
SENAI
FIERGS

Eletrotécnica
Básica

PRESIDENTE DO SISTEMA FIERGS E DO CONSELHO REGIONAL DO SENAI-RS

Francisco Renan O. Proença

Conselheiros Representantes das Atividades Industriais – FIERGS

Titulares

Deomedes Roque Talini

Valayr Hélio Wosiack

Astor Milton Schmitt

Suplentes

Manfredo Frederico Koehler

Arlindo Paludo

Pedro Antonio G. Leivas Leite

Representantes do Ministério da Educação

Titular

Edelbert Krüger

Suplente

Aldo Antonello Rosito

Representantes do Ministério do Trabalho e Emprego

Titular

Alcides Vicini

Suplente

Mauro Azevedo de Moura

DIRETORIA SENAI -RS

José Zortéa

Diretor Regional

Paulo Fernando Presser

Diretor Técnico

Silvio S. Andriotti

Diretor Administrativo-Financeiro



Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira

João Alvarez Peixoto

Eletrotécnica Básica

Gravataí

Janeiro de 2000

ELETROTÉCNICA BÁSICA

© 2000. SENAI-RS

Trabalho elaborado pelo Técnico da Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira, sob orientação, coordenação e supervisão da Diretoria Técnica do Departamento Regional do SENAI-RS.

Coordenação Geral	Paulo Fernando Presser	DITEC
Coordenação do Projeto	Mary Elisabet A. de Jesus	DITEC/GDE
Coordenação Local	José Paulo da Rosa	EEP SENAI Ney D. Ferreira
Coordenação Técnica	Lúcio José da Silva	EEP SENAI Ney D. Ferreira
Elaboração	João Alvarez Peixoto	EEP SENAI Ney D. Ferreira
Colaboração	Fernanda Delfino de Souza	EEP SENAI Ney D. Ferreira
Revisão Lingüística	Mauren Comachio	DITEC/GAT
Normalização Bibliográfica	Mari Nelma Azzi Dellaméa	EEP SENAI Ney D. Ferreira
Reprodução Gráfica	CFP SENAI de Artes Gráficas "Henrique D'Ávila Bertasso"	

S 491 SENAI. RS. **Eletrotécnica Básica**. Gravataí, Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira, 2000. 143 p. il

1. Eletrotécnica I. Título

CDU – 621

Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira
Av. Plínio Gilberto Kroeff, 401 – Bairro Distrito Industrial
9400-970 - Gravataí - RS
Tel./Fax: (0XX51) 489.1088 E-mail:gravataí@rgs.senai.br

SENAI - Instituição mantida e administrada pela Indústria.

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, deste Departamento Regional.

SUMÁRIO

LISTA DE FÍGURAS	9
LISTA DE TABELAS	13
INTRODUÇÃO	15
1 FUNDAMENTOS DA ELETROTÉCNICA	17
1.1 MATÉRIA	17
1.2 ÁTOMO	17
2 TENSÃO ELÉTRICA	21
2.1 FORMAS DE PRODUZIR TENSÃO ELÉTRICA	22
2.1.1 Geração de Tensão por Atrito	22
2.1.2 Geração de Tensão por Calor	23
2.1.3 Geração de Tensão por Pressão.....	23
2.1.4 Geração de Tensão por Luz	23
2.1.5 Geração de Tensão por Eletrólise	23
2.1.6 Geração de Tensão por Magnetismo.....	23
3 CORRENTE ELÉTRICA	25
4 RESISTÊNCIA ELÉTRICA	27
4.1 CONDUTORES.....	27
4.2 ISOLANTES	28
4.3 RESISTÊNCIA ELÉTRICA	28
4.3.1. Resistência Específica (ρ)	28
4.3.2 Seção do Material.....	29
4.3.3 Comprimento do Material	29
4.4 RESISTORES	30
4.5 POTENCIÔMETROS	31
4.6 TRIMPOT	31
5 MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DAS UNIDADES	33

6 CIRCUITO ELÉTRICO	35
7 LEI DE OHM.....	37
EXERCÍCIOS 1.....	38
8 POTÊNCIA ELÉTRICA	39
EFEITO JOULE	41
9 TIPOS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS.....	43
9.1 CIRCUITO SÉRIE.....	43
9.2 CIRCUITO PARALELO.....	44
9.2 CIRCUITO MISTO	45
10 LEIS DE KIRCHHOFF.....	47
10.1 PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF	47
10.2 SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF.....	48
EXERCÍCIO 2	49
11 DIVISORES DE TENSÃO	51
11.1 INFLUÊNCIA DA CARGA.....	52
11.2 CÁLCULO DAS POTÊNCIAS DOS RESISTORES	53
EXERCÍCIO 3	54
12 TEOREMA DE THEVENIN.....	55
12.1 TENSÃO DE THEVENIN	56
12.2 RESISTÊNCIA DE THEVENIN	57
13 CIRCUITO EQÜIVALENTE ESTRELA/TRIÂNGULO	59
13.1 CONVERSÃO TRIÂNGULO EM ESTRELA	60
13.2 CONVERSÃO ESTRELA EM TRIÂNGULO	61
14 CONCEITO DE FONTE DE TENSÃO E FONTE DE CORRENTE.....	63
14.1 FONTE DE TENSÃO CONSTANTE	63
14.2 FONTE DE CORRENTE CONSTANTE.....	65
15 TIPOS DE TENSÃO E CORRENTE ELÉTRICA.....	67
16 EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA NO CORPO HUMANO	69
17 PROTEÇÃO PARA OS CIRCUITOS ELÉTRICOS.....	71
17.1 FUSÍVEIS	71
17.2 DISJUNTORES.....	73
17.3 DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	74

18 MAGNETISMO.....	75
INTERAÇÃO ENTRE OS ÍMÃS	77
19 ELETROMAGNETISMO.....	79
20 INDUÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA.....	83
20.1 CAMPO MAGNÉTICO FIXO	83
20.2 CAMPO MAGNÉTICO VARIÁVEL	84
21 INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS.....	85
21.1 SENSIBILIDADE	85
21.2 PRECISÃO.....	85
21.3 GALVANÔMETRO	85
21.3.1 Galvanômetro de Ferro Móvel.....	86
21.3.2 Galvanômetro de Bobina Móvel.....	87
21.4 VOLTÍMETRO.....	88
21.5 AMPERÍMETRO.....	89
21.6 OHMÍMETRO	90
21.7 WATTÍMETRO	92
21.8 FREQUÊNCÍMETRO	93
21.9 MEDIDORES DIGITAIS	93
21.10 MULTÍMETROS	94
22 FONTES GERADORAS.....	97
22.1 ENERGIA EÓLICA	97
22.2 ENERGIA TÉRMICA	97
22.3 ENERGIA HIDRÁULICA.....	97
22.4 GERADOR MONOFÁSICO.....	98
22.5 GERADOR TRIFÁSICO	100
22.5.1 Ligação em Estrela.....	102
22.5.2 Ligação em Triângulo	103
22.6 POTÊNCIA EM SISTEMAS TRIFÁSICOS:.....	103
23 TRANSFORMADORES	105
TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.....	106
EXERCÍCIOS 3	109
23.1.1 Transformadores com mais de uma Bobina no Primário e no Secundário	110
23.3 AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO	111
24 MOTOR ELÉTRICO DE CORRENTE ALTERNADA.....	113
24.1 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA.....	113

24.2 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA	113
24.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR CA	114
24.3.1 Análise do motor de 2 pólos	116
24.3.2 Análise do motor de 4 pólos	117
24.4 MOTOR SÍNCRONO	119
24.5 MOTOR ASSÍNCRONO	119
24.6 MOTOR ELÉTRICO INDUSTRIAL ASSÍNCRONO MONOFÁSICO	120
24.7 MOTOR ELÉTRICO INDUSTRIAL ASSÍNCRONO TRIFÁSICO	123
24.7.1 Ligação em Triângulo (Menor Tensão)	124
24.7.2 Ligação em Estrela (Maior Tensão).....	124
25 COMPORTAMENTO DA CORRENTE ELÉTRICA NO MOTOR INDUSTRIAL	125
26 CONJUGADO DE PARTIDA DO MOTOR ELÉTRICO INDUSTRIAL	127
26.1 RELAÇÃO ENTRE CONJUGADO E POTÊNCIA	128
26.1.1 Curva Conjugado x Velocidade	128
26.2 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO	131
27 DISPOSITIVOS DE MANOBRA E PROTEÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS	137
.....	
27.1 DISJUNTOR MOTOR.....	137
27.2 CHAVE DE COMUTAÇÃO POLAR MANUAL	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

LISTA DE FÍGURAS

Figura 1 – Fenômenos elétricos.....	15
Figura 2 – Processo de divisão da matéria até a obtenção do átomo.....	17
Figura 3 – Estrutura do átomo.....	18
Figura 4 – Comportamento dos potenciais elétricos.....	18
Figura 5 – Medição da diferença de potencial entre os corpos.....	21
Figura 6 – Pilha elétrica e o seu símbolo (fonte).....	21
Figura 7 – Medição da tensão.....	22
Figura 8 – Processo de carga de um corpo.....	22
Figura 9 – Circulação das cargas elétricas.....	25
Figura 10 – Símbolo do amperímetro.....	26
Figura 11 – Elétron livre.....	27
Figura 12 – Símbolo do ohmímetro.....	28
Figura 13 – Seção do condutor.....	29
Figura 14 – Comprimento do condutor.....	29
Figura 15 – Aspecto físico dos resistores.....	30
Figura 16 – Simbologia.....	30
Figura 17 – Código de cores para leitura de resistores.....	30
Figura 18 – Aspecto físico e simbologia do potenciômetro.....	31
Figura 19 – Aspecto físico e simbologia do trimpot.....	31
Figura 20 – Circuito hidráulico.....	35
Figura 21 – Circuito Elétrico.....	35
Figura 22 – Circuito para análise.....	37
Figura 23 – Colisão do elétron.....	41
Figura 24 – Circuito Série.....	43
Figura 25 – Obtenção da resistência total (R_t).....	44
Figura 26 – Obtenção da resistência total (R_t).....	44
Figura 27 – Circuito Paralelo.....	44
Figura 28 – Obtenção da resistência total (R_t).....	45
Figura 29 – Obtenção da resistência total (R_t).....	45
Figura 30 – Circuito Misto.....	46
Figura 31 – Obtenção da resistência total (R_t).....	46
Figura 32 – Obtenção da resistência total (R_t).....	46
Figura 33 – Entrada e saída das correntes da junção.....	47
Figura 34 – Entrada e saída das correntes da junção.....	47
Figura 35 – Divisão da tensão no circuito.....	48
Figura 36 – Divisor de tensão.....	51
Figura 37 – Análise do divisor de tensão.....	51
Figura 38 – Comportamento do divisor de tensão com a carga ligada.....	52
Figura 39 – Potenciais do divisor de tensão com a carga ligada.....	53

Figura 40 – Circuito misto para análise.....	55
Figura 41 – Circuito eqüivalente Thevenin.....	56
Figura 42 – Medição da tensão Thevenin.....	56
Figura 43 – Medição da resistência do circuito com a fonte curto-circuitada.....	57
Figura 44 – Obtenção do circuito eqüivalente Thevenin.....	57
Figura 45 – Circuito para análise.....	59
Figura 46 – Circuito da Figura 45 sendo convertido.....	60
Figura 47 – Circuito da Figura 45 conversão triângulo em estrela.....	60
Figura 48 – Circuito da Figura 41 conversão estrela em triângulo.....	61
Figura 49 – Circuito para análise.....	61
Figura 50 – Circuito da Figura 49 com a malha R1, R2 e R3 convertida em ligação estrela.....	62
Figura 51 – Símbolo da fonte de tensão constante.....	63
Figura 52 – Fonte de tensão real.....	64
Figura 53 – Determinação da resistência interna da fonte.....	64
Figura 54 – Atribuição de um valor de carga.....	65
Figura 55 – Símbolo da fonte de corrente constante.....	65
Figura 56 – Fonte de alimentação e circuito de regulação e sua representação por uma fonte de corrente constante.....	66
Figura 57 – Fonte de corrente constante real.....	66
Figura 58 – Tensão contínua a corrente contínua.....	67
Figura 59 – Tensão alternada e corrente alternada.....	67
Figura 60 – Relação entre tensão de pico e tensão eficaz da C.A.....	68
Figura 61 – Relação de potenciais entre os condutores fase e neutro e a terra.....	69
Figura 62 – Figura para facilitar a análise dos efeitos da corrente elétrica no corpo humano.....	70
Figura 63 – Instalações sem e com aterramento de proteção.....	71
Figura 64 – Símbolos do fusível.....	72
Figura 65 – Tipos de fusível.....	72
Figura 66 – Circuito elétrico com proteção fusível.....	72
Figura 67 – Diagrama esquemático do funcionamento do disjuntor.....	73
Figura 68 – Elemento bimetálico.....	73
Figura 69 – Símbolo do disjuntor.....	73
Figura 70 – Circuito elétrico com proteção de disjuntor.....	74
Figura 71 – Formatos de imãs.....	75
Figura 72 – Pólos magnéticos do imã.....	75
Figura 73 – Estruturação molecular de um material sem magnetismo natural.....	76
Figura 74 – Estruturação molecular de um material com magnetismo natural.....	76
Figura 75 – Propriedade da inseparabilidade dos pólos.....	77
Figura 76 – Interação entre os imãs.....	77
Figura 77 – Linhas magnéticas ao redor do imã.....	78
Figura 78 – Determinação do sentido do campo magnético através da “regra do saca-rolha”.....	79
Figura 79 – O campo magnético em uma bobina.....	80
Figura 80 – Formação de pólos magnéticos em uma bobina.....	80
Figura 81 – Eletromagnetismo aplicado ao controle de um movimento mecânico.....	81
Figura 82 – Aspecto físico de uma bobina.....	81
Figura 83 – Simbologia das bobinas.....	81
Figura 84 – Campo magnético fixo.....	83
Figura 85 – Campo magnético variável.....	84

Figura 86 – Galvanômetro.....	86
Figura 87 – Galvanômetro de Ferro Móvel.....	86
Figura 88 – Símbolo do galvanômetro de Ferro Móvel.	87
Figura 89 – Galvanômetro de bobina móvel.....	87
Figura 90 – Símbolo do galvanômetro de bobina móvel.	87
Figura 91 – Divisor de tensão alimentando voltímetro.	88
Figura 92 – Símbolo do voltímetro.	89
Figura 93 – Símbolo do Amperímetro.	89
Figura 94 – Resistor para queda de tensão e alimentação do galvanômetro.	90
Figura 95 – Símbolo do Ohmímetro.	91
Figura 96 – Circuito básico para montagem de um ohmímetro.....	91
Figura 97 – Wattímetro.....	92
Figura 98 – Símbolo do Wattímetro.....	92
Figura 99 – Medição com Wattímetro.	92
Figura 100 – Símbolo do freqüencímetro.	93
Figura 101 – Freqüencímetro.....	93
Figura 102 – Display digital.	93
Figura 103 – Displays digitais de voltímetro, amperímetro e freqüencímetro.....	94
Figura 104 – Multímetro analógico.	94
Figura 105 – Multímetro digital.	95
Figura 106 – Imã fixado ao eixo da turbina.	98
Figura 107 – Geração da corrente alternada senoidal.	100
Figura 108 – Símbolo do gerador monofásico.....	100
Figura 109 – Símbolo do gerador trifásico.	101
Figura 110 – Gerador trifásico.....	101
Figura 111 – Disposição das três bobinas no gerador trifásico.....	101
Figura 112 – Defasagem das três fases geradas.....	102
Figura 113 – Relação entre os potenciais elétricos da ligação estrela.....	102
Figura 114 – Relação entre os potenciais elétricos da ligação triângulo.....	103
Figura 115 – Ilustração da alimentação através de um transformador.....	105
Figura 116 – Indução da corrente elétrica.....	106
Figura 117 – Circuito para o cálculo.....	107
Figura 118 – Simbologia dos transformadores.....	108
Figura 119 – Relação de fase entre as bobinas de um transformador.....	108
Figura 120 – Transformador com mais de uma bobina no primário e no secundário.	110
Figura 121 – Transformador com tape center.	110
Figura 122 – Transformador trifásico.	111
Figura 123 – Autotransformador trifásico.	111
Figura 124 – Símbolo do autotransformador trifásico.....	112
Figura 125 – Exemplo de ligação do autotransformador trifásico.....	112
Figura 126 – Modelo didático para o funcionamento do motor C.A.....	114
Figura 127 – Momentos de funcionamento do motor C.A..	114
Figura 128 – Motor elétrico e suas partes.	115
Figura 129 – Polarização externa.....	115
Figura 130 – Corrente induzida.	116
Figura 131 – Distribuição das duas bobinas no estator.....	116
Figura 132 – Campo magnético girante do motor de dois pólos.....	117
Figura 133 – Distribuição das quatro bobinas no estator.	117
Figura 134 – Mudança na polaridade magnética.	118

Figura 135 – Campo magnético girante do motor de quatro pólos.	118
Figura 136 – Espira sendo cortada pelas linhas de força.	119
Figura 137 – Bobinas do motor elétrico industrial assíncrono monofásico.	120
Figura 138 – Espira perpendicular as linhas de força.	120
Figura 139 – Inserção das bobinas de partida na posição perpendicular.	121
Figura 140 – Defasagem dos sinais provocada pela colocação de um capacitor... ..	121
Figura 141 – Interruptor centrífugo.	122
Figura 142 – Esquema de ligação do motor elétrico industrial assíncrono monofásico para 110 V.	122
Figura 143 – Esquema de ligação do motor elétrico industrial assíncrono monofásico para 220 V.	123
Figura 144 – Bobinas do motor elétrico industrial assíncrono trifásico.	123
Figura 145 – Ligação em triângulo.	124
Figura 146 – Ligação em estrela.	124
Figura 147 – Comportamento da corrente em relação à rotação.	125
Figura 148 – Conjugado (relação da força aplicada na manivela pelo comprimento da manivela).	127
Figura 149 – Valores dos conjugados relativos conforme especificação da NBR 7094.	129
Figura 150 – Conjugados dos motores Weg categorias N.	131
Figura 151 – Placa de identificação.	132
Figura 152 – Curva característica de disparo do disjuntor motor WEG DMW 25. ..	138
Figura 153 – Chave de comutação polar manual MARGIRIUS CR-501.	139
Figura 154 – Ligação de motor monofásico 110V.	139
Figura 155 – Ligação de motor monofásico 220V.	140
Figura 156 – Ligação de motor trifásico.	140
Figura 157 – Chave de reversão por manual.	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência específica dos materiais.....	29
Tabela 2 – Múltiplos e submúltiplos das unidades	33
Tabela 3 – Capacidade do Condutor em Função da Bitola.....	40
Tabela 4 – Comportamento do circuito da Figura 39 com diferentes valores de tensão.....	58
Tabela 5 – Características dos Motores Weg categoria N.	130

INTRODUÇÃO

Há poucas décadas desenvolveram-se inúmeras possibilidades de aplicação da energia elétrica, presente em todos os setores de nossa vida, seja no lar, na indústria, no comércio ou no trânsito. Com o emprego da eletricidade em aparelhos, máquinas e equipamentos industriais, trabalhos manuais e mentais foram facilitados ou mesmo substituídos. Através da energia elétrica, pode-se produzir luz, calor, ação magnética ou fenômenos químicos.

Para o estudo dos fenômenos elétricos, não se pode imaginar uma disciplina de estudo isoladamente. Serão necessários estudos em outras disciplinas, como a química, por exemplo. Assim como a física visa a explicar os fenômenos da natureza, a eletricidade (parte da física) visa a explicar os fenômenos elétricos, às vezes sem justificá-los, afinal são fenômenos da natureza. Mas a explicação ou compreensão dos fenômenos são muito úteis para aplica-los, seja na elaboração de um aparelho ou de uma máquina elétrica, trazendo benefício.

O que acontece é uma transformação de energia, afinal *“na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”*. A energia elétrica é transformada em uma outra forma de energia, através de um aparelho ou máquina elétrica, como a batadeira (energia mecânica de rotação), a lâmpada (energia luminosa), o chuveiro (energia térmica) etc. Mas, quando nos deparamos com fenômenos elétricos, ficamos cheios de dúvidas. Veja a Figura 1.

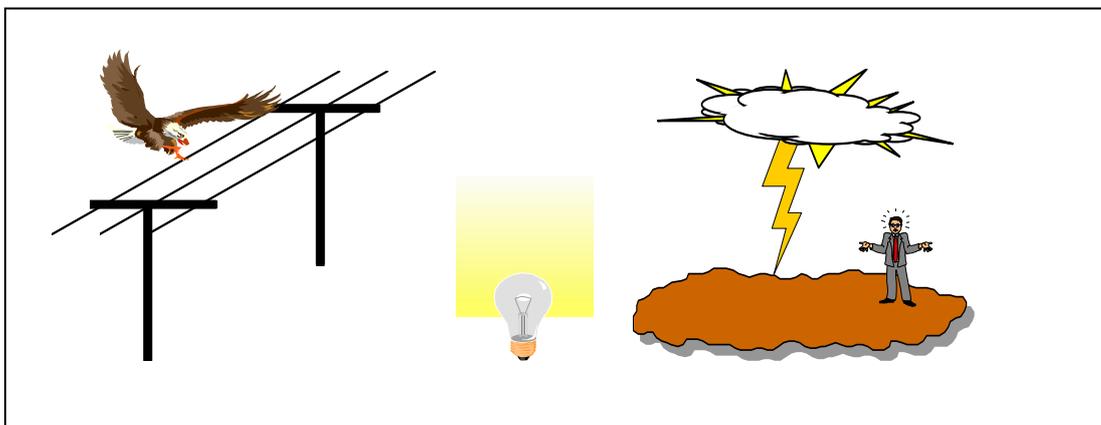


Figura 1 – Fenômenos elétricos.

Mas como acontecem estas transformações de energia? Como ocorrem os fenômenos elétricos? Como podemos utilizar estes fenômenos para trazer benefícios? Como podemos nos proteger de fenômenos elétricos que podem fazer mal ao corpo humano (causando até mesmo a morte) ?

Bem-vindo ao estudo da ELETROTÉCNICA BÁSICA !

1 FUNDAMENTOS DA ELETROTÉCNICA

1.1 MATÉRIA

É tudo que existe e ocupa lugar no espaço.

Tudo que existe no universo é composto por matéria, e toda matéria é composta por átomos.

Se tomarmos um punhado de sal de cozinha (cloreto de sódio), o dividirmos em partes, e cada parte for novamente dividida, chegaremos a um grão. Continuando a divisão, chegaremos à molécula NaCl. Se dividirmos esta molécula, teremos um átomo de sódio (Na) e um átomo de cloro (Cl). Se dividirmos um átomo de sódio ou cloro, teremos então prótons, nêutrons e elétrons. Veja que, até a divisão da molécula em dois átomos, podíamos diferenciar as matérias, após a divisão dos átomos, não podemos dizer a quem pertencia um próton qualquer, portanto:

1.2 ÁTOMO

É a menor partícula divisível que ainda conserva seu estado de matéria.

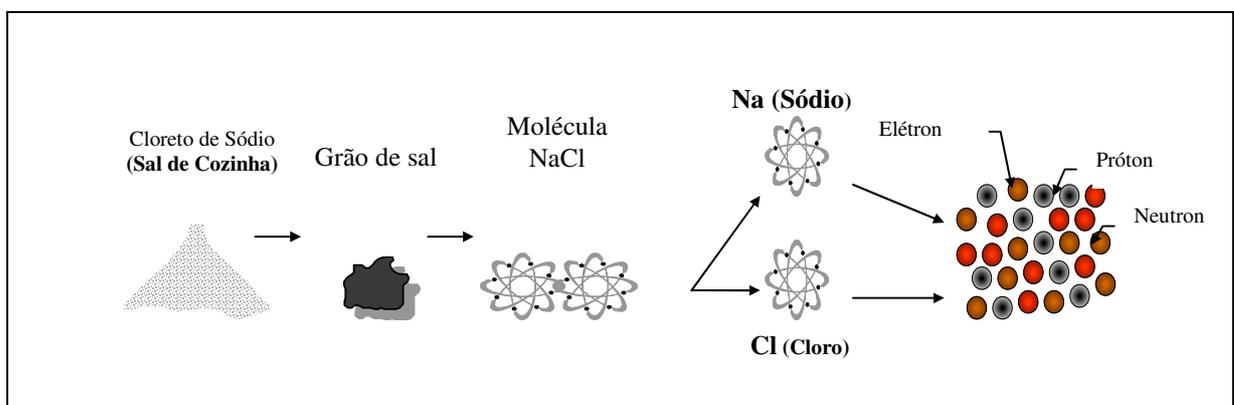


Figura 2 – Processo de divisão da matéria até a obtenção do átomo.

O átomo é composto de um núcleo, onde se encontram os prótons e os nêutrons. Os prótons possuem carga elétrica positiva, e os nêutrons não possuem carga elétrica.

Quando um átomo possui um maior número de prótons que de elétrons, dizemos que ele está carregado positivamente com carga $+q$ e o chamamos de íon positivo. Quando um átomo possui um maior número de elétrons que de prótons, dizemos que ele está carregado negativamente com carga $-q$ e o chamamos de íon negativo.

Quanto maior a diferença entre o número de prótons e de elétrons, maior será a carga elétrica. Se dois corpos estão carregados eletricamente (com sobra ou falta de elétrons), podemos comparar seus potenciais e saber qual corpo está mais carregado. A isto damos o nome de *tensão elétrica* ou *diferença de potencial (ddp)*.

2 TENSÃO ELÉTRICA

Tensão elétrica é a diferença de potencial entre dois corpos, medindo o quanto um corpo está carregado em relação ao outro. A unidade de medida é o **VOLT (V)**.

Considere os corpos a seguir:

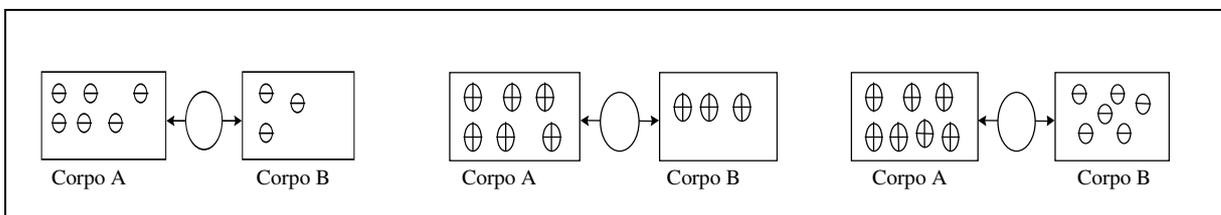


Figura 5 – Medição da diferença de potencial entre os corpos.

Em todas as medições, o corpo A estava mais carregado que o corpo B.

Assim como em medidas de comprimento, para medir uma diferença de potencial, precisamos estabelecer uma referência, isto é, com o que estamos comparando.

Vamos analisar uma pilha elétrica. Ela possui dois pólos: um positivo e outro negativo. No pólo positivo, haverá falta de elétrons, e no pólo negativo, haverá excesso de elétrons. Sabemos que a pilha é de 1,5 Volts, mas o que isto representa? Representa que no pólo positivo há uma diferença de potencial de 1,5 V em relação ao pólo negativo.

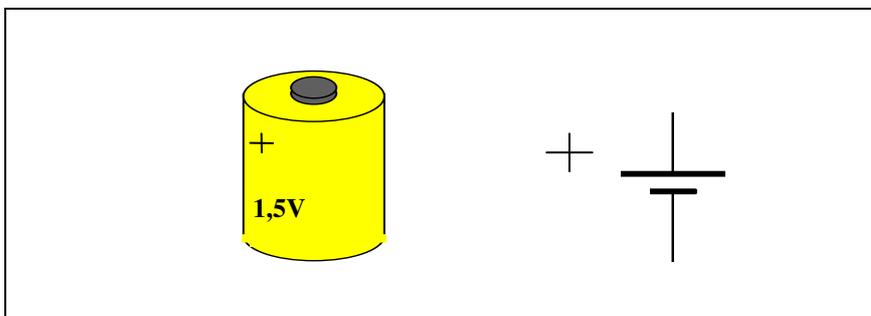


Figura 6 – Pilha elétrica e o seu símbolo (fonte).

O instrumento utilizado para medir a tensão elétrica é o voltímetro. Como ele vai medir a diferença de potencial entre os terminais de um componente (pilha), deve ser conectado em paralelo.

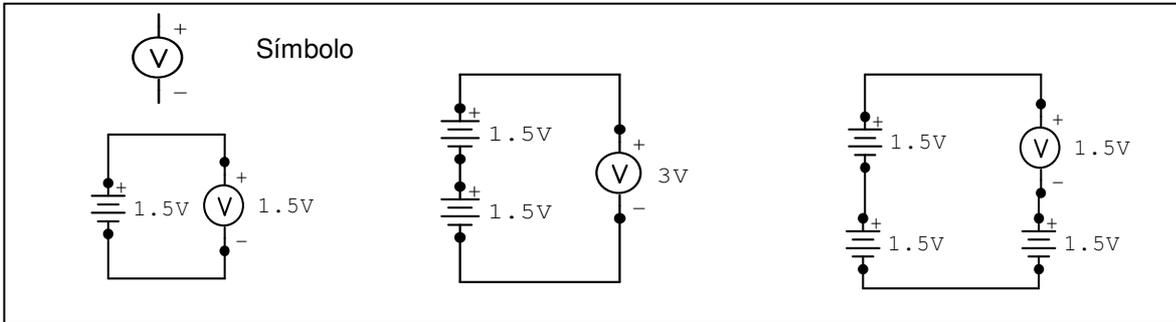


Figura 7 – Medição da tensão.

2.1 FORMAS DE PRODUIR TENSÃO ELÉTRICA

Tensão elétrica é a diferença de potencial entre dois corpos, portanto, para que haja tensão elétrica, devemos carregar os corpos eletricamente, isto é, retirar elétrons dos átomos de um corpo e injetá-los no outro.

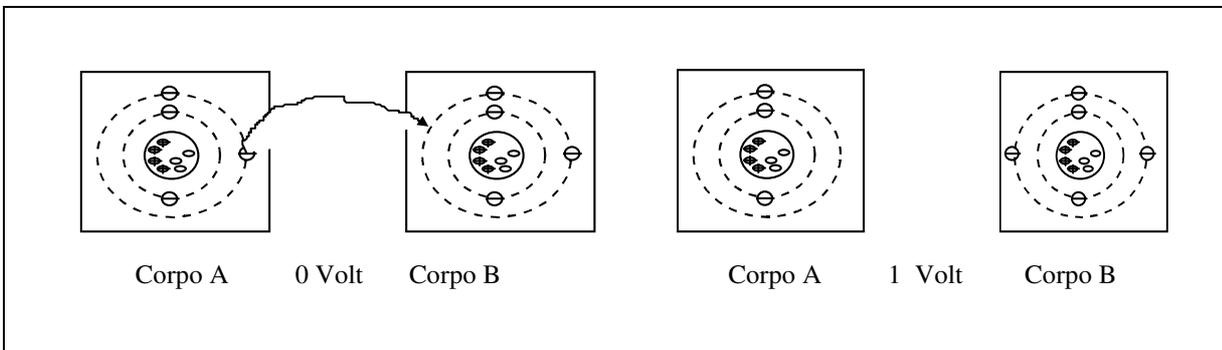


Figura 8 – Processo de carga de um corpo.

2.1.1 Geração de Tensão por Atrito

Ao friccionarmos dois corpos, os elétrons da última camada de um corpo acabam passando para o outro corpo, devido ao atrito.

2.1.2 Geração de Tensão por Calor

Ao aquecer o ponto de contato entre dois metais diferentes, aparece uma pequena tensão. O valor desta tensão depende da temperatura. Este fenômeno é utilizado para medir a temperatura de fornos.

2.1.3 Geração de Tensão por Pressão

Quando um cristal é submetido à tração ou compressão, produz-se tensão elétrica entre suas superfícies. O valor desta tensão é proporcional à pressão exercida sobre as superfícies do cristal. Este fenômeno é utilizado em microfones de cristal, captadores de instrumentos musicais, células de carga para balanças etc.

2.1.4 Geração de Tensão por Luz

A luz que incide sobre determinados materiais (silício, germânio, selênio) provoca uma separação das cargas elétricas. O valor desta tensão depende da intensidade da luz. Este fenômeno é aplicado em baterias solares, calculadoras com bateria solar etc.

2.1.5 Geração de Tensão por Eletrólise

Submergindo duas placas de materiais diferentes em um líquido condutor (eletrólito), as placas carregam-se, isto é, produzem tensão elétrica. O valor da tensão depende do material dos eletrodos. Este fenômeno é utilizado em pilhas e baterias.

2.1.6 Geração de Tensão por Magnetismo

Quando se movimenta um ímã próximo de uma bobina, produz-se uma tensão induzida. Este método é o mais utilizado para produção de eletricidade em larga escala. É o princípio de funcionamento dos geradores e dínamos.

3 CORRENTE ELÉTRICA

Analise dois corpos carregados eletricamente e, entre eles, coloque um corpo eletricamente neutro.

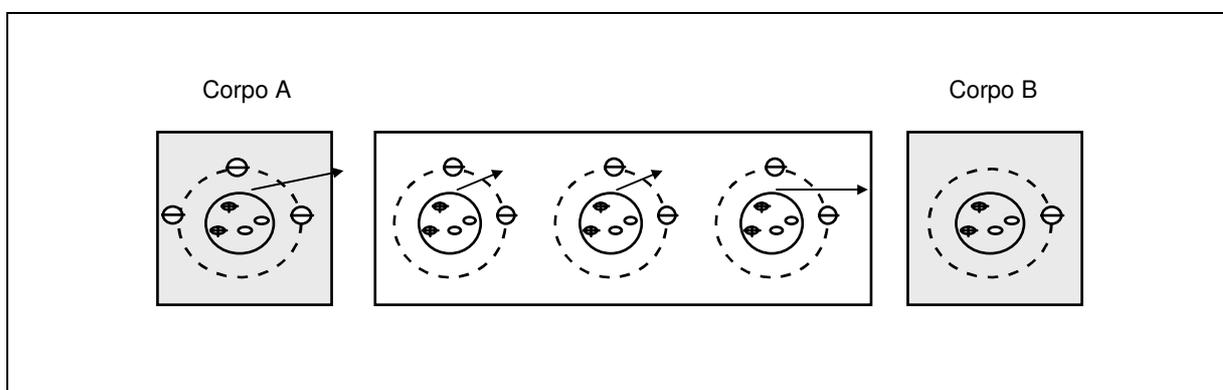


Figura 9 – Circulação das cargas elétricas.

O corpo B, positivamente carregado, irá “roubar” um elétron do primeiro átomo do material intermediário, este ficará em desequilíbrio e “roubará” um elétron do átomo vizinho, até que o último átomo do material intermediário “roube” elétrons do corpo A, onde há justamente excesso de elétrons.

A essa circulação de cargas elétricas (no caso o elétron) damos o nome de corrente elétrica, e é ela que irá executar algum tipo de trabalho, seja aquecimento, iluminação, força etc.

CORRENTE ELÉTRICA é a circulação de cargas elétricas em um meio material.

A unidade de medida é o ampère (A). Como corrente elétrica é um fluxo de cargas, devemos medir este fluxo por uma unidade de tempo, logo, ampère significa fluxo de cargas por segundo.

Um ampère equivale ao fluxo de $6,25 \times 10^{18}$ elétrons por segundo.

<p>1 A = $6,25 \times 10^{18}$ elétrons por segundo</p> <p>ou</p> <p>6.250.000.000.000.000 elétrons por segundo</p>
--

O instrumento para medida da intensidade de corrente elétrica é o *amperímetro*. Como a corrente elétrica é um fluxo, para sua medição, ela deverá passar através do instrumento, que deve ser ligado em série.

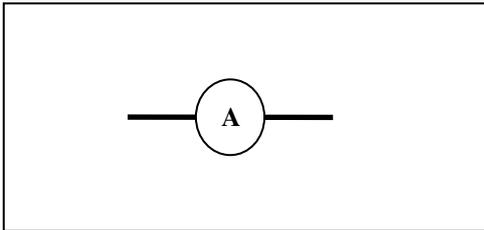


Figura 10 – Símbolo do amperímetro.

4 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Vimos no exemplo anterior que um corpo eletricamente neutro serviu de caminho para a corrente elétrica do corpo A para o corpo B, isto porque os seus elétrons da última camada podiam ser capturados por outros átomos. Mas se estes elétrons estivessem firmemente presos ao núcleo? Neste caso não haveria condução de corrente elétrica.

Existem materiais que possuem os elétrons da última camada com pouca atração ao núcleo, sendo facilmente capturados por outros átomos. Na verdade, estes elétrons não são ligados a átomo algum, estando ali apenas para dar equilíbrio ao átomo, e ficar circulando pela estrutura do material. A estes elétrons damos o nome de **elétrons livres**.

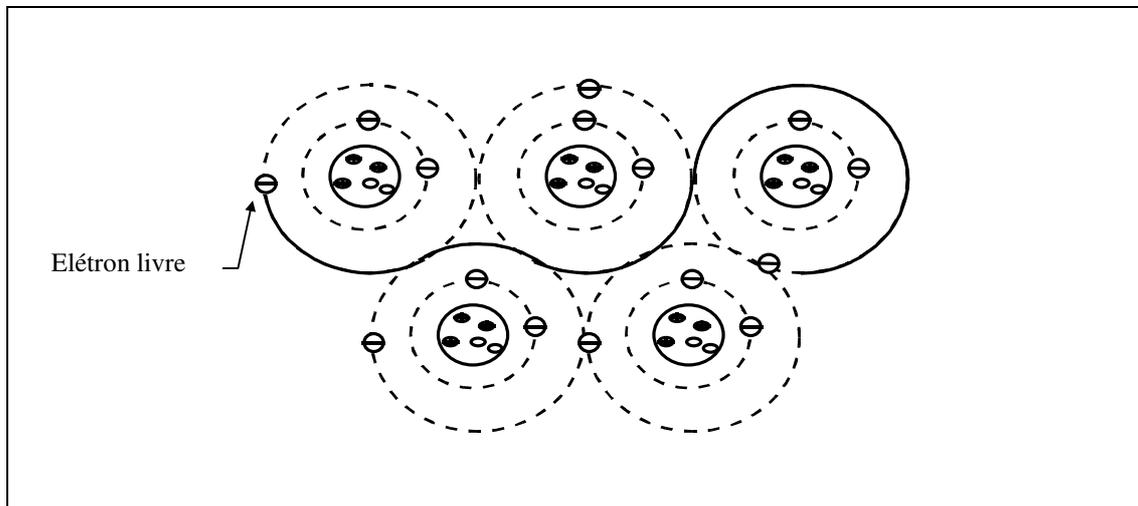


Figura 11 – Elétron livre.

4.1 CONDUTORES

São materiais que possuem um grande número de elétrons livres, servindo como meio de condução da corrente elétrica. Ex.: cobre, ouro, alumínio, zinco, chumbo, etc.

Outros materiais não possuem elétrons livres, logo, se os colocarmos entre dois corpos em que há diferença de potencial, não haverá corrente elétrica, pois os átomos não irão ceder elétrons.

4.2 ISOLANTES

São materiais que não possuem elétrons livres na sua estrutura, portanto não conduzem corrente elétrica. Ex.: borracha, amianto, madeira, vidro, mica, plástico, etc.

Destes materiais que dificultam a passagem de corrente elétrica, dizemos que possuem uma resistência elétrica. A resistência elétrica está em função da força com que os elétrons estão atraídos ao núcleo.

4.3 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

É a oposição que um material apresenta à passagem de corrente elétrica.

A unidade de medida da resistência elétrica é o OHM (Ω). Para medir a resistência elétrica de um material utiliza-se o OHMÍMETRO, instrumento destinado a este fim. Como o ohmímetro utiliza um circuito eletrônico propriamente alimentado, não devemos conectar este instrumento em um material submetido a uma tensão elétrica, pois pode danificar o instrumento. Portanto, para medir resistência elétrica o circuito deve estar desenergizado.

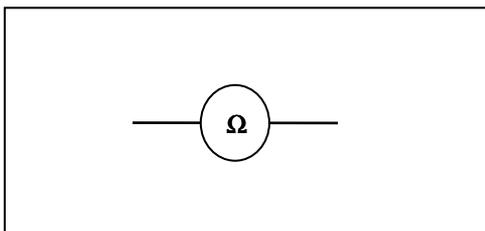


Figura 12 – Símbolo do ohmímetro.

Mesmo os materiais condutores, na prática, possuem resistência elétrica, e esta resistência depende de três fatores:

4.3.1. Resistência Específica (ρ)

É um coeficiente de resistência, retirado de uma tabela onde todos os materiais possuem o mesmo comprimento, mesma seção e mesma temperatura, se diferenciando apenas na natureza do material.

Tabela 1 - Resistência específica dos materiais

MATERIAL	RESISTÊNCIA ESPECÍFICA
Prata	0,0167 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$
Cobre	0,0178 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$
Alumínio	0,0278 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$
Tungstênio	0,0500 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$
Constantan	0,4902 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$
Níquel-Cromo	1,0000 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

Fonte: CREDER, Hélio; Instalações Elétricas, 1995

4.3.2 Seção do Material

Quanto maior a seção, mais elétrons podem passar ao mesmo tempo.

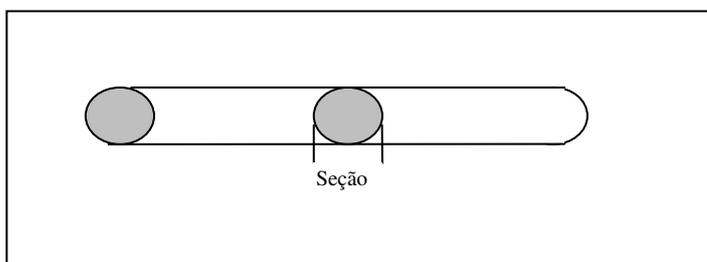


Figura 13 – Seção do condutor.

4.3.3 Comprimento do Material

Quanto maior o comprimento, maior a resistência apresentada.

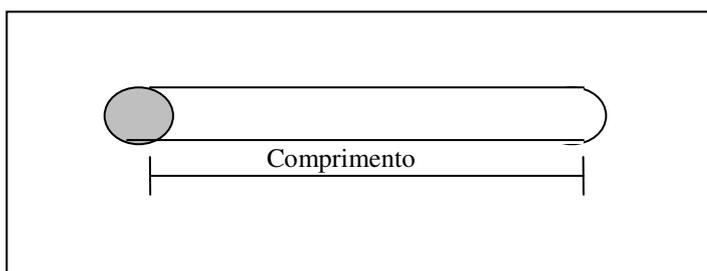


Figura 14 – Comprimento do condutor.

Para o cálculo da resistência de um material, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$R = \frac{\rho \times l}{S}$$

R \Rightarrow Resistência em Ω ;
 $\rho \Rightarrow$ Resistência específica em $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$;
 l \Rightarrow Comprimento do material em m;
 S \Rightarrow Seção do material em mm^2 .

4.4 RESISTORES

São componentes dotados de uma resistência com valor conhecido. Normalmente, são feitos de carbono ou de fio. Sua finalidade no circuito é limitar a passagem de corrente elétrica.

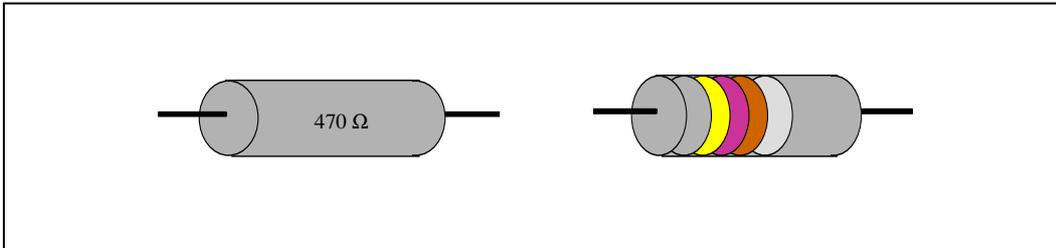


Figura 15 – Aspecto físico dos resistores.

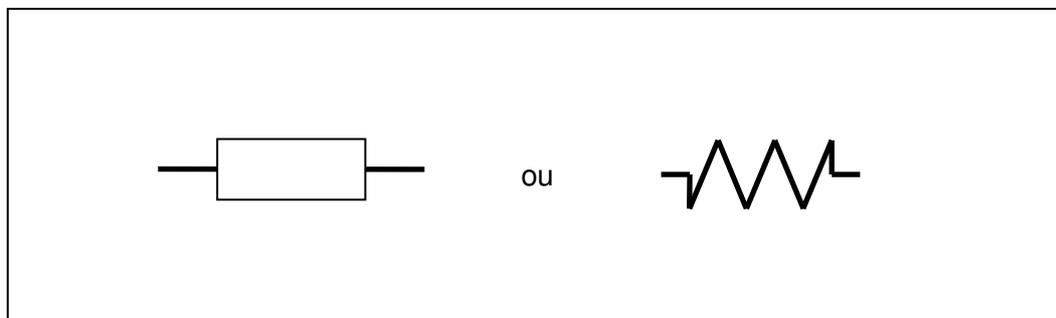


Figura 16 – Simbologia.

O valor da resistência vem impresso no corpo do resistor, mas, em alguns casos, devido ao pequeno tamanho, o valor vem em forma de código de cores.

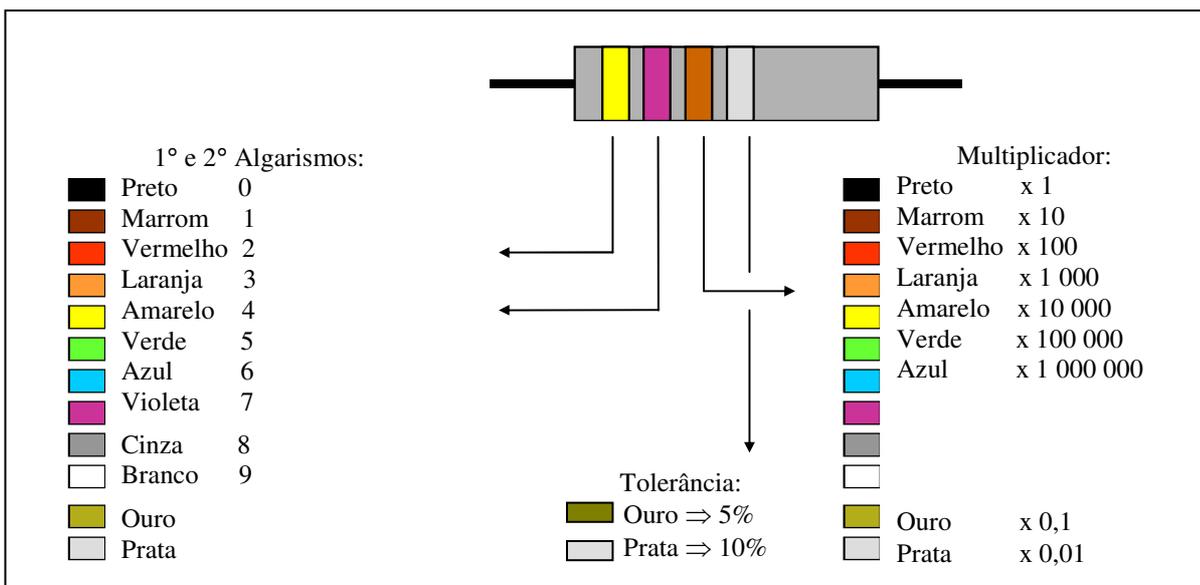


Figura 17 – Código de cores para leitura de resistores.

Neste exemplo ficaria: amarelo (4), violeta (7) e marrom (x 10) ⇒ 470 Ω.

4.5 POTENCIÔMETROS

São resistores com um terceiro terminal móvel, podendo variar a resistência de um extremo ao centro. O ajuste é feito através de *knobs* no painel do aparelho (ex.: volume do rádio).

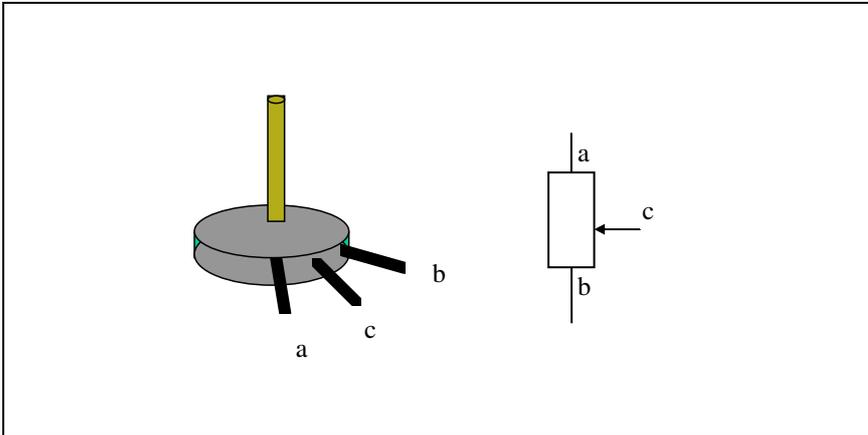


Figura 18 – Aspecto físico e simbologia do potenciômetro.

4.6 TRIMPOT

São componentes similares aos potenciômetros, porém o ajuste é feito internamente no aparelho, servindo para circuitos de calibração.

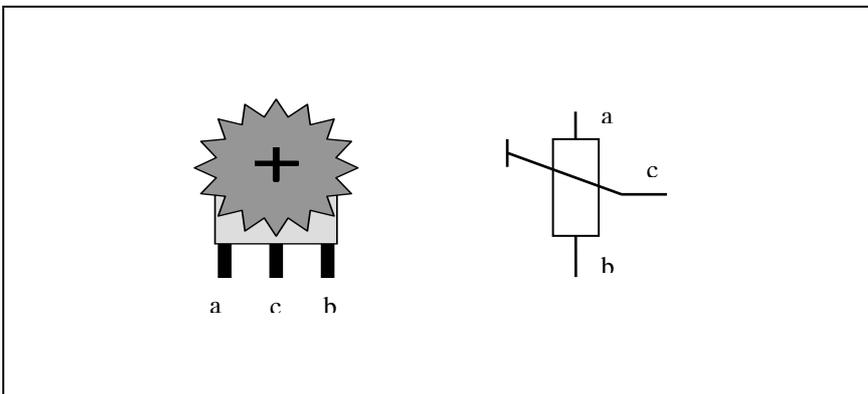


Figura 19 – Aspecto físico e simbologia do *trimpot*.

5 MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DAS UNIDADES

Escrever 15 ampères fica fácil, mas já imaginou 0,000 002 A ou 69 000 Volts ou ainda 22000000 ohm. Para este problema, utiliza-se os múltiplos e submúltiplos das unidades.

Tabela 2 – Múltiplos e submúltiplos das unidades

MÚLTIPLOS			SUBMÚLTIPLOS		
Prefixo	Símbolo	Fator	Prefixo	Símbolo	Fator
kilo	k	10^3	mili	m	10^{-3}
mega	M	10^6	micro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
tera	T	10^{12}	pico	p	10^{-12}
petta	P	10^{15}	femto	f	10^{-15}

GV 0 0 0	MV 0 0 0	kV 0 0 0	V 0 0 0	mV 0 0 0	μ V 0 0 0	nV 0 0 0	pV 0 0 0	Tensão V
GA 0 0 0	MA 0 0 0	kA 0 0 0	A 0 0 0	mA 0 0 0	μ A 0 0 0	nA 0 0 0	pA 0 0 0	Corrente A
G Ω 0 0 0	M Ω 0 0 0	k Ω 0 0 0	Ω 0 0 0	m Ω 0 0 0	$\mu\Omega$ 0 0 0	n Ω 0 0 0	p Ω 0 0 0	Resistência Ω

Exemplo:

$$250 \text{ V} = 0,250 \text{ kV}$$

$$85000 \text{ } \Omega = 85 \text{ k}\Omega$$

$$26000 \text{ mA} = 26 \text{ A}$$

Isto vale para qualquer unidade de medida.

6 CIRCUITO ELÉTRICO

Analise o circuito hidráulico seguinte:

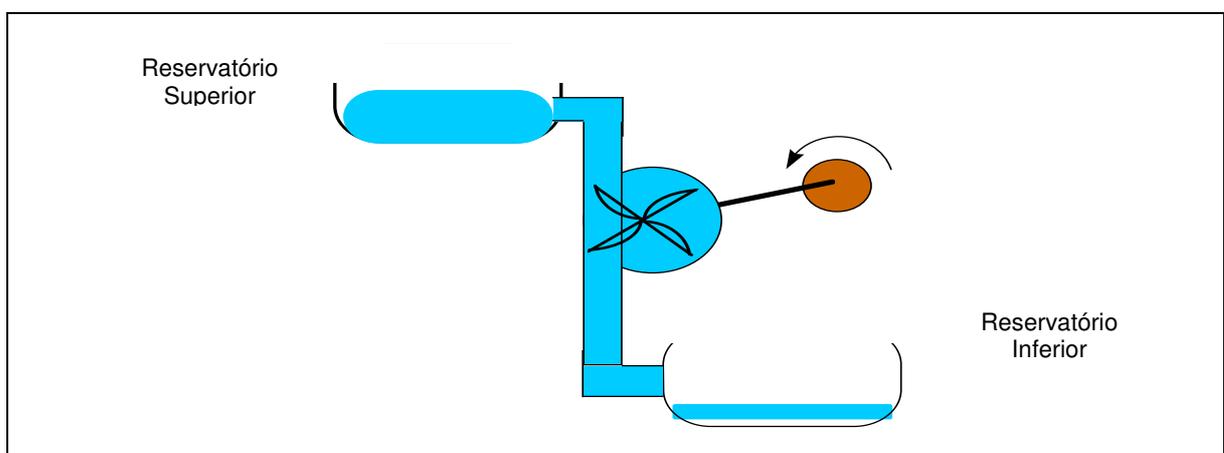


Figura 20 – Circuito hidráulico.

A água que está no reservatório superior desce a tubulação em direção ao reservatório inferior, mas é limitada pela turbina que se movimenta com a passagem da água e executa um movimento giratório (executa trabalho).

Assim também é um circuito elétrico.

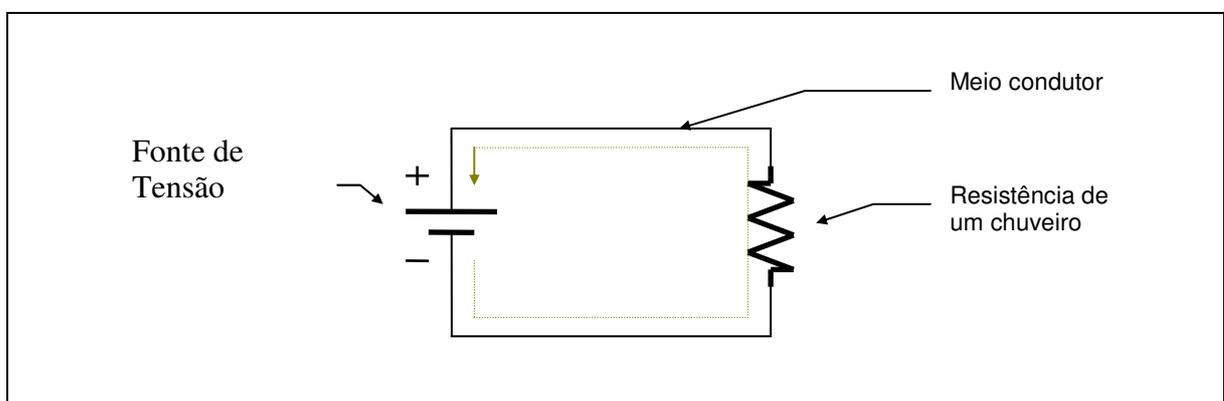


Figura 21 –Circuito Elétrico.

Os elétrons que estão sobrando no pólo negativo da bateria, dirigem-se através dos fios condutores até o pólo positivo da bateria, onde há falta de elétrons, mas este fluxo é limitado pela resistência que, com a circulação de elétrons, produz calor e aquece o chuveiro.

Um circuito elétrico é composto de fonte de tensão, meio condutor e carga ou receptor.

CIRCUITO ELÉTRICO é o caminho fechado onde a corrente elétrica circula.

Sabemos que o fluxo de elétrons em um circuito elétrico vai do pólo negativo para o pólo positivo. Este é o sentido real da corrente elétrica, mas, por convenção, analisa-se o fluxo de corrente elétrica fluindo do pólo positivo ao pólo negativo, sendo este o sentido convencional da corrente elétrica.

Sentido Real da Corrente Elétrica: Do pólo negativo para o pólo positivo.

Sentido Convencional da Corrente Elétrica: Do pólo positivo para o pólo negativo.

7 LEI DE OHM

As resistências limitam a circulação de corrente no circuito, mas quanto elas limitam?

A lei de ohm relaciona estas três grandezas: tensão, corrente e resistência elétrica.

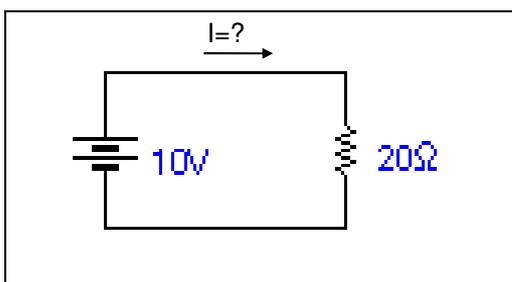
LEI DE OHM “A corrente elétrica é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência a percorrer.”

Traduzindo matematicamente:

$$V = I \times R$$

V ⇒ Tensão aplicada em V
I ⇒ Corrente que circula em A
R ⇒ Resistência em Ω

Exemplo 1:



$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ 10 &= I \times 20 \\ I &= \frac{10}{20} \\ I &= 0,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Fonte: Software Work Bench

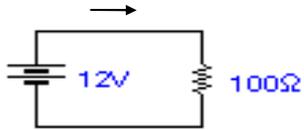
Figura 22 – Circuito para análise.

Exemplo 2 : Qual a resistência de um chuveiro que absorve 15 A , ligado em 220 V?

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ 220 &= 15 \times R \\ R &= \frac{220}{15} \\ R &= 14,67 \Omega \end{aligned}$$

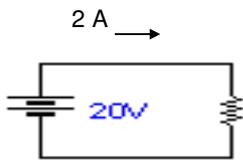
EXERCÍCIOS 1

a)



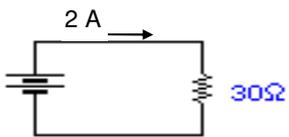
$I = \dots\dots\dots$

b)



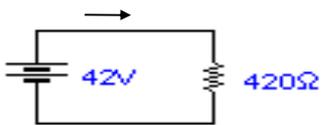
$R = \dots\dots\dots$

c)



$V = \dots\dots\dots$

d)



$I = \dots\dots\dots$

Respostas: a) $I=0,12A$; b) $R=1\Omega$; c) $V=60V$; d) $I=0,1A$

8 POTÊNCIA ELÉTRICA

Em um circuito, a corrente elétrica é que irá executar trabalho, mas qual trabalho necessita maior corrente elétrica? Um chuveiro ligado em 220V ou uma torneira elétrica ligada em 110V?

Para podermos comparar dois aparelhos elétricos, devemos utilizar a potência elétrica, que vem a ser o trabalho realizado por unidade de tempo. O **trabalho elétrico** surge quando movimentamos uma quantidade de cargas em um condutor e é medido em JOULE -J-. Um Joule corresponde a um ampère impulsionado por um volt, durante um segundo.

A potência elétrica indica a rapidez com que se realizará o trabalho. Sua unidade de medida é o WATT -W-, e um Watt é alcançado quando realizamos o trabalho de um Joule em um segundo.

TRABALHO ELÉTRICO (τ) surge do movimento de cargas em um condutor.
Unidade \Rightarrow Joule
 $1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot \text{em } 1 \text{ s}$

POTÊNCIA ELÉTRICA (P) indica a rapidez com que será realizado o trabalho elétrico.
Unidade \Rightarrow Watt
 $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{em } 1 \text{ s}$

Para o cálculo da potência elétrica de um aparelho sob tensão e consumindo uma corrente elétrica, usamos a seguinte fórmula:

$$P = V \times I$$

P = Potência elétrica em W
 V = Tensão elétrica em V
 I = Corrente elétrica em A

Equivalências:
 1 HP = 745,7 W
 1 BTU = 0,293 W

Exemplo:

Um chuveiro que trabalha com uma potência de 4700 W, se ligado a uma tensão de 220 V. Qual será o consumo de corrente elétrica deste chuveiro?

$$P=V \times I \quad 4700 = 220 \times I \quad I = \frac{4700}{220} \quad I = 21,36 \text{ A}$$

Isto é muito útil para o projeto da instalação predial de uma residência, afinal as tomadas, os fios e os disjuntores deverão suportar as correntes drenadas pelos aparelhos. Veja uma tabela de fios normalizada pela [ABNT-NBR-6148](#).

Tabela 3 – Capacidade do Condutor em Função da Bitola.

Bitola do Fio (mm ²)	Corrente Máxima (A)
1,5	15
2,5	21
4	28
6	36
10	50
16	68
25	89
35	111
50	134
70	171

Fonte: Catálogo CEMAR

No exemplo, o fio necessário seria de 4 mm², pois suporta correntes de até 28 A .

Outro fator da potência elétrica é o consumo. As companhias de energia elétrica cobram uma média de quilowatt consumidos por hora. Podemos calcular quanto custa em dinheiro aquele banho de chuveiro de 20 minutos.

Na conta de energia elétrica é registrado o consumo em kWh (quilowatt-hora), isto é, quantos mil watts foram consumidos a cada hora decorridas. Mas os aparelhos informam o consumo em watts, portanto, faça o seguinte: anote a potência do aparelho (vem registrado na etiqueta), registre o tempo que o aparelho ficou ligado em segundos e aplique a fórmula:

$$P(\text{kWh}) = \frac{P(\text{W}) \times t(\text{s})}{3.600.000}$$

P(kWh)= Potência em quilowatt-hora.
P(W)=Potência em Watt indicada na etiqueta.
t(s)= Tempo que o aparelho ficou ligado em segundos.

Exemplo:

Digamos que você tomou um banho de 20 minutos (1200 segundos), e que na etiqueta do chuveiro indique uma potência de 4700 W, logo:

$$P(\text{kWh}) = \frac{4.700 \times 1.200}{3.600.000} = 1,56 \text{ kWh}$$

Repare na sua conta que há um valor correspondente à tarifa por kWh (R\$0,17946), logo, este banho custou:

$$\text{Custo} = 1,56 \times 0,17946$$

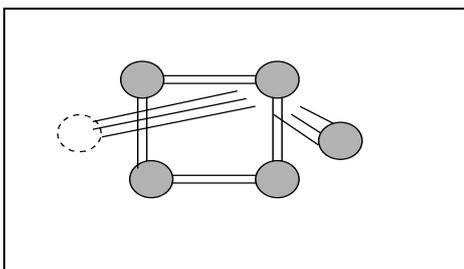
$$\text{Custo} = P(\text{kWh}) \times 0,17946$$

$$\text{Custo} = \text{R\$ } 0,28$$

Agora você pode calcular o consumo e o custo dos consumidores da sua residência.

EFEITO JOULE

Com o movimento da corrente elétrica, vários elétrons se chocam (colidem), provocando vibração que irá se traduzir em calor. Quanto maior a corrente que circula, maior será o calor gerado. Logo, podemos estabelecer uma relação com a potência elétrica, onde, quanto maior a potência elétrica dissipada num circuito, maior será o seu aquecimento.



EFEITO JOULE é a produção de calor com a circulação de corrente elétrica em um condutor.

Figura 23 – Colisão do elétron.

9 TIPOS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

Até aqui falamos de circuito elétrico com apenas uma carga, mas geralmente possuímos várias cargas associadas.

9.1 CIRCUITO SÉRIE

Neste circuito, os componentes são ligados um após o outro, sendo que só haverá um caminho para a corrente elétrica fluir.

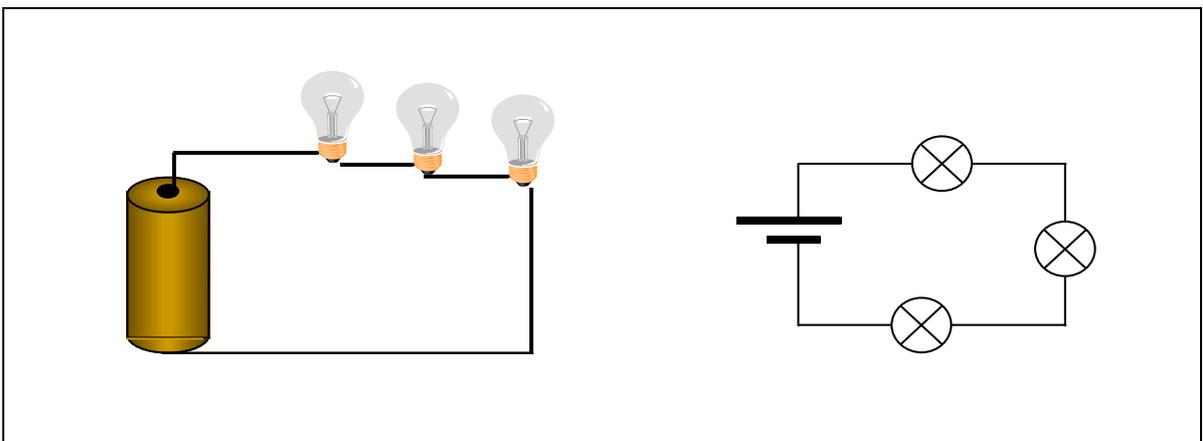
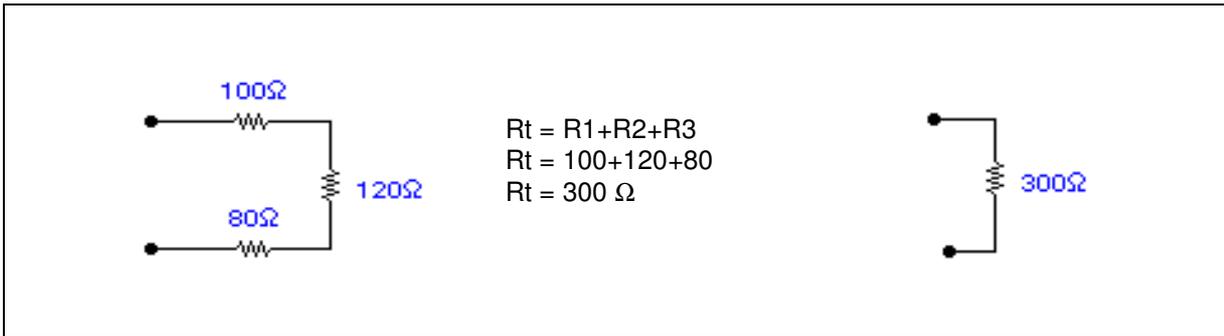


Figura 24 – Circuito Série.

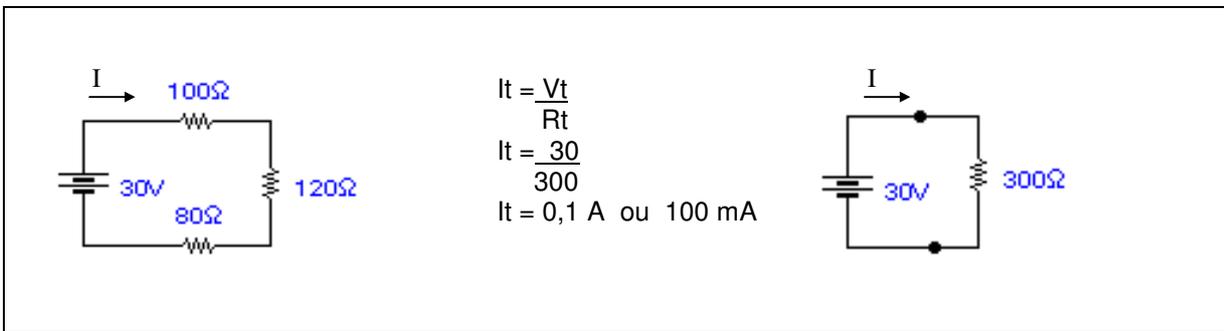
No caso da ilustração, se uma das lâmpadas se queimar, as outras se apagarão, pois não há outro caminho para a corrente elétrica. A resistência elétrica total (que será sentida pela corrente) será a soma das resistências parciais.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$



Fonte: Software Work Bench

Figura 25 – Obtenção da resistência total (R_t).



Fonte: Software Work Bench

Figura 26 – Obtenção da resistência total (R_t).

9.2 CIRCUITO PARALELO

Neste tipo de circuito, as cargas estão ligadas de forma a permitir vários caminhos para a circulação da corrente elétrica.

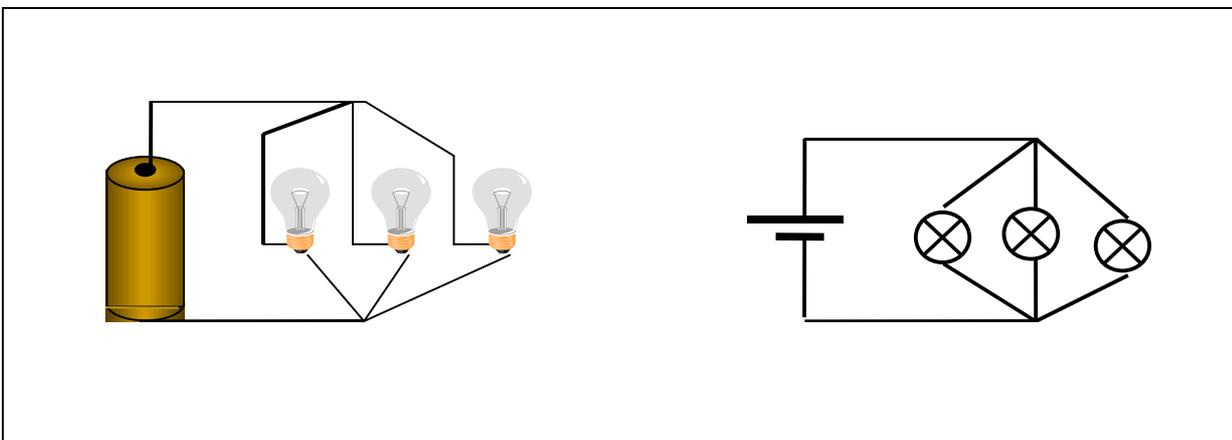
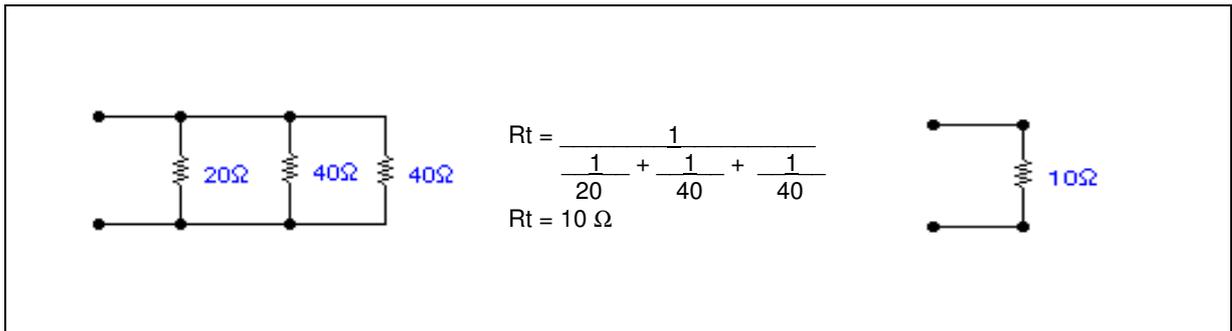


Figura 27 – Circuito Paralelo.

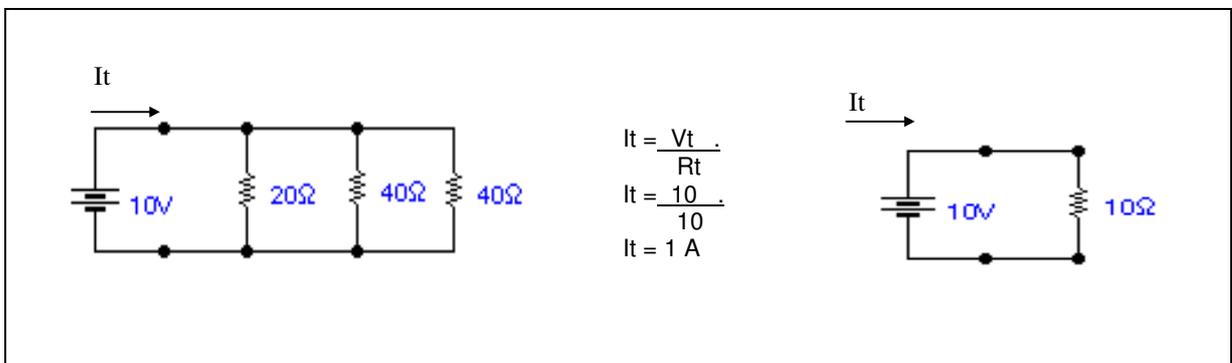
Neste caso, o funcionamento de cada lâmpada não depende do das outras. A corrente total será maior que qualquer uma das correntes parciais, logo, a resistência total será menor que qualquer uma das resistências parciais. A fórmula para o cálculo é a seguinte:

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



Fonte: Software Work Bench

Figura 28 – Obtenção da resistência total (R_t).



Fonte: Software Work Bench

Figura 29 – Obtenção da resistência total (R_t).

9.3 CIRCUITO MISTO

É quando juntamos uma associação em série e paralela no mesmo circuito. Para o cálculo destes circuitos, utiliza-se as regras de cada circuito isoladamente.

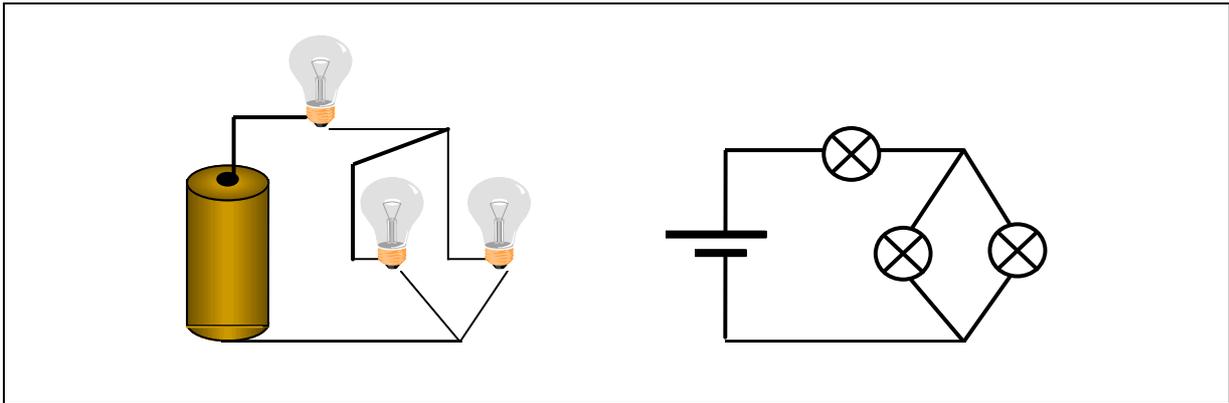
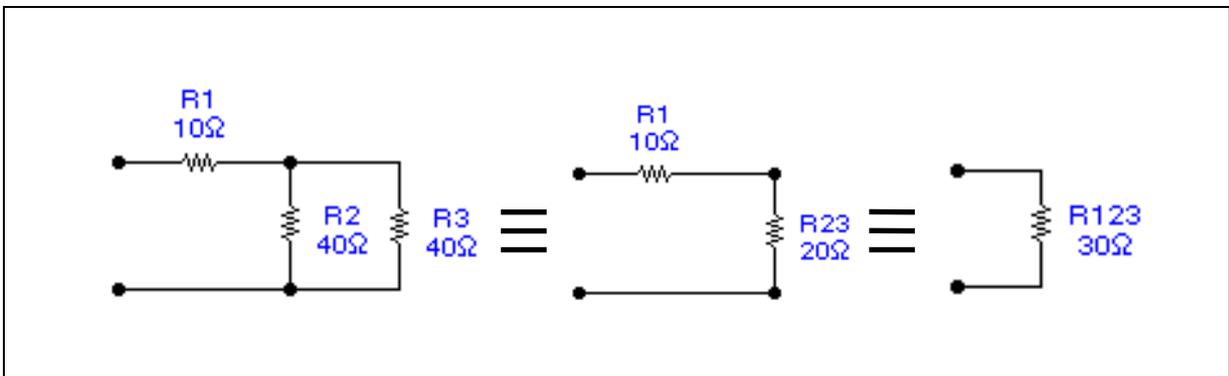


Figura 30 – Circuito Misto.



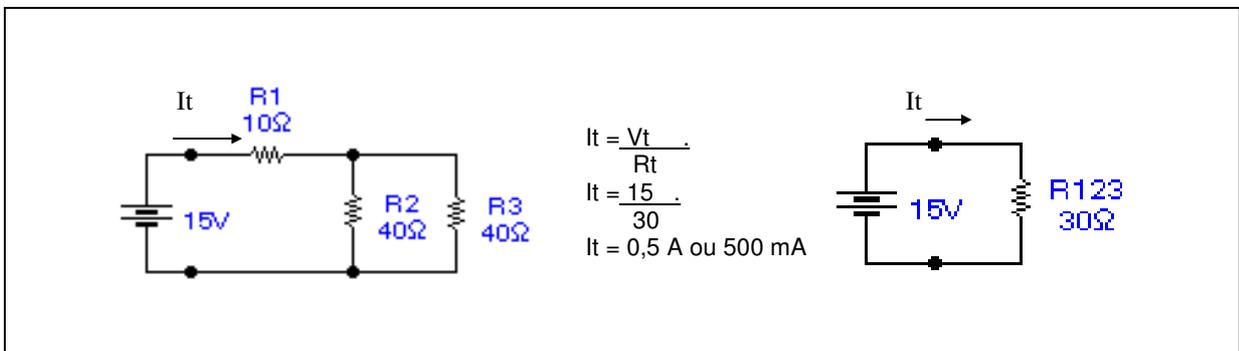
Fonte: Software Work Bench

Figura 31 – Obtenção da resistência total (R_t).

$$R_{23} = \frac{1}{\frac{1}{40} + \frac{1}{40}} = 20 \Omega$$

$$R_{123} = R_1 + R_{23}$$

$$R_{123} = 10 + 20$$



Fonte: Software Work Bench

Figura 32 – Obtenção da resistência total (R_t).

10 LEIS DE KIRCHHOFF

10.1 PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF

“A soma das correntes que entram em um nó é igual à soma das correntes que dele saem”.

Um nó compreende a junção de dois ou mais componentes.

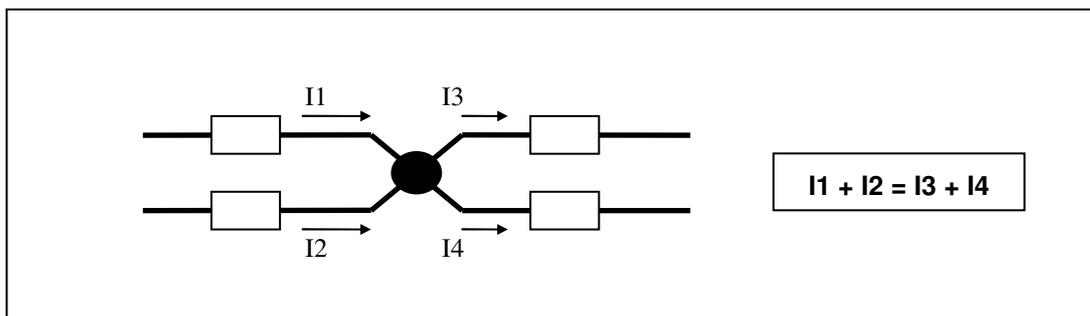
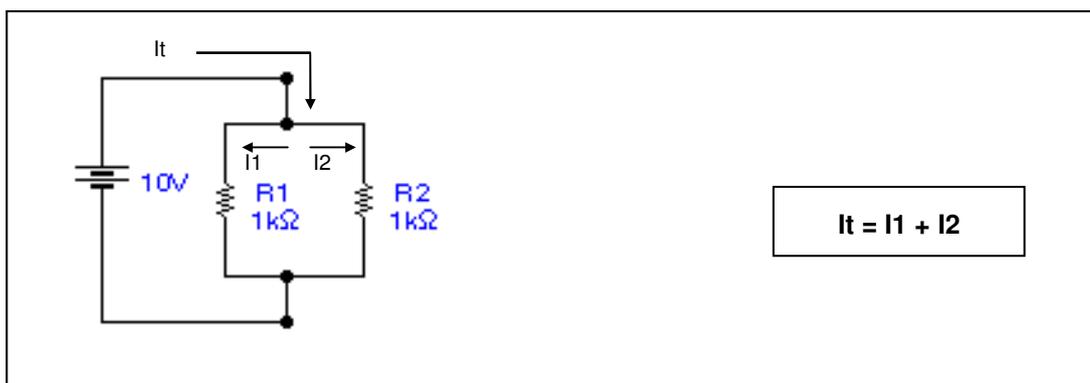


Figura 33 – Entrada e saída das correntes da junção.



Fonte: Software Work Bench

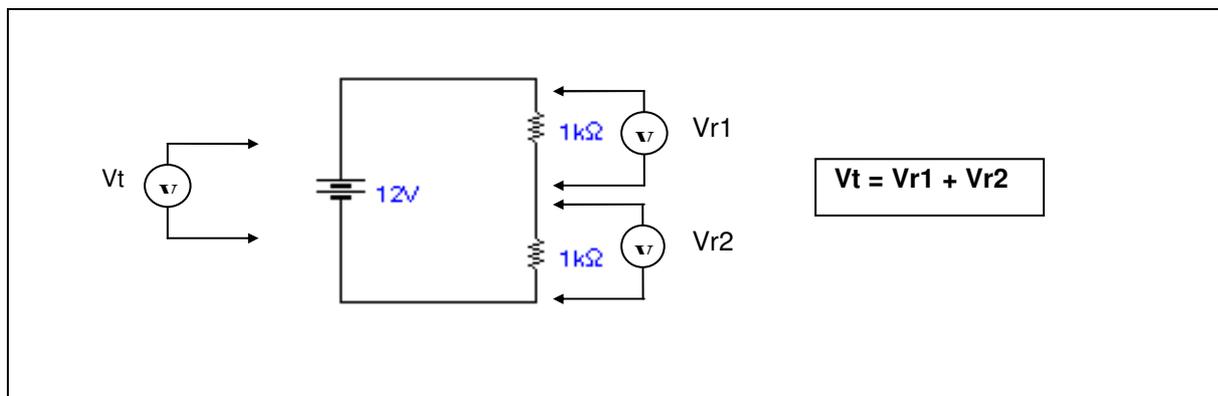
Figura 34 – Entrada e saída das correntes da junção.

Esta lei é utilizada para análise de circuitos paralelos, onde a corrente se divide em vários caminhos, e a tensão é a mesma em todos os componentes.

10.2 SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF

“A soma das tensões em um circuito ou malha é igual a zero”.

Esta lei é utilizada para análise de circuitos série, onde a corrente é a mesma em todos os componentes, mas a tensão da fonte se divide nos componentes do circuito.



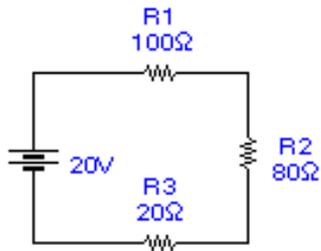
Fonte: Software Work Bench

Figura 35 – Divisão da tensão no circuito.

EXERCÍCIO 2

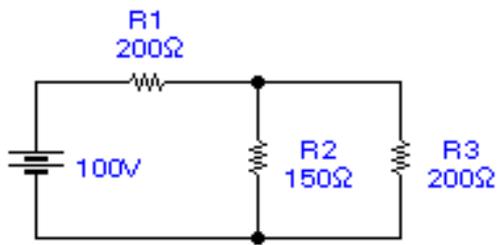
Calcule os valores pedidos nos seguintes circuitos:

a)



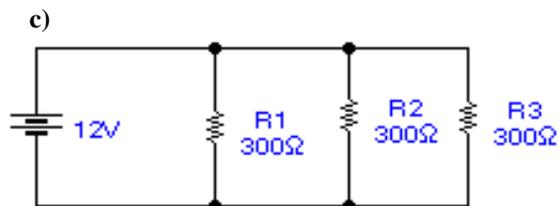
It=.....
 Vr1=.....
 Vr2=.....
 Vr3=.....

b)



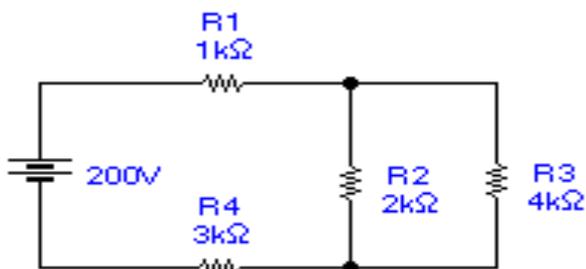
It=.....
 Ir1=.....
 Ir2=.....
 Ir3=.....
 Vr1=.....
 Vr2=.....
 Vr3=.....

c)



It=.....
 Ir1=.....
 Ir2=.....
 Ir3=.....
 Vr1=.....
 Vr2=.....
 Vr3=.....

d)



It=..... Ir1=.....
 Ir2=..... Ir3=.....
 Ir4=..... Vr1=.....
 Vr2=..... Vr3=.....
 Vr4=..... Pr1=.....
 Pr2=..... Pr3=.....
 Pr4=..... Pt=.....

11 DIVISORES DE TENSÃO

É um circuito formado por resistores que permitem obter, a partir de alimentação fornecida, qualquer valor de tensão menor, necessária ao funcionamento dos circuitos.

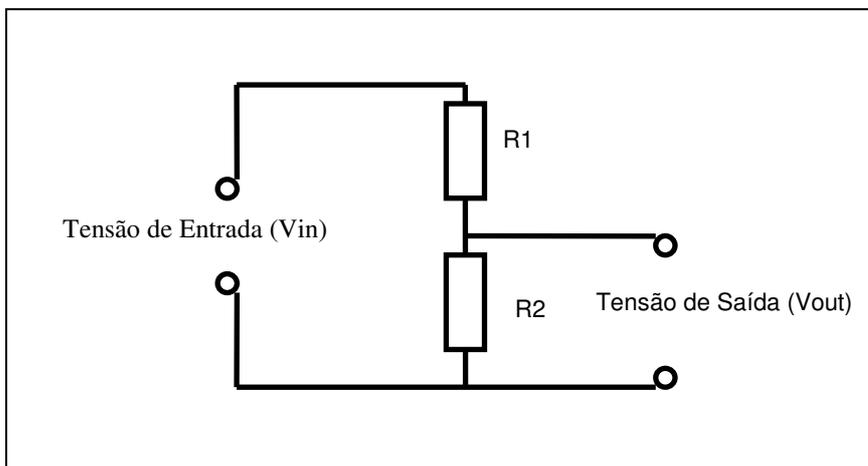
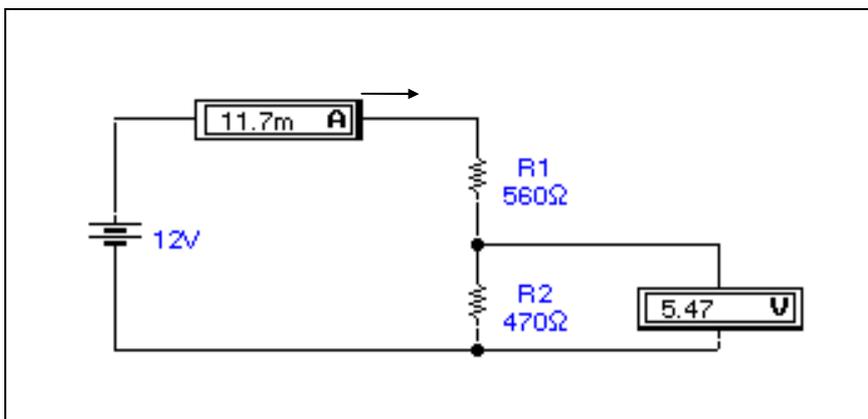


Figura 36 – Divisor de tensão.

Analise o seguinte circuito:



Fonte: Software Work Bench

Figura 37 – Análise do divisor de tensão.

A corrente que circula no dois resistores é a mesma, afinal estão ligados em série; o valor desta corrente será $I_t = V_t / R_t$, onde R_t é a soma de R_1 com R_2 . Ora, se o valor da corrente que circula em um resistor multiplicado pelo valor de sua resistência, resulta na tensão sobre este resistor, fica fácil compreender o funcionamento do divisor de tensão.

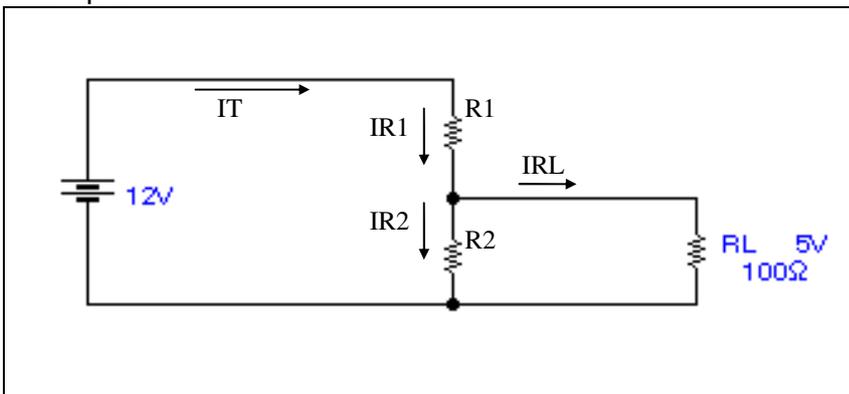
Unindo esta análise em uma fórmula, resulta em:

$$V_{out} = \left(\frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \right) \cdot R_2$$

11.1 INFLUÊNCIA DA CARGA

Note que a corrente em cada resistor é a mesma, mas se aplicada uma carga, a corrente em R_1 será a soma da corrente em R_2 e na carga (Lei de Kirchhoff), logo, devemos considerar a corrente de carga para o cálculo da tensão de saída do divisor.

Exemplo:



Fonte: Software Work Bench

Figura 38 – Comportamento do divisor de tensão com a carga ligada.

$$I_{RL} = V_{RL} / R_L$$

$$I_{RL} = 5 / 100$$

$$I_{RL} = 0,05 \text{ A ou } 50\text{mA}$$

Portanto I_{R1} será:

$$I_{R1} = I_{R2} + I_{RL}$$

$$I_{R1} = 0,005 + 0,05$$

$$I_{R1} = 0,055 \text{ A ou } 55\text{mA}$$

Para que não haja dissipação de potência em R_2 , atribui-se a I_{R2} um valor menor que I_{RL} ($I_{RL}/10$).

$$I_{R2} = I_{RL} / 10$$

$$I_{R2} = 0,05 / 10$$

$$I_{R2} = 0,005 \text{ ou } 5\text{mA}$$

E a tensão sobre R_1 será $V_{in} - V_{out}$:

$$R_1 = (V_{in} - V_{out}) / I_{R1}$$

$$R_1 = (12 - 5) / 0,055$$

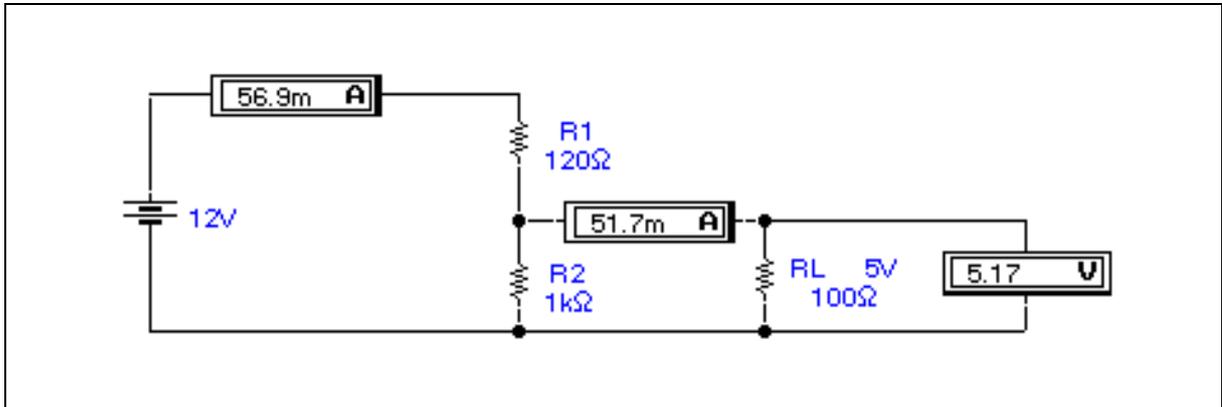
$$R_1 = 127,27\Omega \text{ atribuindo } 120\Omega \text{ (valor comercial)}$$

A tensão sobre R2 será 5V:

$$R2 = VR2 / IR2$$

$$R2 = 5 / 0,005$$

$$R2 = 1000\Omega \text{ ou } 1k\Omega$$



Fonte: Software Work Bench

Figura 39 – Potenciais do divisor de tensão com a carga ligada.

11.2 CÁLCULO DAS POTÊNCIAS DOS RESISTORES

Potência é: $P=V.I$, mas $I=V/R$, logo $P=V^2/R$. Associamos um fator de segurança (FS) para garantir o bom funcionamento do circuito (FS=2).

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

Portanto, $PR1 = (VR1^2/R1) \cdot FS$

$$PR1 = (7^2/120) \cdot 2$$

$$PR1 = 0,816 \text{ W atribuído } 1\text{W (valor comercial)}$$

E $PR2 = (VR2^2/R2) \cdot FS$

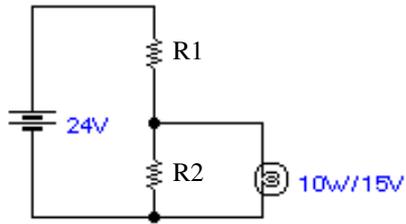
$$PR2 = (5^2/1000) \cdot 2$$

$$PR2 = 0,05 \text{ W atribuído } 1/4\text{W (menor valor comercial)}$$

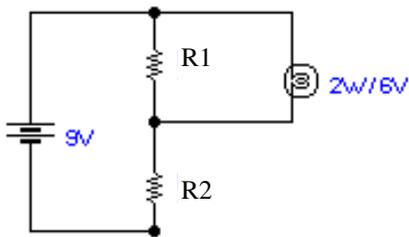
EXERCÍCIO 3

Calcule os valores de R1 e R2 para atender a necessidade de tensão na carga em função da tensão de entrada:

a)

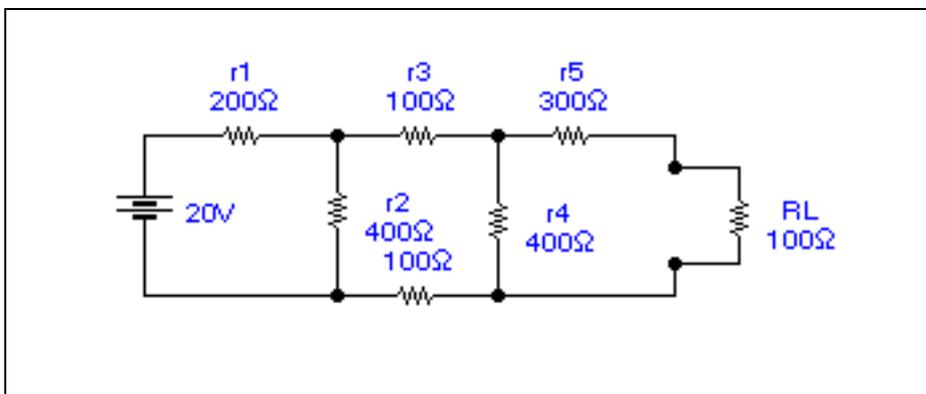


b)



12 TEOREMA DE THEVENIN

Analise o seguinte circuito:



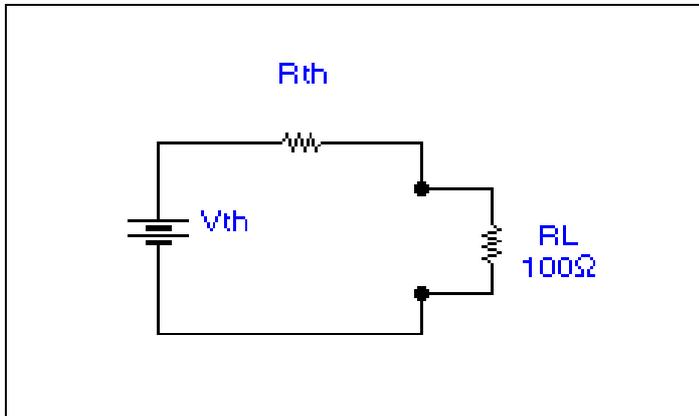
Fonte: Software Work Bench

Figura 40 – Circuito misto para análise.

Se a tarefa fosse descobrir qual o valor da tensão e corrente na carga R_L , não seria muito difícil, bastaria calcular a resistência total equivalente, obter a corrente total e retornar a análise, dividindo as correntes até obter a corrente e a tensão sobre a carga.

Mas, se a tarefa fosse traçar o comportamento da tensão e corrente sobre a carga, tendo esta assumido os seguintes valores: 200Ω, 300Ω, 400Ω, 500Ω, 600Ω, 700Ω, 800Ω, 900Ω e 1000Ω ? Neste caso, seria necessário repetir o cálculo para cada valor de carga R_L .

É neste ponto que entra o Teorema de Thevenin. Ele descobriu que qualquer circuito formado por múltiplas malhas e uma fonte de tensão pode ser reduzido a um circuito constituído por uma única malha, composta de uma fonte de tensão equivalente e de uma resistência equivalente às malhas ligadas em série.

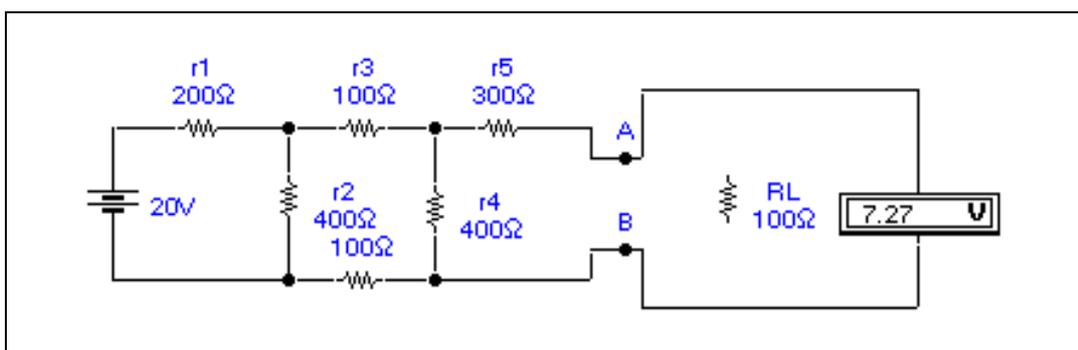


Fonte: Software Work Bench

Figura 41 – Circuito eqüivalente Thevenin.

12.1 TENSÃO DE THEVENIN

É aquela que aparece nos terminais da carga quando está aberta (sem drenar corrente). Portanto, basta imaginar que a carga não existe, para calcular a tensão em seus terminais, obtendo a tensão de Thevenin.

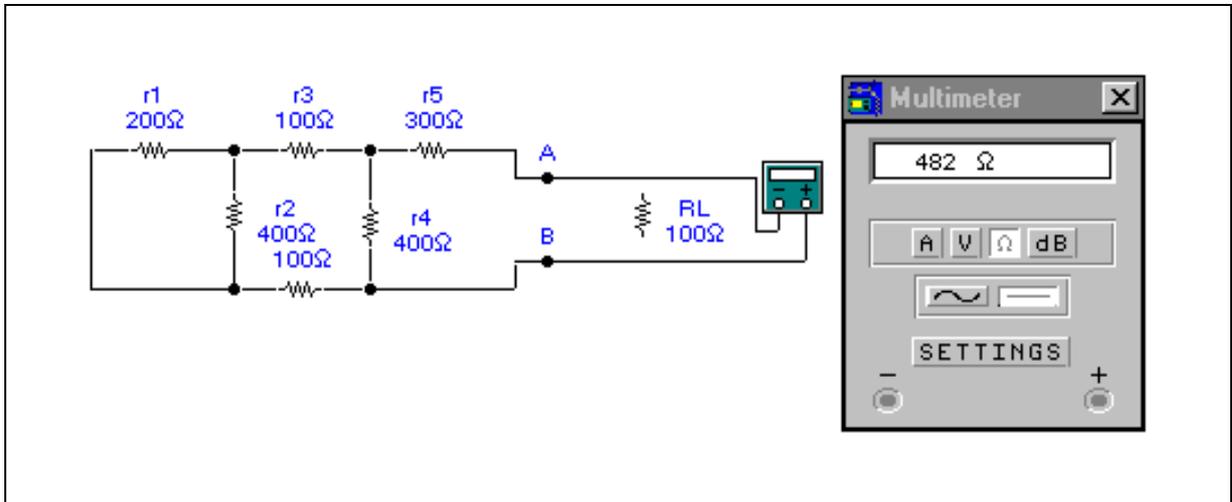


Fonte: Software Work Bench

Figura 42 – Medição da tensão Thevenin.

12.2 RESISTÊNCIA DE THEVENIN

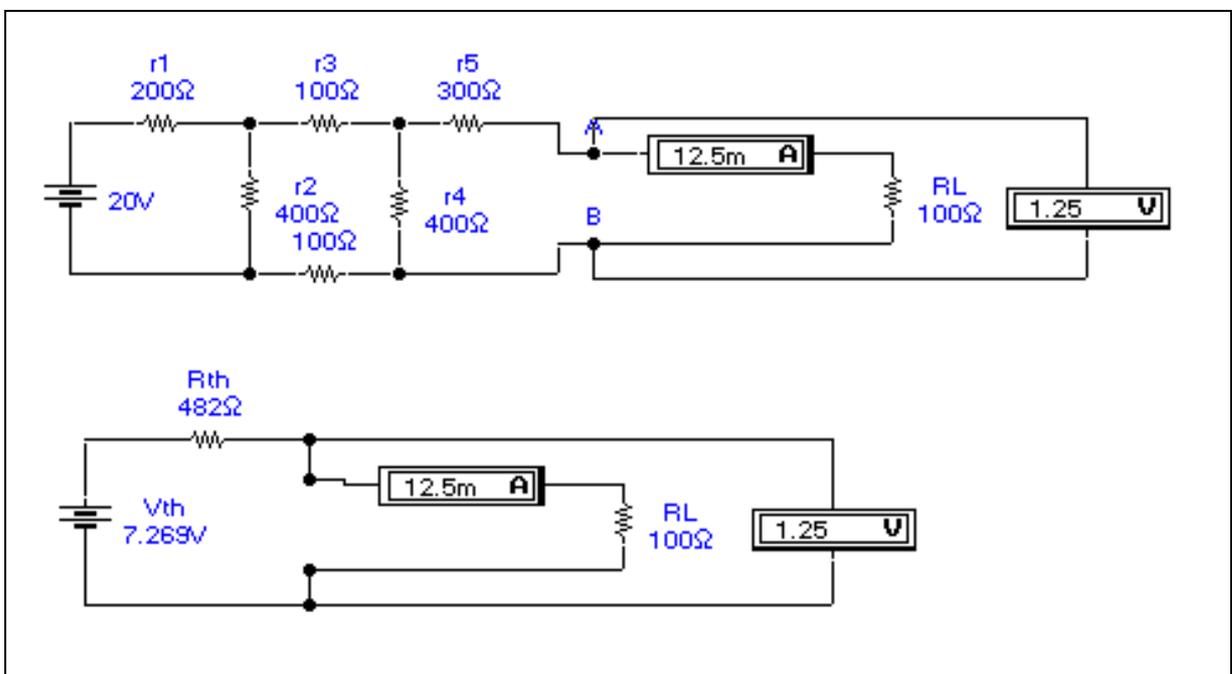
É a resistência que se obtém entre os terminais da carga, quando todas as fontes estão reduzidas a zero (curto-circuitadas) e a carga está aberta.



Fonte: Software Work Bench

Figura 43 – Medição da resistência do circuito com a fonte curto-circuitada.

O circuito eqüivalente Thevenin resulta em:



Fonte: Software Work Bench

Figura 44 – Obtenção do circuito eqüivalente Thevenin.

Agora fica mais fácil construir uma tabela com os valores de tensão e corrente para diferentes tipos de cargas.

$$V_{RL} = \left(\frac{V_{th}}{R_{th} + R_L} \right) \cdot R_L$$

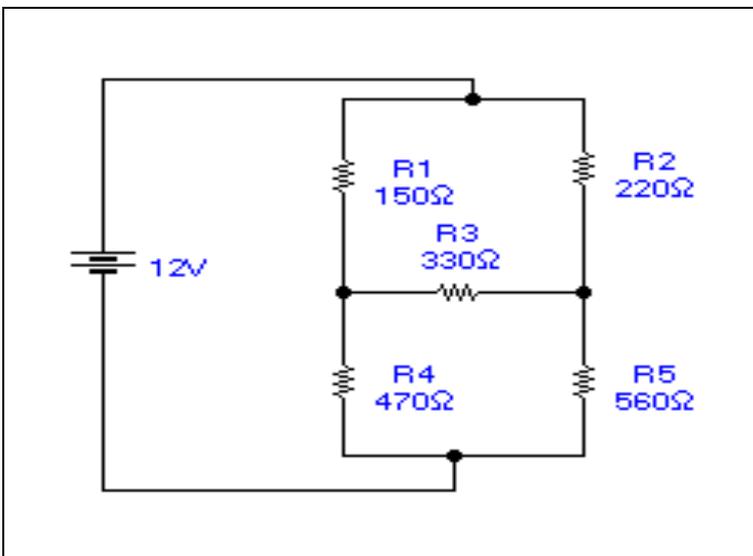
$$I_{RL} = \left(\frac{V_{th}}{R_{th} + R_L} \right)$$

Tabela 4 – Comportamento do circuito da Figura 40 com diferentes valores de tensão.

RL	VRL	IRL
100Ω	1,25V	12,48mA
200Ω	2,13V	10,65mA
300Ω	2,78V	9,29mA
400Ω	3,29V	8,24mA
500Ω	3,70V	7,40mA
600Ω	4,03V	6,72mA
700Ω	4,30V	6,15mA
800Ω	4,53V	5,67mA
900Ω	4,73V	5,26mA
1000Ω	4,90V	4,90mA

13 CIRCUITO EQÜIVALENTE ESTRELA/TRIÂNGULO

Há certas situações em que a busca da resistência eqüivalente torna-se complicada, devido a uma configuração que se apresenta:

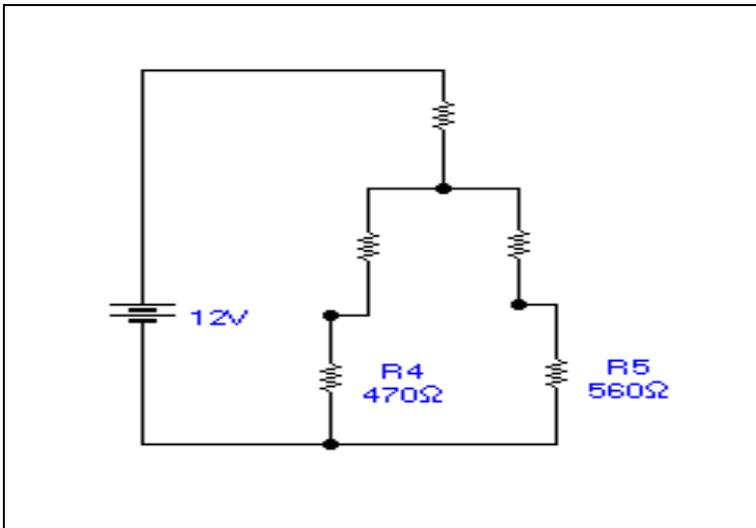


Fonte: Software Work Bench

Figura 45 – Circuito para análise.

Neste caso, fica difícil saber qual a relação de R3 com os demais resistores, se está em paralelo ou em série.

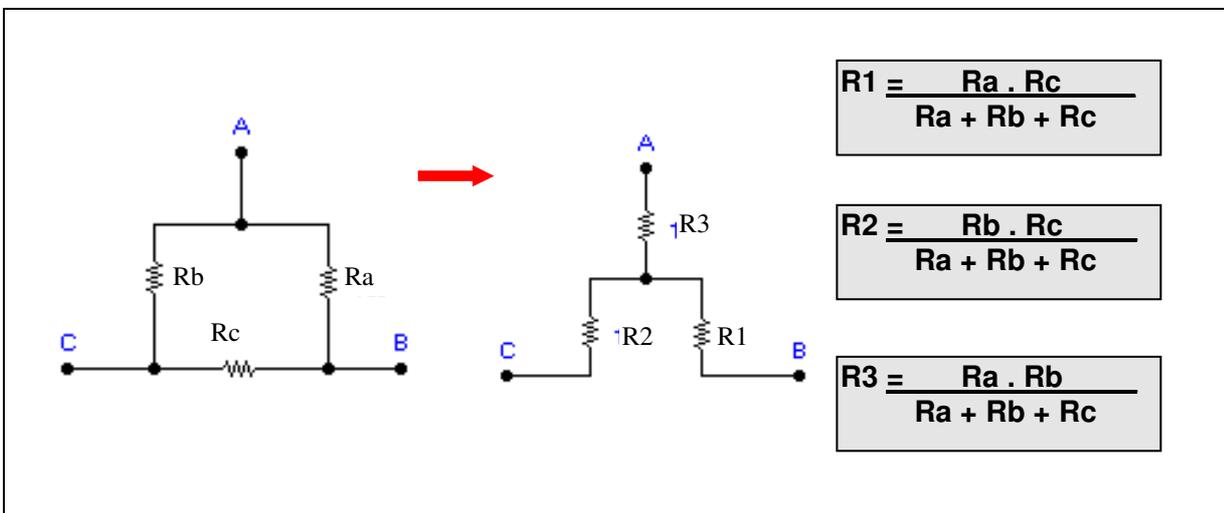
Para isto, é necessário converter a malha formada por R1, R2 e R3, que é uma ligação em triângulo, em uma malha eqüivalente em estrela:



Fonte: Software Work Bench

Figura 46 – Circuito da Figura 45 sendo convertido.

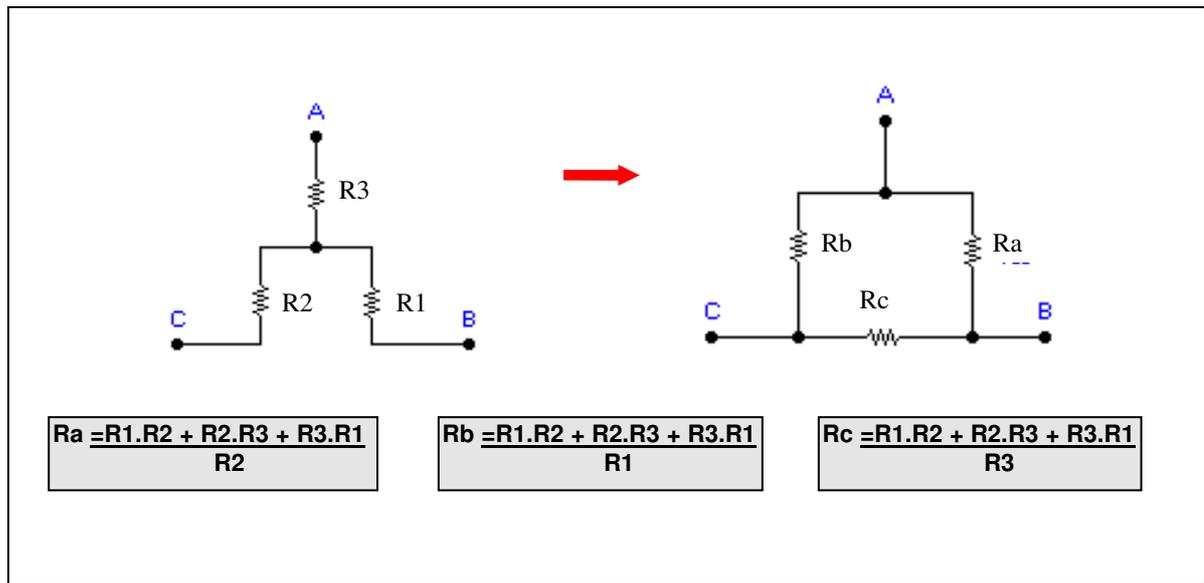
13.1 CONVERSÃO TRIÂNGULO EM ESTRELA



Fonte: Software Work Bench

Figura 47 – Circuito da Figura 45 conversão triângulo em estrela.

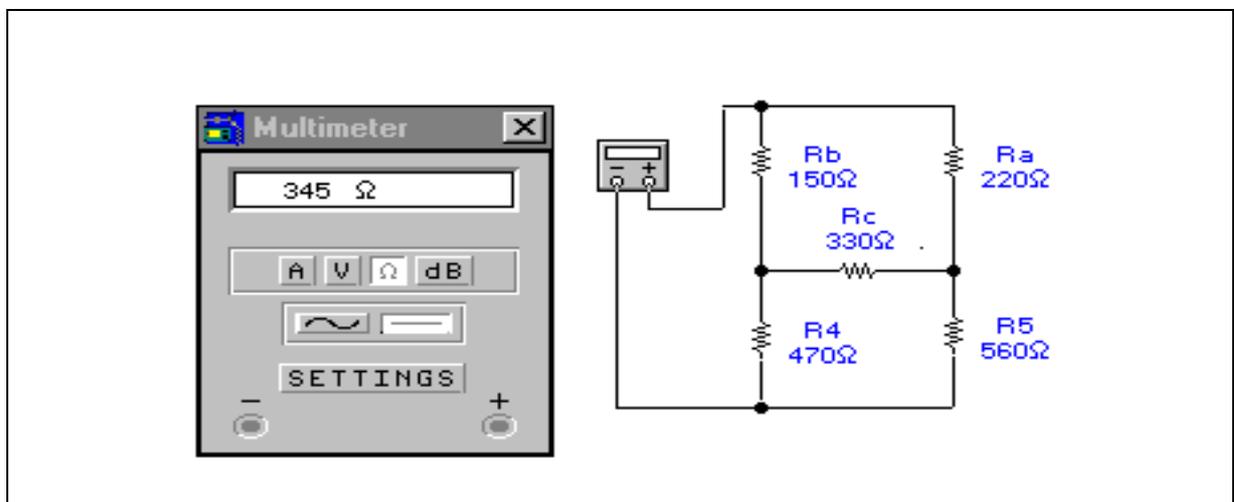
13.2 CONVERSÃO ESTRELA EM TRIÂNGULO



Fonte: Software Work Bench

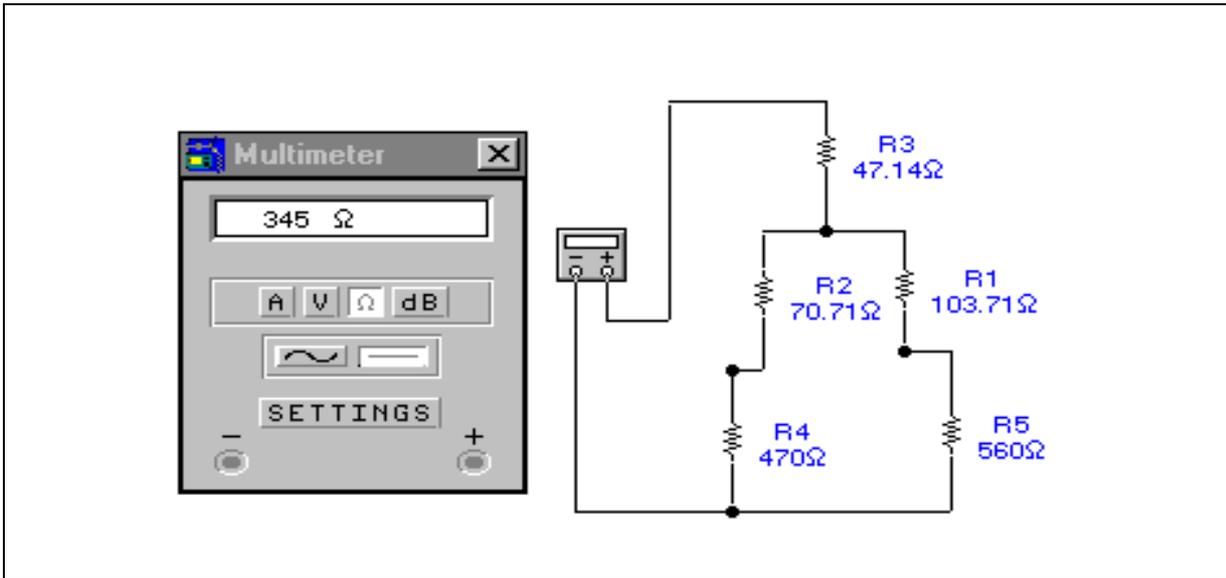
Figura 48 – Circuito da Figura 41 conversão estrela em triângulo.

Exemplo:



Fonte: Software Work Bench

Figura 49 – Circuito para análise.



Fonte: Software Work Bench

Figura 50 – Circuito da Figura 49 com a malha R1, R2 e R3 convertida em ligação estrela.

14 CONCEITO DE FONTE DE TENSÃO E FONTE DE CORRENTE

Para que os circuitos elétricos possam realizar algum trabalho, é necessária uma fonte de energia como alimentação, afinal, energia não se produz, se transforma.

As três grandezas que a Lei de Ohm relaciona são tensão, corrente e resistência. A resistência é uma grandeza que depende da carga e terá seu valor constantemente alterado. Mas, para projetar nosso circuito, é necessário que alguma grandeza seja constante, não varie, especialmente a alimentação, portanto, esta poderá ser de tensão constante ou de corrente constante.

14.1 FONTE DE TENSÃO CONSTANTE

É a fonte mais comum e utilizada para alimentar os circuitos. A tensão é gerada a partir de uma transformação de energia (ex.: energia química em energia elétrica-pilhas) e se mantém constante em função da variação da carga. Quem varia é a corrente elétrica.

$$V = I \cdot R$$

se $R \uparrow$, $I \downarrow$
se $R \downarrow$, $I \uparrow$

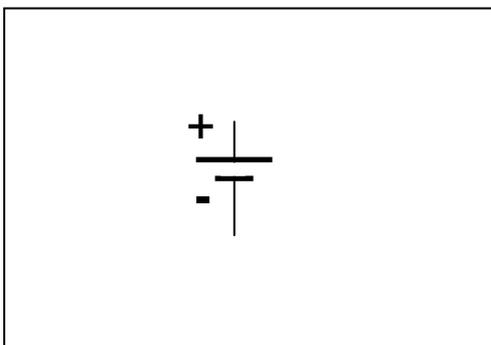


Figura 51 – Símbolo da fonte de tensão constante.

A fonte de tensão ideal fornece tão somente tensão elétrica, mas a fonte de tensão real possui perdas que atuam como se fossem uma resistência em série. Ora, qualquer resistência em série com um circuito forma um divisor de tensão, logo, a tensão na carga será menor que a tensão fornecida pela fonte.

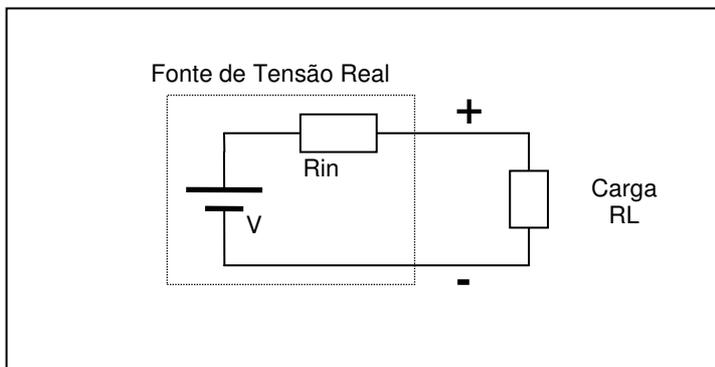
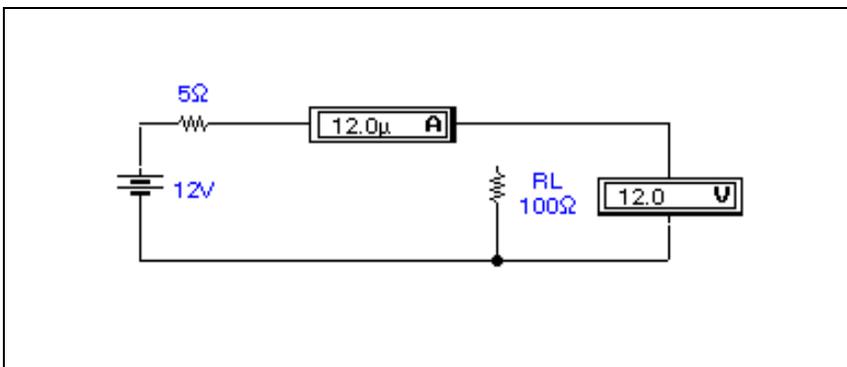


Figura 52 – Fonte de tensão real.

Procedimento para determinar a resistência interna de uma fonte:

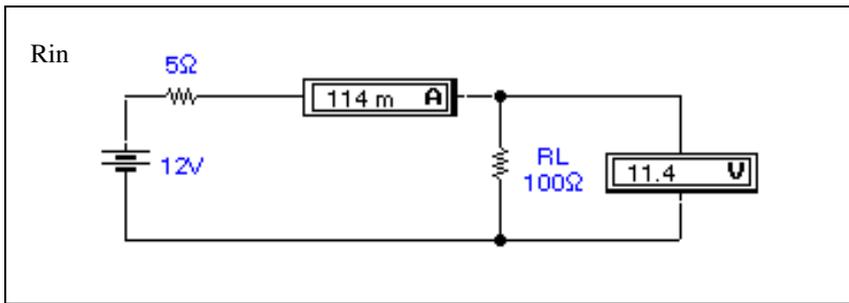
- Com a carga em aberto, meça a tensão na saída.



Fonte: Software Work Bench

Figura 53 – Determinação da resistência interna da fonte.

- Atribua um valor de carga dentro dos limites da fonte (100Ω) e meça a corrente e tensão sobre a carga.



Fonte: Software Work Bench

Figura 54 – Atribuição de um valor de carga.

Como a resistência interna está em série, a corrente na carga é a mesma corrente em R_{in} , e a queda de tensão interna (sobre R_{in}) será $V_{in}-V_{out}$, portanto:

$$R_{in} = (V_{in}-V_{out}) / I_{rin}$$

$$R_{in} = (12-11,4) / 0,114$$

$$\mathbf{R_{in} = 5,26\Omega}$$

14.2 FONTE DE CORRENTE CONSTANTE

É um tipo de fonte de alimentação onde a corrente fornecida é sempre a mesma, variando a tensão em função da carga. Sua aplicação se restringe à calibração de instrumentos e polarização de circuitos em que se deseja precisão e pouca variação térmica.

$$\mathbf{I = V / R}$$

se $R \uparrow$, $V \downarrow$
se $R \downarrow$, $V \uparrow$

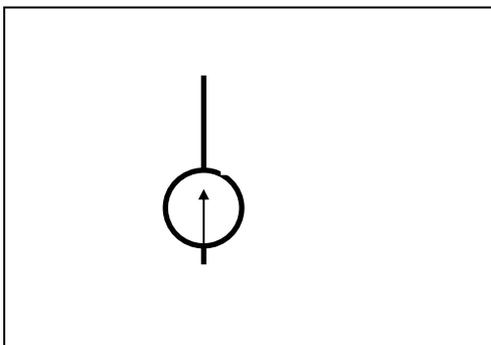
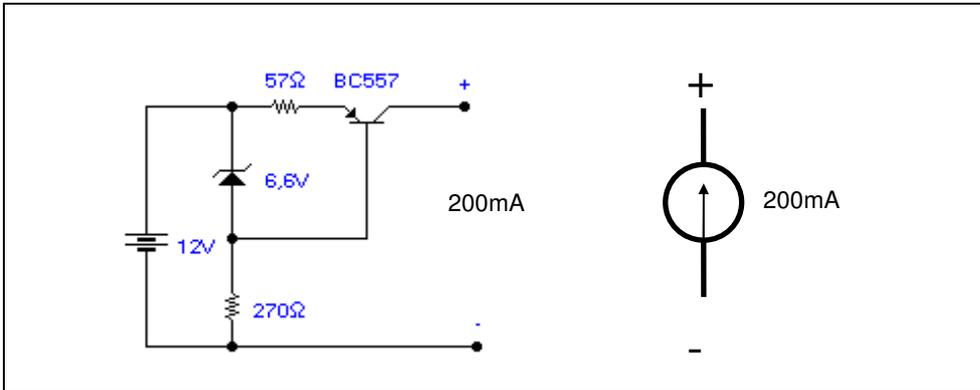


Figura 55 – Símbolo da fonte de corrente constante.

Este tipo de fonte, ao contrário da fonte de tensão, é confeccionada a partir de circuitos eletrônicos, como no exemplo, e sua limitação está no fato de necessitar de uma carga mínima na saída para que a tensão não atinja o valor da tensão de alimentação interna da fonte.

Exemplo:



Fonte: Software Work Bench

Figura 56 – Fonte de alimentação e circuito de regulação e sua representação por uma fonte de corrente constante.

Assim como a fonte de tensão, a fonte de corrente também possui resistências e perdas internas que se traduzem em uma resistência em paralelo. Esta resistência, por estar em paralelo, irá interferir no circuito. Portanto, quanto maior for o valor da resistência interna, melhor será a fonte.

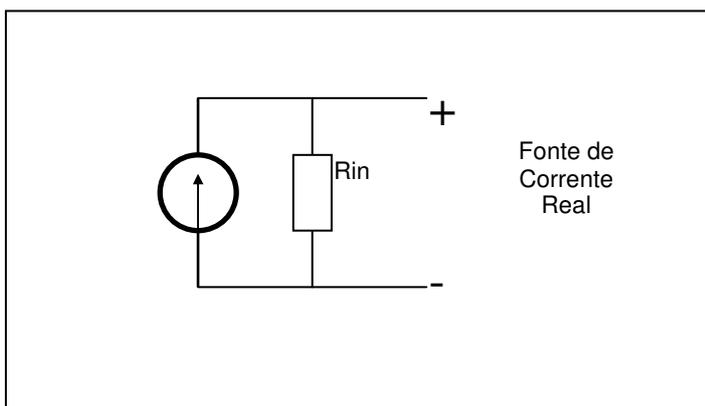


Figura 57 – Fonte de corrente constante real.

15 TIPOS DE TENSÃO E CORRENTE ELÉTRICA

Para satisfazer as diferentes necessidades técnicas, desenvolveram-se dois tipos de tensão:

- Tensão Contínua (pilhas, baterias, dínamos);
- Tensão Alternada (utilizada em residências, comércio, indústria).

Como a tensão é a causa da corrente elétrica, quando se aplica uma tensão contínua em um circuito, circulará uma corrente contínua (CC ou no inglês DC). As cargas movem em um só sentido.

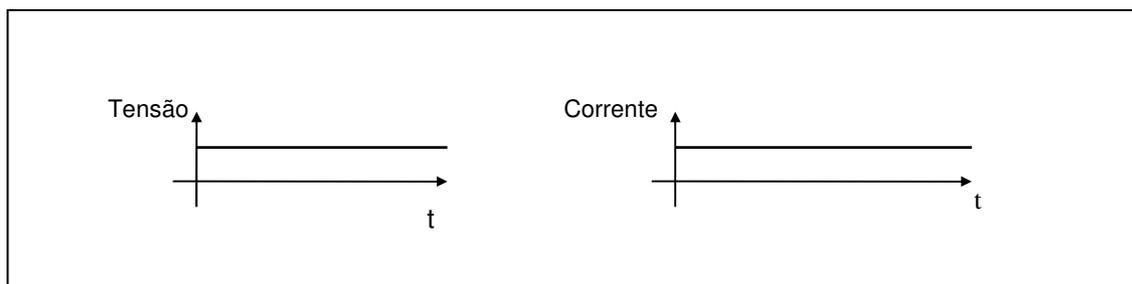


Figura 58 – Tensão contínua a corrente contínua.

Quando se aplica uma tensão alternada em um circuito, circulará uma corrente alternada (CA ou do inglês AC). As cargas elétricas variam de sentido em função do tempo.

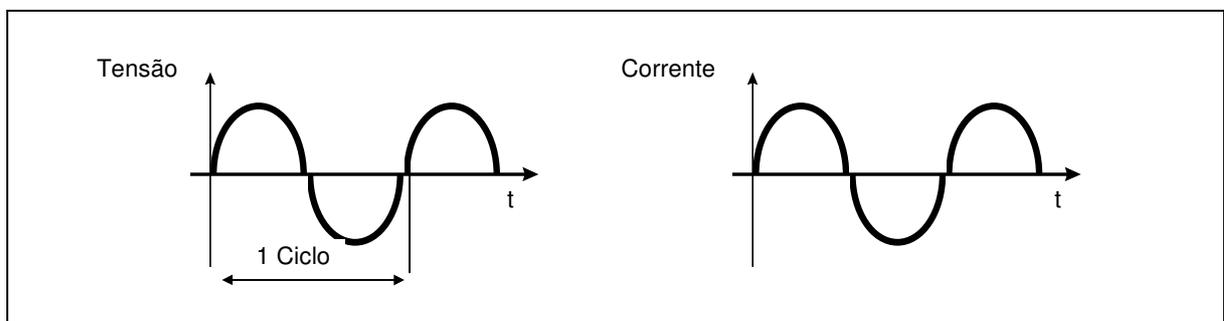


Figura 59 – Tensão alternada e corrente alternada.

A tensão varia, ora positiva, ora negativa. Esta variação repete-se em ciclos e a sucessão de ciclos por unidade de tempo denomina-se **freqüência**.

Freqüência Elétrica é a repetição de ciclos de tensão alternada por unidade de tempo.

Sua unidade de medida é o HERTZ -Hz- e seu valor é função do tempo em que ocorre um ciclo.

$$f = \frac{1}{t}$$

f \Rightarrow Freqüência em Hz;
t \Rightarrow Tempo em segundos.

No Brasil, as tensões elétricas são fornecidas de forma alternada senoidal e com freqüência de 60 Hz (60 ciclos por segundo).

Mas, como medir uma tensão ou corrente que varia a cada instante? O valor medido será uma média quadrática, como se a corrente alternada fosse contínua. O valor eficaz de uma corrente alternada, produz o mesmo efeito Joule que uma corrente contínua de igual valor, ao circular em uma mesma resistência. A este valor dá-se o nome de **tensão ou corrente eficaz**. O valor máximo que a CA atinge é chamado **tensão ou corrente de pico**.

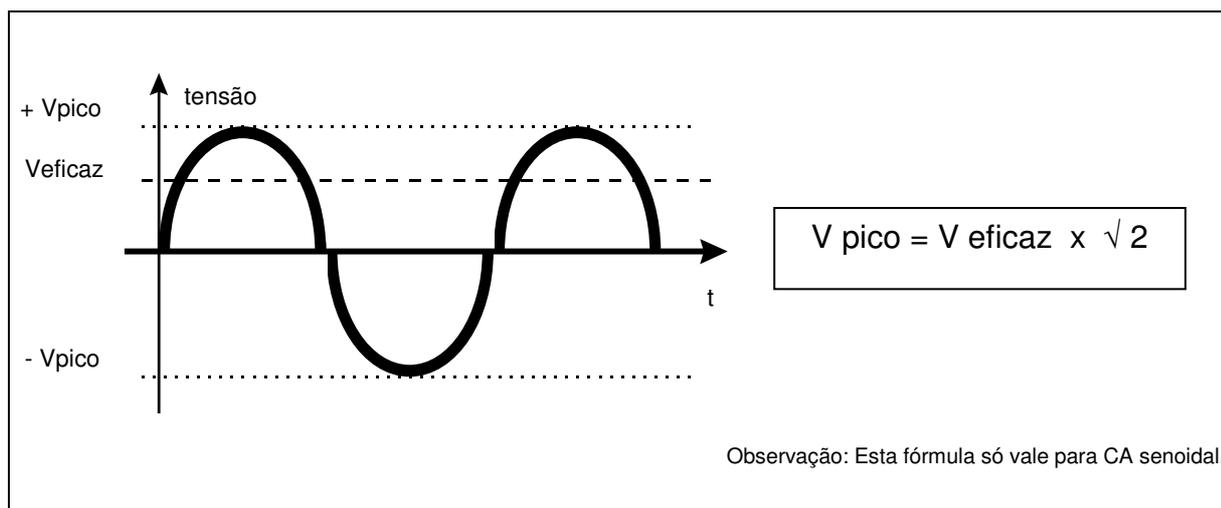


Figura 60 – Relação entre tensão de pico e tensão eficaz da C.A.

16 EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA NO CORPO HUMANO

A rede de energia elétrica em nossas casas é alternada, isto é, varia a polaridade a cada instante (16,66 ms). Em uma rede monofásica, recebemos 2 fios onde há uma diferença de potencial, por exemplo, de 220 V eficaz. No quadro de medição, um destes fios é conectado ao chão (aterrado) passando a ser chamado de fio neutro. O outro fio passa a ser chamado de fase.

Um fio fase possui tensão elétrica em relação à terra (chão), já o fio neutro não possui tensão elétrica em relação ao chão.

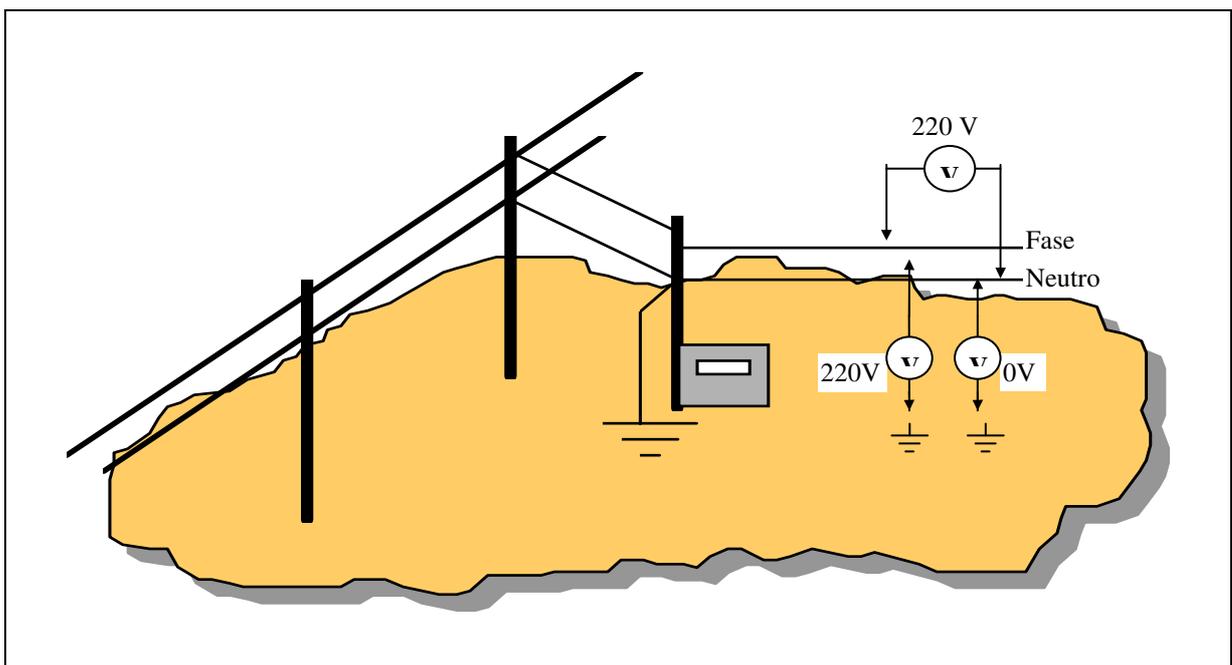


Figura 61 – Relação de potenciais entre os condutores fase e neutro e a terra.

O corpo humano é um condutor de eletricidade. A passagem de eletricidade pelo corpo humano pode ser perigosa, mas, para que isto aconteça, deverá haver um circuito fechado, ou seja, a pessoa deve ter contato com dois pólos de tensão

elétrica. No caso da rede residencial, o corpo deverá fazer contato entre o fase e o neutro ou entre o fase e o terra.

As conseqüências da circulação de corrente no corpo humano dependem de alguns fatores:

- Da intensidade de corrente elétrica;
- Do caminho por onde circula a corrente elétrica no corpo humano;
- Do tempo de atuação da corrente elétrica;
- Do tipo de corrente elétrica.

Uma pessoa suporta, durante um curto período de tempo, até 40 mA. Se o corpo humano estiver com umidade, sua resistência diminui e a circulação de corrente é maior. Em níveis internacionais, tensões superiores a 50V são consideradas perigosas.

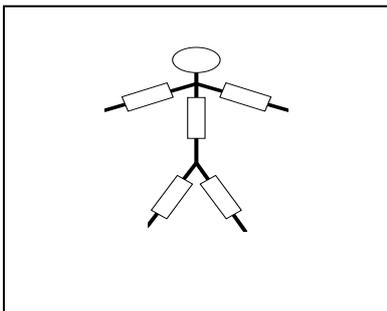


Figura 62 – Figura para facilitar a análise dos efeitos da corrente elétrica no corpo humano.

Quadro: Efeitos da corrente elétrica no corpo humano.

Corrente	Efeito
5 mA	Pequenos estímulos nervosos
10 mA a 25 mA	Contrações musculares
25 mA a 80 mA	Aumento da pressão sanguínea, transtornos cardíacos e respiratórios, desmaios.
80 mA a 5 A	Corrente alternada pode provocar a morte por contrações rápidas do coração (fibrilação)
Acima de 5A	Queimaduras da pele e dos músculos, parada cardíaca.

17 PROTEÇÃO PARA OS CIRCUITOS ELÉTRICOS

Para evitar que uma tensão elétrica se mantenha na carcaça (estrutura metálica) de um aparelho, podendo provocar um choque elétrico no operador caso este encoste na carcaça, utiliza-se aterrar o aparelho.

Como o fio neutro está conectado à terra, caso um fio fase venha a encostar na carcaça, haverá um curto-circuito, desarmando o circuito de proteção (visto a seguir).

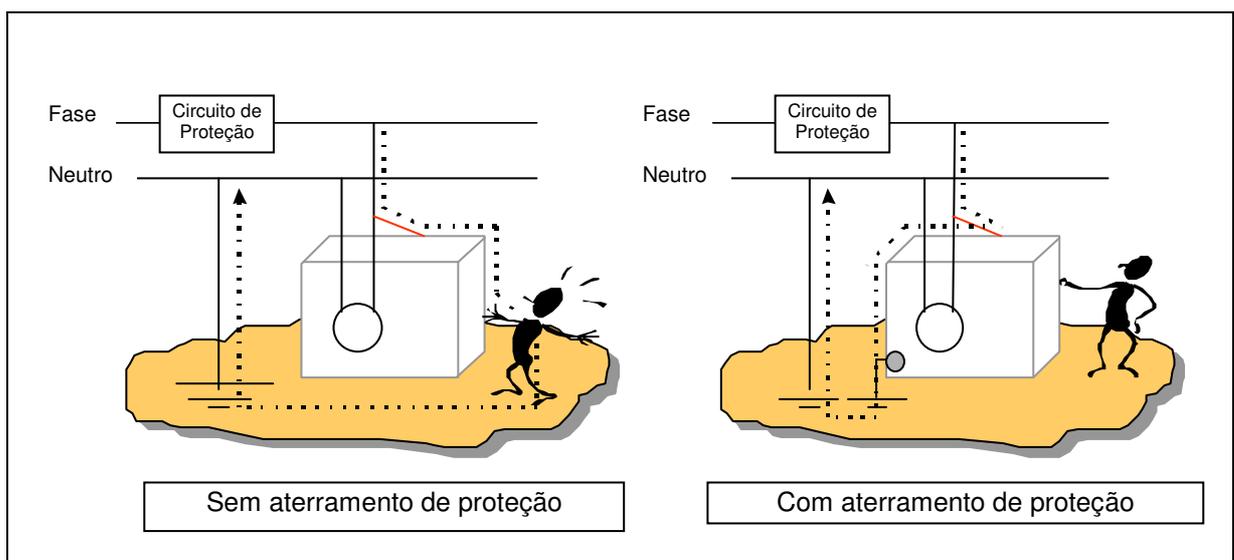


Figura 63 – Instalações sem e com aterramento de proteção.

17.1 FUSÍVEIS

São compostos de um elo fusível que se funde a uma temperatura proporcional à corrente que nele circula. Logo, um fusível de 2 A funcionará como um condutor em

correntes inferiores a este valor, mas, se a corrente for maior que 2 A, ele abrirá o circuito, protegendo-o. Com a queima do fusível, é necessária a substituição do mesmo.

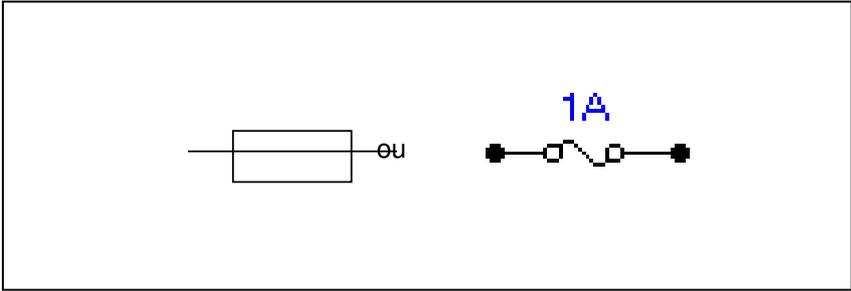


Figura 64 – Símbolos do fusível.

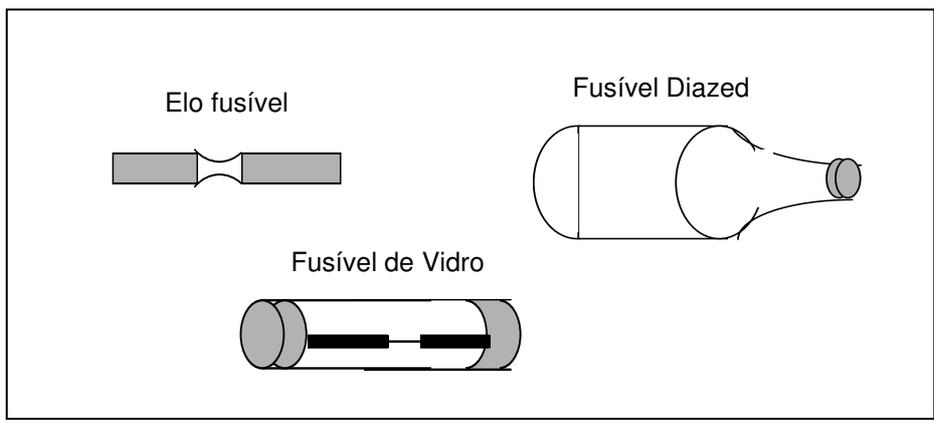
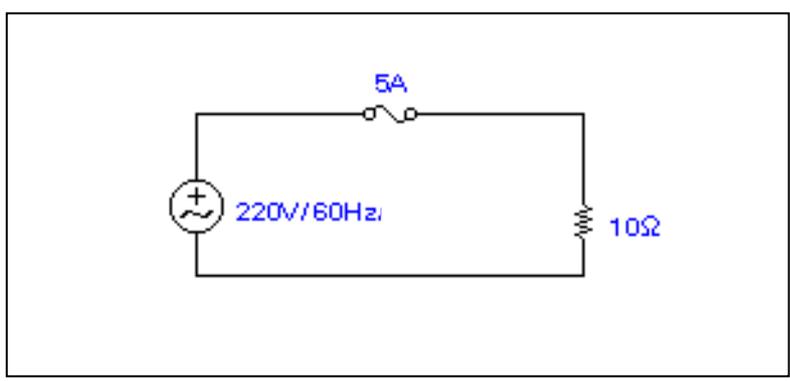


Figura 65 – Tipos de fusível.

Os fusíveis mais utilizados são: tipo vidro, tipo cartucho, tipo diazed e tipo NH. Além disso, os fusíveis podem ser tipo rápido, ultra-rápido e de retardo.



Fonte: Software Work Bench

Figura 66 – Circuito elétrico com proteção fusível.

17.2 DISJUNTORES

São dispositivos que possuem a função de proteger os circuitos contra sobrecargas, mas, em situação normal, servem como dispositivo de manobra (abrir e fechar circuitos).

É composto de elemento bimetálico que, quando aquecido, provoca um deslocamento do contato, abrindo o circuito.

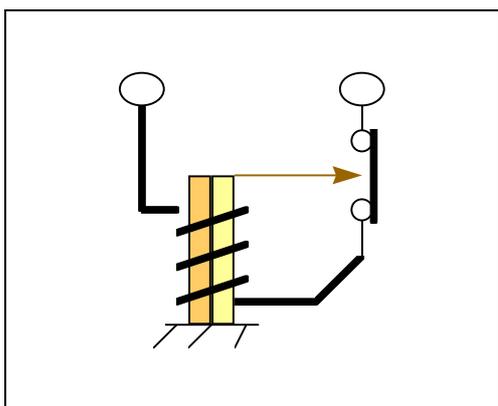


Figura 67 – Diagrama esquemático do funcionamento do disjuntor.

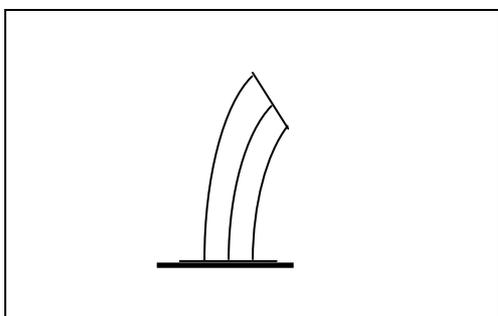


Figura 68 – Elemento bimetálico.

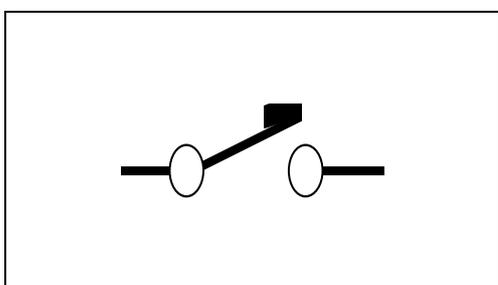


Figura 69 – Símbolo do disjuntor.

O elemento bimetálico é constituído por dois materiais com coeficiente de temperatura diferentes, isto é, dilatam-se em temperaturas diferentes. Com a junção destes dois materiais, quando aquecido, o material não dilata, mas curva-se. O aquecimento do fio condutor enrolado ao elemento bimetálico é proporcional à corrente elétrica, logo, quanto maior a corrente, maior o aquecimento, e quando atinge o valor projetado para o trabalho do disjuntor, este desarma, abrindo o circuito. Após o seu esfriamento, o disjuntor pode ser rearmado manualmente.

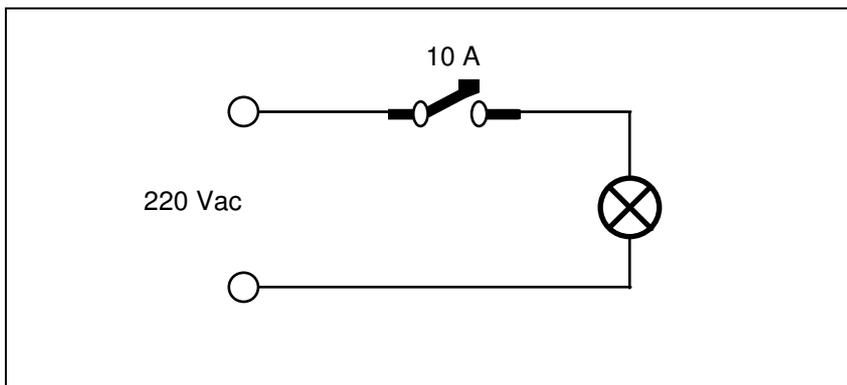


Figura 70 – Circuito elétrico com proteção de disjuntor.

17.3 DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO

A corrente do circuito deverá ser 80% da corrente nominal do dispositivo de proteção.

$$I \text{ dispositivo de proteção} = \frac{I \text{ do circuito} \times 100}{80} .$$

18 MAGNETISMO

O magnetismo é uma propriedade que certos materiais possuem, que faz com que estes materiais exerçam uma atração sobre materiais ferrosos.

Alguns materiais encontrados na natureza apresentam propriedades magnéticas naturais. Estes materiais são denominados de ÍMÃS NATURAIS. A magnetita é um minério de ferro que é naturalmente magnético, ou seja, é um ímã natural.

Mas podemos magnetizar uma barra de material ferroso por processos artificiais, obtendo os ÍMÃS ARTIFICIAIS, muito empregados por poderem ser fabricados em diversos formatos para atender às necessidades práticas.

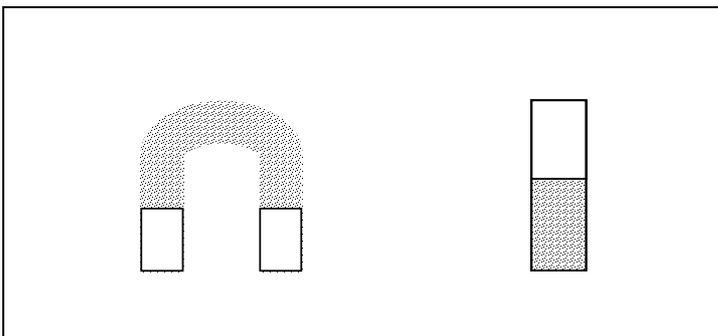


Figura 71 – Formatos de ímãs.

Externamente, as forças de atração magnéticas se manifestam com maior intensidade nas suas extremidades. Por esta razão as extremidades são denominadas de PÓLOS MAGNÉTICOS DO ÍMÃ. Cada pólo apresenta propriedades específicas, sendo denominados de PÓLO SUL e PÓLO NORTE.

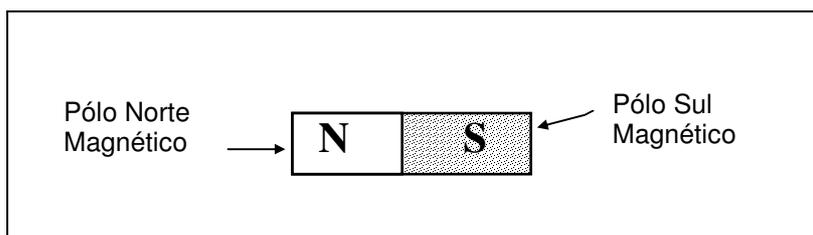


Figura 72 – Pólos magnéticos do ímã.

Uma vez que as forças de atração magnéticas dos ímãs são mais concentradas nos pólos, se conclui que a intensidade destas propriedades decresce para o centro do ímã. Na região central do ímã, estabelece-se uma linha onde as forças de atração magnéticas do pólo sul e do pólo norte são iguais e se anulam. Esta linha é denominada linha neutra.

Magnetismo tem sua origem na organização atômica dos materiais. Cada molécula de um material é um pequeno ímã natural.

Quando, durante a formação de um material, as moléculas se orientam em sentidos diversos, os efeitos magnéticos dos ímãs moleculares se anulam no todo do material, resultando um material sem magnetismo natural.

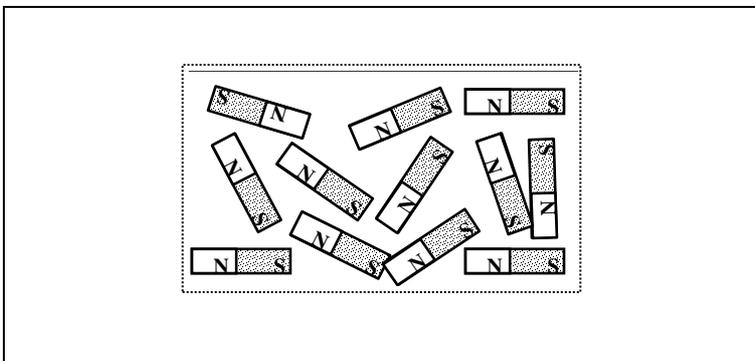


Figura 73 – Estruturação molecular de um material sem magnetismo natural.

Se, durante a formação do material, as moléculas assumirem uma orientação única (ou predominante), os efeitos magnéticos de cada ímã molecular se somam, dando origem a um ímã com propriedades magnéticas naturais.

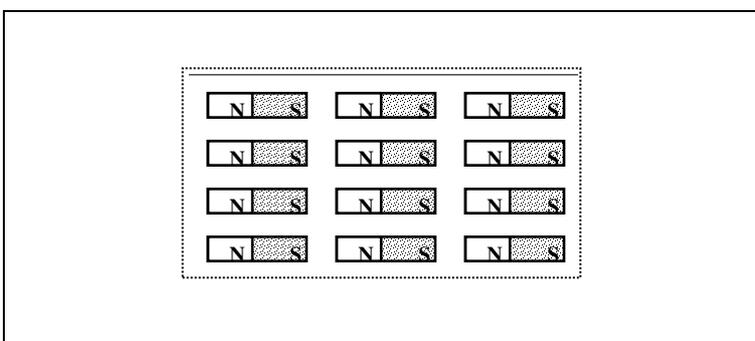


Figura 74 – Estruturação molecular de um material com magnetismo natural.

Os ímãs têm uma propriedade característica: por mais que se divida um ímã em partes menores, estas sempre terão um pólo norte e um pólo sul. Esta propriedade é chamada de **inseparabilidade dos pólos**.

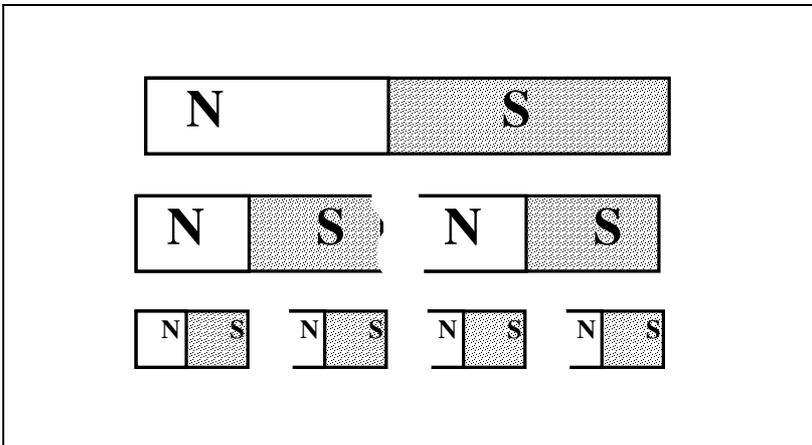


Figura 75 – Propriedade da inseparabilidade dos pólos.

INTERAÇÃO ENTRE OS ÍMÃS

Quando os pólos magnéticos de dois ímãs estão próximos, as forças magnéticas dos dois ímãs reagem entre si de forma singular. Se os dois pólos magnéticos próximos forem diferentes, há uma atração entre os dois ímãs. Se forem iguais, haverá repulsão.

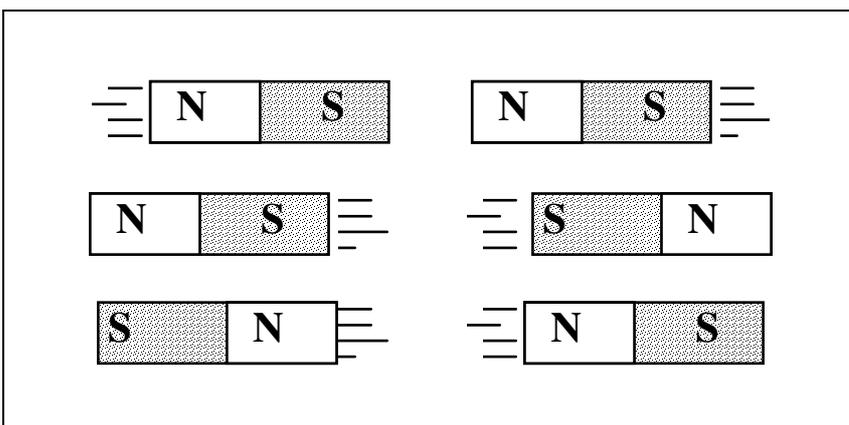


Figura 76 – Interação entre os ímãs.

Como artifício para estudar o campo magnético, admite-se a existência de “linhas de força” magnéticas ao redor do ímã. Estas linhas de força são invisíveis e somente podem ser vistas com o auxílio de um recurso (limalha de ferro).

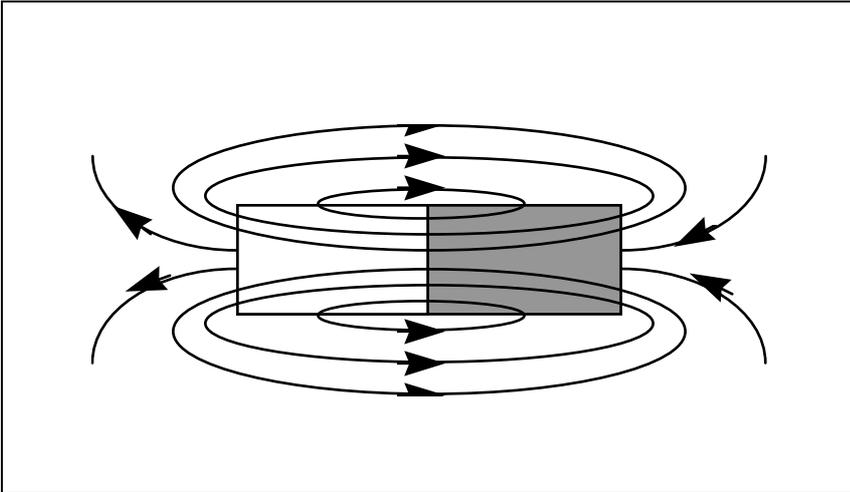


Figura 77 – Linhas magnéticas ao redor do ímã.

Com o objetivo de padronizar os estudos relativos ao magnetismo e às linhas de força, estabeleceu-se, como convenção, que as linhas de força de um campo magnético se dirigem do pólo norte em direção ao sul.

19 ELETROMAGNETISMO

A denominação “eletromagnetismo” aplica-se a todo o fenômeno magnético que tenha origem em uma corrente elétrica.

Quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, ocorre uma orientação no movimento das partículas no seu interior. Esta orientação do movimento das partículas tem um efeito semelhante à orientação dos ímãs moleculares. Como conseqüência, verifica-se o surgimento de um campo magnético ao redor do condutor (perpendicular).

Este campo magnético gerado pela circulação de corrente é de intensidade proporcional à intensidade de corrente elétrica e de sentido relacionado.

O sentido do campo magnético se determina pela “regra do saca-rolha”.

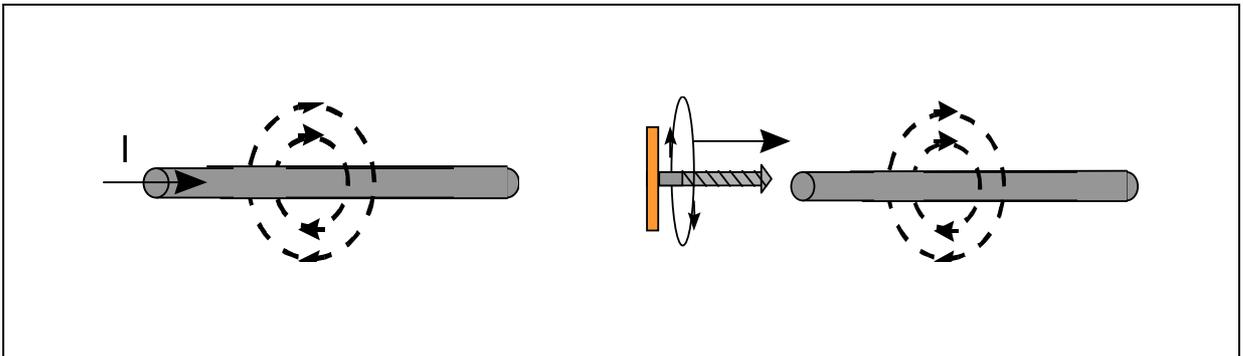


Figura 78 – Determinação do sentido do campo magnético através da “regra do saca-rolha”.

A intensidade do campo magnético ao redor de um condutor é diretamente proporcional à corrente que circula neste condutor.

Se o condutor for enrolado em forma de bobina, então os campos de cada espira irão se somar, formando um único campo magnético.

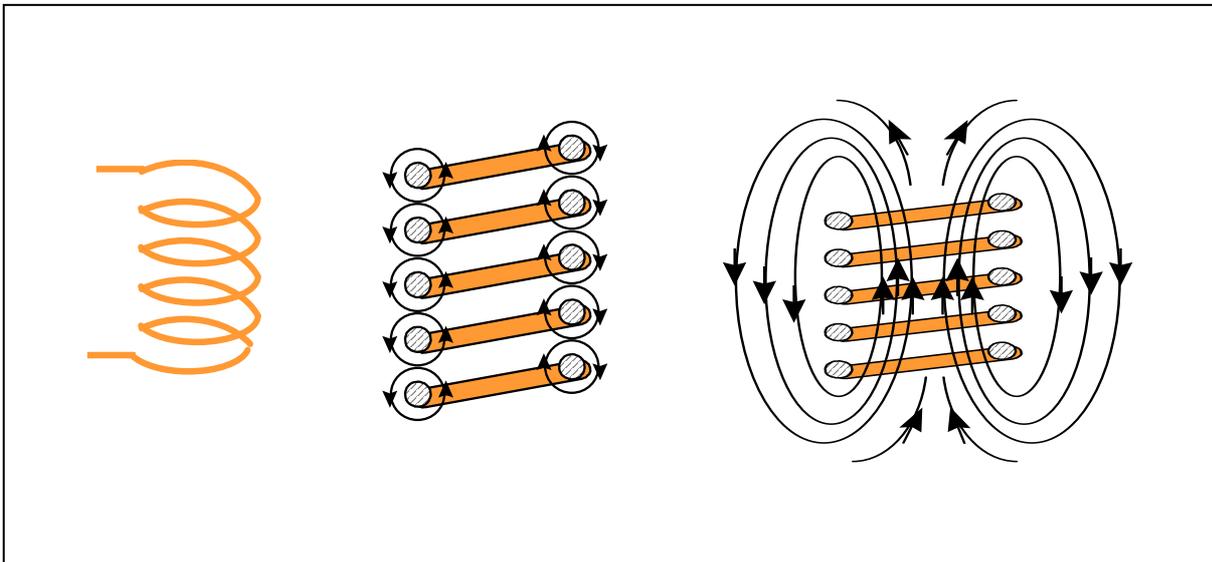


Figura 79 – O campo magnético em uma bobina.

Os pólos magnéticos formados pelo campo magnético têm características semelhantes aos pólos de um ímã natural. A intensidade do campo magnético em uma bobina depende diretamente da corrente e do número de espiras.

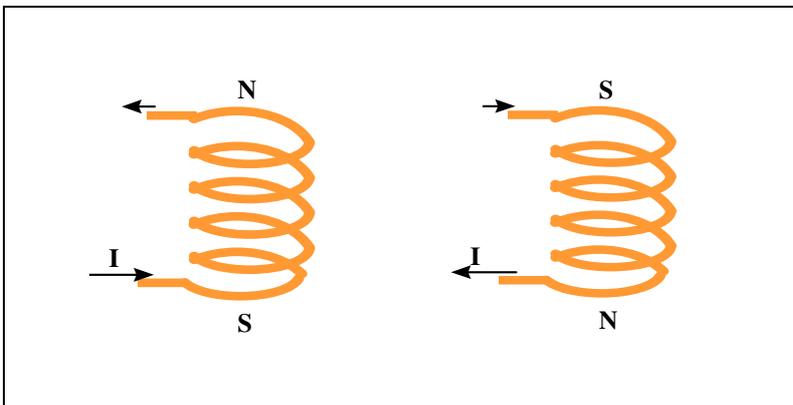


Figura 80 – Formação de pólos magnéticos em uma bobina.

Podemos agora controlar um movimento mecânico a partir de um acionamento elétrico, como acontece nos “feixes elétricos”, utilizados em porteiros eletrônicos.

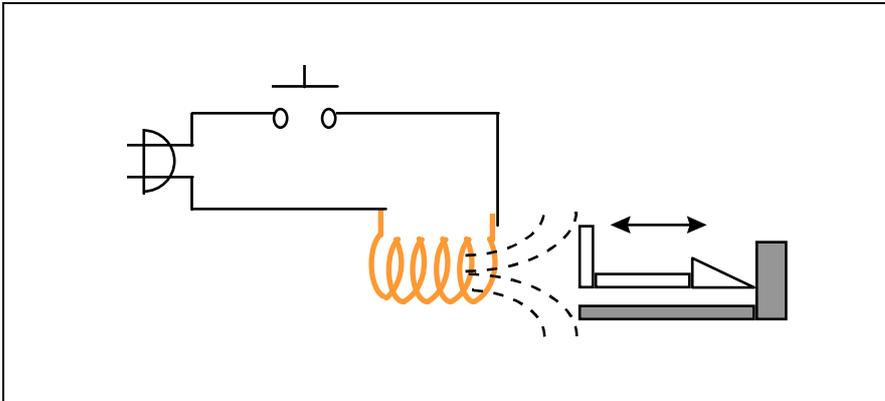


Figura 81 – Eletromagnetismo aplicado ao controle de um movimento mecânico.

Para obter uma maior intensidade de campo magnético a partir de uma mesma bobina, pode-se utilizar o recurso de colocar um material ferroso (ferro, aço etc.) no interior da bobina. A maior intensidade do campo magnético nos eletroímãs deve-se ao fato de que os materiais ferrosos provocam uma concentração das linhas de força. Neste caso, o conjunto bobina-núcleo de ferro recebe o nome de eletroímã.

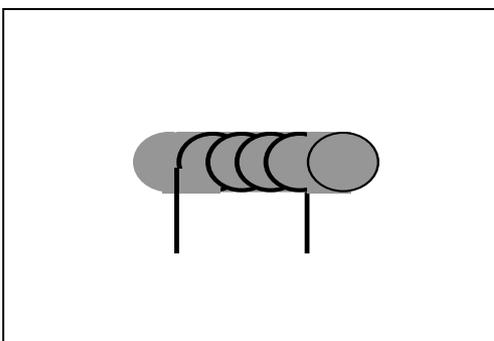


Figura 82 – Aspecto físico de uma bobina.

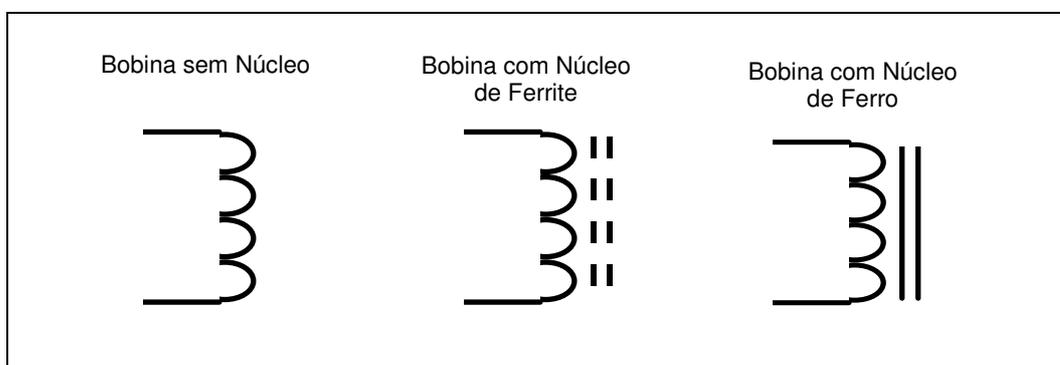


Figura 83 – Simbologia das bobinas.

A capacidade de um material de concentrar as linhas de força é denominada de **permeabilidade magnética**. De acordo com a permeabilidade magnética, os materiais podem ser classificados como:

Diamagnéticos: São materiais que promovem a dispersão do campo magnético. Ex.: cobre, ouro etc.

Paramagnéticos: São materiais que praticamente não alteram o campo magnético (não dispersam nem concentram as linhas de força). Ex.: ar, alumínio etc.;

Ferromagnéticos: São materiais que promovem a concentração das linhas magnéticas. Os materiais ferromagnéticos são atraídos pelos campos magnéticos. Ex.: ferro.

20 INDUÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA

Assim como uma corrente elétrica circulando em um condutor gera neste um campo magnético perpendicular, se um condutor estiver submetido a um campo magnético perpendicular a ele, haverá uma circulação de corrente elétrica neste condutor. Mas, para isto, é necessário que o condutor corte diferentes linhas de forças, isto é, que o condutor ou o campo magnético movam-se (alternem-se).

Este é mais um fenômeno físico da natureza que é muito utilizado em eletricidade e eletrônica:

20.1 CAMPO MAGNÉTICO FIXO

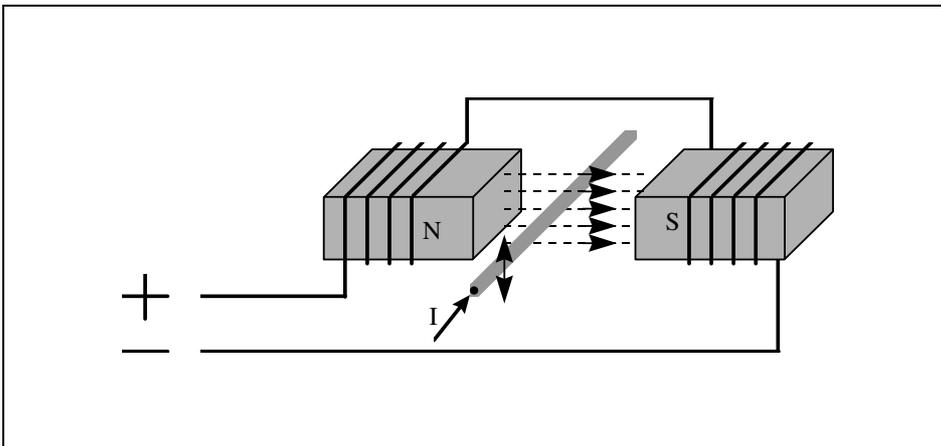


Figura 84 – Campo magnético fixo.

20.2 CAMPO MAGNÉTICO VARIÁVEL

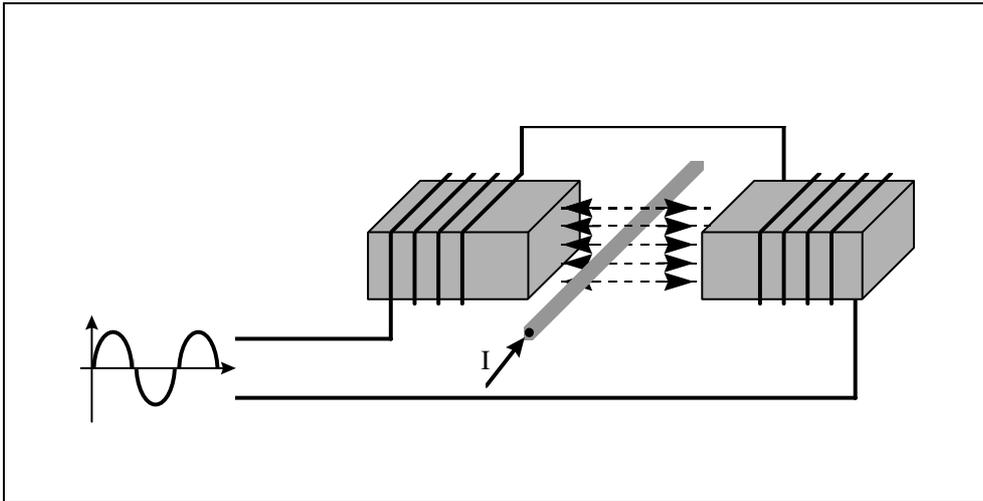


Figura 85 – Campo magnético variável.

Esta corrente que surge no fio é chamada de “Corrente Induzida” e terá sentido e grandeza proporcional ao campo magnético que a gera.

21 INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

São instrumentos devidamente projetados de forma a medir grandezas elétricas específicas de sua aplicação. Os instrumentos de medidas podem ser analógicos (medida através da leitura em uma escala) ou digitais (leitura através de números em um *display*).

Os instrumentos possuem uma escala para a medição, sendo melhor o desempenho das características de sensibilidade e precisão que estiver dentro desta escala (range).

21.1 SENSIBILIDADE

Refere-se ao máximo de casas decimais em que uma determinada medição pode ser expressa.

Ex.: Instrumento 1 > 15,8 V Instrumento 2 > 15,852 V
O instrumento 2 tem uma melhor sensibilidade.

21.2 PRECISÃO

Refere-se à menor diferença entre o valor medido e o valor real.

Ex.: Instrumento 1 > 15,8 V (medido) 16,2 V (real)
Instrumento 2 > 9,82 V (medido) 9,9 V (real)
O instrumento 2 tem uma melhor precisão.

21.3 GALVANÔMETRO

A grande maioria dos instrumentos de medidas analógicos utilizam o galvanômetro como princípio de construção. Consiste de uma bobina, dispositivos mecânicos

móveis, ponteiro e escala sem marcação. Sua função é deslocar o ponteiro sobre a escala em função de baixos sinais de tensão elétrica aplicados na bobina (ordem de 100mV). Se um galvanômetro é construído para uma tensão máxima (fundo de escala) de 100mV, quando aplicarmos 0 V, o ponteiro estará no início da escala, com 50mV o ponteiro estará no meio da escala e com 100mV, o ponteiro estará no fim da escala.

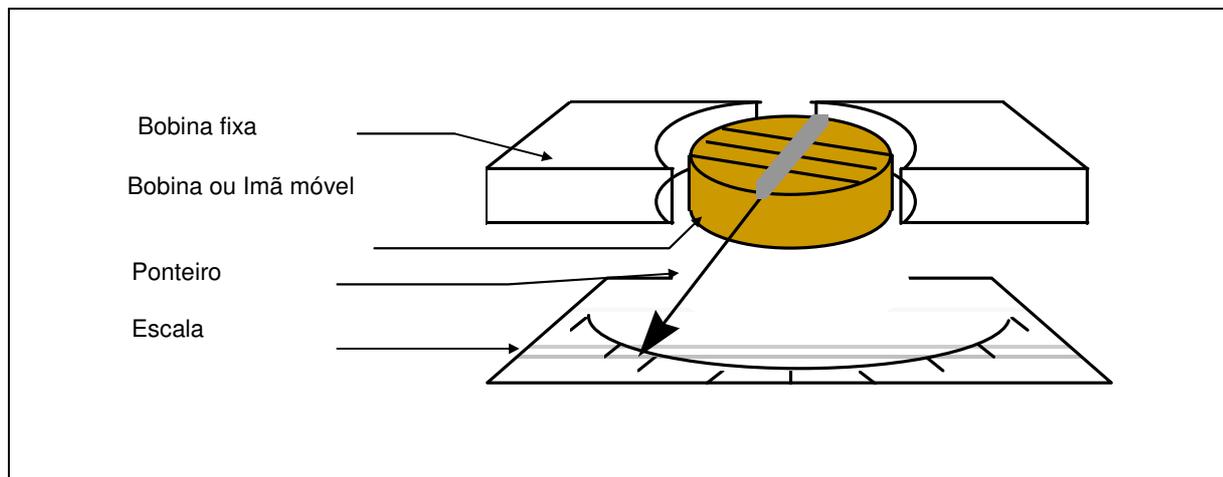


Figura 86 – Galvanômetro.

21.3.1 Galvanômetro de Ferro Móvel

Este tipo de galvanômetro possui uma bobina fixa e, na parte móvel, um elemento ferroso. Ao receber um sinal de tensão elétrica na bobina fixa, esta começa a gerar um campo magnético que irá atrair o elemento ferroso, deslocando o ponteiro. Como o campo magnético da bobina é proporcional à tensão aplicada, o deslocamento do ponteiro também será proporcional a esta tensão.

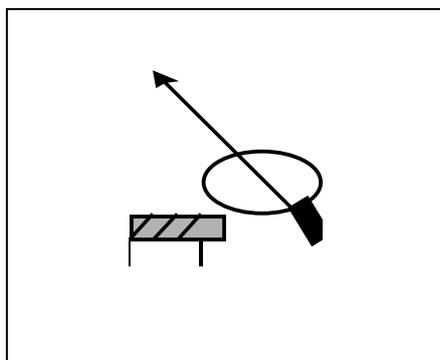


Figura 87 – Galvanômetro de Ferro Móvel.

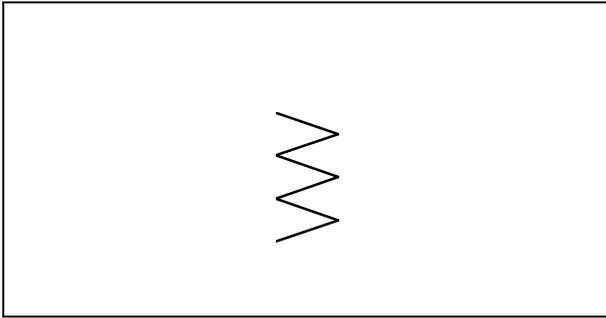


Figura 88 – Símbolo do galvanômetro de Ferro Móvel.

A característica importante deste tipo de galvanômetro é que o deslocamento do ponteiro não depende do sentido do campo magnético da bobina, já que o elemento ferroso será atraído tanto pelo pólo magnético norte quanto pelo sul. Portanto, este tipo de galvanômetro pode medir tanto tensão alternada quanto tensão contínua.

21.3.2 Galvanômetro de Bobina Móvel

Este tipo de galvanômetro possui uma bobina fixa, que recebe o sinal de tensão a ser medido, e uma bobina móvel, que é induzida pelo campo magnético da bobina fixa, formando um ímã polarizado magneticamente, independente da polaridade do campo magnético da bobina fixa.

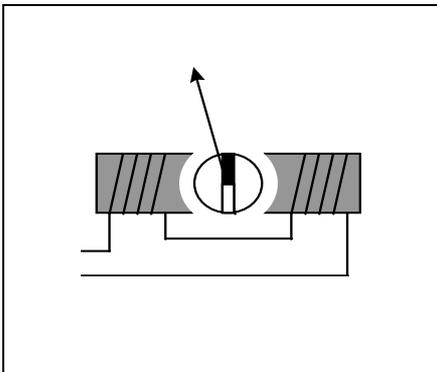


Figura 89 – Galvanômetro de bobina móvel.

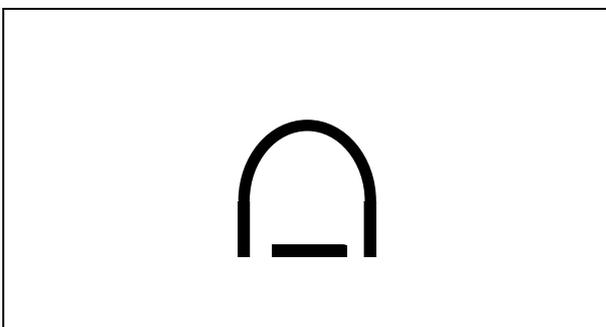


Figura 90 – Símbolo do galvanômetro de bobina móvel.

Neste tipo de galvanômetro, a direção do deslocamento do ponteiro irá depender da polaridade magnética da bobina fixa, que dependerá da tensão aplicada. Logo, o galvanômetro de bobina móvel só pode ser usado para medir tensões contínuas.

Os galvanômetros medirão duas grandezas fundamentais: tensão e corrente elétrica. Para medir tensão, o galvanômetro deve possuir uma grande resistência para não interferir no circuito, já que será ligado em paralelo. Já o galvanômetro de corrente será ligado em série, sua resistência deve ser muito baixa. Portanto, os galvanômetros são:

- Galvanômetro de Tensão: construído de fio fino com muitas espiras.
- Galvanômetro de Corrente: construído de fio grosso com poucas espiras.

21.4 VOLTÍMETRO

Voltímetro é um instrumento destinado a medir tensões elétricas aplicadas em seus terminais. É formado de um galvanômetro com uma escala graduada em Volts.

Um galvanômetro mede tensões de baixo valor de tensão, mas, para medir valores maiores, é colocado na entrada um divisor de tensão.

Exemplo: Criar um voltímetro que meça tensão elétrica de 0 a 20V (range), a partir de um galvanômetro com fundo de escala de 50mV.

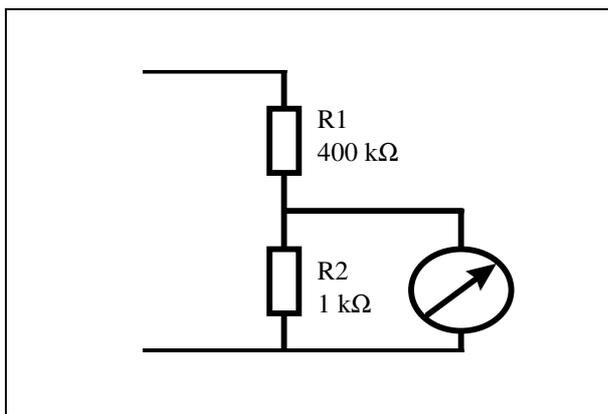


Figura 91 – Divisor de tensão alimentando voltímetro.

Cálculos:

Atribuindo $R_2 = 1\text{k}\Omega$,

$$I_{R2} = V_{R2} / R_2$$

$$I_{R2} = 50\text{mV} / 1\text{k}\Omega$$

$$I_{R2} = 50\mu\text{A}$$

$$R_1 = (V_{in} - V_{R2}) / I_{R1}$$

$$R_1 = (20 - 0,05) / 0,00005$$

$$R_1 = 399\,000\ \Omega$$

$$R_1 \cong 400\ \text{k}\Omega$$

Portanto, quando houver 20 Volts aplicados sobre a entrada, haverá 50 milivolts aplicados ao galvanômetro, e este estará no fim da escala, onde será registrada a marca correspondente a **20 Volts**.

O voltímetro deve sempre possuir a maior resistência interna possível para não interferir nas grandezas do circuito a ser medido.

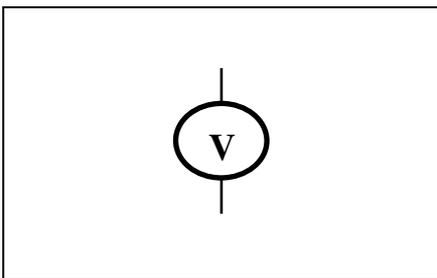


Figura 92 – Símbolo do voltímetro.

21.5 AMPERÍMETRO

É um instrumento destinado a medir corrente elétrica. Também é composto de um galvanômetro, mas, como é um componente que deve ser ligado em série com o circuito, sua bobina é de fio grosso e com pouca espiras.

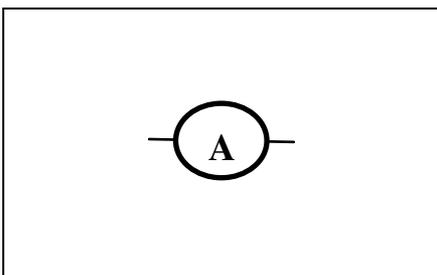


Figura 93 – Símbolo do Amperímetro.

Podemos criar um amperímetro a partir de um galvanômetro de tensão. Como a medição de corrente elétrica deve ser feita em série com o circuito, o instrumento deve possuir a mínima resistência possível. Então, um resistor de baixo valor é colocado em paralelo com a bobina do galvanômetro, sendo que a corrente que circula no resistor causa uma queda de tensão no mesmo, a qual será medida pelo galvanômetro.

Exemplo: Criar um amperímetro de 0 a 2 ampères a partir de um galvanômetro de 0 a 500 milivolt.

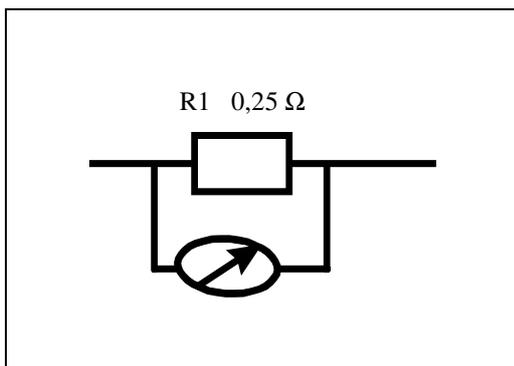


Figura 94 – Resistor para queda de tensão e alimentação do galvanômetro.

Cálculos:

$$R1 = VR1 / IR1$$

$$R1 = 0,5 / 2$$

$$R1 = 0,25 \Omega$$

Quando circular uma corrente de 2 ampères no resistor R1, haverá uma queda de tensão de 500 milivolts sobre a bobina do galvanômetro, que irá deslocar o ponteiro até o fim da escala, onde será colocado a marca de **2 ampères**.

O resistor paralelo também é chamado de resistor **Shunt**.

21.6 OHMÍMETRO

É um instrumento destinado a medir resistência elétrica. É composto por um galvanômetro de tensão, fonte de tensão e resistores de polarização.

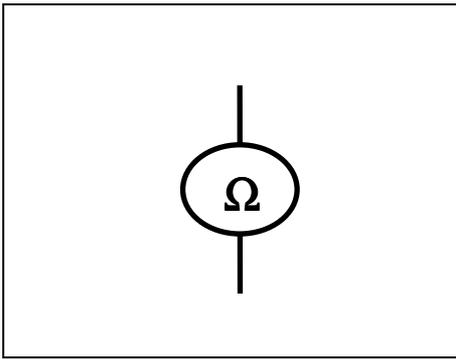


Figura 95 – Símbolo do Ohmímetro.

O circuito é formado de um divisor de tensão onde a variação de resistência provoca uma variação de tensão que é medida pelo galvanômetro.

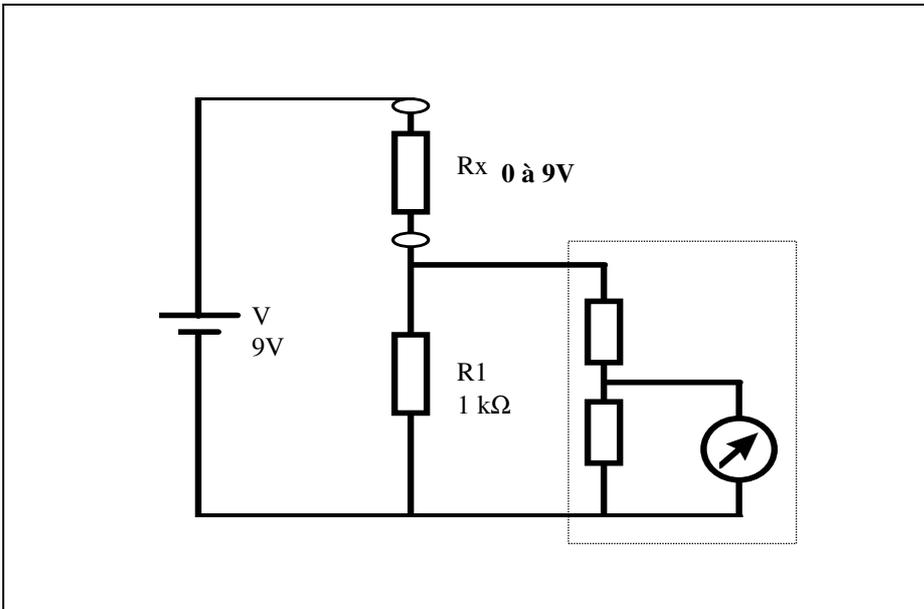


Figura 96 – Circuito básico para montagem de um ohmímetro.

Se o Rx for 0Ω , a tensão medida será 9V e o ponteiro irá para o fundo da escala, onde será marcado o ponto **0Ω**. Se o Rx for 500Ω , a tensão sobre R1 será 6V e o ponteiro irá até $2/3$ da escala, onde será marcado o ponto **500Ω**. Se Rx for $1k\Omega$, a tensão sobre R1 será 4,5V e o ponteiro irá para o meio da escala, onde será registrado o ponto **1kΩ**. Se o Rx for infinito (aberto), o ponteiro não se deslocará e será marcado o ponto ∞ .

21.7 WATTÍMETRO

É um instrumento destinado a medir potência elétrica. É formado por dois galvanômetros: um de tensão e outro de corrente elétrica. Como potência é o produto da tensão pela corrente, devemos medir a tensão e a corrente aplicada ao circuito, cada bobina executa uma função e a resultante é um campo magnético eqüivalente ao produto da tensão pela corrente. E este campo magnético irá deslocar o ponteiro proporcionalmente à potência elétrica.

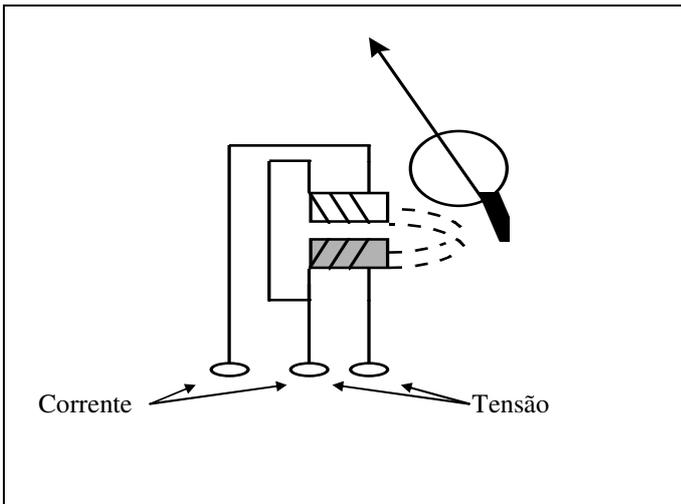


Figura 97 – Wattímetro.

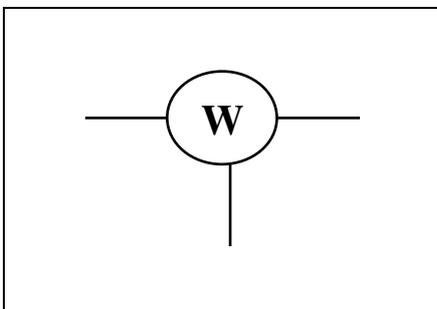


Figura 98 – Símbolo do Wattímetro.

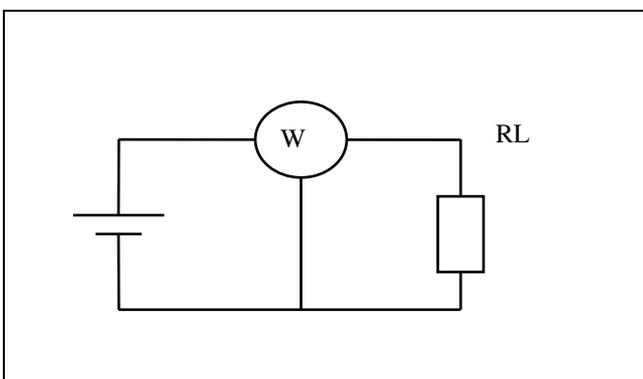


Figura 99 – Medição com Wattímetro.

21.8 FREQUÊNCÍMETRO

É um instrumento destinado a medir frequência elétrica. Seu funcionamento é diferente dos instrumentos de medida estudados anteriormente, utiliza o princípio de ressonância, isto é, várias palhetas são colocadas formando uma escala e cada palheta possui uma frequência de ressonância diferente e gradativa. Quando uma bobina alimentada pelo circuito gera um campo magnético variável, somente a palheta que possuir frequência de ressonância igual à frequência da bobina é que irá vibrar.

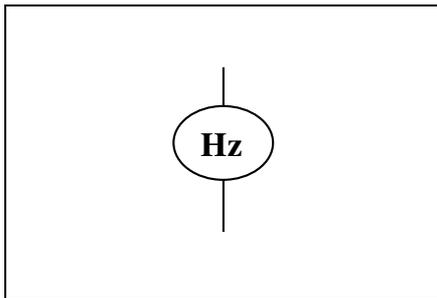


Figura 100 – Símbolo do freqüencímetro.

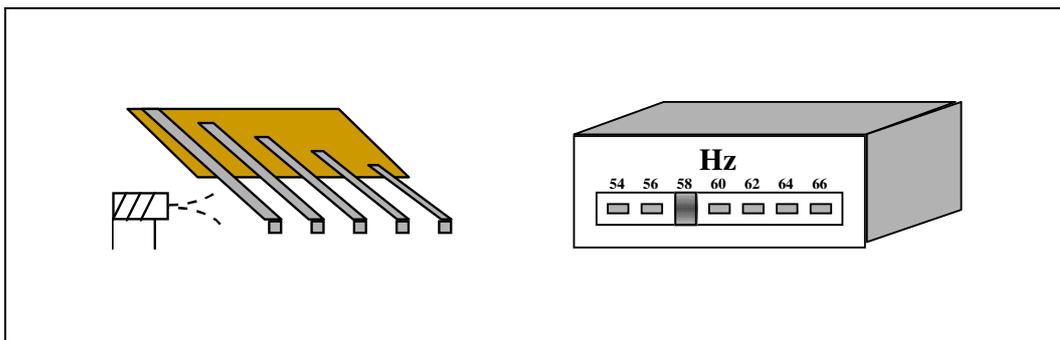


Figura 101 – Freqüencímetro.

21.9 MEDIDORES DIGITAIS

São circuitos eletrônicos que possuem uma configuração específica para medir a grandeza e expressa-la em forma de números (*display* digital).

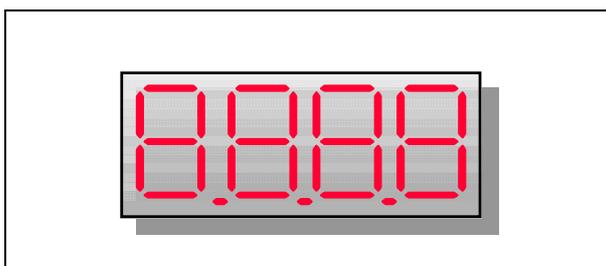


Figura 102 – Display digital.

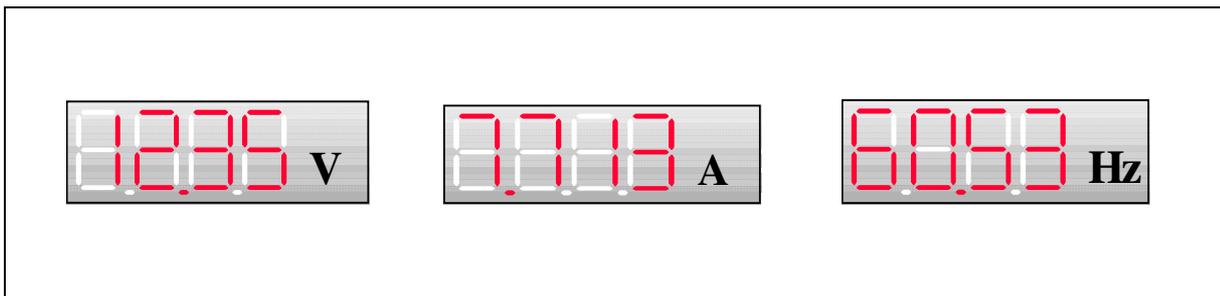


Figura 103 – Displays digitais de voltímetro, amperímetro e freqüencímetro.

Além da sensibilidade e precisão, os instrumentos digitais possuem circuitos que possibilitam pouca interferência no circuito a ser medido, porém seu custo é mais elevado.

21.10 MULTÍMETROS

São instrumentos que agregam vários outros instrumentos, sendo a seleção do tipo de instrumento e de escala feita através de uma chave seletora.

Os multímetros podem ser analógicos ou digitais, dependendo do seu sistema de leitura da medição. Os multímetros digitais podem ter outras funções agregadas como capacitímetro (mede capacitâncias), hfe (mede ganho de transistores) e outras.

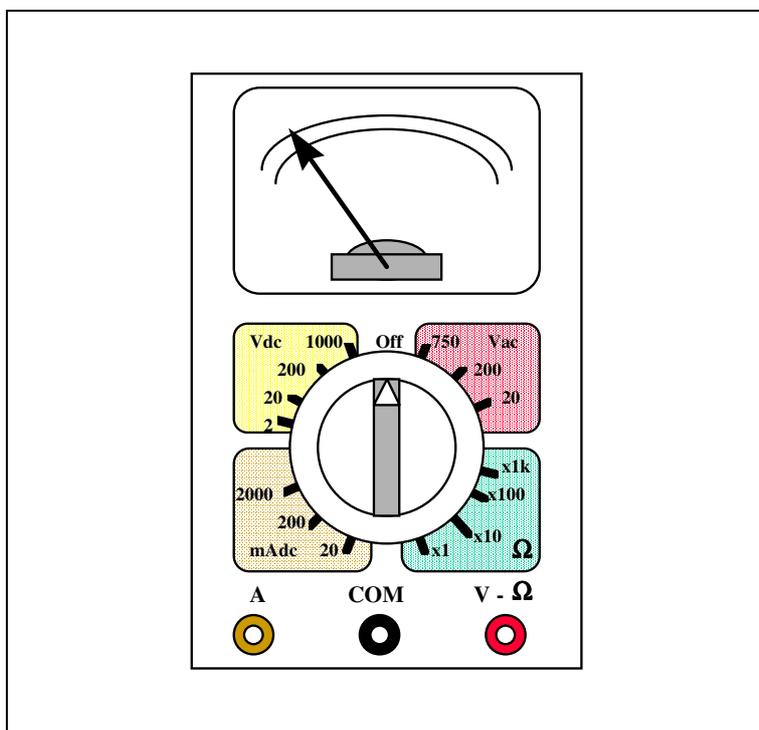


Figura 104 – Multímetro analógico.

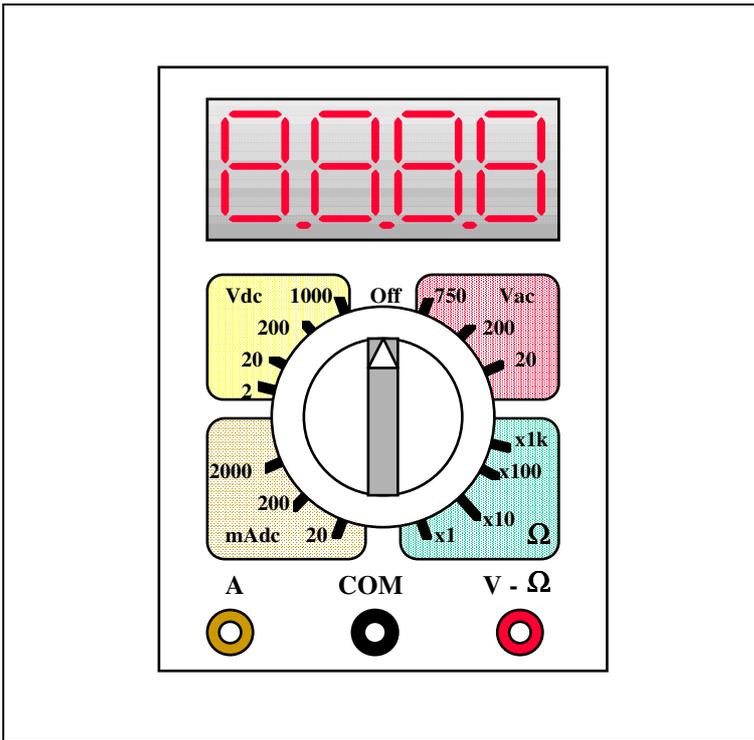


Figura 105 – Multímetro digital.

22 FONTES GERADORAS

Para que possamos usufruir da energia elétrica, transformando-a em outras formas de energia e gerando trabalho (luz, aquecimento, movimento etc.), é necessário que esta energia seja gerada e colocada à disposição. É a função das companhias de energia elétrica que, a partir de outros tipos de energia, geram (transformam) energia elétrica e a distribuem pela região, chegando até nossos lares e empresas.

Dentre as energias disponíveis na natureza, as mais utilizadas pelas usinas, para converterem-se em energia elétrica, são: energia eólica, energia térmica e energia hidráulica.

22.1 ENERGIA EÓLICA

É a energia dos ventos. Colunas com hélices são colocadas em campos onde há uma quantidade constante de ventos durante o ano, o movimento destas hélices gira uma turbina ou gerador que produz a energia elétrica. As usinas que utilizam este tipo de energia para gerar energia elétrica chamam-se **Usinas Eólicas**.

22.2 ENERGIA TÉRMICA

Através da queima de combustíveis (óleo, carvão, etc.), gera-se pressão de vapor que faz girar uma turbina, gerando energia elétrica. Este tipo de usina chama-se **Usina Termoelétrica**. No Rio Grande do Sul, destaca-se a usina termoelétrica de Candiota.

22.3 ENERGIA HIDRÁULICA

É a energia dos líquidos em movimento. É a principal fonte de energia utilizada para gerar energia elétrica, devido ao grande potencial hidrográfico do país. Consiste de

uma turbina com hélices que é mergulhada no rio, onde o movimento da água faz girar a turbina, gerando energia elétrica. As usinas que utilizam este tipo de energia são chamadas de **Usinas Hidroelétricas**. No país, destaca-se a usina hidroelétrica de Itaipú, que gera energia elétrica para as regiões Sul e Sudeste.

Todas as usinas mostradas partiram do princípio de gerar tensão elétrica, a partir do movimento de uma turbina. Vamos analisar como funciona o gerador.

22.4 GERADOR MONOFÁSICO

É uma máquina capaz de transformar energia mecânica (movimento) em energia elétrica, gerando uma forma de onda senoidal. A frequência é determinada pela rotação do gerador, a qual é controlada.

Nesta análise, imaginaremos um ímã no centro da turbina, movimentando-se com seu eixo. Na parte externa, colocaremos a bobina.

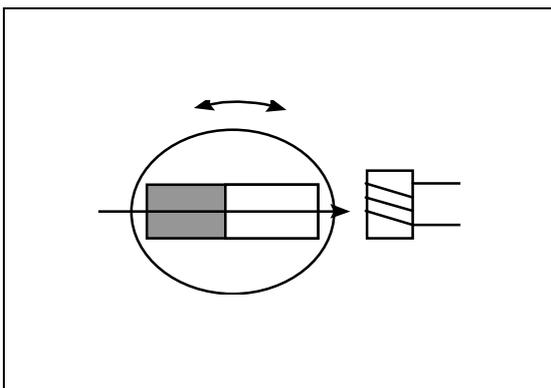
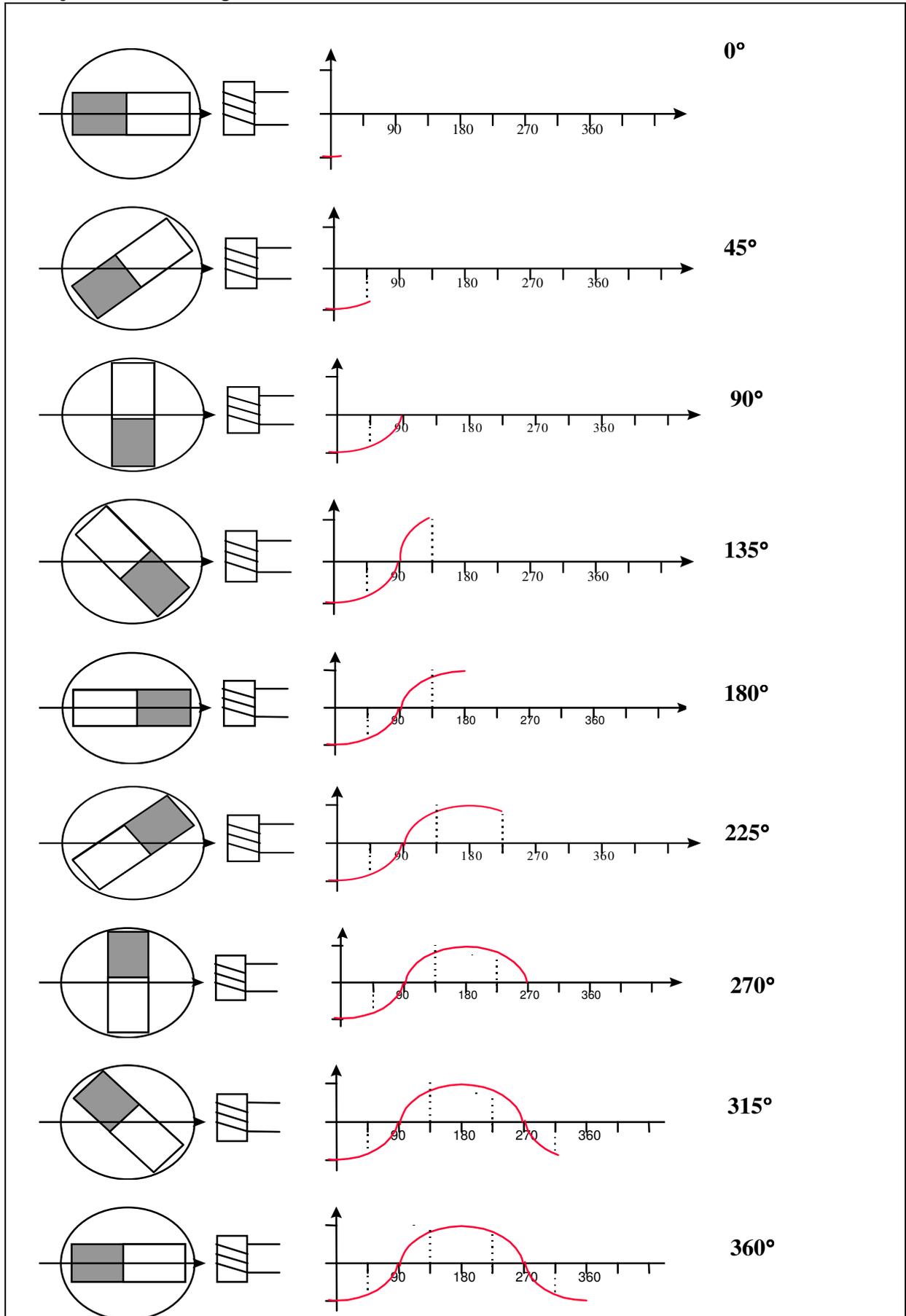


Figura 106 – Ímã fixado ao eixo da turbina.

O campo magnético do ímã irá induzir uma corrente elétrica na bobina. Esta corrente terá grandeza proporcional à proximidade do campo magnético e seu sentido será em função do campo magnético atuante (norte ou sul).

Para análise, vamos supor que, quando a bobina estiver recebendo campo magnético de um pólo norte, a tensão induzida será positiva. Se o campo magnético for sul, a tensão será negativa.

Posição inicial: o ângulo do ímã com a referência é 0° .



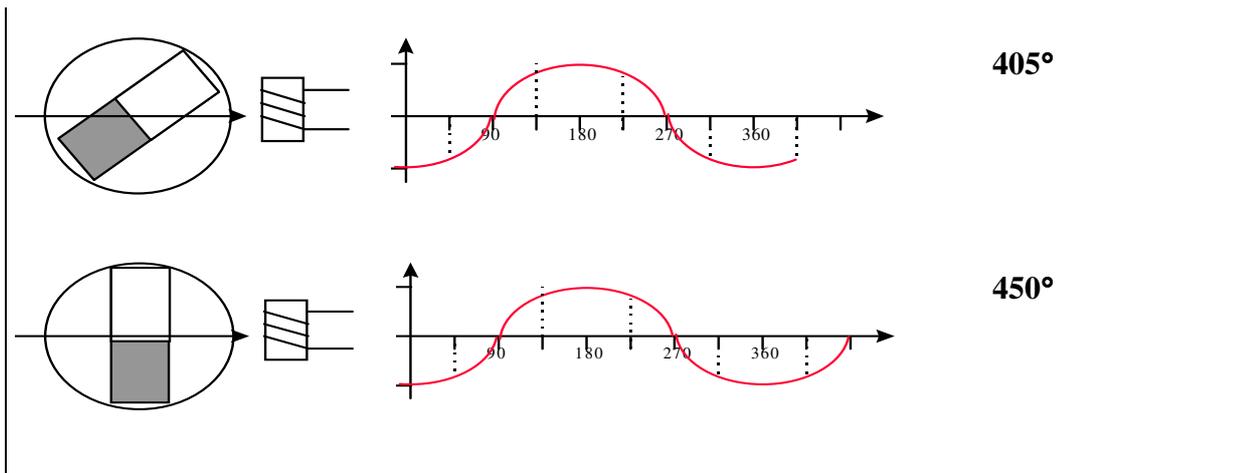


Figura 107 – Geração da corrente alternada senoidal.

E assim sucessivamente, o gerador continua criando uma forma de onda alternada que, devido à função matemática que a representa, é chamada de **Senóide**.

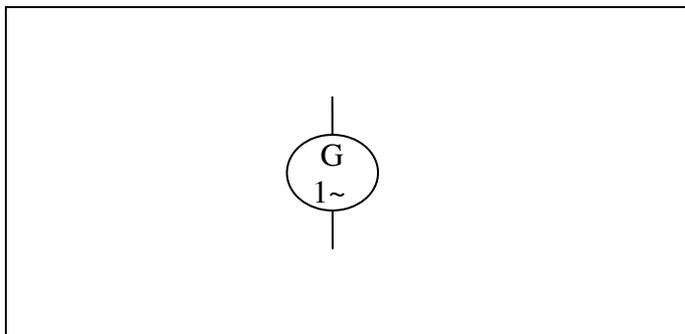


Figura 108 – Símbolo do gerador monofásico.

22.5 GERADOR TRIFÁSICO

É uma máquina capaz de transformar energia mecânica (movimento) em energia elétrica, gerando três fases alternadas, senoidais e defasadas em 120° entre si.

Consiste em três geradores monofásicos colocados na mesma carcaça, devidamente espaçados, isto é, 120° de distância entre as bobinas.

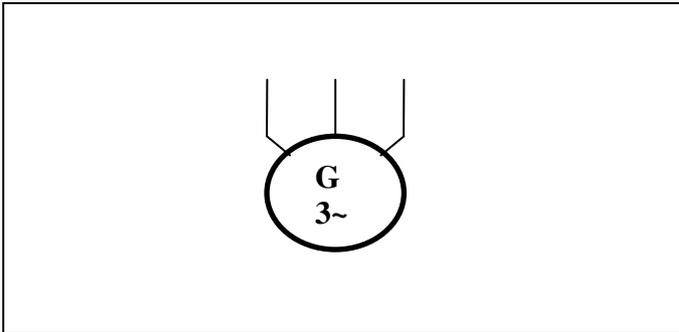


Figura 109 – Símbolo do gerador trifásico.

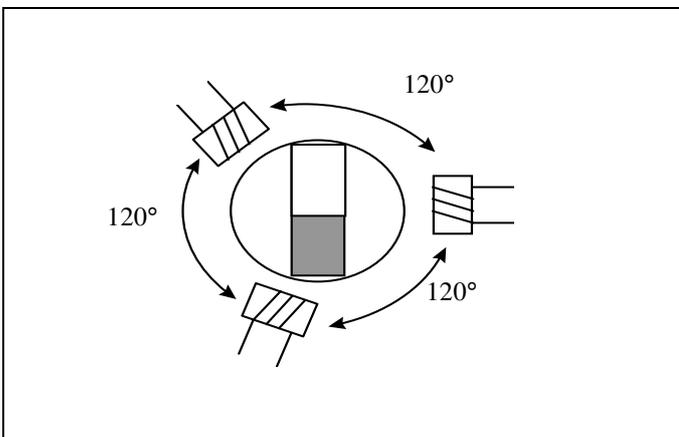


Figura 110 – Gerador trifásico.

Tudo o que acontecer com uma bobina, acontecerá com as outras bobinas, só que 120° depois.

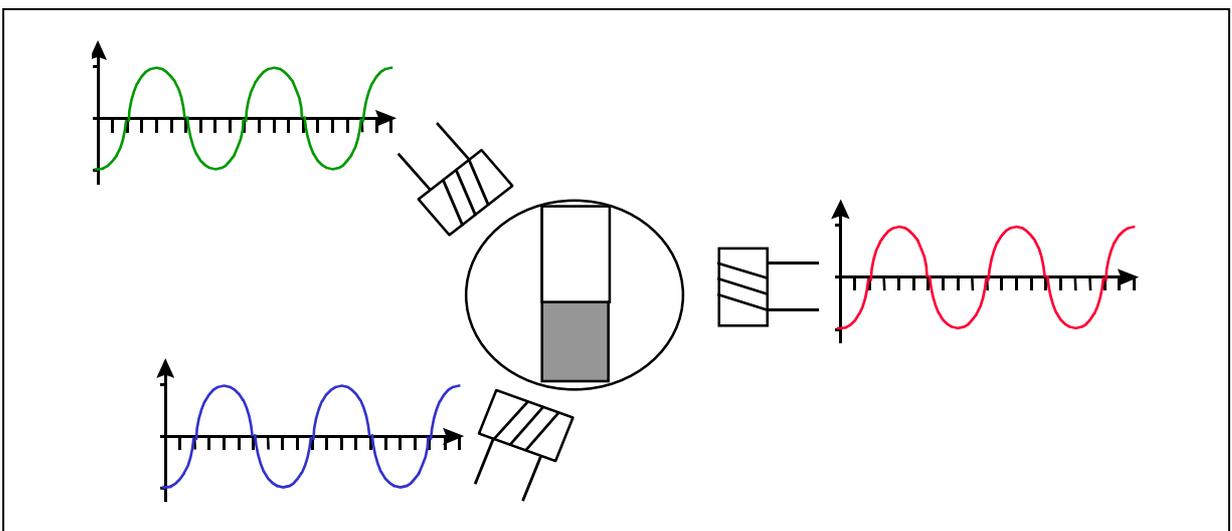


Figura 111 – Disposição das três bobinas no gerador trifásico.

Interligando as bobinas, as formas de onda passam para a mesma referência de tempo, logo a defasagem torna-se evidenciada.

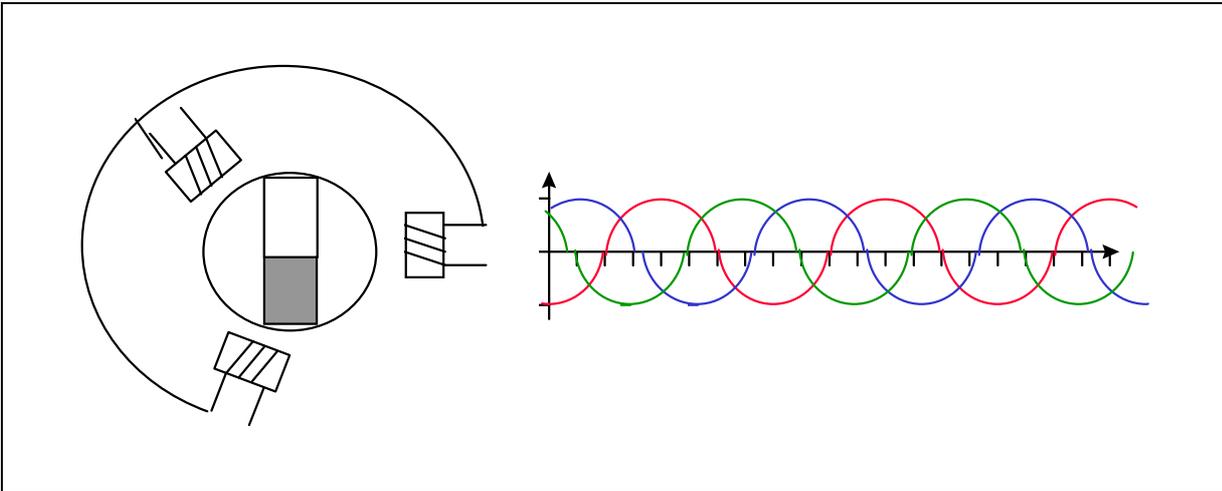


Figura 112 – Defasagem das três fases geradas.

Como há defasagem entre as fases, a tensão medida entre as mesmas não é a soma aritmética, o que resultaria em uma tensão um pouco maior. A tensão resultante é uma soma geométrica. Vejamos como ela pode ser definida:

22.5.1 Ligação em Estrela

O gerador pode ser ligado em estrela ou triângulo.

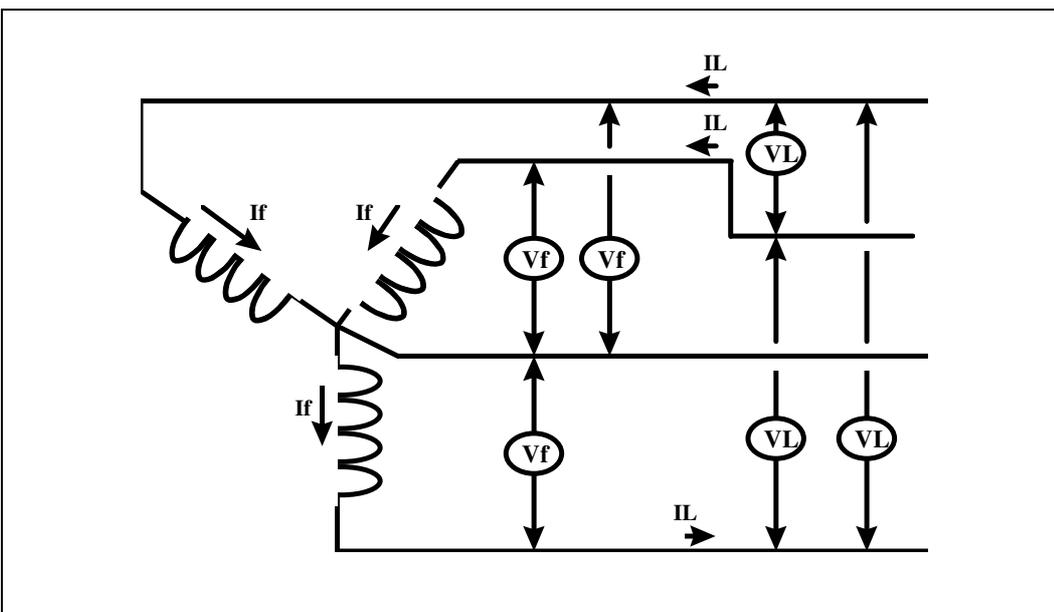


Figura 113 – Relação entre os potenciais elétricos da ligação estrela.

- V_f corresponde a Tensão de Fase, é a tensão que a bobina irá gerar.
- V_L corresponde a Tensão de Linha, é a tensão que será fornecida pelo circuito.
- I_f corresponde a Corrente de Fase, é a corrente gerada na bobina.
- I_L corresponde a Corrente de Linha, é a corrente drenada pelas cargas.

Em ligação estrela, a corrente de linha é igual à corrente de fase, mas a tensão de linha corresponde à seguinte relação: $V_L = V_f \cdot \sqrt{3}$

22.5.2 Ligação em Triângulo

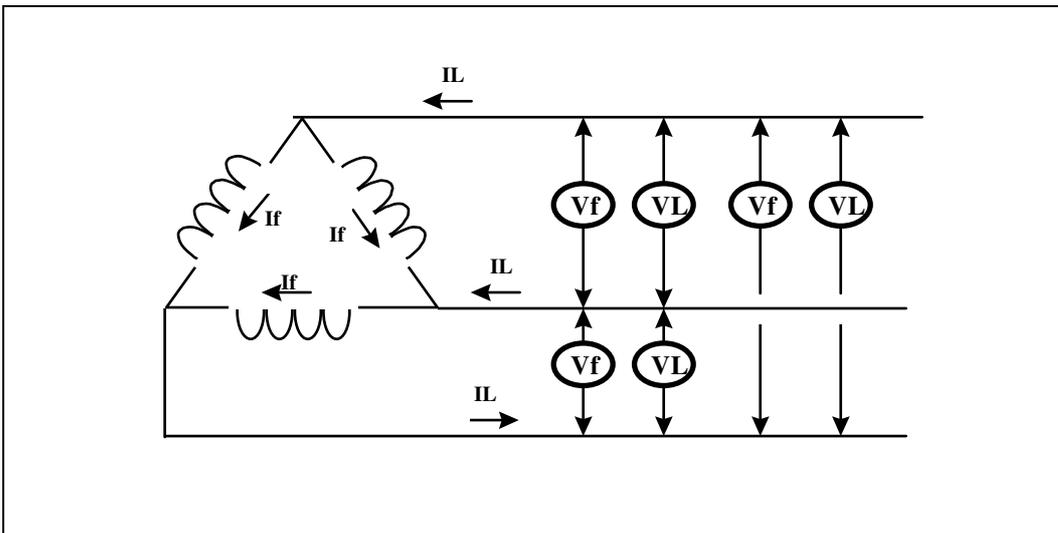


Figura 114 – Relação entre os potenciais elétricos da ligação triângulo.

Neste tipo de ligação, a tensão de fase é igual à tensão de linha, porém a corrente de linha corresponde à corrente de fase vezes $\sqrt{3}$.

Estrela:	$I_L = I_f$ $V_L = V_f \cdot \sqrt{3}$
----------	---

Triângulo:	$V_L = V_f$ $I_L = I_f \cdot \sqrt{3}$
------------	---

22.6 POTÊNCIA EM SISTEMAS TRIFÁSICOS:

No sistema trifásico, a potência de cada fase será $P_f = V_f \cdot I_f$, como se fosse um sistema monofásico independente. A potência total será a soma das potências da três fases, ou seja:

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot V_f \cdot I_f$$

Para ligação em triângulo, $V = V_f$ e $I = I_f \cdot \sqrt{3}$ e para ligação em estrela, $V = V_f \cdot \sqrt{3}$ e $I = I_f$. Então teremos para qualquer caso,

$$P_f = V_f \cdot I_f \cdot \sqrt{3} \quad \text{ou} \quad P_f = V_f \cdot I_f \cdot 1,732$$

23 TRANSFORMADORES

São máquinas que transformam tensão ou corrente elétrica em níveis de grandeza diferentes, para aplicações específicas. Em princípio não há uma transformação de energia, apenas mudanças nos valores de tensão e/ou corrente, porém há perdas, e a energia resultante torna-se menor que a energia inicial.

Exemplo: Comprei um refrigerador com tensão de trabalho de 110V, mas onde moro a rede elétrica é de 220V? A solução é um transformador com entrada 220V e saída 110V.

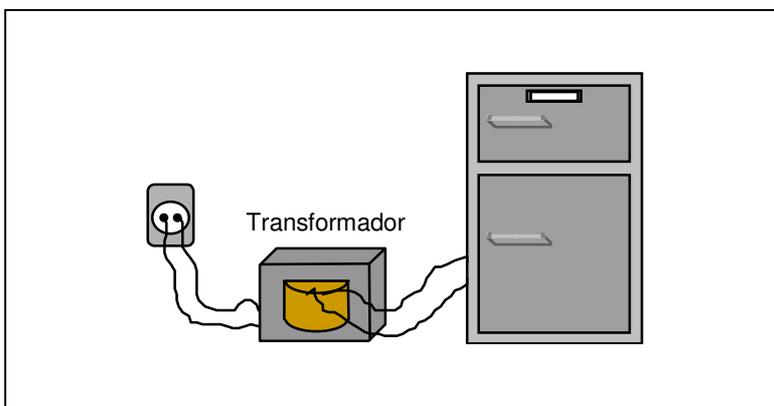


Figura 115 – Ilustração da alimentação através de um transformador.

Mas vejamos como isto ocorre:

TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

Um transformador é composto de, no mínimo, uma bobina primária e outra bobina secundária. Quando alimentamos a bobina primária com uma tensão elétrica, esta gera um campo magnético que irá interferir na bobina secundária, induzindo uma corrente elétrica nesta, ocasionado o surgimento de uma tensão elétrica na bobina do secundário.

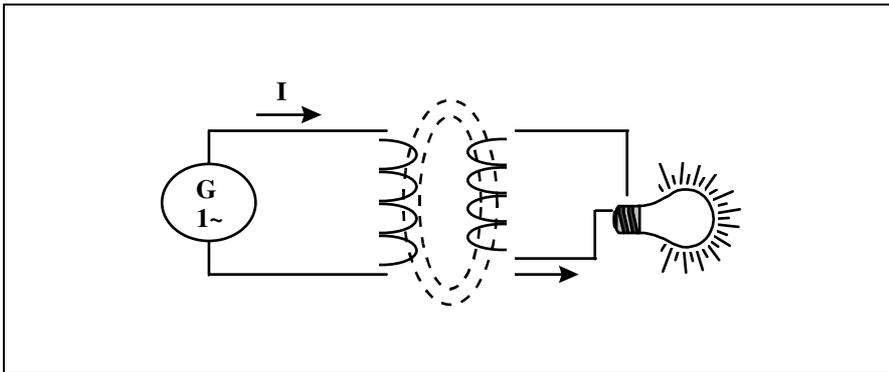


Figura 116 – Indução da corrente elétrica.

Porém, para haver corrente induzida, é necessário que a espira do secundário corte linhas de força diferentes. Como o transformador não é móvel, é necessário que o campo magnético seja variável, portanto, um transformador só funciona com **corrente alternada**.

Sabemos que o campo magnético de uma bobina é diretamente proporcional à tensão aplicada e ao número de espiras que a compõe. Assim também uma bobina que está sendo induzida terá sua corrente induzida diretamente proporcional ao campo magnético ao qual está exposta e ao número de espiras que a compõe. Daí surge a seguinte expressão:

$$\frac{V_{\text{primário}}}{V_{\text{secundário}}} = \frac{N^{\circ} \text{ espiras primário}}{N^{\circ} \text{ espiras secundário}}$$

Isto resulta na relação de transformação: se um transformador é composto de 600 espiras no primário e 60 espiras no secundário, terá uma relação de 10:1 (reduzidor). Isto quer dizer que a tensão injetada no primário será reduzida em 10 vezes no secundário.

Sabemos que o transformador não transforma energia, portanto, a potência elétrica do primário, desprezando as perdas, será igual à potência do secundário.

$$P \text{ primário} = P \text{ secundário}$$

Em termos de tensão e corrente, isto quer dizer que:

$$V \text{ primário} \cdot I \text{ primário} = V \text{ secundário} \cdot I \text{ secundário}$$

No exemplo anterior, tínhamos um transformador com relação 10:1 (600 Ep : 60 Es), se o primário tinha uma capacidade de drenar 2 A, o secundário terá uma capacidade de fornecer 10 vezes esta corrente (20 A) .

Vejamos outro exemplo:

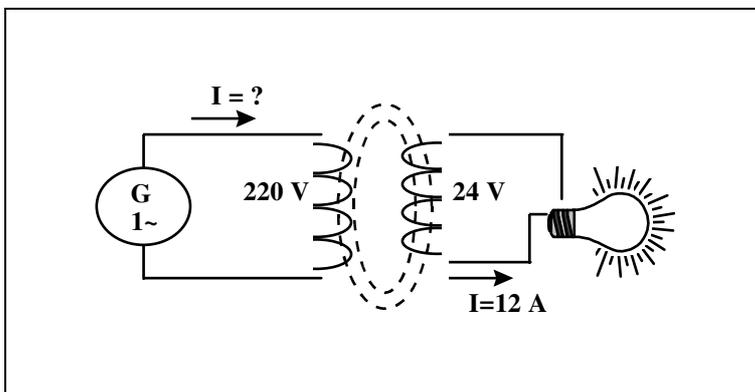


Figura 117 – Circuito para o cálculo.

Cálculos:

$$P_p = P_s$$

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

$$220 \cdot I_p = 24 \cdot 12$$

$$I_p = 288 / 220$$

$$I_p = 1,3 \text{ A}$$

Isto porque

$$P_p = P_s$$

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

$$220 \cdot 1,3 = 24 \cdot 12$$

$$288 \text{ W} = 288 \text{ W}$$

Para melhor condução magnética do campo do primário para o campo do secundário, utiliza-se lâminas de material ferroso como núcleo.

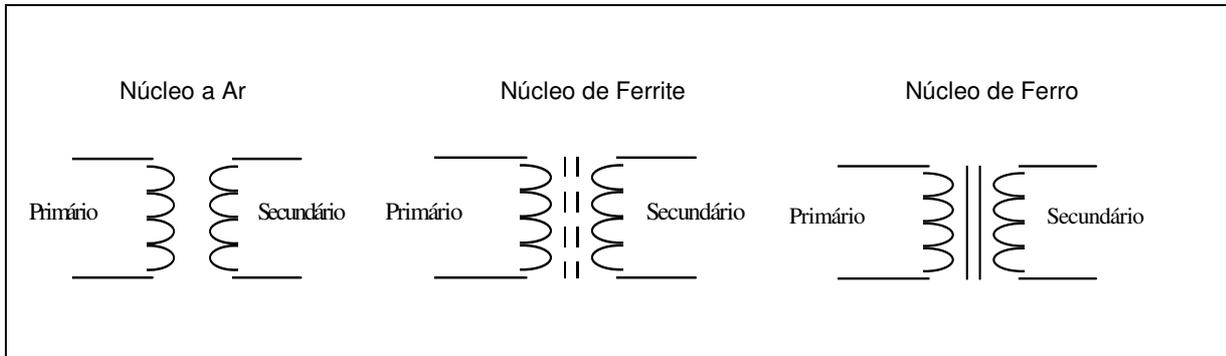


Figura 118 – Simbologia dos transformadores.

Quanto à forma de onda, acontece uma inversão do sinal do primário, devido à transmissão por campo magnético (defasagem 90° corrente e campo).

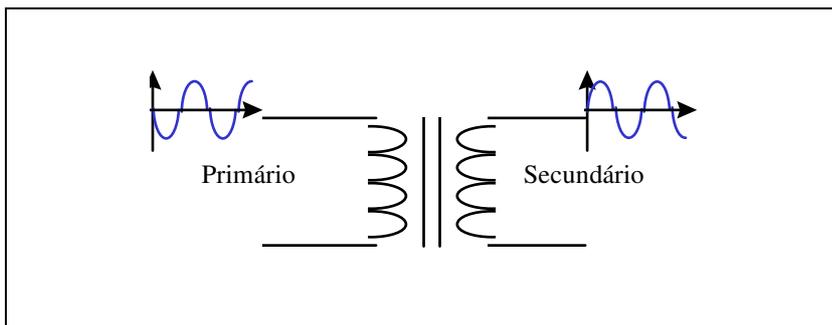
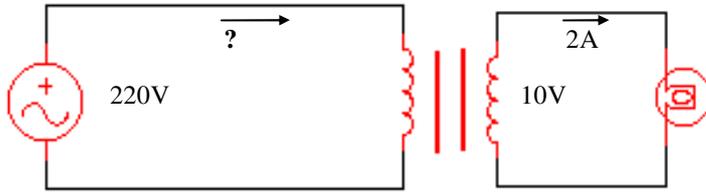


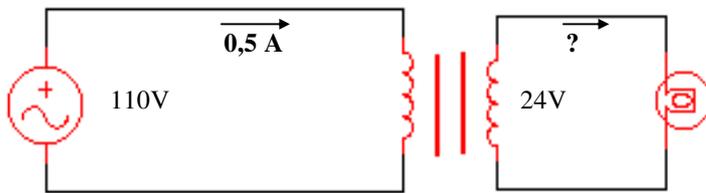
Figura 119 – Relação de fase entre as bobinas de um transformador.

EXERCÍCIOS 3

a) Calcule a corrente do primário.



a) Calcule a corrente do secundário.



23.1.1 Transformadores com mais de uma Bobina no Primário e no Secundário

Os transformadores podem ter várias bobinas no primário e no secundário, visto que o campo magnético está concentrado no mesmo núcleo.

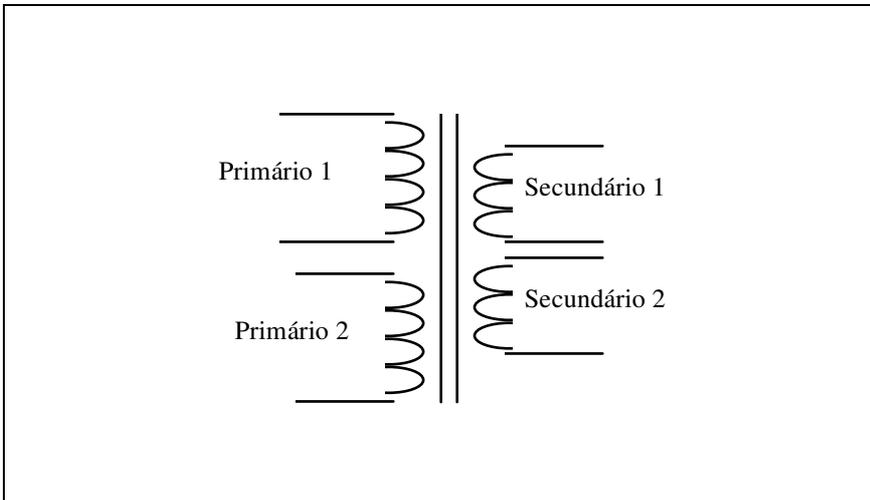


Figura 120 – Transformador com mais de uma bobina no primário e no secundário.

Inclusive a bobina pode ter derivação, neste caso chamamos de *Tape Center*.

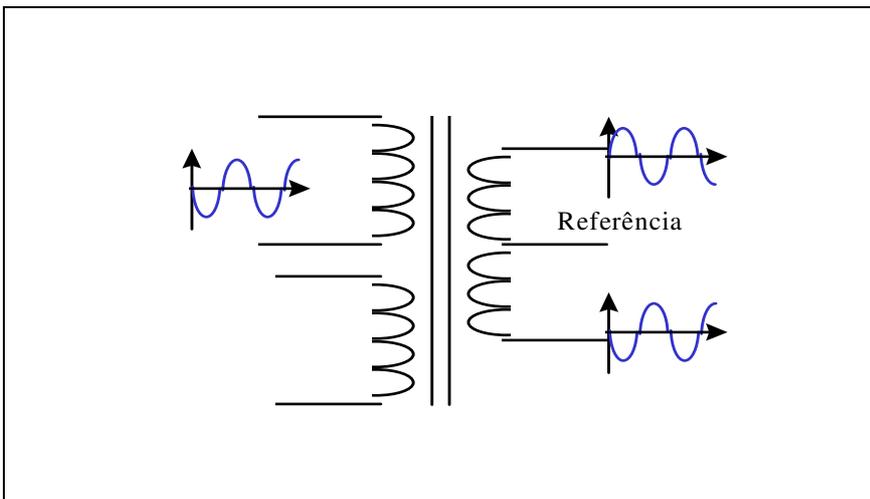


Figura 121 – Transformador com *tape center*.

Tomando como referência o *tape center*, as formas de onda de cada extremidade ficam defasadas em 180°.

23.2 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Um transformador trifásico é composto de três bobinas primárias e três bobinas secundárias. Cada bobina do primário é enrolada com sua respectiva bobina do secundário no mesmo núcleo. O primário pode ser ligado tanto em estrela quanto triângulo, assim como o secundário, independentemente.

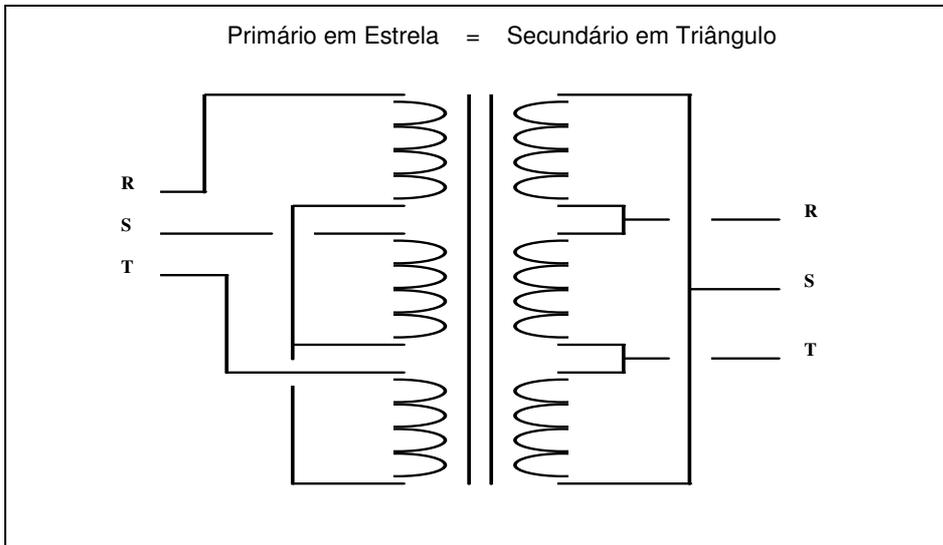


Figura 122 – Transformador trifásico.

Um transformador trifásico possui duas tensões de entrada e duas tensões de saída, dependendo da ligação que se faça.

23.3 AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO

São transformadores trifásicos que possuem as bobinas de primário e secundário interligadas em um ponto em comum, sendo a bobina de secundário com *tapes* para escolha de tensão. Normalmente, os *tapes* são de 50%, 65% e 80%.

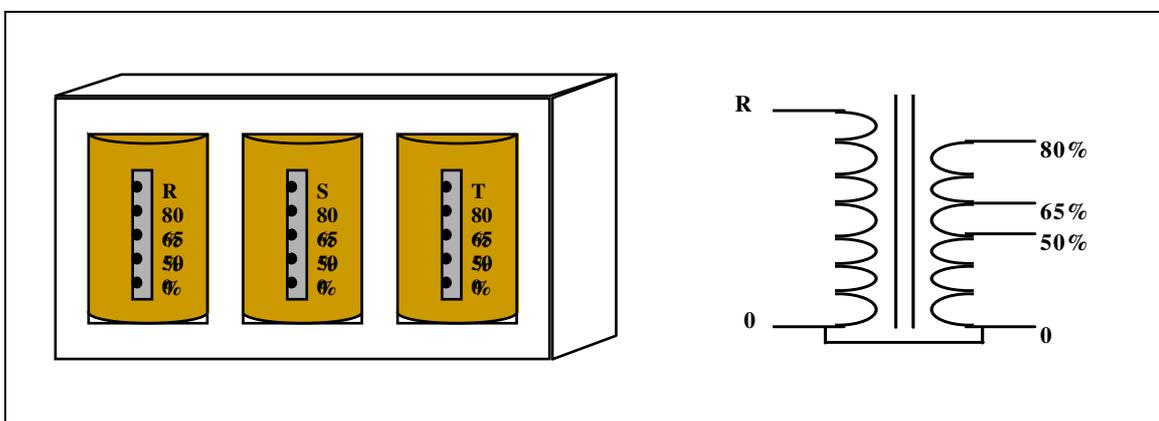


Figura 123 – Autotransformador trifásico.

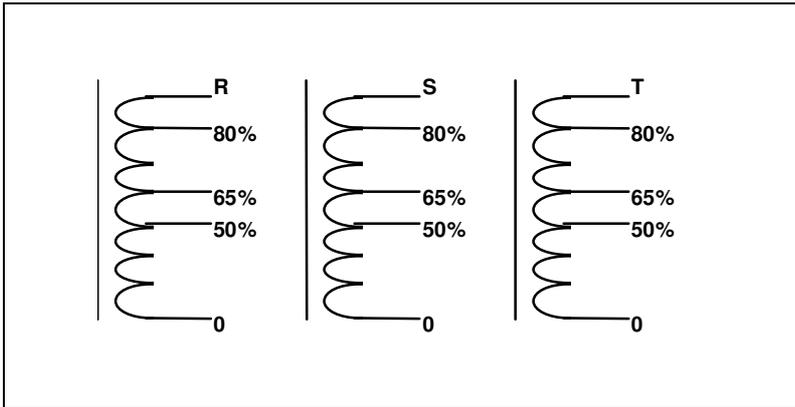


Figura 124 – Símbolo do autotransformador trifásico.

Exemplo de ligação:

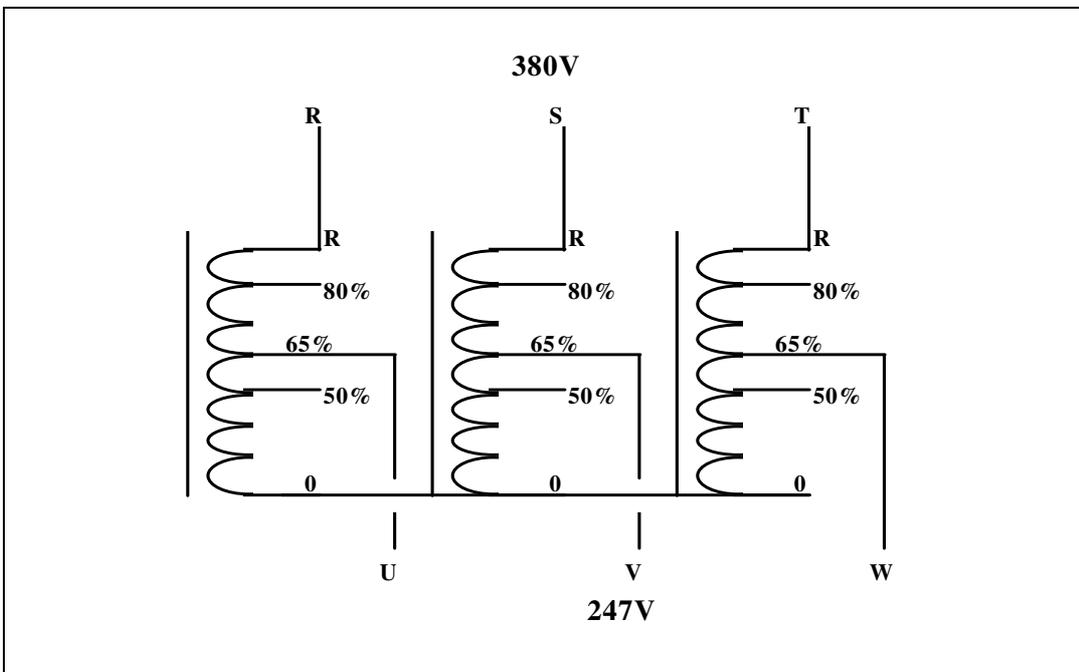


Figura 125 – Exemplo de ligação do autotransformador trifásico.

Os autotransformadores trifásicos são muito utilizados em partida de motores, assunto a ser estudado na Eletricidade Industrial.

24 MOTOR ELÉTRICO DE CORRENTE ALTERNADA

MOTOR ELÉTRICO: É uma máquina capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica (movimento).

É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando - com sua construção simples, custo reduzido e grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos.

Os tipos mais comuns são:

24.1 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

São os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada.

24.2 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

São motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta corrente alternada em corrente contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito alto da instalação.

Faremos um estudo básico dos motores de corrente alternada e trataremos mais detalhadamente dos motores monofásicos e trifásicos.

24.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR CA

Para análise do motor CA, imagine a seguinte situação: um aro metálico que possui movimento de giro livre e, no centro deste sistema, um ímã também com giro livre. Nas bordas opostas do aro, são colocados outros dois ímãs com polaridades opostas.

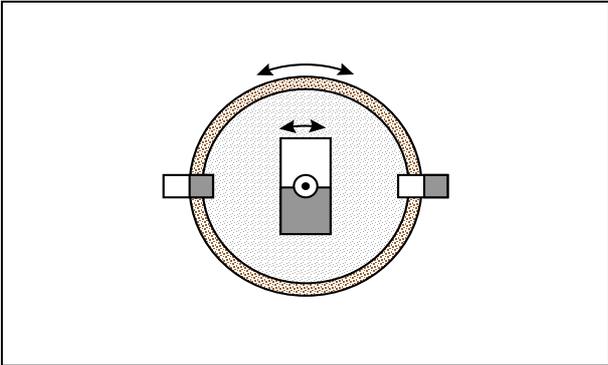


Figura 126 – Modelo didático para o funcionamento do motor C.A..

No primeiro instante, os campos dos ímãs presos ao aro atrairão o ímã central para que se oriente. Quando giramos o aro para um dos lados, o ímã central também irá girar, tentando acompanhar o giro do aro.

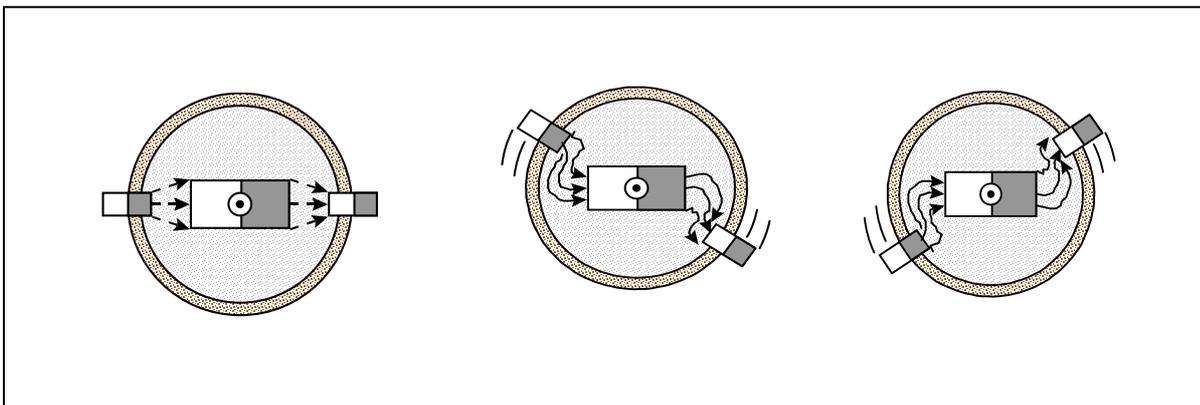


Figura 127 – Momentos de funcionamento do motor C.A..

Portanto, basta ter um campo magnético girante que o elemento móvel no centro irá acompanhar o movimento deste campo.

O motor elétrico é formado por uma parte fixa, chamada **estator**, e uma parte móvel, chamada **rotor**.

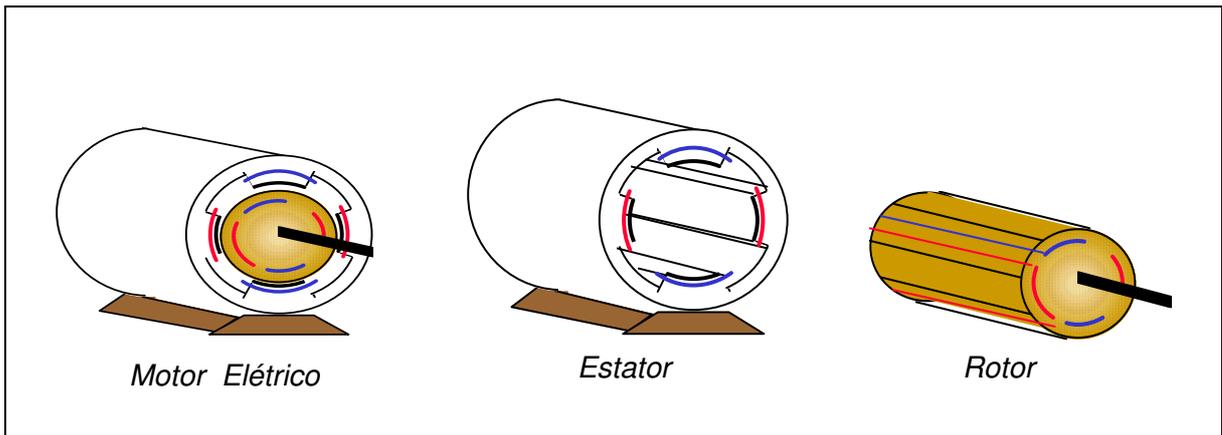


Figura 128 – Motor elétrico e suas partes.

Para formar um campo magnético no rotor, basta circular uma corrente na bobina do mesmo. Esta corrente irá produzir um campo magnético que se comportará como o ímã no centro do sistema.

Para a corrente circular na bobina do rotor, existem duas maneiras:

Polarização Externa: para polarizar externamente o rotor é necessário que haja escovas e anéis coletores, pois o rotor é móvel.

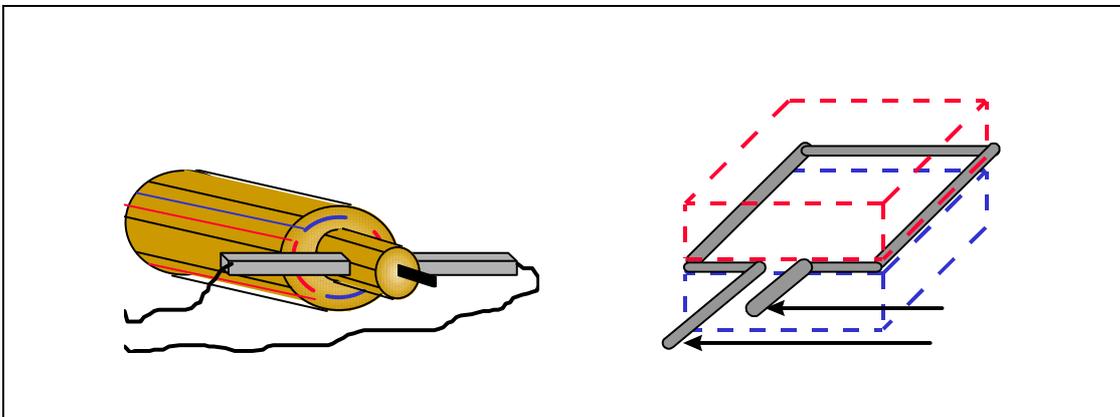


Figura 129 – Polarização externa.

Corrente Induzida: neste caso, o próprio campo magnético do estator (polarizado pela rede) induz uma corrente na bobina do rotor. Para tanto, é necessário que esta bobina seja um circuito fechado, por isso este motor também é chamado de “rotor em curto” ou “gaiola de esquilo”.

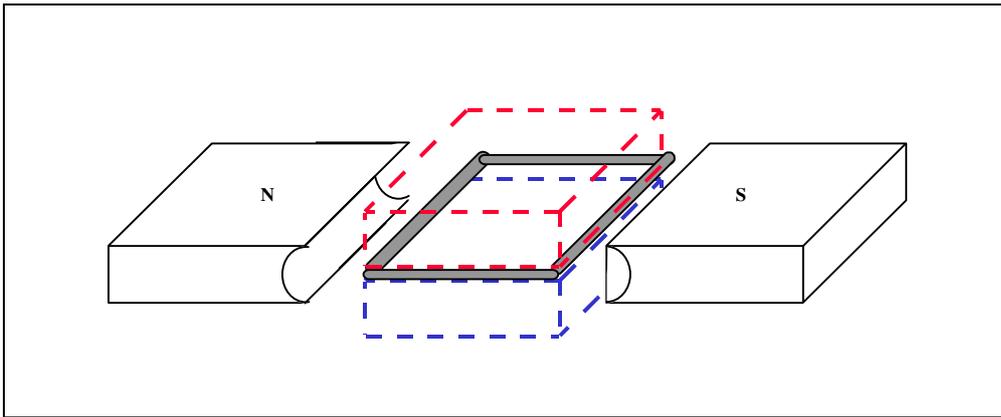


Figura 130 – Corrente induzida.

Já possuímos um campo magnético no rotor, falta o campo magnético girante!

24.3.1 Análise do motor de 2 pólos

No estator, parte fixa, são colocadas as bobinas. O motor de 2 pólos magnéticos possui 2 bobinas no estator assim distribuídas.

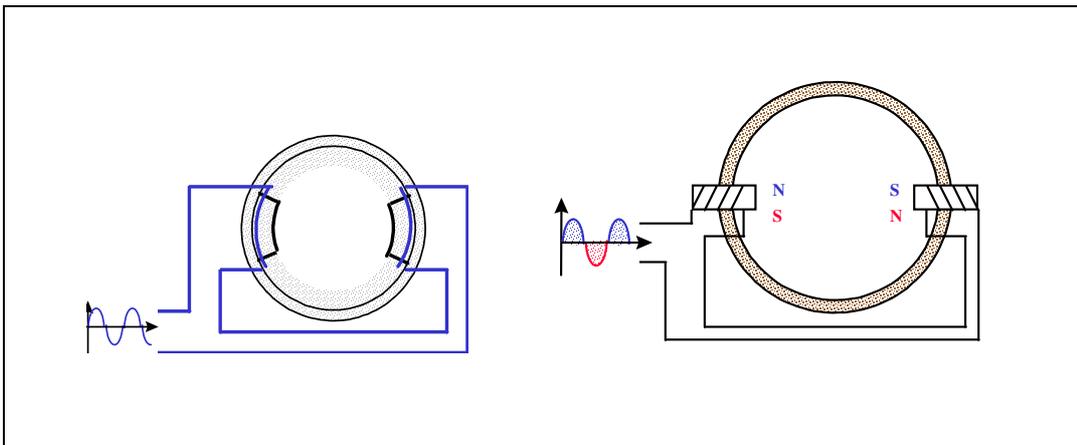


Figura 131 – Distribuição das duas bobinas no estator.

À medida em que a alimentação alterna-se, os campos magnéticos também se alternam, tornando o campo magnético girante.

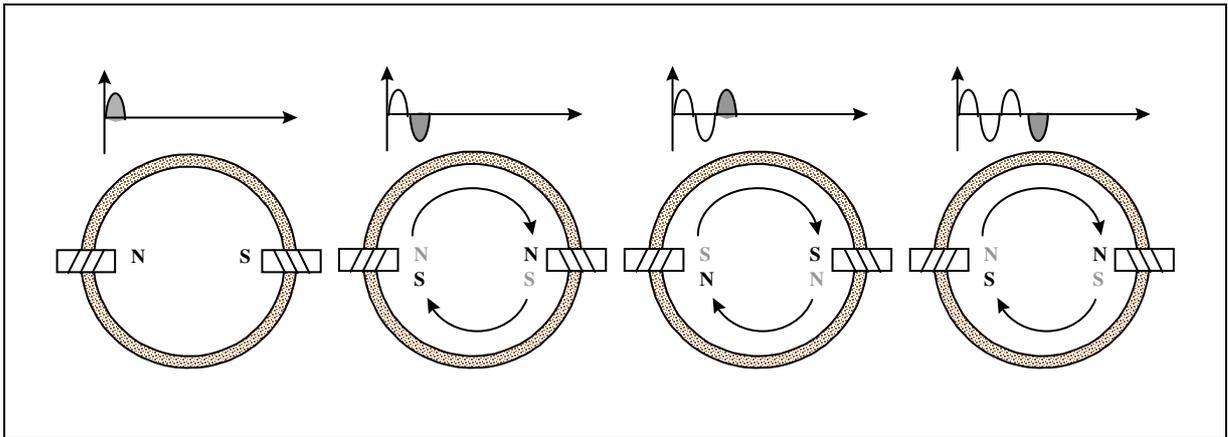


Figura 132 – Campo magnético girante do motor de dois pólos.

Note que foi necessário 1 ciclo de CA para que o campo magnético desse 1 giro completo (360°). A CA é de 60 Hz, 60 ciclos por segundo, em 1 minuto haverá:

$$\begin{array}{rcl}
 60 \text{ ciclos} & \times & 60 \text{ segundos} \\
 \times & & \times \\
 \hline
 & & 1 \text{ segundo}
 \end{array}$$

O resultado é igual a 3600 ciclos, então o campo magnético girante dará 3600 giros por minuto. Como o rotor irá acompanhar o estator (sistema aro/ímã), o rotor irá dar 3600 giros por minuto ou 3600 rotações por minuto ou ainda **3600 rpm**.

24.3.2 Análise do motor de 4 pólos

Neste motor, o estator possui 4 bobinas interligadas de modo a gerar campos magnéticos com sentidos orientados.

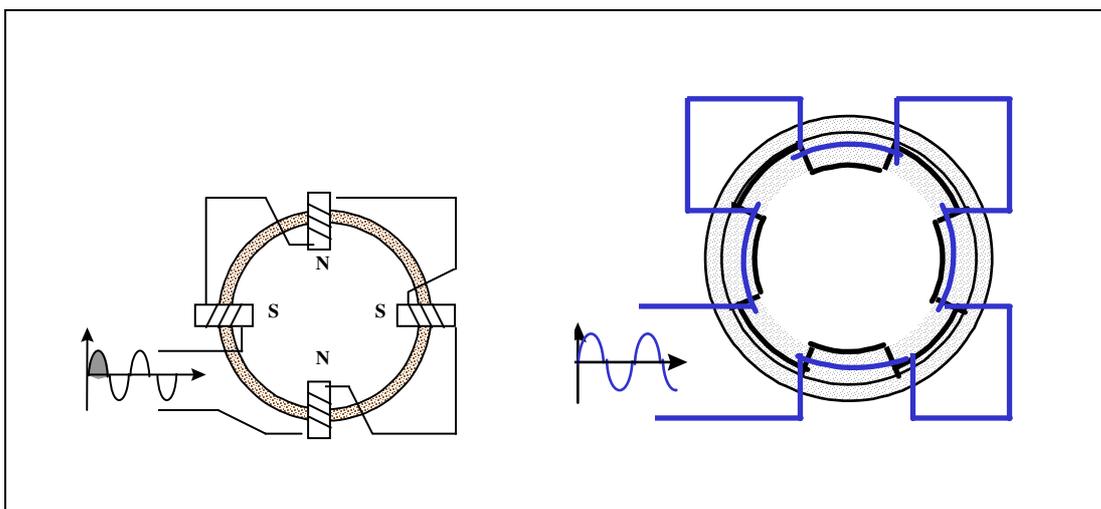


Figura 133 – Distribuição das quatro bobinas no estator.

Analisando os semiciclos da CA, consideramos que, ao mudar a polaridade elétrica, também há uma mudança na polaridade magnética.

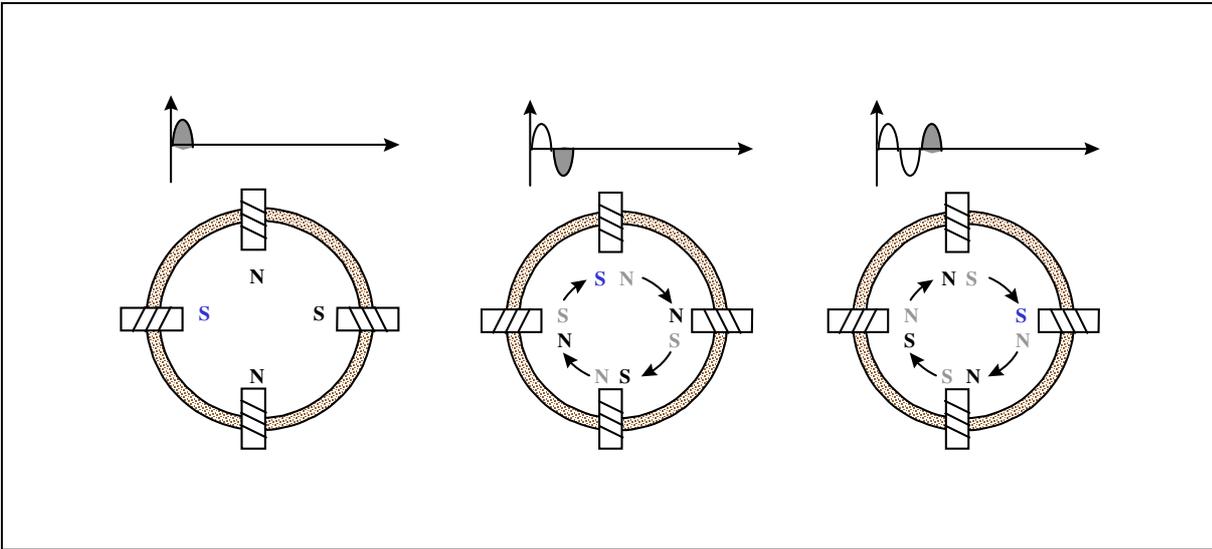


Figura 134 – Mudança na polaridade magnética.

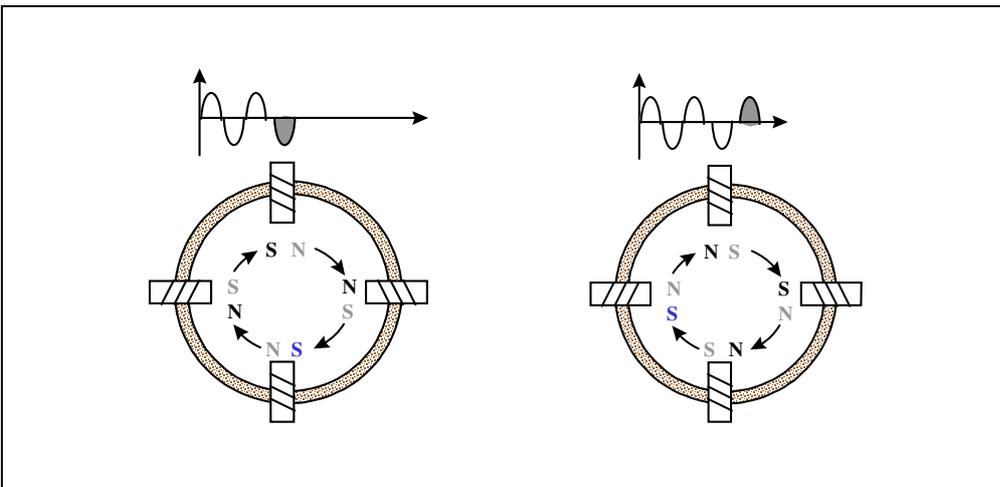


Figura 135 – Campo magnético girante do motor de quatro pólos.

Note que foi necessário 2 ciclos de CA para que o campo magnético desse um giro completo. Em 1 segundo, há 60 ciclos de CA, mas somente 30 giros do campo magnético:

$$\begin{array}{ccc}
 30 \text{ ciclos} & \times & 1 \text{ segundo} \\
 X & & 60 \text{ segundos}
 \end{array}$$

O resultado é igual a 1800 giros por minuto. Portanto, um motor elétrico com 4 pólos magnéticos terá uma velocidade de 1800 rotações por minuto ou **1800 rpm**.

24.4 MOTOR SÍNCRONO

O rotor irá acompanhar a velocidade do campo magnético do estator. Se o rotor possuir uma alimentação externa, então o campo magnético deste não dependerá do campo magnético do estator e irá girar na mesma velocidade.

Este tipo de motor é caracterizado pela alimentação externa do rotor (escovas e anéis coletores).

24.5 MOTOR ASSÍNCRONO

Neste tipo de motor, o campo magnético do rotor é induzido pelo campo magnético do estator. Mas, para haver corrente induzida, deverá haver corte de linhas de força pelas espiras do rotor.

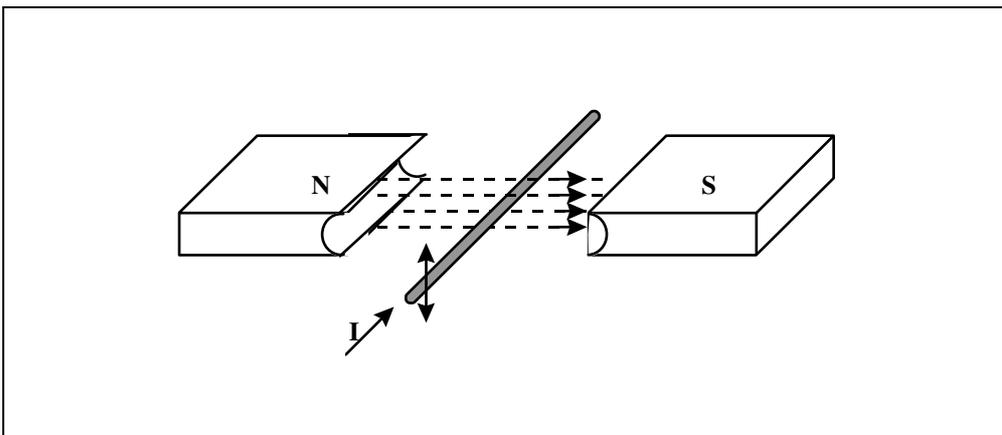


Figura 136 – Espira sendo cortada pelas linhas de força.

Se o rotor se movimentar na mesma velocidade que o estator, não haverá corte de linhas de força, portanto, o rotor terá uma velocidade ligeiramente menor que a velocidade do campo magnético girante (ex.: estator = 1800 RPM , rotor = 1750 rpm).

Motor Síncrono: A velocidade do rotor é **igual** à velocidade do estator.

Motor Assíncrono: A velocidade do rotor é **menor** que a velocidade do estator.

24.6 MOTOR ELÉTRICO INDUSTRIAL ASSÍNCRONO MONOFÁSICO

É composto por bobinado de trabalho, bobinado de partida, interruptor centrífugo e capacitor de partida.

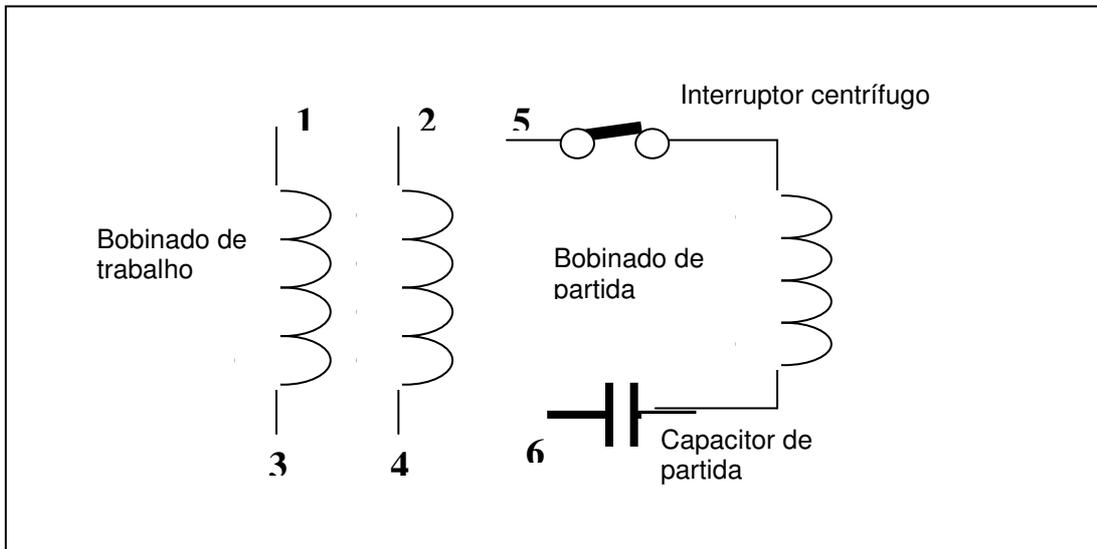


Figura 137 – Bobinados do motor elétrico industrial assíncrono monofásico.

Vimos em análise anterior o funcionamento de um motor monofásico, mas na prática há um problema que dificulta a partida do motor. É quando a espira do rotor se encontra perpendicular às linhas de força do estator.

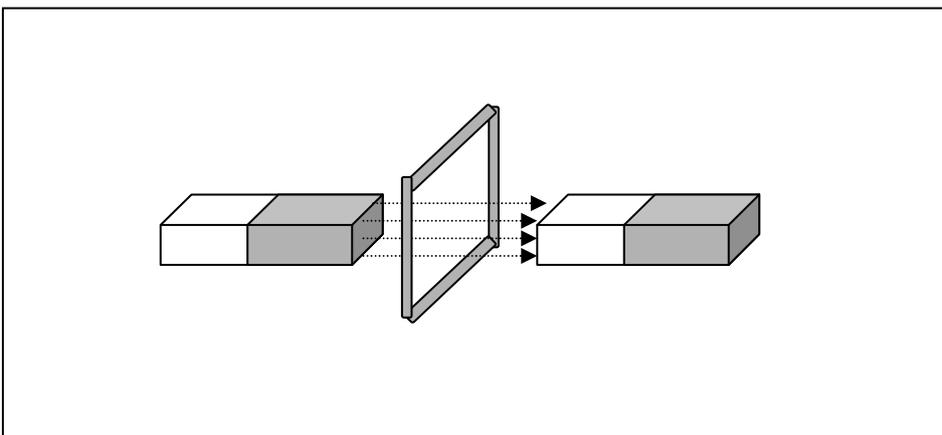


Figura 138 – Espira perpendicular às linhas de força.

Neste caso, não há espira sendo cortada por campo magnético, logo, não há corrente induzida.

Para resolver este problema, é inserida um bobinado de partida na posição perpendicular.

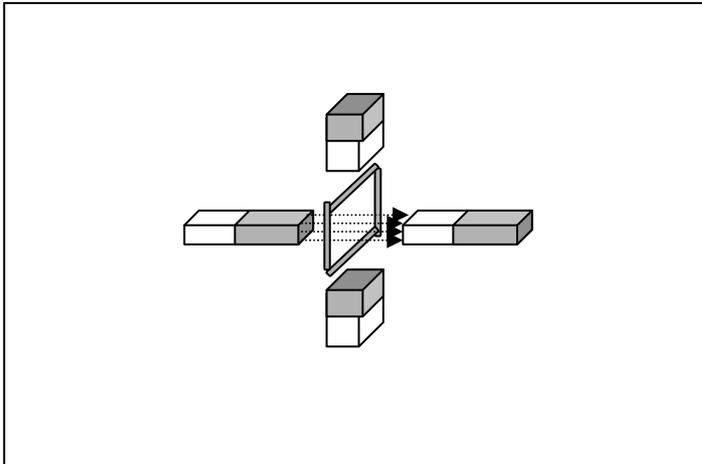


Figura 139 – Inserção do bobinado de partida na posição perpendicular.

Para tanto, também é necessário que a tensão em cima deste bobinado possua um sinal defasado em relação ao bobinado de trabalho. É colocado, então, um capacitor com a função de provocar um atraso na tensão elétrica, e, devidamente projetado, este atraso é de 90° .

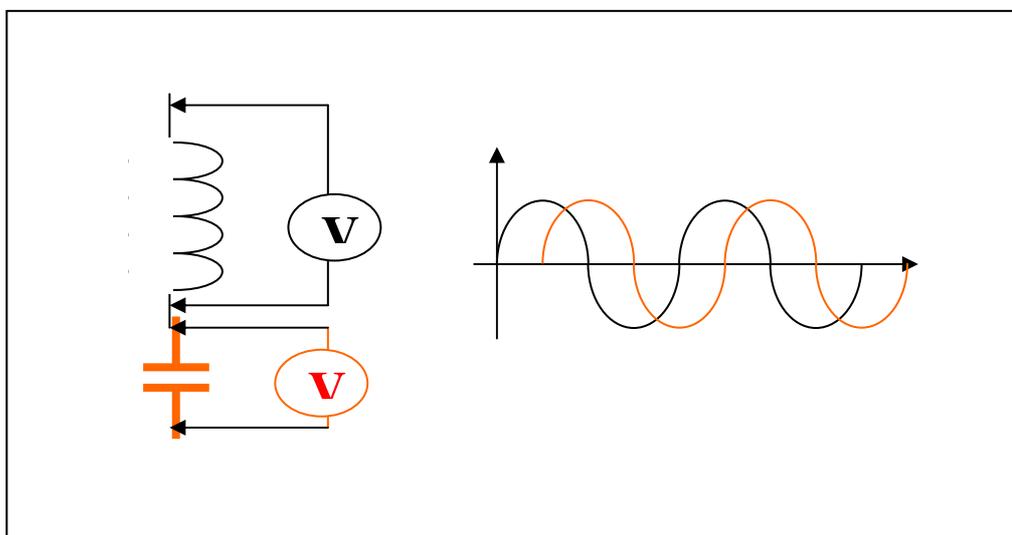


Figura 140 – Defasagem dos sinais provocada pela colocação de um capacitor.

Com a inserção desta bobina de partida, há um acréscimo no número de pólos, provocando mais potência para partida, mas reduzindo a velocidade. É inserido,

então, um interruptor centrífugo para abrir o circuito de partida quando o motor atingir aproximadamente 75% da sua rotação nominal. Interruptor centrífugo é um interruptor normalmente fechado que, quando atingida uma determinada rotação, abre seus contatos.

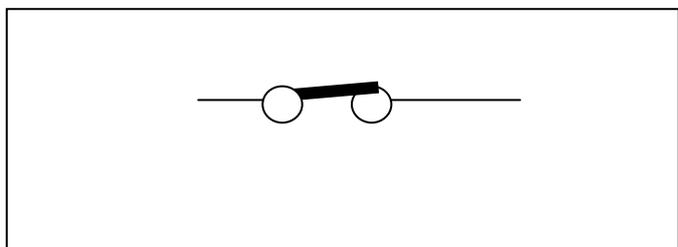


Figura 141 – Interruptor centrífugo.

Vejam os um motor monofásico que possui duas bobinas de trabalho (normalmente 110V cada). Podemos ligá-lo tanto em 110V quanto 220V. A placa de identificação do motor indica a ligação correta:

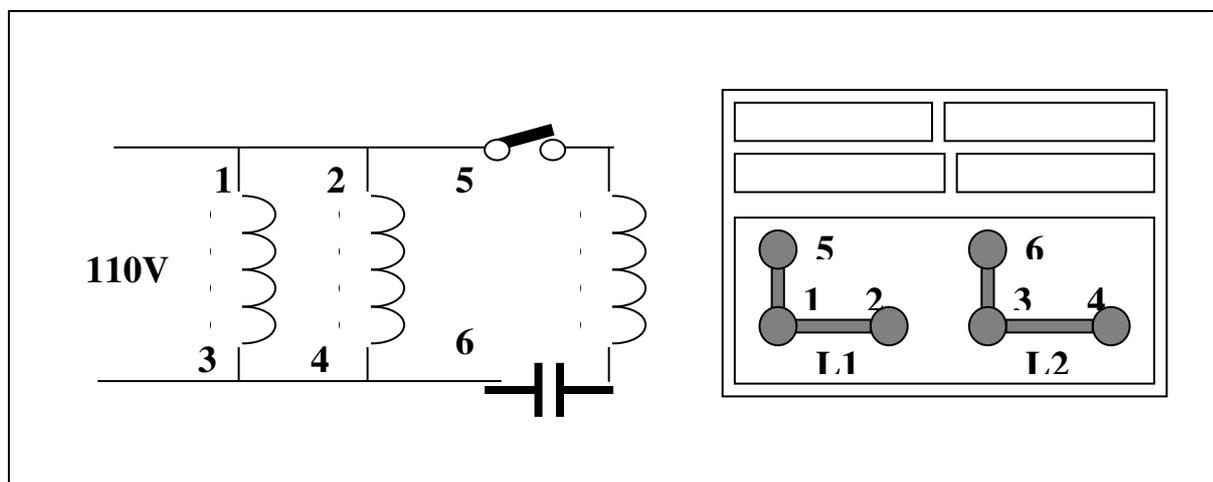


Figura 142 – Esquema de ligação do motor elétrico industrial assíncrono monofásico para 110 V.

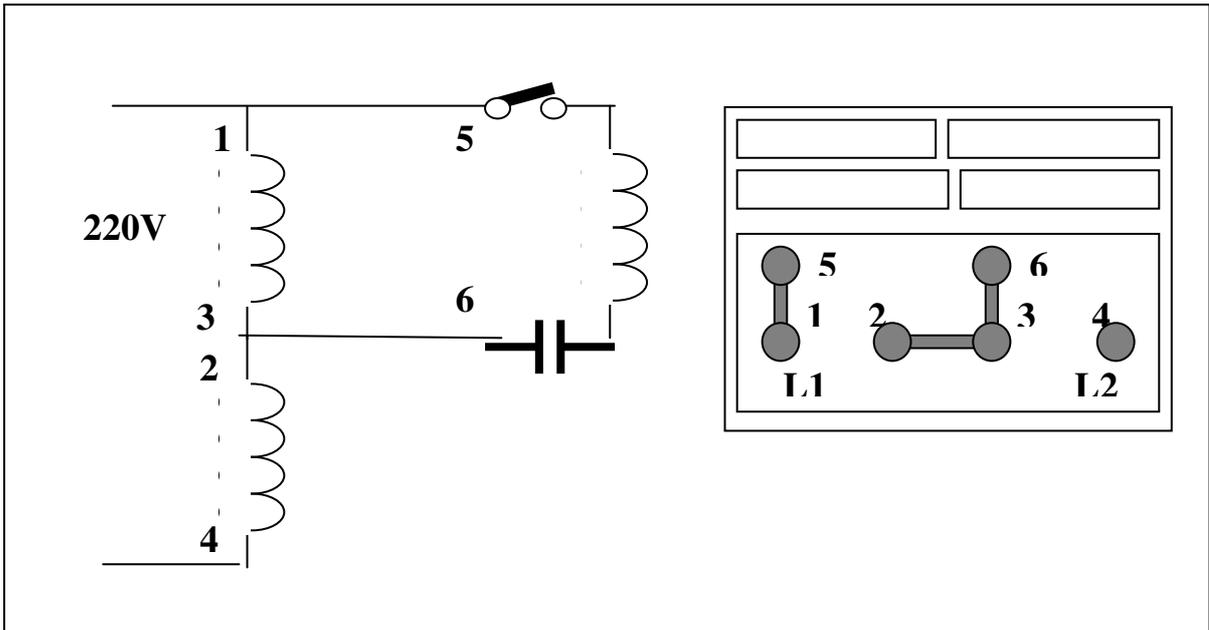


Figura 143 – Esquema de ligação do motor elétrico industrial assíncrono monofásico para 220 V.

Para inversão de rotação, basta inverter os terminais **5** e **6** das suas ligações.

24.7 MOTOR ELÉTRICO INDUSTRIAL ASSÍNCRONO TRIFÁSICO

O motor elétrico trifásico não necessita de artifício de partida, possuindo apenas bobinas de trabalho. Um motor de 6 pontas possui 6 bobinas de trabalho, podendo ser ligadas em estrela ou triângulo, com menor ou maior tensão.

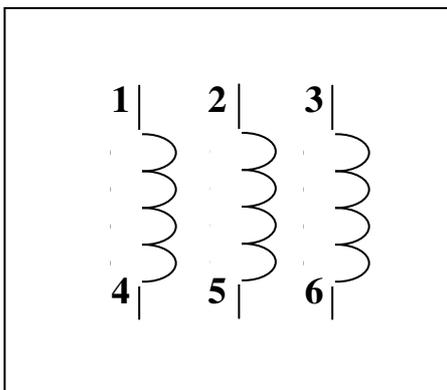


Figura 144 – Bobinas do motor elétrico industrial assíncrono trifásico.

24.7.1 Ligação em Triângulo (Menor Tensão)

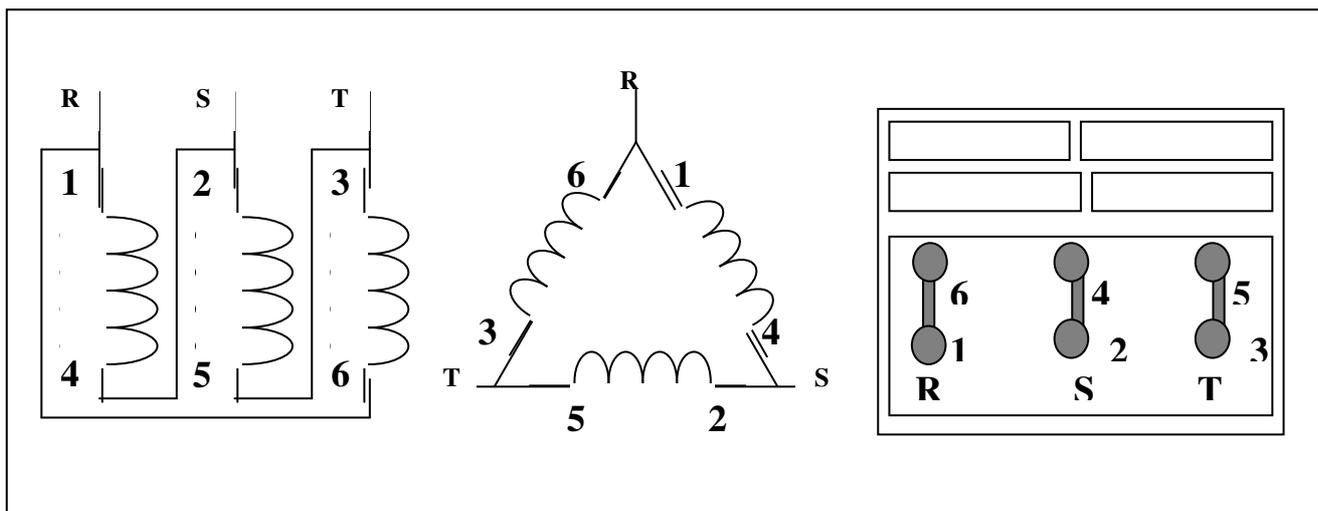


Figura 145 – Ligação em triângulo.

24.7.2 Ligação em Estrela (Maior Tensão)

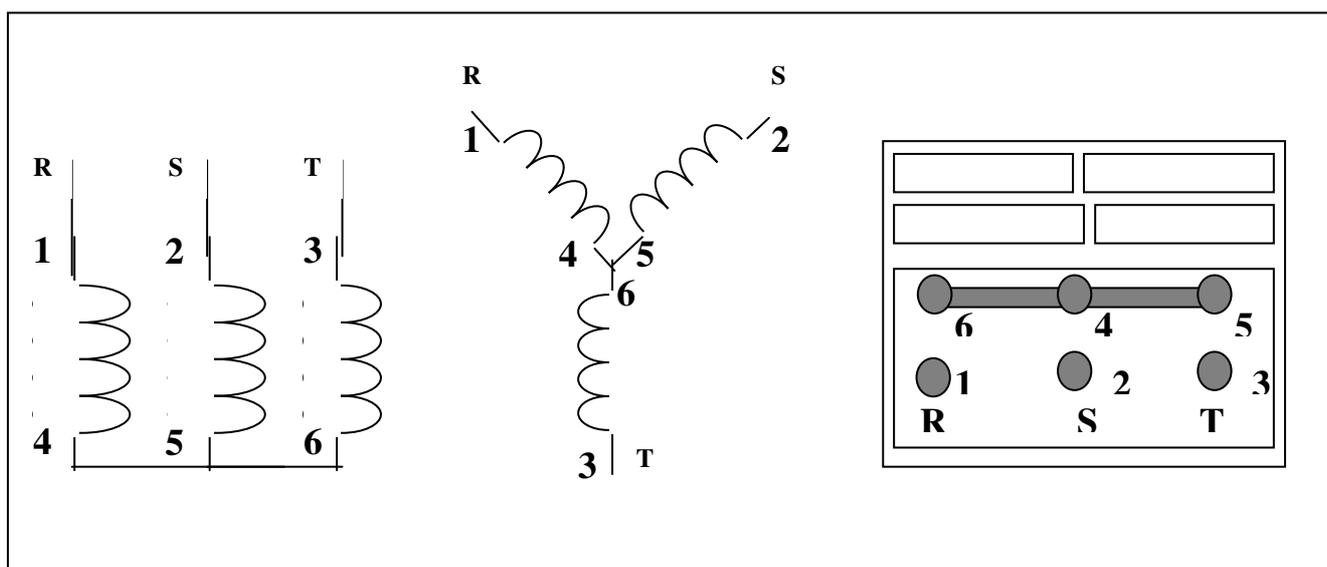


Figura 146 – Ligação em estrela.

Para inverter a rotação, basta inverter duas fases de entrada (R-S , R-T ou S-T).

25 COMPORTAMENTO DA CORRENTE ELÉTRICA NO MOTOR INDUSTRIAL

Quando aplicamos uma tensão elétrica no motor, começa a circular uma corrente na bobina do estator que induzirá corrente no rotor. Porém, para o rotor começar a girar, é necessário vencer a inércia, que se agrava com o aumento da carga. Com isto, o campo induzido no rotor se opõe ao campo do estator, aumentando a corrente drenada.

Portanto, a corrente no motor elétrico, durante a partida, atinge um valor elevado e reduz-se à medida que a rotação aumenta, até atingir a rotação nominal e a corrente nominal do motor, em plena carga.

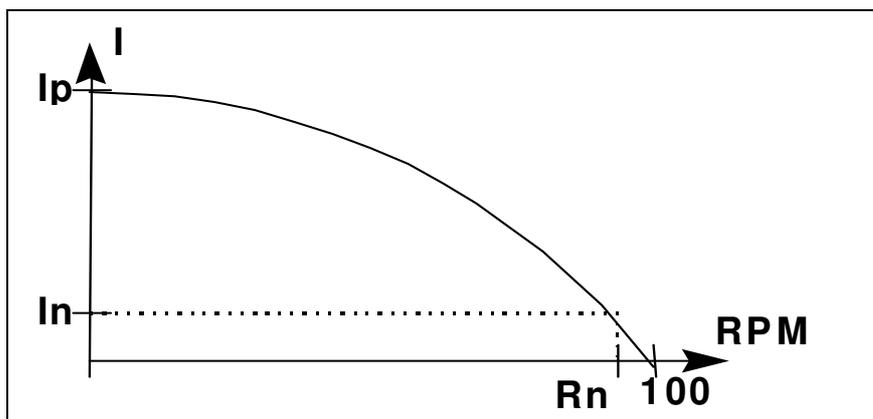


Figura 147 – Comportamento da corrente em relação à rotação.

Pico de corrente na partida (I_p): É a máxima corrente no motor quando o rotor está partindo do repouso com carga nominal.

Corrente em vazio: É a menor corrente no motor, sem que haja carga alguma e rotação nominal.

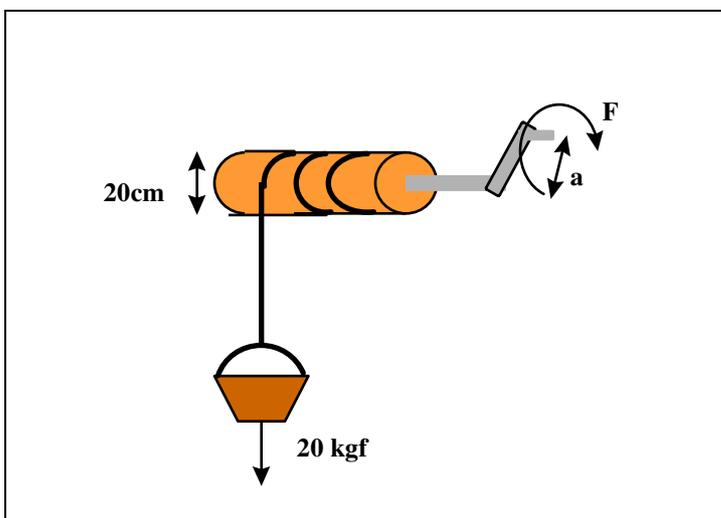
Corrente nominal (I_n): É a corrente de regime em plena carga, com a rotação nominal.

Rotação nominal (Rn): É a rotação nominal do motor em plena carga.

A corrente de pico, durante a partida do motor, pode atingir valores de até 10 vezes o valor nominal da corrente elétrica. Isto pode causar sérios danos aos circuitos que acionam o motor, devendo ser considerado.

26 CONJUGADO DE PARTIDA DO MOTOR ELÉTRICO INDUSTRIAL

Conjugado (também chamado torque, momento ou binário) é a medida do esforço necessário para girar um eixo. É sabido pela experiência prática que, para levantar um peso por um processo semelhante ao usado em poços de água, a força F , que é preciso aplicar na manivela, depende do comprimento da manivela. Quanto maior for a manivela, menor será a força necessária.



Fonte: Catálogo WEG

Figura 148 – Conjugado (relação da força aplicada na manivela pelo comprimento da manivela).

Se dobrarmos o tamanho a da manivela, a força F necessária será diminuída à metade. Se o balde pesa 20 kgf e o diâmetro do tambor é 20 cm, a corda transmitirá uma força de 20 kgf à superfície do tambor, isto é, a 10 cm do centro do eixo. Para contrabalançar esta força, precisamos de 10 kgf na manivela, se o comprimento a for 20 cm. Se a for o dobro, isto é, 40 cm, a força F será a metade, ou seja, 5 kgf.

Como vemos, para medir o esforço necessário para fazer girar o eixo, não basta definir a força empregada, é preciso também dizer a que distância do eixo a força é aplicada. O “esforço” é medido pelo conjugado, que é o produto $F \times a$ da força pela distância.

No exemplo citado, o conjugado vale:

$$C = 20\text{kgf} \times 10\text{cm} = 10\text{kgf} \times 20\text{cm} = 5\text{kgf} \times 40\text{cm} = 200 \text{ cm kgf}$$

Se medirmos a distância em metros, teremos o conjugado em **mkgf** (metro-quilograma-força), que é a unidade de medida mais usual e no SI (Sistema Internacional).

$$C = 20\text{kgf} \times 0,1\text{m} = 10\text{kgf} \times 0,2\text{m} = 5\text{kgf} \times 0,4\text{m} = 2 \text{ mkgf}$$

26.1 RELAÇÃO ENTRE CONJUGADO E POTÊNCIA

Quando a energia mecânica é aplicada sob a forma de movimento rotativo, a potência desenvolvida depende do conjugado **C** e da velocidade de rotação **N**. As relações são:

$$P \text{ (CV)} = 1,359 \cdot P \text{ (kW)}$$

$$P \text{ (kW)} = 0,736 \cdot P \text{ (CV)}$$

$$P \text{ (CV)} = \frac{C \text{ (mN)} \cdot N \text{ (RPM)}}{7024}$$

$$P \text{ (kW)} = \frac{C \text{ (mN)} \cdot N \text{ (RPM)}}{9555}$$

$$P \text{ (CV)} = \frac{C \text{ (mkgf)} \cdot N \text{ (RPM)}}{716}$$

$$P \text{ (kW)} = \frac{C \text{ (mkgf)} \cdot N \text{ (RPM)}}{974}$$

$$C \text{ (mkgf)} = \frac{716 \cdot P \text{ (CV)}}{N \text{ (RPM)}}$$

$$C \text{ (mN)} = \frac{7024 \cdot P \text{ (CV)}}{N \text{ (RPM)}}$$

$$C \text{ (mkgf)} = \frac{974 \cdot P \text{ (kW)}}{N \text{ (RPM)}}$$

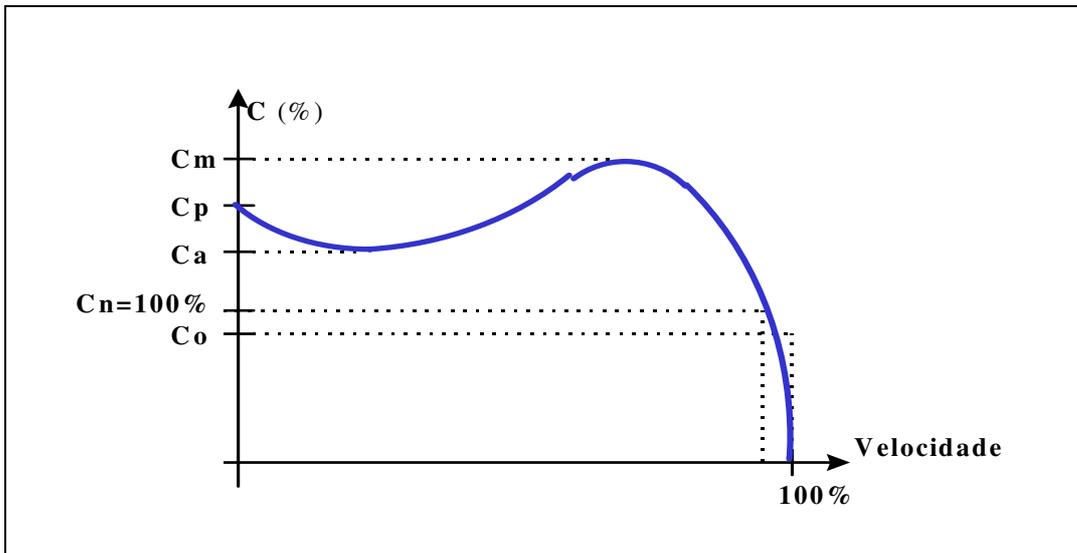
$$C \text{ (mN)} = \frac{9555 \cdot P \text{ (kW)}}{N \text{ (RPM)}}$$

26.1.1 Curva Conjugado x Velocidade

O motor de indução tem como conjugado igual a zero à velocidade síncrona. À medida que a carga vai aumentando, a rotação do motor vai caindo gradativamente, até um ponto em que o conjugado atinge o valor máximo que o motor é capaz de desenvolver em rotação normal. Se o conjugado da carga aumentar mais, a rotação do motor cai bruscamente, podendo chegar a travar o motor.

Representando num gráfico a variação do conjugado com a velocidade para um motor normal, vamos obter uma curva com o aspecto representado na Figura seguinte. Nesta curva, vamos destacar e definir alguns pontos importantes; os

valores dos conjugados relativos a estes pontos são especificados pela norma NBR 7094 da ABNT.



Fonte: Catálogo WEG

Figura 149 – Valores dos conjugados relativos conforme especificação da NBR 7094.

Co: Conjugado básico é o conjugado calculado em função da potência e da velocidade síncrona.

$$Co \text{ (mkgf)} = \frac{716 \cdot P \text{ (CV)}}{Nsíncrona \text{ (RPM)}}$$

Cn: Conjugado nominal ou de plena carga é o conjugado desenvolvido pelo motor à potência nominal, sob tensão e freqüências nominais.

Cp: Conjugado com rotor bloqueado, ou conjugado de partida ou ainda conjugado de arranque é o conjugado mínimo desenvolvido pelo rotor bloqueado, para todas as posições angulares do rotor, sob tensão e freqüências nominais. Na prática, o conjugado deve ser o mais alto possível, para que o rotor possa vencer a inércia inicial da carga e possa acelerá-la rapidamente, principalmente quando a partida for com tensão reduzida.

Ca: Conjugado mínimo é o menor conjugado desenvolvido pelo motor ao acelerar, desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo.

Cm Conjugado máximo é o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e frequência nominais, sem queda brusca de velocidade.

As curvas de conjugado são classificadas em categorias, fornecidas pelos fabricantes.

Categoria N : Constitui a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes etc.

Categoria H: Usados para cargas que exijam maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia etc.

Categoria D: Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes nas quais a carga apresenta periódicos.

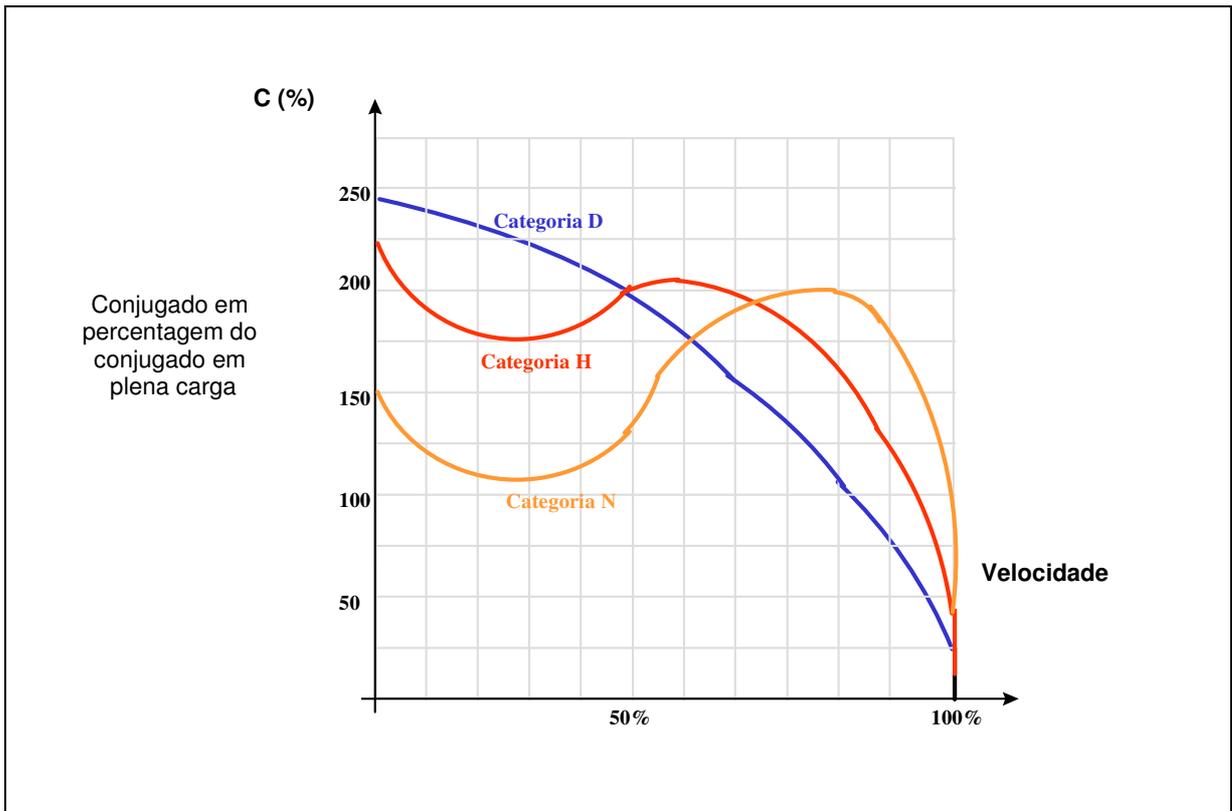
Além disso, os fabricantes fornecem tabelas com os valores de conjugados:

Exemplo: Motor WEG categoria N.

Tabela 5 – Características dos Motores Weg categoria N.

Número de Pólos		2		
Faixa de Potência Nominal		Cp	Cmin	Cmáx
CV	kW			
0,54 < P > 0,86	0,4 < P > 0,63	1,9	1,3	2,0
0,86 < P > 1,4	0,63 < P > 1,0	1,8	1,2	2,0
1,4 < P > 2,2	1,0 < P > 1,6	1,8	1,2	2,0
2,2 < P > 3,4	1,6 < P > 2,5	1,7	1,1	2,0
3,4 < P > 5,4	2,5 < P > 4,0	1,6	1,1	2,0

Fonte: Catálogo WEG



Fonte: Catálogo WEG

Figura 150 – Conjugados dos motores Weg categorias N.

26.2 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

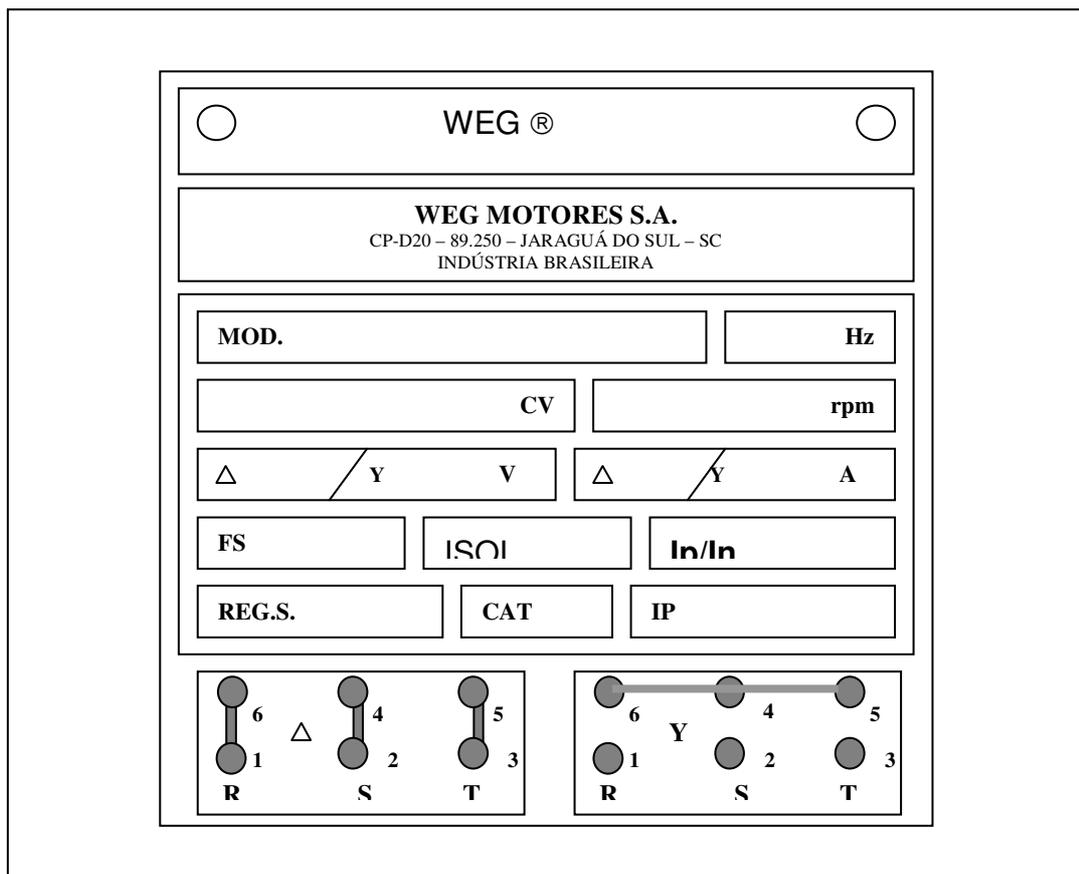
Quando o fabricante projeta um motor e oferece à venda, ele tem que partir de certos valores adotados para:

- Características da rede elétrica de alimentação do motor;
- Características da carga a ser acionada;
- Condições em que o motor irá funcionar.

O conjunto desses valores constitui as “Características Nominais” do motor. O fabricante comunica estas informações ao cliente através da placa de identificação do motor.

Evidentemente, é impossível colocar na placa todas as informações por extenso, de modo que é preciso recorrer a certas abreviações. Além disso, é preciso que os valores apresentados sejam objetivos e não estejam sujeitos a interpretações diversas sobre seu significado ou limites de variação. Para isto, o fabricante tecnicamente apto recorre a normas técnicas que padronizam as abreviações e

símbolos e também estabelecem de uma só maneira o significado e os limites de validade dos valores declarados.



Fonte: Catálogo WEG

Figura 151 – Placa de identificação.

MOD. : Refere-se ao modelo do motor especificado pelo fabricante. É como os fabricantes diferenciam seus diferentes tipos de motores. Ex.: WGF500L20B54.

HZ: Freqüência em que o motor deverá trabalhar. Ex.: 60 Hz.

CV: Potência em CV que o motor possui em regime de trabalho.

RPM : Rotação nominal do motor em plena carga.

V: Tensão de trabalho do motor.

A: Corrente nominal do motor em triângulo e em estrela.

Ip: Corrente de pico, durante a partida do motor.

Ip/In: Corrente de rotor bloqueado, quando o rotor permanece bloqueado.

FS: Fator de Serviço é o fator que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor, sob condições específicas. Note que se trata de uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis. O fator de serviço $FS = 1,0$ significa que o motor não foi projetado para funcionar continuamente acima de sua potência nominal. Isto, entretanto, não muda a sua capacidade para sobrecargas momentâneas.

ISOL: Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas são agrupados em “Casses de Isolação”, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil. Segundo a NBR-7094: Classe A (105°C), classe E (120°C), classe B (130°C), classe F (155°C) e classe H (180°C).

REG.S.: É o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, isto é, em que a carga é constante por tempo indefinido e igual à potência nominal do motor. Pode ser expresso por código alfanumérico:

Regime contínuo (S1): Funcionamento a carga constante de duração suficiente para que se alcance o equilíbrio térmico.

Regime limitado (S2): Funcionamento a carga constante, durante um certo tempo, inferior ao necessário, para atingir o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante.

Regime intermitente periódico (S3): Seqüência de ciclos idênticos, cada qual incluindo um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso, sendo tais períodos muito curtos para que se atinja o equilíbrio térmico, durante um ciclo de regime e no qual a corrente de partida não afeta de modo significativo a elevação de temperatura.

Regime intermitente periódico com partidas (S4): Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso, sendo tais períodos muito curtos para que se atinja o equilíbrio térmico.

Regime intermitente periódico com frenagens elétricas (S5): Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante, um período de frenagem elétrica e um período de repouso, sendo tais períodos muito curtos para que se atinja o equilíbrio térmico.

Regime de funcionamento contínuo com carga intermitente (S6): Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de funcionamento a carga constante e um período de funcionamento a vazio, não existindo o período de repouso.

Regime de funcionamento contínuo com frenagem elétrica (S7): Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante e um período de frenagem elétrica, não existindo o período de repouso.

Regime de funcionamento contínuo com mudança periódica na relação carga/velocidade de rotação (S8): Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida e um período de funcionamento a carga constante, correspondência a uma velocidade de rotação predeterminada, seguidos de um ou mais períodos de funcionamento a outras cargas constantes, correspondentes a diferentes velocidade de rotação. Não existe o período de repouso.

Regimes especiais: Onde a carga pode variar durante os períodos de funcionamento, existe reversão ou frenagem por contra-corrente etc. A escolha do motor adequado deve ser feita mediante consulta à fabrica e depende de uma descrição completa do ciclo.

CAT.: Conforme as suas características de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida, os motores de indução com rotor de gaiola são classificados em categorias, cada uma adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma e são as seguintes:

Categoria N: Conjugado de partida normal, corrente de partida normal, baixo escorregamento. Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bombas e máquinas operatrizes.

Categoria H: Conjugado de partida alto, corrente de partida normal, baixo escorregamento. Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia etc.

Categoria D: Conjugado de partida alto, corrente de partida normal, alto escorregamento (mais de 5%). Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugado de partida muito altos e corrente de partida limitada.

Junto à placa de identificação, também há o diagrama de ligação do motor.

27 DISPOSITIVOS DE MANOBRA E PROTEÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS

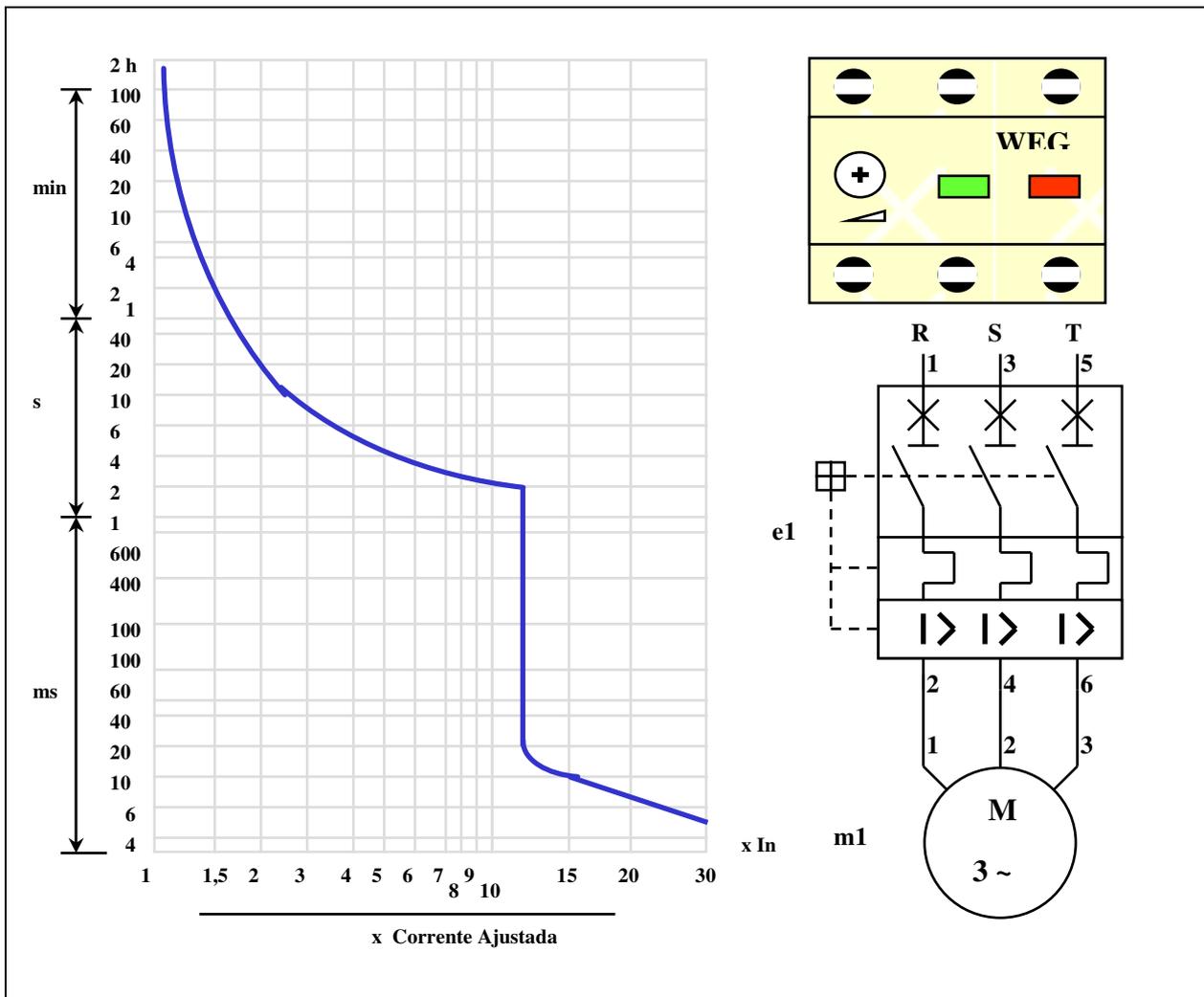
Para ligar um motor à rede elétrica, é necessário proteger o circuito de sobrecargas. Mas em se tratando de motores elétricos, onde há um pico de corrente elétrica durante a partida, é necessário que a proteção não desarme com esta corrente inicial.

Os fusíveis e disjuntores podem ser utilizados como dispositivos de proteção, porém devem possuir uma curva que só desarme se a sobrecarga perdurar por algum tempo. São os disjuntores e fusíveis de retardo.

Mas somente proteger não basta. É necessário que possamos comandar o acionamento deste motor. Neste caso, usamos o disjuntor motor.

27.1 DISJUNTOR MOTOR

São componentes que protegem o circuito contra curto-circuitos e sobrecargas, além de manobrar (ligar ou desligar) o motor através dos contatos devidamente projetados para esta função. Sua proteção de sobrecarga é ajustável entre uma faixa de valores e sua curva característica de disparo é mostrada a seguir, com o exemplo do disjuntor motor WEG DMW 25, que segue a norma IEC 947-2.



Fonte: Catálogo WEG

Figura 152 – Curva característica de disparo do disjuntor motor WEG DMW 25.

27.2 CHAVE DE COMUTAÇÃO MANUAL

São dispositivos utilizados na manobra de motores elétricos, que permitem, além do acionamento e desacionamento, a reversão do sentido de rotação. As chaves comutadoras manuais são usadas em máquinas que necessitam a comutação do motor em local próximo onde ele está. Ex.: torno mecânico.

Existe vários modelos de chaves de comutação, de diversos fabricantes, mas o princípio de funcionamento é o mesmo. São contatos elétricos comutados por um acionador preso a um manípulo onde faz-se a comutação manual.

Como ilustração, podemos mostrar a chave de comutação manual MAR-GIRIUS CR-501 que pode acionar motores monofásicos ou trifásicos. Esta chave possui três posições: uma à direita, uma central e outra posição à esquerda.

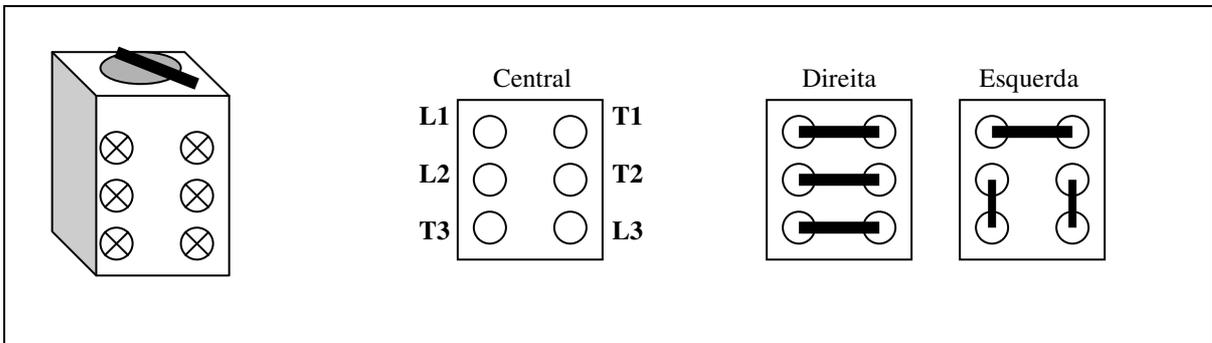


Figura 153 – Chave de comutação manual MARGIRIUS CR-501.

Ligação de motor monofásico:

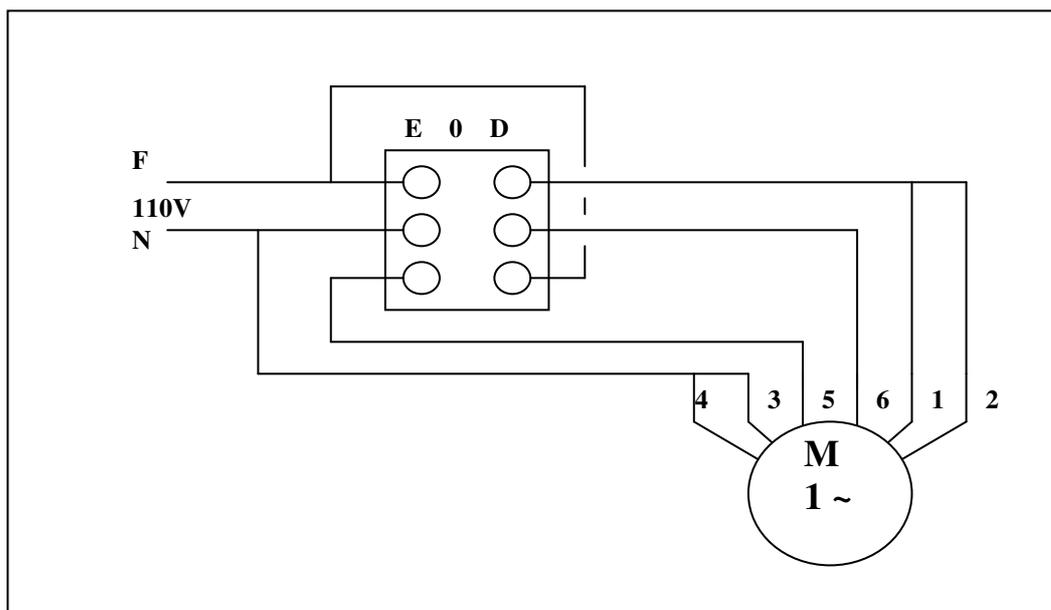


Figura 154 – Ligação de motor monofásico 110V.

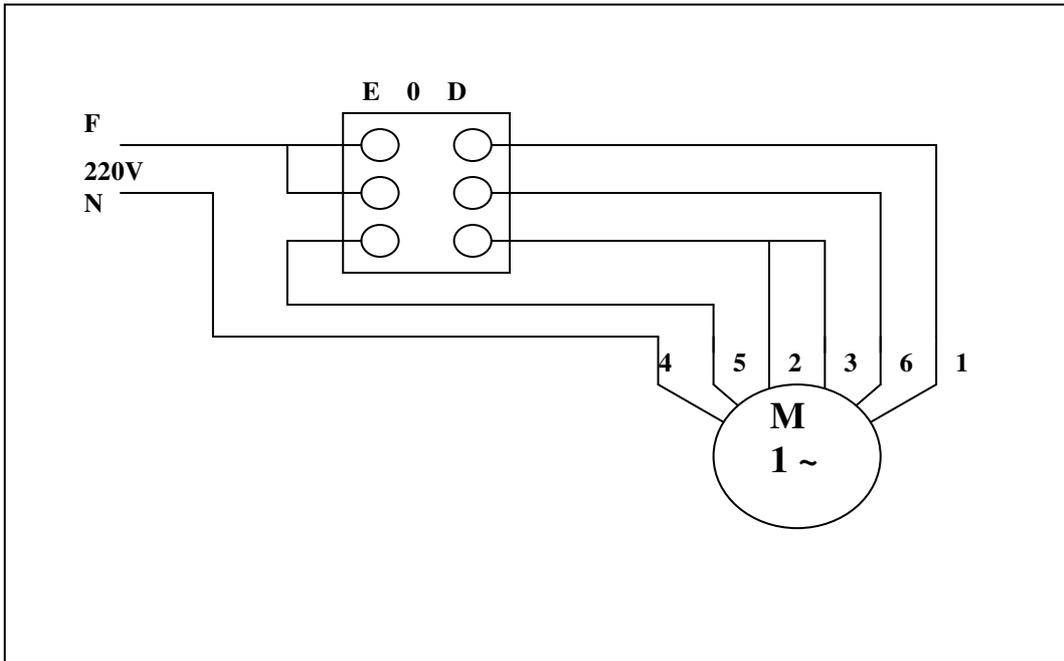


Figura 155 – Ligação de motor monofásico 220V.

Ligação de motor trifásico:

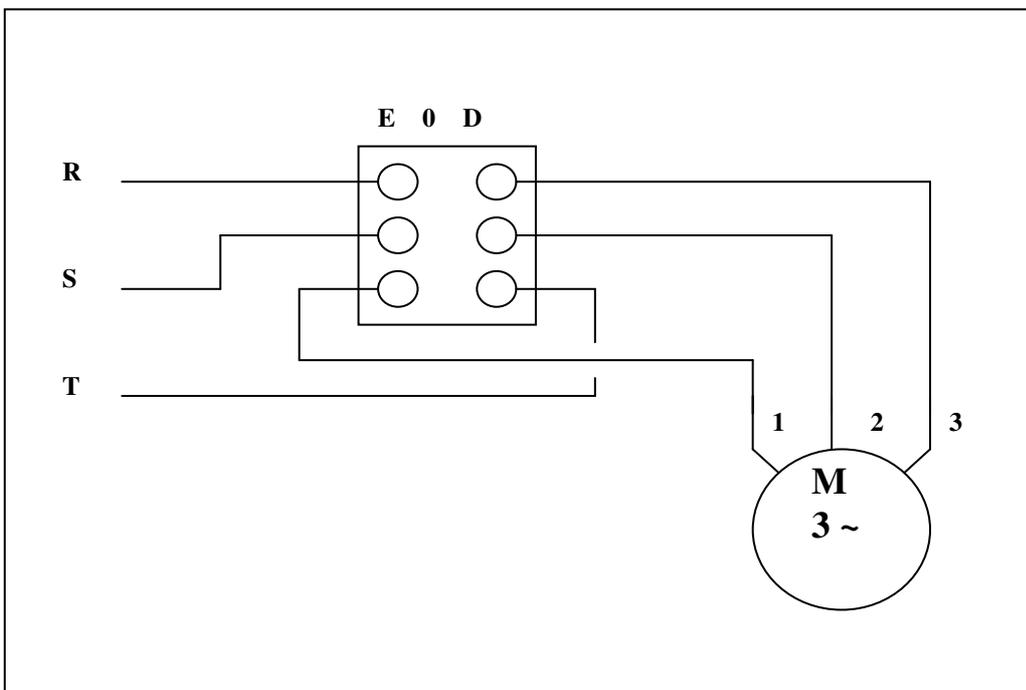


Figura 156 – Ligação de motor trifásico.

A ligação em estrela ou triângulo é feita no próprio motor.

A maneira mais universal de representar a chave de reversão manual é a seguinte:

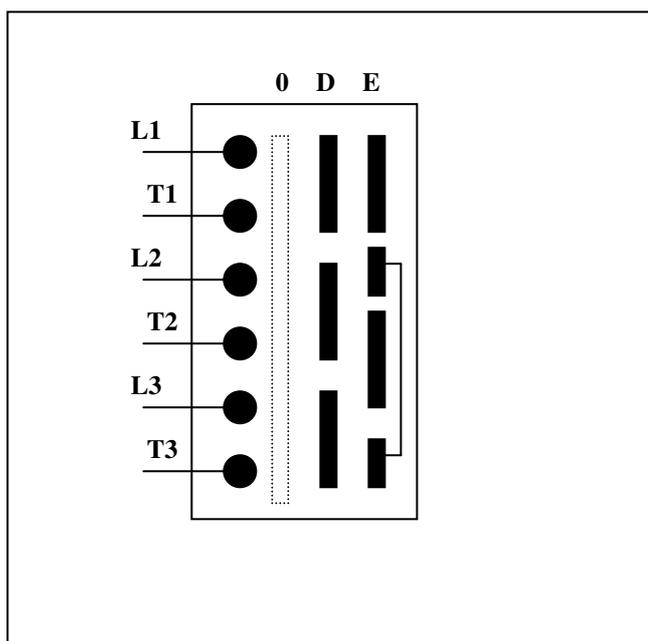


Figura 157 – Chave de reversão manual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.CIPELLI, Antônio Marco Vicari;SANDRINI, Waldir João. **Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos**. 12. ed . São Paulo, Érica, 1986. 580p. il.
- 2.CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 13. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1986. 439 p. il
- 3.GUSSOW, Milton. **Eletricidade básica**. 2. ed. São Paulo, Makron Books, 1997. 639 p. il.
- 4.MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. São Paulo, McGraw-Hill, 1986. 804 p. il
- 5.WEG. **Manual de motores elétricos**. Jaraguá do Sul, s.d. 54 p. il.

CATÁLOGOS INDUSTRIAIS

SIEMENS. **Compilado para instalações elétricas**. São Paulo. 1993.

STECK. **Chaves rotativas**. São Paulo, s.d.

TELEMECANIQUE. **Integral 32, integral 63 para partida de motores e distribuição**. São Paulo, s.d.

WEG. **Componentes elétricos**. Jaraguá do Sul, s.d.



Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira

João Alvarez Peixoto

ELETROTÉCNICA BÁSICA

Gravataí

Janeiro de 2000