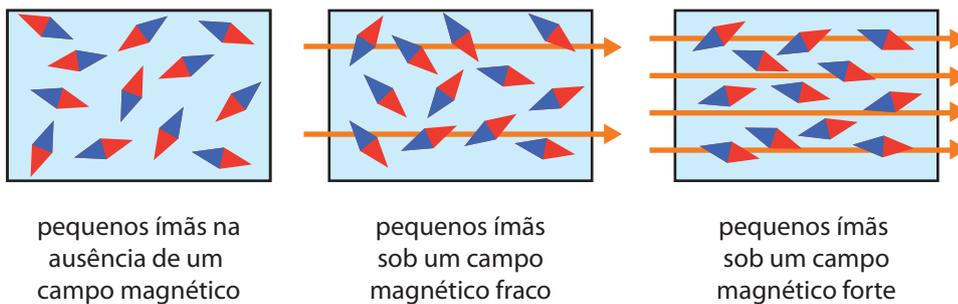


Figura 113 - Comportamento do material paramagnético em relação ao campo magnético

Fonte: SENAI-SP (2012)

O alumínio, a platina, o magnésio e o sulfato de cobre são exemplos de materiais paramagnéticos. Eles são caracterizados por possuírem átomos que têm um campo magnético **permanente**.

- b) Diamagnéticos** são materiais que têm seus ímãs elementares orientados no sentido **contrário** ao sentido do campo magnético aplicado se forem colocados na presença de um campo magnético. Assim, estabelece-se um campo magnético na substância que possui sentido **contrário** ao campo aplicado.

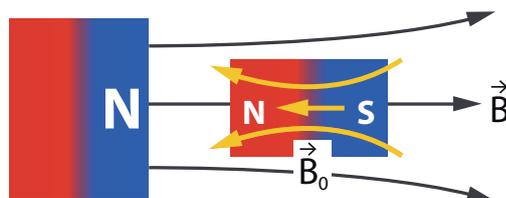


Figura 114 - Representação de material diamagnético

Fonte: SENAI-SP (2012)

A figura 114 mostra que entre o ímã e o material diamagnético haverá repulsão. Essa força, entretanto, é de pequena intensidade e, muitas vezes, difícil de ser percebida, pois B_0 é **muito menor que B** ($B_0 \ll \ll B$).

O bismuto, o cobre, a prata, o chumbo, o ouro, o zinco, o antimônio, a água e o mercúrio são substâncias **diamagnéticas**. Esses materiais caracterizam-se por possuírem átomos que **não** produzem um campo magnético permanente, ou seja, o campo resultante de cada átomo é **nulo**.

c) Ferromagnéticos são materiais que compõem um grupo com características bem diferentes daquelas dos materiais paramagnéticos e dos diamagnéticos. Esses materiais se imantam **fortemente** quando colocados na presença de um campo magnético. É possível verificar, experimentalmente, que a presença de um material ferromagnético altera **fortemente** o valor da intensidade do campo magnético.

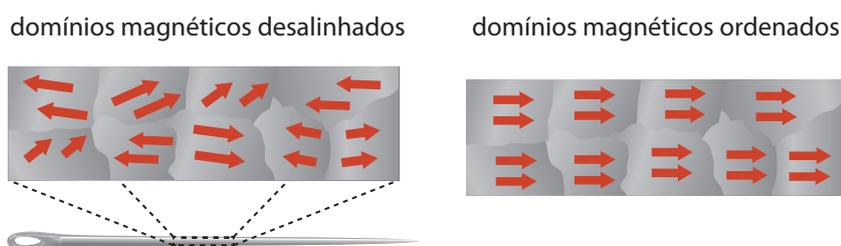


Figura 115 - Material ferromagnético

Fonte: SENAI-SP (2012)

Somente o ferro, o cobalto, o níquel e as ligas formadas por esses materiais são ferromagnéticos. Esse tipo de material é muito utilizado quando se deseja obter campos magnéticos de altas intensidades.

As substâncias ferromagnéticas são **fortemente** atraídas pelos ímãs. Já as substâncias paramagnéticas e diamagnéticas são, na maioria das vezes, denominadas de substâncias **não magnéticas**, pois seus **efeitos** são **muito pequenos** quando sob a influência de um campo magnético.

8.7 ELETROMAGNETISMO

Hans Christian Ørsted foi um cientista dinamarquês de quem já falamos no capítulo 2. Em 1820, enquanto preparava os seus materiais para uma palestra, Ørsted reparou que a agulha de uma bússola movimentava-se quando a corrente elétrica de uma bateria era ligada e desligada. Esse desvio convenceu-o da relação **direta** entre eletricidade e magnetismo.

Depois dele, a união das descobertas de Henry e Faraday (indução eletromagnética) e, principalmente, de James Maxwell, que explicou matematicamente a relação entre a eletricidade e o magnetismo, forneceu as bases para o surgimento de um ramo do estudo da física chamado de **eletromagnetismo**.

Assim, em poucas palavras, podemos dizer que **eletromagnetismo** é um **fenômeno magnético** provocado pela circulação de uma corrente elétrica. O termo eletromagnetismo aplica-se a todo fenômeno magnético que tenha origem em uma corrente elétrica.

8.7.1 CAMPO MAGNÉTICO EM UM CONDUTOR

Para entender a inter-relação entre o fenômeno magnético e a corrente elétrica, vamos explicar o que aconteceu quando Ørsted estava preparando sua palestra.

Quando colocamos uma bússola próxima a um condutor que está sendo percorrido por uma corrente elétrica, o seu ponteiro, que inicialmente estava orientado para o norte geográfico da Terra, muda de direção, mostrando que **a corrente elétrica cria um campo magnético**.

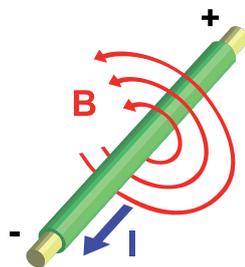


Figura 116 - Campo magnético B em condutor sendo percorrido por corrente elétrica
Fonte: SENAI-SP (2012)

Essa orientação do movimento das partículas tem um efeito semelhante ao da orientação dos ímãs moleculares. Como consequência, surge um campo magnético ao redor do condutor.

As linhas de força do campo magnético criado pela corrente elétrica que passa por um condutor são circunferências concêntricas em um plano perpendicular ao condutor, como você pode observar na figura a seguir.

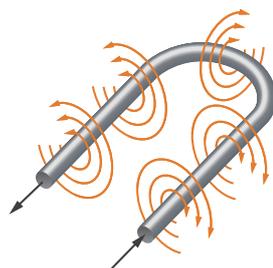


Figura 117 - Linhas de força do campo magnético
Fonte: SENAI-SP (2012)

Mas você pode estar se perguntando: qual é o sentido de deslocamento das linhas de indução magnética do campo magnético?

Para responder a essa pergunta, vamos utilizar a regra da mão direita, conforme mostra a figura a seguir.

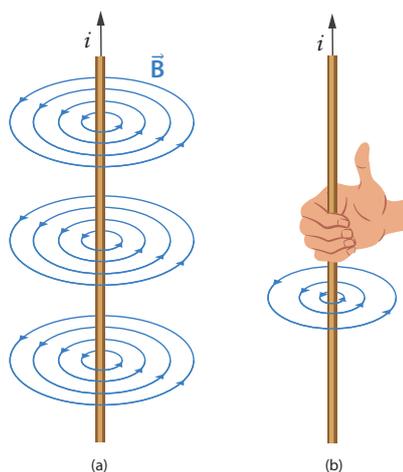


Figura 118 - Regra da mão direita
Fonte: SENAI-SP (2012)

Quando envolvemos o condutor com a mão direita, como mostra a figura, o polegar indica o sentido da corrente elétrica que está percorrendo o fio. Enquanto isso, os demais dedos estão dobrados envolvendo o condutor e indicando o polo norte magnético gerado pela corrente elétrica.

Para definir o sentido das linhas de força, pode-se também utilizar a regra do saca-rolhas. Por essa regra, o sentido é indicado pelo **movimento** do cabo de um saca-rolhas cuja ponta avança no condutor no mesmo sentido da corrente elétrica (convencional). Essa regra pode ser aplicada de duas maneiras:

- a) condutor retilíneo** (figura 119 à esquerda): o saca-rolhas avança no sentido da corrente (i) e com a ponta do cabo em um ponto A. O sentido de rotação do cabo é o sentido das linhas de força do campo magnético (\vec{H}) no ponto A;
- b) condutor curvo** (figura 119 à direita): o saca-rolhas gira no sentido da corrente (i). Ele avança no sentido das linhas de indução magnética do campo magnético.

Para ter uma melhor noção do que estamos falando, veja a figura a seguir.

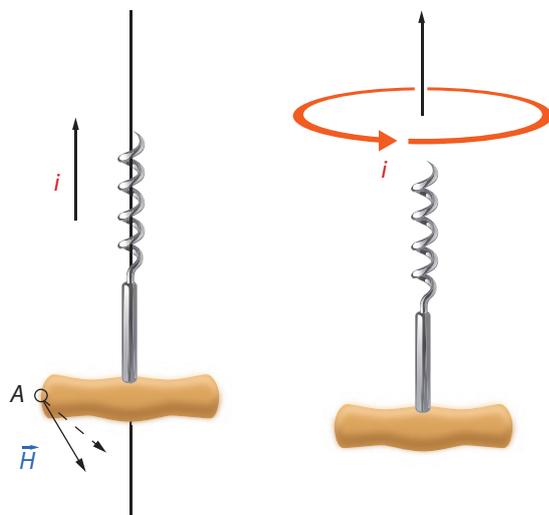


Figura 119 - Regra do saca-rolhas
Fonte: SENAI-SP (2012)



VOCÊ SABIA?

A letra **H** é utilizada para identificar a intensidade do campo magnético.

Conhecer o sentido do campo magnético no condutor é muito importante, porque esse é um conceito aplicado diretamente para o bom funcionamento das máquinas elétricas, como são chamados os motores e os geradores.

Para um motor funcionar corretamente, o electricista precisa ter o cuidado de ligar os cabos internos do motor na sequência correta. Se ela for invertida, o sentido do campo magnético também será invertido. Assim, quando a alimentação do motor for ligada, ele travará em vez de girar.

Conhecer o sentido do campo magnético, portanto, auxilia a fazer a correta ligação do motor.

8.7.2 CAMPO MAGNÉTICO EM UMA ESPIRA CIRCULAR

Em um ímã, as linhas de indução saem do polo norte e se movimentam em direção ao polo sul, formando espiras. Uma espira percorrida por uma corrente origina um campo magnético igual ao do ímã. Assim, o polo norte é aquele do qual as linhas indução magnética saem e o polo sul é aquele em que as linhas entram.

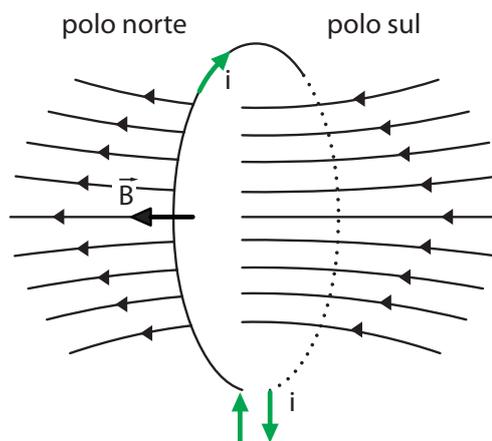


Figura 120 - Direção de movimento das linhas de indução
Fonte: SENAI-SP (2012)

Para identificar o polo norte ou sul da espira, podemos usar as regras práticas representadas nas figuras 121 e 122, a seguir.

A figura 121 ilustra como identificar o polo sul: olhando de frente para uma face da espira com a corrente vista no sentido horário, o fluxo magnético estará entrando no plano do observador.

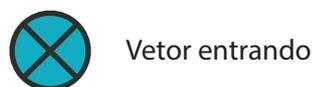
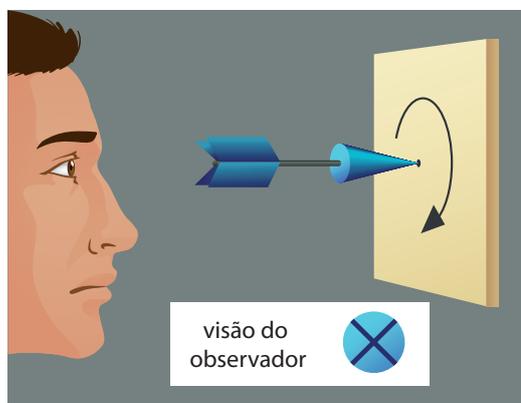
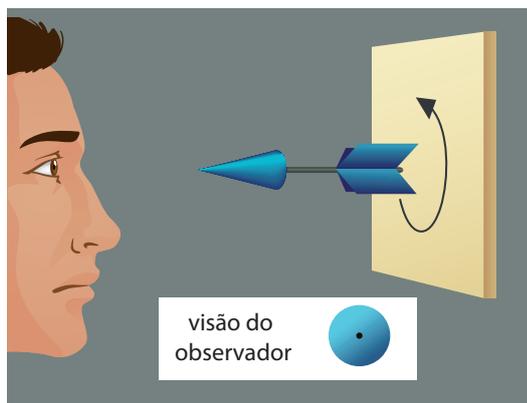


Figura 121 - Identificando o polo sul
Fonte: SENAI-SP (2012)

A figura 122 ilustra um modo prático de identificar o polo norte: olhando-se de frente para uma face da espira com a corrente vista no sentido anti-horário, o fluxo magnético estará saindo do plano do observador.



Vetor saindo

Figura 122 - Identificando o polo norte

Fonte: SENAI-SP (2012)

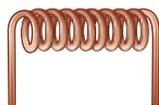
Esse conhecimento é importante para fazer ligações em máquinas elétricas, como motores.

8.8 CAMPO MAGNÉTICO EM UMA BOBINA (OU SOLENOIDE)

Para que possamos obter um efeito prático em termos de trabalho elétrico, um campo magnético produzido por um condutor é fraco e necessita de altas correntes.

Mas, para obter campos magnéticos de **maior intensidade** a partir da corrente elétrica, basta enrolar o condutor em forma de **espiras**, constituindo uma **bobina**. A figura a seguir mostra uma bobina e seus respectivos símbolos, conforme determina a NBR 12521.

Bobina, enrolamento
ou indutor



Símbolo
(forma preferida)



Símbolo
(outra forma)



Figura 123 - Símbolos de bobinas

Fonte: SENAI-SP (2012)

As bobinas permitem um aumento dos efeitos magnéticos gerados em cada uma das espiras. A figura a seguir mostra uma bobina constituída por várias espiras, ilustrando o efeito resultante da soma dos efeitos magnéticos individuais.

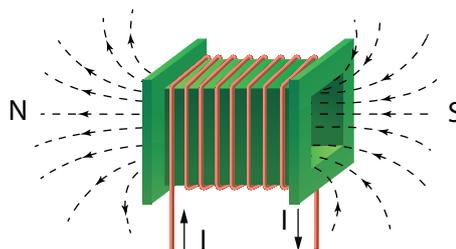


Figura 124 - Representação do efeito da soma dos efeitos magnéticos em uma bobina
Fonte: SENAI-SP (2012)

É importante observar que os **polos magnéticos** formados pelo campo magnético de uma bobina têm **características semelhantes** àsquelas dos **polos de um ímã natural**. Além disso, a intensidade do campo magnético em uma bobina depende diretamente da intensidade da corrente e do número de espiras.

O **núcleo** é a parte central das bobinas. Ele pode ser composto por:

- a) **ar**, quando nenhum material é colocado no interior da bobina; e
- b) **material ferroso**, quando há ferro ou aço, por exemplo, no interior da bobina. Esse recurso é usado a fim de que se possa obter maior intensidade de campo magnético em uma mesma bobina. Nesse caso, o conjunto bobina-núcleo de ferro é chamado **eletroímã**.

A maior intensidade do campo magnético nos eletroímãs é obtida porque os materiais ferrosos provocam uma **concentração das linhas de força**.

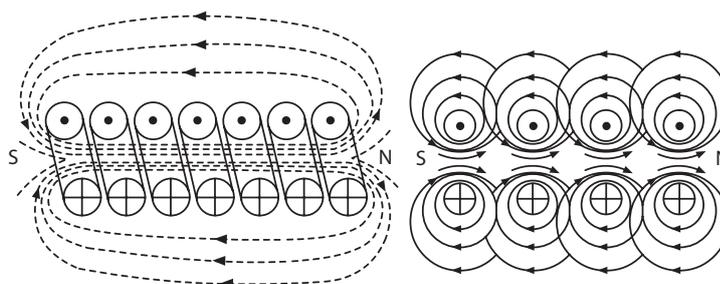


Figura 125 - Concentração de linhas de indução magnética
Fonte: SENAI-SP (2012)

Se fosse possível fazer um corte transversal na bobina do eletroímã, o que veríamos está representado na figura 125.

Nesse caso, quando a corrente elétrica flui na direção em que se afasta do observador (representada pelas cruzes), as linhas de indução magnética circundam o condutor da maneira indicada pelas setas.

Quando a corrente flui pelo fio em direção ao observador (representada pelos pontos), as linhas de indução magnética circundam o fio de cada espira da maneira indicada pelas setas.

Como resultado, observamos que todas as linhas de indução produzidas em cada lado das espiras do fio, tanto na parte superior como na parte inferior, estão na mesma direção. Isso, como pode ser visto claramente na figura, indica que o campo magnético total da bobina é igual à soma de todos os campos magnéticos produzidos em cada espira.

Quando uma bobina tem um núcleo de material ferroso, seu símbolo (segundo a NBR 12521) expressa essa condição, como mostra a figura a seguir.

Indutor com núcleo magnético



Núcleo de ferrite com um enrolamento

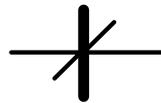


Figura 126 - Símbolo de indutor

Fonte: SENAI-SP (2012)

8.9 PRINCIPAIS LEIS DO ELETROMAGNETISMO

Michael Faraday foi o cientista que primeiro desenvolveu o conceito moderno de campos elétricos e magnéticos, quando, em 1831, apresentou suas ideias sobre linhas de indução, que mais tarde foram comprovadas matematicamente por James Clerk Maxwell.

Em 1833, Heinrich Lenz, em seus estudos, estabeleceu que o sentido da corrente elétrica induzida se comporta de tal maneira que o campo magnético criado por ela opõe-se à variação do campo magnético que a produziu.

Em 1892, Hendrik Lorentz desenvolveu a Lei da Força que tem seu nome e que contribuiu para o cálculo da **força total** tanto dos campos elétricos como dos campos magnéticos. Vamos falar um pouco mais sobre essas leis. Acompanhe!

8.9.1 LEI DE FARADAY

Já sabemos que uma corrente elétrica produz um campo magnético. Mas o campo magnético produz uma corrente elétrica? Michael Faraday provou que sim. Vamos entender as experiências que ele fez.

Experiência 1:

Se uma espira de um material condutor de eletricidade tem um amperímetro conectado a ela, mas não há uma fonte de alimentação no circuito, a leitura do instrumento não indicará um valor.

Mas, se aproximarmos um ímã dessa espira, o amperímetro indicará a presença de uma corrente. Se ele for afastado, também indicará a presença de uma corrente, mas em sentido oposto. Com o ímã parado, não há nenhuma indicação de presença de corrente. Veja a representação dessa experiência na figura a seguir.

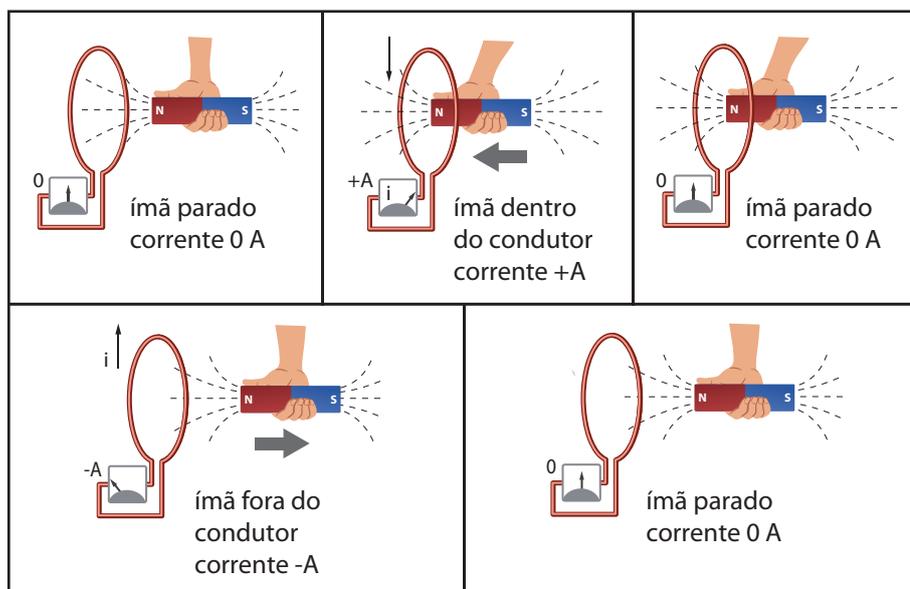


Figura 127 - Primeira experiência de Faraday: circuito com condutor sem fonte de alimentação
Fonte: SENAI-SP (2012)

Nesta primeira experiência, Faraday concluiu que a corrente que circula pela espira com o amperímetro é denominada corrente induzida, já que é produzida por uma força eletromotriz (fem) induzida V_e .

A fem é induzida apenas em uma espira imersa em um campo magnético se ocorrer variação do número de linhas de indução que atravessam a superfície do quadro ou da espira.

Experiência 2:

No circuito da figura a seguir, ligando-se a chave, ocorre um pequeno e rápido desvio na agulha do amperímetro.

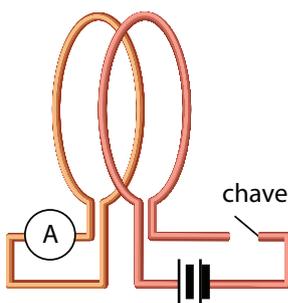


Figura 128 - Circuito que reproduz a segunda experiência de Faraday
Fonte: SENAI-SP (2012)

O mesmo acontece se a chave for desligada. O desvio, porém, será em sentido oposto. E se a chave for mantida ligada, por maior que seja a corrente circulando na espira esquerda, não haverá qualquer indicação no amperímetro.

Na segunda experiência, Faraday concluiu que a corrente induzida é proporcional ao negativo da variação do fluxo magnético em relação ao tempo.

Essas leis explicam a reação do campo girante, que faz funcionar um motor elétrico.



CASOS E RELATOS

O poder do campo magnético

Soldar é uma tarefa repetitiva e penosa que envolve riscos à saúde. Por isso, as grandes montadoras de veículos usam robôs para soldar as carrocerias dos automóveis.

A soldagem acontece quando ocorre um breve curto-circuito controlado em um ponto da carroceria que será soldado. No momento desse curto, a corrente pode chegar a 200 A para uma chapa de 1,5 mm e, por causa dessa corrente, forma-se um campo magnético no local em que é feita a soldagem.

Em uma siderúrgica, o operador principal de um equipamento de soldagem teve um problema cardíaco e precisou colocar um marca-passo.

Esse equipamento tinha a função de soldar, sem falhas, chapas de 10 mm de espessura por 2000 mm de comprimento. Por causa da grande espessura das chapas a serem soldadas, a corrente atingia o valor de 70.000 A. Com essa corrente, o campo magnético gerado era capaz de apagar temporariamente os monitores dos computadores usados para o monitoramento da soldagem que estavam a cinco metros do equipamento.

Por causa disso, como medida de segurança, pois havia risco à saúde do funcionário, ele foi afastado da sua função, já que o campo magnético no local poderia afetar o funcionamento de seu marca-passo.

8.9.2 LEI DE LENZ

Faraday foi o primeiro a produzir uma força eletromotriz induzida e a determinar o seu valor. Porém, foi a Lei de Lenz que determinou seu sentido.

Por essa lei, estabeleceu-se que o sentido de uma força eletromotriz induzida é tal que a corrente induzida ocorre sempre de forma a contrariar a variação da grandeza que a produziu.

Isso quer dizer que o sentido da corrente é o oposto da variação do campo magnético que lhe deu origem. A figura a seguir ilustra o que diz o enunciado da Lei de Lenz.

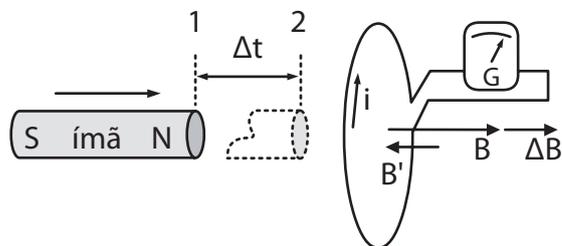


Figura 129 - Circuito que representa o sentido da corrente pela Lei de Lenz
Fonte: SENAI-SP (2012)

Se a área da espira for constante e o ângulo do movimento do ímã também, a variação do fluxo magnético é proporcional a um valor médio de campo magnético (**B**).

Se o ímã for movimentado da posição 1 para a posição 2 em um tempo Δt , o campo magnético que atravessa a espira passa de **B** para $+\Delta\mathbf{B}$, pois há um maior número de linhas de indução por unidade de área para a posição mais próxima.

Como consequência, a corrente induzida produz um campo **B'**, oposto à variação, ou seja, $\mathbf{B}' = -\Delta\mathbf{B}$.

O sentido da corrente *I* na espira pode ser encontrado pela regra da mão direita.

Devido à ação de oposição ao fenômeno gerador, a força eletromotriz induzida é algumas vezes denominada força contra-eletromotriz.



VOCÊ SABIA?

Quando um motor de corrente alternada começa a girar, a tensão é aplicada em sua parte externa, que são as bobinas. A parte rotativa, ou seja, aquela que realmente gira, não possui nenhum fio de alimentação.

Para que a parte rotativa gire, o campo vindo das bobinas faz com que sua parte metálica crie um campo contrário e a partir daí comece a girar.

Esse campo contrário é o que chamamos de força contra-eletromotriz, que é uma força **contrária** à força aplicada.

8.9.3 LEI DA FORÇA DE LORENTZ

A Lei da Força de Lorentz calcula a **intensidade da força magnética** em uma partícula carregada eletricamente com velocidade \vec{v} e imersa em um campo magnético. Ela descreve o efeito de \vec{E} (campo elétrico) e \vec{B} (campo magnético) sobre uma carga elétrica pontual (de prova). Isso é representado esquematicamente na figura a seguir.

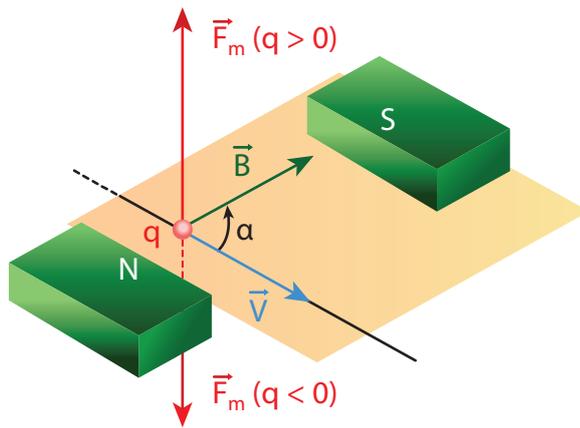


Figura 130 - Efeito do campo elétrico e do campo magnético sobre uma carga elétrica

Fonte: SENAI-SP (2012)

Na figura acima, observe que:

- uma carga elétrica q , **positiva**, circula em um campo magnético uniforme, com uma velocidade \vec{v} ;
- no plano da figura, o campo magnético está representado pelo fluxo de indução \vec{B} ; e
- o ângulo α é formado entre os vetores \vec{v} e \vec{B} .

Nessas condições, o campo magnético é capaz de atuar sobre a carga que nele circula. Nele surge, então, uma força de origem magnética denominada força magnética de Lorentz (\vec{F}), que se caracteriza por desviar a carga de sua trajetória original de circulação.

As características das forças magnéticas \vec{F} são:

- intensidade da força magnética** – é **diretamente proporcional** à carga elétrica, à velocidade de circulação da carga e à intensidade do campo magnético;
- direção** – é **perpendicular** aos vetores \vec{v} (velocidade) e \vec{B} (campo magnético);

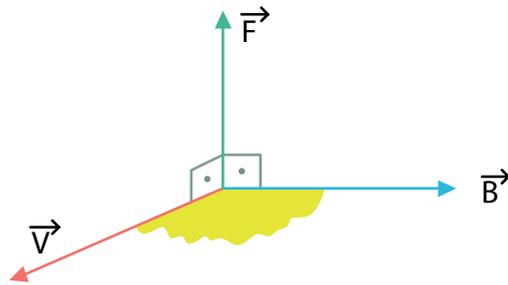


Figura 131 - Direção das forças magnéticas

Fonte: SENAI-SP (2012)

- c) **Sentido** – se a carga elétrica circulante for positiva, o sentido da força magnética é dado pela regra da mão esquerda, ilustrada na figura a seguir. Se a carga elétrica q circulante no campo magnético for **negativa**, o sentido da força magnética deve ser **invertido**.

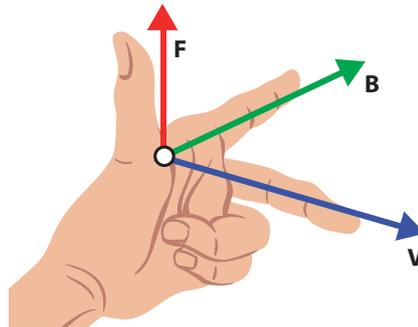


Figura 132 - Regra da mão esquerda

Fonte: SENAI-SP (2012)

Pela regra da mão esquerda:

- o dedo polegar indica a força magnética F ;
- o dedo indicador indica o campo magnético B ; e
- o dedo médio indica o sentido da velocidade v .

8.10 CIRCUITOS MAGNÉTICOS

Os circuitos magnéticos são utilizados para **concentrar** o efeito magnético em determinados materiais. Isso quer dizer que eles direcionam o fluxo magnético em materiais com certas propriedades magnéticas e dimensões a partir de uma variedade de seções e diferentes comprimentos.

Logo, o **circuito magnético** é o espaço em que se desenvolve um conjunto de **linhas de indução de um campo magnético**. Vamos ver no circuito a seguir:

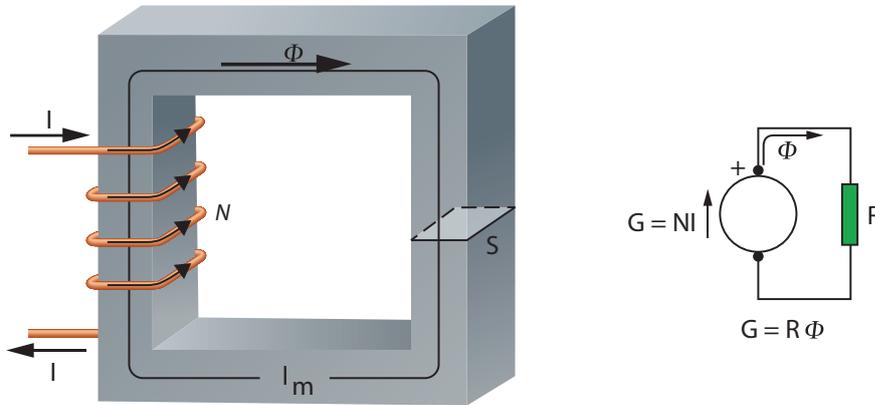


Figura 133 - Representação esquemática de um circuito magnético

Fonte: SENAI-SP (2012)

Da mesma forma que o circuito elétrico é o percurso da corrente elétrica, o circuito magnético é o percurso do **fluxo magnético**.

Assim como a força eletromotriz (fem) é responsável pelo movimento ordenado dos elétrons em um circuito elétrico, no circuito magnético deve haver uma **força** que é medida pelo trabalho realizado para transportar uma unidade de massa magnética (fluxo) em torno do circuito magnético fechado. Essa é a **força magnetomotriz** (f.m.m.), que é a relação entre a corrente nas espiras e a quantidade de espiras.

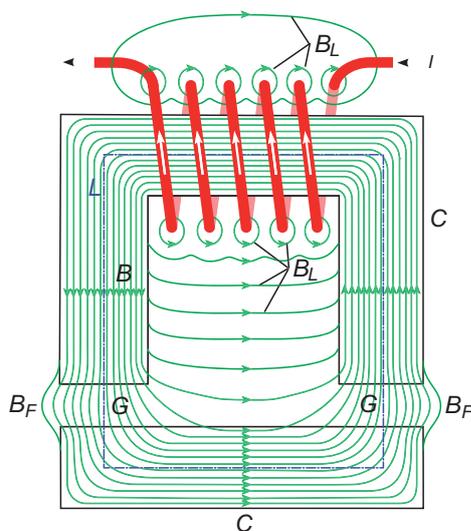


Figura 134 - Campo magnético de um eletroímã

Fonte: SENAI-SP (2012)

A figura 134 ilustra um circuito magnético mostrando o diagrama do campo magnético (linhas verdes) de um eletroímã típico, bem como apresenta o núcleo do eletroímã em corte, com exceção dos condutores que formam a bobina (em vermelho), que estão representados em três dimensões para dar maior clareza ao desenho.

O núcleo de ferro do eletroímã (C) forma um espaço fechado para a circulação do fluxo magnético e contém duas aberturas para a passagem do ar. A maior parte do campo magnético (B) está confinada dentro do circuito do núcleo. Porém, algumas das linhas do campo magnético (B_L) se desviam, não passam pelo núcleo e não contribuem para a produção de trabalho do eletroímã, constituindo uma perda. Essa perda também inclui os fluxos magnéticos que circundam os condutores que formam a bobina.

Nas aberturas (G), as linhas do campo magnético formam “curvas” (B_r) nas bordas das aberturas e depois voltam ao traçado normal para entrar na outra parte do material do núcleo. São chamadas de “campos marginais” e também são consideradas como perdas, pois reduzem a força do eletroímã.

A linha azul (L) é o comprimento médio do percurso do fluxo, também chamado de circuito magnético. Esse comprimento é usado para calcular o campo magnético.

A força magnetomotriz do circuito magnético corresponde à força eletromotriz do circuito elétrico. Podemos exemplificá-la com a ajuda de um eletroímã, que, como você já viu neste capítulo, tem a capacidade de atrair materiais ferrosos.

Assim, imagine o uso de um eletroímã em um ferro velho, no qual o mesmo guindaste deverá ter força para levantar tanto uma geladeira como um automóvel. O equipamento é o mesmo, mas não há necessidade da mesma força. Então, para levantar a geladeira, usamos um certo valor de corrente e para levantar o carro, precisamos aumentá-la. Esse valor de corrente no eletroímã é a nossa **força magnetomotriz**. Quanto maior for a corrente para um determinado equipamento, maior será a força magnetomotriz.

8.11 INTERAÇÃO ENTRE O MAGNETISMO E O ELETROMAGNETISMO

Até este momento, vimos separadamente os conceitos de magnetismo e eletromagnetismo. Agora, vamos unir os dois conceitos usando um exemplo de aplicação prática bem conhecida: o alto-falante.

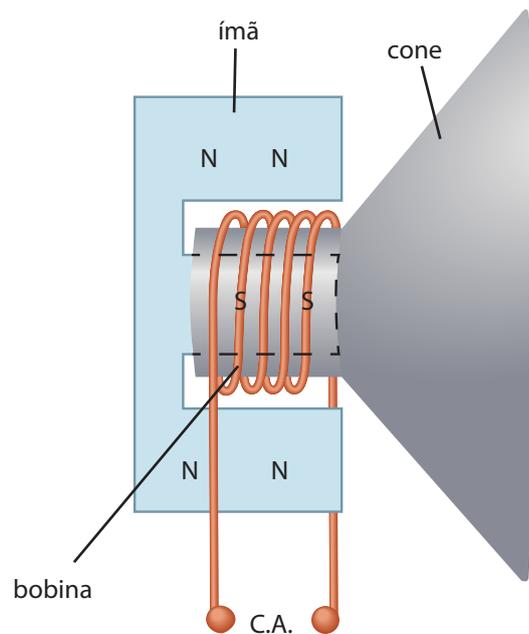


Figura 135 - Alto-falante
Fonte: SENAI-SP (2012)

O alto-falante é um dispositivo que produz som por meio de um sinal elétrico em corrente alternada. Esse sinal ativa a bobina de um eletroímã, que está presa na base de um cone e inserida em um ímã. Quando ocorre o sinal, os campos entre a bobina e o ímã se atraem e se repelem, movimentando-se de modo que provocam a vibração no cone que junto ao deslocamento de ar, produz o som. Quanto maior for a corrente aplicada à bobina, maior será a força e, portanto, maior será a vibração do cone.



**SAIBA
MAIS**

Utilizando o conceito de magnetismo e eletromagnetismo, tente entender como funciona um motor em corrente contínua. Para saber mais, use um *site* na internet para realizar uma busca pelos termo "motor cc caseiro" e veja como esse tipo de motor funciona



RECAPITULANDO

Neste capítulo, você estudou que:

- a) o magnetismo é uma propriedade de certos materiais que os tornam capazes de exercer uma atração sobre materiais ferrosos;
 - b) os ímãs são materiais com propriedades magnéticas. Eles podem ser naturais ou artificiais e têm dois polos em suas extremidades: o polo norte e o polo sul, em que se concentram as forças magnéticas do ímã, enquanto na região central está a linha neutra, na qual as forças de atração se anulam;
 - c) cada vez que o ímã é dividido, gera ímãs menores, que possuem as mesmas características;
 - d) polos diferentes se atraem e polos iguais se repelem;
 - e) campo magnético é o espaço ao redor do ímã em que há a atuação das forças magnéticas;
 - f) o fluxo da indução magnética é a quantidade total de linhas de um ímã que constitui o campo magnético;
 - g) a densidade do fluxo da indução magnética é calculada pela fórmula $B = \frac{\Phi}{S}$ e sua unidade de medida é o tesla (T);
 - h) quanto à intensidade com que os materiais se imantam, eles podem ser classificados em materiais paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos;
 - i) eletromagnetismo é o fenômeno magnético provocado pela circulação de uma corrente elétrica em um condutor que gera um campo magnético formado por linhas magnéticas;
 - j) para determinar a direção do campo magnético, usamos a regra da mão direita;
 - k) a intensidade do campo magnético ao redor do condutor depende da intensidade da corrente que flui nele;
-

-
- l) para obter campos magnéticos de maior intensidade a partir da corrente elétrica, basta enrolar o condutor em forma de espiras, constituindo uma bobina;
 - m) a intensidade do campo magnético em uma bobina depende diretamente da intensidade da corrente e do número de espiras;
 - n) o núcleo de uma bobina é a sua parte central e pode ser de ar ou de material ferroso;
 - o) a Lei de Faraday estabeleceu que a corrente que circula pela espira é denominada corrente induzida, já que é produzida por uma força eletromotriz (fem) induzida V_e ;
 - p) a Lei de Lenz estabeleceu que o sentido da corrente elétrica induzida comporta-se de tal maneira que o campo magnético criado por ela opõe-se à variação do campo magnético que a produziu;
 - q) a Lei da Força de Lorentz contribuiu para o cálculo da força total tanto dos campos elétricos como dos magnéticos; e
 - r) circuito magnético é o espaço em que se desenvolve um conjunto de linhas de indução de um campo magnético.

Esses conteúdos são a base para você entender o comportamento de geradores, motores e transformadores, os quais serão estudados ainda neste livro.

REFERÊNCIAS

AES ELETROPAULO. **Manual de construção e manutenção de redes de distribuição aérea**. São Paulo: AES Eletropaulo, 2011.

ALBUQUERQUE, R. O. **Circuitos em corrente alternada**. São Paulo: Érica, 1997. (Coleção Estude e Use, Série Eletricidade).

ANEEL. **Usinas hidrelétricas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/gif/brasil.jpg>>. Acesso em: 6 dez. 2011.

ANZENHOFER, K. et al. **Eletrotécnica para escolas profissionais**. 3. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1980.

BRIAN, M. **Como funciona a eletricidade**. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/eletricidade.htm>>. Acesso em: 7 fev. 2012.

BRYSON, B. **Em casa**: uma breve história da vida doméstica. Tradução de Isa Maria Lando. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

CELPA. **Manual de construção e manutenção de redes de distribuição aérea**. Belém: CELPA, 2009.

CPFL. **Manual de construção e manutenção de redes de distribuição aérea**. São Paulo: CPFL, 2011.

CIPELLI, M.; MARKUS, O. **Ensino modular**: eletricidade: circuitos em corrente contínua. São Paulo: Érica, 1999.

COLÉGIO WEB. **Eletrostática**. Disponível em: <<http://www.colegioweb.com.br/fisica/eletrostatica-e-carga-eletrica.html>>. Acesso em: 9 fev. 2011.

FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO. **História da eletricidade**. Disponível em: <<http://www.forp.usp.br>>. Acesso em: 8 fev. 2012.

GOZZI, G. G. M. **Circuitos magnéticos**. São Paulo: Érica, 1996. (Coleção Estude e Use, Série Eletricidade).

INTERMEDIATE energy infobook. **History of electricity**. Disponível em: <http://www.need.org/needpdf/infobook_activities/IntInfo/Elec3I.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2011.

KOLLER, A. **As leis de Kirchhoff**. Tradução e adaptação do Setor de Divulgação Tecnológica da Siemens S. A.. São Paulo: Siemens AG/Edgar Blücher, 1976.

LOURENÇO, A. C. de; CRUZ, E. C. A.; CHAVERI JUNIOR, S. **Circuitos em corrente contínua**. 4. ed. São Paulo: Érica, 1998. (Coleção Estude e Use, Série Eletricidade).

MARKUS, O. **Circuitos elétricos**: corrente contínua e corrente alternada: teoria e exercícios. 8. ed. São Paulo: Érica, 2008.

MILEAF, H. (Org.). **Eletricidade**. Tradução de Edson Aragão Farqui. São Paulo: Martins Fontes, 1983. v. 4.

_____. **Eletricidade**. Tradução de Edson Aragão Farqui. São Paulo: Martins Fontes, 1983. v. 5.

MORAES, A. A. de; NOVAES, R. C. R.; CAETANO, J. C. **Eletricidade básica**. São Paulo: SENAI, 1999.

_____; _____. **Análise de circuitos elétricos**. São Paulo: SENAI, 2000.

MUNDO CIÊNCIA. **História da eletricidade**. Disponível em: <<http://www.mundociencia.com.br/fisica/eletricidade/historiaeletricidade.htm>>. Acesso em: 8 fev. 2012.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Corrente elétrica**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com.br/fisica/corrente-eletrica.htm>>. Acesso em: 8 fev. 2012.

_____. **História da eletricidade**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com.br/fisica/a-historia-eletricidade.htm>>. Acesso em: 26 dez. 2011.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **História da eletricidade**. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/historia-da-eletricidade/historia-da-eletricidade-1.php>>. Acesso em: 8 fev. 2012.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T. **Os fundamentos de física**. 7. ed. São Paulo: Moderna, 1999.

RUSSEL, J. B. **Química geral**. Tradução e revisão técnica de Márcia Guekezian et al. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. v. 1.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DE SÃO PAULO. **Análise de circuitos elétricos: teoria**. 4. ed. São Paulo: SENAI SP, 2011.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DE SÃO PAULO. **Eletricidade geral: teoria**. 6. ed. São Paulo: SENAI SP, 2011.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DE SÃO PAULO. **Eletricista de manutenção: máquinas elétricas e acionamentos: teoria**. São Paulo: SENAI.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DE SÃO PAULO. **Iniciação à eletricidade**. 4. ed. São Paulo: SENAI SP, 2010.

TRANSFORMAN TRANSFORMADORES. **Características técnicas padronizadas conforme NBR 5440/1999**. Disponível em: <http://www.transforman.com.br/home/det_tecnicos.asp>. Acesso em: 2 jun. 2013.

VAN VALKENBURG, Nooger. **Eletricidade básica**. Tradução de Fausto João Mendes Cavalcanti. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1982. v. 3.

WIKIPEDIA. **Energia**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia>>. Acesso em: 6 dez. 2011.

_____. **Eletricidade**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Eletricidade>>. Acesso em: 26 dez. 2011.

_____. **Poraquê**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Poraqu%C3%AA>>. Acesso em: 26 dez. 2011.

_____. **História do eletromagnetismo**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_do_eletromagnetismo>. Acesso em: 6 fev. 2011.

_____. **Corrente elétrica**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Corrente_el%C3%A9trica>. Acesso em: 8 fev. 2012.

MINICURRÍCULO DOS AUTORES

Adilson Santo Crivellaro é engenheiro eletricitista, pós-graduado em Administração de Empresas e Engenharia de Segurança no Trabalho, especialista em Treinamentos na área de Energia. Atua desde 1994 como instrutor do SENAI-SP em treinamentos sobre Redes de Distribuição Aérea (RDAs) de energia elétrica em circuitos energizados da classe 15 kV e em circuitos desenergizados. Tais treinamentos foram direcionados à capacitação de profissionais de empresas prestadoras de serviços e das concessionárias de energia elétrica de São Paulo: AES Eletropaulo, Bandeirante Energia, CPFL, EDP. Em 2002, participou do projeto Energia Brasil, do SENAI-DN, que teve foco na eficiência energética e no empreendedorismo. É membro do Comitê de Energia e Eficiência Energética do Setor Elétrico do SENAI-SP e do Comitê de Desenvolvimento do Curso de Aprendizagem Industrial (CAI) – Eletricistas de Redes de Energia do Sindicato das Concessionárias de Energia Elétrica do Estado de São Paulo, representado pelo SINDI Energia. Atualmente, é conteudista do curso de qualificação profissional de Eletricista de Redes de Distribuição de Energia Elétrica do Programa Nacional de Oferta de Educação Profissional a Distância (PN-EAD) do SENAI-DN.

Edson Kazuo Ino é Técnico em Eletrônica e atuou na USIMINAS como supervisor de inspeção elétrica. Foi responsável pela modernização e automação de equipamentos eletroeletrônicos, utilizando CLP's, conversores e inversores. Coautor da apresentação do processo de automação no seminário ABM (Associação Brasileira de Metais), em 2007. Na área de ensino, foi autor e coautor no treinamento de inversor de frequência na escola Antonio Souza Noschese – SENAI de Santos. Atualmente, ministra treinamentos de NR10, comandos elétricos, instalações elétricas, inversores de frequência e elabora material e kits didáticos para o curso Técnico de Eletroeletrônica a distância do Programa Nacional de Oferta de Educação Profissional do SENAI – PN-EAD.

ÍNDICE

A

Adimensional 318
Arredondamento 118
Ascarel 272

C

Condutor de aterramento 326
Corrente alternada 66
Corrente contínua 66
Corrente parasita 348
Correntes de Foucault 388
 $\cos \varphi$ 256
Coulomb 78
Curva senoidal 244

D

Dipolo 376
Display 62

F

Fissão 68
Força eletromotriz 170

H

Histerese 376
Histerese magnética 348
Horse power 364
HP 364

I

instrumento analógico 60

L

Lúmen 158

N

Nanotecnologia 60

P

Polarizar 148

R

Resistência de aterramento 326

S

Senoide 244
Sensor indutivo 310
Sistema Centímetro-Grama-Segundo 186
Sobretensões 330
Soma algébrica 52
Start 308
Surtos 330

T

Transiente 384

V

Valência 46

**SENAI – DEPARTAMENTO NACIONAL
UNIDADE DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA – UNIEP**

Rolando Vargas Vallejos
Gerente Executivo

Felipe Esteves Morgado
Gerente Executivo Adjunto

Diana Neri
Coordenação Geral do Desenvolvimento dos Livros

SENAI – DEPARTAMENTO REGIONAL DE SÃO PAULO

Walter Vicioni Gonçalves
Diretor Regional

Ricardo Figueiredo Terra
Diretor Técnico

João Ricardo Santa Rosa
Gerente de Educação

Airton Almeida de Moraes
Supervisão de Educação a Distância

Cláudia Benages Alcântara
Henrique Tavares de Oliveira Filho
Márcia Sarraf Mercadante
Coordenação do Desenvolvimento dos Livros

Adilson Santo Crivellaro (capítulos 1 e de 12 a 15)
Edson Kazuo Ino (capítulos de 2 a 11 e 16)
Elaboração

Henrique Tavares de Oliveira Filho
Paulo Roberto Mack
Revisão Técnica

Maria Isabel Porazza Mendes (capítulos 1 e de 12 a 15)
Regina Célia Roland Novaes (capítulos de 2 a 11 e 16)
Design Educacional

Alexandre Suga Bentes
Juliana Rumi Fujishima
Leury Giacomeli
Ilustrações e Tratamento de Imagens

Delinea Tecnologia Educacional
Editoração

Andréa Borges Minsky
Barbara Vieira
Daniela Piantola
Fabrcia Eugênia de Souza
Humberto Pires Junior
Tiago Costa Pereira
Revisão Ortográfica e Gramatical

Karina Silveira
Laura Martins Rodrigues
Diagramação

i-Comunicação
Projeto Gráfico