

Fundamentos de Instalações Elétricas

Niltom Vieira Junior

Curso Técnico em Manutenção e
Suporte em Informática



e-Tec Brasil
Escola Técnica Aberta do Brasil

Fundamentos de Instalações Elétricas

Niltom Vieira Junior

Formiga-MG
2011

© Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Formiga

Este Caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Formiga e a Universidade Federal de Santa Catarina para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Formiga

Coordenação de Curso
Paloma Maira de Oliveira

Professor-autor
Niltom Vieira Junior

Comissão de Acompanhamento e Validação
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Coordenação Institucional
Araci Hack Catapan/UFSC

Coordenação do Projeto
Silvia Modesto Nassar/UFSC

Coordenação de Design Instrucional
Beatriz Helena Dal Molin/UNIOESTE e UFSC

Coordenação de Design Gráfico
André Rodrigues da Silva/UFSC

Design Instrucional

Juliana Leonardi

Web Master

Rafaela Lunardi Comarella/UFSC

Web Design

Beatriz Wilges/UFSC
Gustavo Mateus/UFSC

Diagramação

Bárbara Zardo/UFSC
Juliana Tonietto/UFSC
Nathalia Takeuchi/UFSC

Revisão

Júlio César Ramos/UFSC

Projeto Gráfico

e-Tec/MEC

**Catalogação na fonte pela Biblioteca Universitária
da Universidade Federal de Santa Catarina**

V658f Vieira Junior,Niltom

**Fundamentos de instalações elétricas / Niltom Vieira Junior. -
Formiga : Instituto Federal Campus Formiga, 2011.**

84p. : il.

Inclui bibliografia

ISBN:

**1. Projetos elétricos. 2. Simbologia e representação elétrica. 3.
Tópicos de segurança. 4. Educação a distância. I. Título.**

CDU: 697

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2010

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br

Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.

Sumário

Palavra do professor-autor.....	9
Apresentação da disciplina.....	11
Projeto instrucional.....	13
Aula 1 – Grandezas elétricas: corrente, tensão e resistência.....	15
1.1 Corrente elétrica.....	15
1.2 Tensão elétrica.....	16
1.3 Lei de Ohm e resistência elétrica.....	17
Aula 2 – Grandezas elétricas: Lei dos Nós, Lei das Malhas e potência.....	23
2.1 Primeira Lei de Kirchhoff (ou Lei dos Nós).....	23
2.2 Segunda Lei de Kirchhoff (ou Lei das Malhas).....	24
2.3 Potência elétrica.....	24
2.4 Potência em sistemas de corrente alternada (CA).....	25
2.5 Entrada de energia para clientes residenciais.....	28
2.6 Cálculo da corrente nominal.....	30
Aula 3 – Simbologia e representação elétrica.....	33
3.1 Simbologia para instalações prediais.....	33
3.2 Ligação dos interruptores.....	35
Aula 4 – Projetos elétricos: proteção e dimensionamento.....	43
4.1 Funcionamento de uma instalação elétrica.....	43
4.2 Dispositivos de proteção em baixa-tensão.....	44
Aula 5 – Dimensionamento de condutores e eletrodutos em baixa-tensão.....	61
5.1 Critérios para o dimensionamento de condutores.....	61
5.2 Dimensionamento de eletrodutos.....	69

Aula 6 – Tópicos de segurança	77
6.1 Aterramentos	77
6.2 Estabilizadores	78
6.3 <i>No-breaks</i>	79
6.4 Choque elétrico	80
Referências	83
Curriculum do professor-autor	84

Palavra do professor-autor

Caro(a) estudante!

A disciplina Fundamentos de Instalações Elétricas objetiva transmitir conhecimentos integradores que, a partir de conceitos vistos em outras disciplinas, serão somados aos conhecimentos que ainda estão por vir em sua formação profissional.

Entre outras coisas, ao término deste curso você será capaz de analisar uma rede elétrica e verificar se ela suporta um eventual aumento de carga como, por exemplo, a criação de um novo laboratório de informática ou a instalação de outros equipamentos.

Você também terá condições de identificar esquemas elétricos em instalações de baixa tensão e opinar decisivamente quanto ao planejamento de novos projetos em instalações elétricas.

Conte com seu professor/tutor para auxiliá-lo, mas lembre-se que, assim como nas demais disciplinas (e na vida), seu sucesso só depende de você.

Quando se está aprendendo, o professor atua apenas como uma agulha; o aluno é a linha. Como seu mentor, posso ajudá-lo, apontando-lhe a direção correta. Mas, como a agulha da linha, devo me separar de você no fim, porque a força, a fibra e a capacidade de juntar todas as partes devem ser suas (SECRETAN, 1989).

Bons estudos!
Prof. Niltom Vieira Junior.

Apresentação da disciplina

Este curso está dividido em seis aulas, as quais são a seguir apresentadas.

A Aula 1 realiza uma revisão dos conceitos fundamentais de Física (eletricidade) que serão utilizados ao longo do curso. É a aula mais científica do caderno e, portanto, requer especial atenção para que as atividades posteriormente desenvolvidas não se tornem simples processo de repetição.

A Aula 2 demonstra que os circuitos de corrente alternada possuem algumas características distintas dos circuitos de corrente contínua (principalmente no que diz respeito a influência do fator de potência). É importante ter este entendimento em mente, pois, mesmo sendo os conceitos de corrente contínua suficientes para estabelecer analogias necessárias ao curso, na prática apenas circuitos de corrente alternada serão encontrados em instalações elétricas de baixa tensão.

A Aula 3 apresenta as técnicas de representação esquemática e simbologia utilizadas em projetos elétricos. O objetivo final desta disciplina é desenvolver um projeto elétrico (cujas especificações serão determinadas pelo professor); portanto, recomenda-se que a partir desse ponto os estudantes comecem a construir seus respectivos trabalhos.

A Aulas 4 e a Aula 5 demonstram passo a passo como dimensionar cada elemento que constitui uma instalação elétrica. Embora os procedimentos matemáticos sejam simples, sua realização se torna complexa por causa da extensão dessa etapa. Toda essa sequência, que inclui verificação constante das normas brasileiras, deve ser repetida para cada elemento de proteção, para cada circuito e para cada eletroduto. Os estudantes devem, à medida que essas etapas sejam aprendidas, aplicá-las no desenvolvimento de seus projetos.

A Aula 6 apresenta uma descrição geral de elementos e procedimentos importantes à segurança da rede elétrica e de seus usuários.

Embora um técnico em manutenção e suporte não necessariamente desenvolverá projetos elétricos, ele será responsável direto pelos equipamentos a serem conectados a uma instalação elétrica. Seu aval será decisivo para a conexão de novos equipamentos a uma rede elétrica já existente ou para a

autorização de uma nova instalação elétrica perante os equipamentos que nela deverão ser conectados. Uma decisão errada nessa perspectiva poderá causar prejuízos financeiros de grande monta (ao sujeitar equipamentos sensíveis a uma rede mal dimensionada) ou colocar em risco a integridade física de todos os usuários desse ambiente (ao se considerarem os perigos da eletricidade). Para que as decisões sejam corretas do ponto de vista técnico, torna-se essencial aprender como se faz um projeto elétrico para então opinar, intervir e autorizar a sua realização.

Projeto instrucional

Disciplina: Fundamentos de Instalações Elétricas (carga horária: 60 h).

Ementa: Potência CC e potência CA. Triângulo de potência. Análise de circuitos elétricos aplicados às instalações elétricas. Simbologia. Representação de ligação em planta. Circuitos terminais. Projetos elétricos residenciais. Proteção de circuitos em baixa tensão. Dimensionamento de condutores e eletrodutos. Diagrama elétrico. Princípios de aterramento, estabilizadores, *no-breaks* e choque elétrico.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Grandezas elétricas: corrente, tensão e resistência	Revisar os principais conceitos elétricos. Compreender e analisar circuitos elétricos simples.	Caderno da disciplina; animações gráficas; exercícios de fixação e ambiente virtual de ensino-aprendizagem.	6
2. Grandezas elétricas: lei dos nós, das malhas e potência	Compreender a influência do fator de potência nas instalações e equipamentos. Conhecer os tipos de entrada de energia. Compreender e analisar circuitos aplicados aos projetos elétricos.	Caderno da disciplina; animações gráficas; exercícios de fixação e ambiente virtual de ensino-aprendizagem.	12
3. Simbologia e representação elétrica	Conhecer as simbologias utilizadas em projetos elétricos. Entender os diferentes esquemas de interrupção de luz. Interpretar representações elétricas em planta.	Caderno da disciplina; vídeos; normas técnicas e exercícios de fixação e ambiente virtual de ensino-aprendizagem.	12
4. Projetos elétricos: proteção e dimensionamento	Conhecer os tipos de falha em instalações elétricas. Compreender o princípio de funcionamento e os critérios para o dimensionamento de dispositivos de proteção. Conhecer os critérios para o dimensionamento de quadros de distribuição.	Caderno da disciplina; vídeos; normas técnicas e exercícios de fixação e ambiente virtual de ensino-aprendizagem.	12
5. Dimensionamento de condutores e eletrodutos em baixa tensão	Conhecer os tipos existentes e os critérios de dimensionamento para condutores e eletrodutos.	Caderno da disciplina; normas técnicas e exercícios de fixação e ambiente virtual de ensino-aprendizagem.	12
6. Tópicos de segurança	Conhecer alguns elementos de segurança: aterramento, estabilizadores, <i>no-breaks</i> e choques elétricos.	Caderno da disciplina; vídeos; normas técnicas e ambiente virtual de ensino-aprendizagem.	6

Aula 1 – Grandezas elétricas: corrente, tensão e resistência

Objetivos

Revisar os principais conceitos elétricos.

Compreender e analisar circuitos elétricos simples.

1.1 Corrente elétrica

Na visão do modelo de Bohr, átomos em geral possuem vários elétrons distribuídos em camadas concêntricas em torno do núcleo. A primeira camada pode conter apenas 2 (dois) elétrons; a segunda pode conter um máximo de 8 (oito), a terceira, 18 (dezoito); a quarta, 32 (trinta e dois); conforme determinado pela equação $2.n^2$, em que “n” representa a ordem da camada.

O cobre, metal mais utilizado na indústria eletroeletrônica, possui 1 (um) elétron além do necessário para completar as três primeiras camadas.

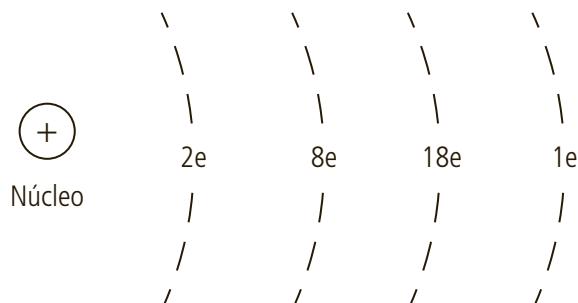


Figura 1.1: O cobre

Fonte: Elaborada pelo autor

Esse último elétron, fracamente ligado ao restante do átomo em razão de sua distância ao núcleo, pode se libertar se receber energia suficiente do meio externo, passando a ser chamado “elétron livre”.

Quando um átomo perde elétron é denominado íon positivo. Elétrons livres são capazes de se mover entre íons positivos de forma aleatória devido a: (1) colisões com íons positivos e outros elétrons; (2) forças de atração dos íons positivos; e (3) força de repulsão entre os elétrons.



Esta concepção do modelo de Bohr é mais simples que as atualmente aceitas para o modelo atômico e para esta ocasião é suficiente.



As cargas positivas não apresentam fenômeno similar (fluxo) porque estão no núcleo do átomo e, portanto, mais fortemente a ele ligadas.

Se considerarmos uma lâmpada, por exemplo, ligada por fios de cobre a uma bateria (que acumula cargas positivas em um terminal e negativas em outro), os elétrons livres serão atraídos pelo terminal positivo, enquanto o terminal negativo funciona como fonte de elétrons (por sua vez atraídos à medida que os elétrons livres forem deixando o fio). A esse fluxo de cargas (elétrons) dá-se o nome de “corrente elétrica”.

Uma corrente de 1 Ampère (A) corresponde a $6,242 \times 10^{18}$ elétrons atravessando a seção reta circular de um condutor em 1 segundo. Assim, por facilidade, a unidade de carga Coulomb (C) foi definida como a carga associada $6,242 \times 10^{18}$ elétrons, de onde se tem que:

$$\begin{array}{rcl} 1 C & \rightarrow & 6,242 \cdot 10^{18} \\ x C & \rightarrow & 1e \end{array}$$

$$Qe = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$



Alguns múltiplos (10^3 , 10^6 etc.) e submúltiplos (10^{-3} , 10^{-6} etc.) recebem nomenclatura e simbologia especial para facilitar a representação de grandezas. É importante que você pesquise os principais múltiplos e submúltiplos utilizados, pois, eles serão empregues com frequência neste curso.

1.2 Tensão elétrica

Para que se estabeleça o fluxo de cargas anteriormente definido como corrente elétrica, é necessária uma pressão externa, a qual se chama de energia ou tensão elétrica. Energia, por definição, é a capacidade de realizar trabalho. Veja o exemplo: se um corpo de massa “m” for elevado a uma altura “h”, ele possui energia potencial expressa por $E_p = m \cdot g \cdot h$ [Joules].



Na equação $E_p = m \cdot g \cdot h$ a grandeza “g” representa a aceleração da gravidade.

Esse corpo tem potencial para realizar trabalho quando cai no chão (por exemplo, danificar o solo) e se a altura aumentar, sua energia potencial também aumentará. Existe, portanto, uma diferença de potencial gravitacional entre as alturas. Analogamente, na bateria, o acúmulo de cargas negativas em um terminal e positivas no outro resulta em uma diferença de potencial (ddp) elétrico entre os terminais também capaz de realizar trabalho (nesse caso, mover elétrons).

Existe uma ddp de 1 Volt (V) entre dois pontos quando se gasta uma quantidade de energia igual a 1 Joule para deslocar uma carga de 1 Coulomb entre esses dois pontos.

1.3 Lei de Ohm e resistência elétrica

Se for considerar a relação “Efeito = $\frac{\text{causa}}{\text{oposição}}$ ” em um circuito elétrico, o efeito que se deseja é o fluxo de elétrons (corrente), a causa (pressão) é a diferença de potencial (ddp) e a oposição ao fluxo é a resistência encontrada. Daqui pode-se observar que para uma resistência fixa, quanto maior a tensão elétrica maior será a corrente do circuito. Essa definição é conhecida como Lei de Ohm.

$$I = \frac{V}{R} \quad [A]$$

A resistência elétrica, em qualquer material, impõe ao fluxo de cargas é função do atrito mecânico resultado das colisões entre os próprios elétrons e entre os elétrons e os átomos que constituem o material. Essa resistência é determinada por quatro fatores:

- tipo do material;
- comprimento;
- área;
- temperatura.

A uma temperatura ambiente de 20° C, a resistência de um material qualquer pode ser relacionada da seguinte forma:

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

Onde:

R – resistência;

ρ – resistividade do material (o cobre, material mais utilizado para condutores elétricos, apresenta resistividade de $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$);

l – comprimento;

A – área (seção transversal do condutor).



Para verificar esse efeito, acesse o link: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=8

Essa animação representa a Lei de Ohm. Você pode alterar os valores de resistência e tensão do circuito e observar as medidas realizadas por um voltímetro e um amperímetro virtuais.

Para verificar esse efeito, acesse o link: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=301

A bobina dessa animação representa o filamento de uma lâmpada incandescente. Logo abaixo está a seção transversal ampliada desse filamento. Observe que conforme os elétrons se movem pelo condutor alguns se chocam entre si e com os átomos que constituem o condutor. São essas colisões que causam resistência. Nesse caso, a energia resultante do processo gera calor e luz.



Com o aumento de temperatura há um aumento do movimento (agitação) de partículas, o que aumenta seu atrito e consequentemente a resistência.

Embora os próprios condutores elétricos apresentem determinada resistência intrínseca, ela é, normalmente, desprezada nas análises matemáticas. Deve-se considerar a resistência oferecida por cargas em geral (equipamentos conectados à rede) e a resistência imposta pelos resistores – elementos fabricados com o objetivo único de oferecer resistência (eles podem ser úteis em diversas situações como, por exemplo, ao atuar como dissipadores de potência para gerar calor ou como divisores de tensão). Em um circuito elétrico os elementos que têm a propriedade de oferecer resistência podem ser associados de duas maneiras: em série ou em paralelo.

Para resistores em série a corrente é a mesma através de cada um deles, assim, a ddp sobre o resistor R_1 é dada por $V_1 = R_1 \cdot I$.

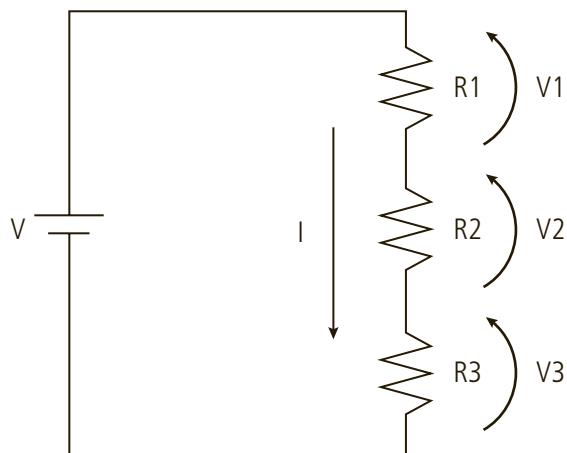


Figura 1.2: Resistores em série

Fonte: Elaborada pelo autor

Onde: $V = V_1 + V_2 + V_3$.



Cabe lembrar que uma instalação elétrica não é composta unicamente por elementos resistivos, tampouco, alimentada por corrente contínua. Entretanto, esta compreensão conceitual já é suficiente para análise dos projetos elétricos no escopo deste curso.

Os três resistores podem ser substituídos (para fins de análise) por um resistor equivalente fictício cujo valor é: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$.

Já para resistores em paralelo a ddp sobre cada resistor é a mesma; assim, a corrente sobre o resistor R_1 é dada por $I_1 = \frac{V}{R}$.

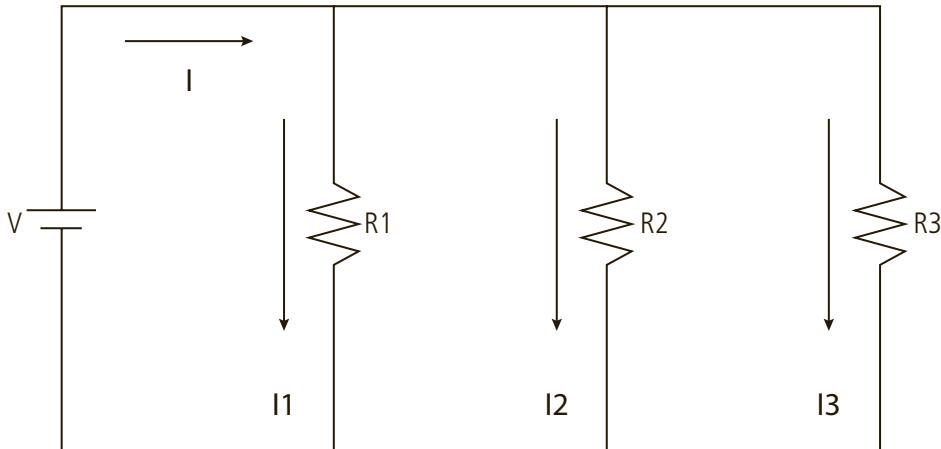


Figura 1.3: Resistores em paralelo

Fonte: Elaborada pelo autor

Onde: $I = I_1 + I_2 + I_3$.

Neste caso, um resistor equivalente é dado por:

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

Ou fazendo a associação por pares (dois a dois), pode-se utilizar também a relação “produto pela soma”:

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

Para circuitos maiores (com vários elementos em paralelo) pode-se utilizar o método “produto pela soma” para determinar a resistência equivalente; entretanto é necessário repetir o procedimento e calcular resistores equivalentes intermediários, de dois em dois, até se chegar a um só elemento.



Resumo

Nesta aula foram revisados os principais conceitos para o curso (corrente, tensão e resistência elétrica). Observou-se que corrente elétrica é o fluxo de elétrons impulsionado por uma diferença de potencial (tensão). Verificou-se ainda que este fluxo é função da resistência a ser encontrada no circuito e que elementos resistores associados em série ou em paralelo podem influenciar de modo diferente as grandezas elétricas.

Atividades de aprendizagem

Resolva os problemas propostos para fixar os conteúdos vistos.

1. Para o circuito mostrado na Figura 1.4 determine:

- A corrente I .
- A queda de tensão em cada resistor.

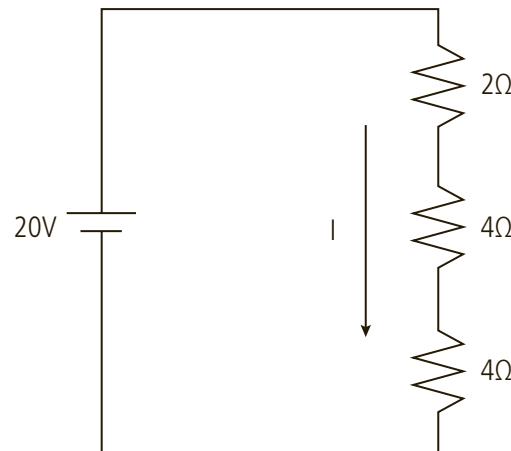


Figura 1.4: Exercício 1

Fonte: Elaborada pelo autor

2. Para o arranjo mostrado na Figura 1.5 encontre a corrente fornecida pelo gerador.

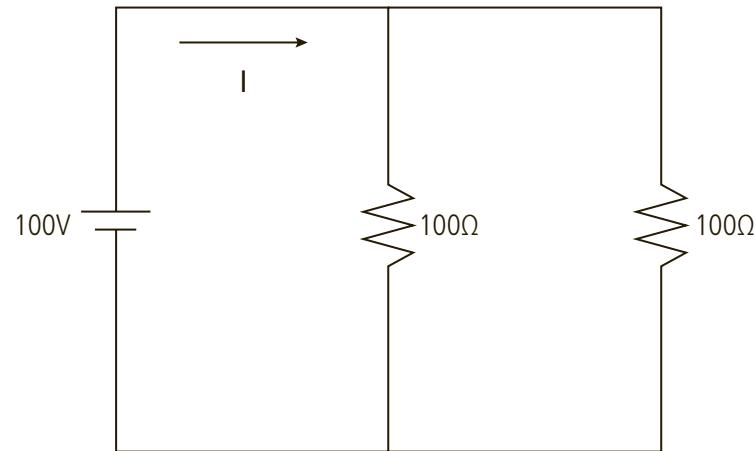


Figura 1.5: Exercício 2

Fonte: Elaborada pelo autor

- 3.** Calcule a resistência do filamento de uma lâmpada de 60 W se uma corrente de 500 mA for estabelecida. Considere $V = 120$ V.
- 4.** Para o circuito mostrado na Figura 1.6 encontre a resistência equivalente pelos dois métodos descritos anteriormente.

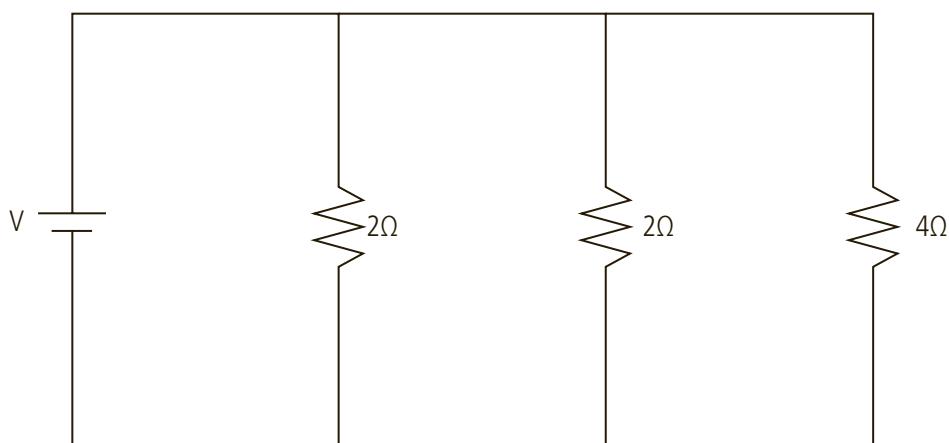


Figura 1.6: Exercício 3

Fonte: Elaborada pelo autor

- 5.** Se o circuito do exercício anterior for alimentado com 10 V, determine a corrente fornecida pelo gerador e a corrente que passa por cada resistor.
- 6.** Determine a resistência equivalente entre os pontos A e B do circuito mostrado na Figura 1.7 a seguir.

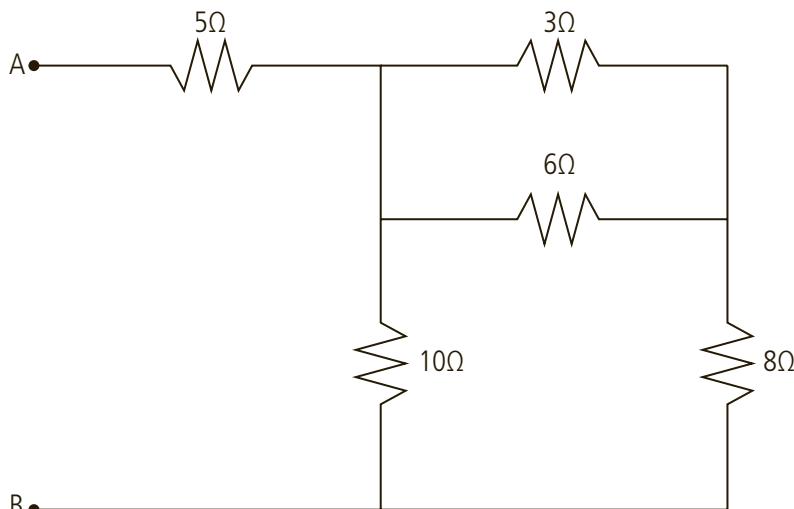


Figura 1.7: Exercício 6

Fonte: Elaborada pelo autor

7. No esquema mostrado na Figura 1.8 tem-se uma chave “S” em paralelo com o resistor R₂. Determine os valores de R₁ e R₂ sabendo que a resistência entre os pontos A e D vale 10 kΩ quando a chave está fechada e 14,7 kΩ quando a chave está aberta.

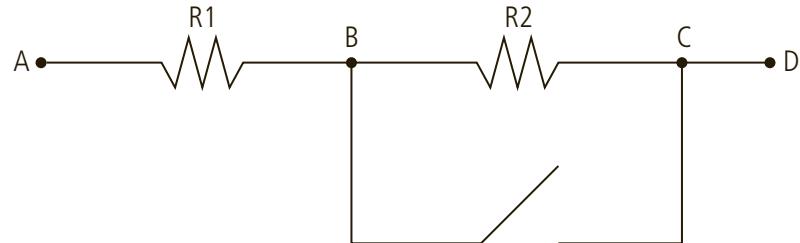


Figura 1.8: Exercício 7

Fonte: Elaborada pelo autor

Aula 2 – Grandezas elétricas: Lei dos Nós, Lei das Malhas e potência

Objetivos

Compreender a influência do fator de potência nas instalações e equipamentos. Conhecer os tipos de entrada de energia.

Compreender e analisar circuitos aplicados aos projetos elétricos.

2.1 Primeira Lei de Kirchhoff (ou Lei dos Nós)

A soma das intensidades das correntes que chegam a um nó (ponto de encontro de três ou mais condutores) de um circuito elétrico é igual à soma das intensidades das correntes que dele saem.

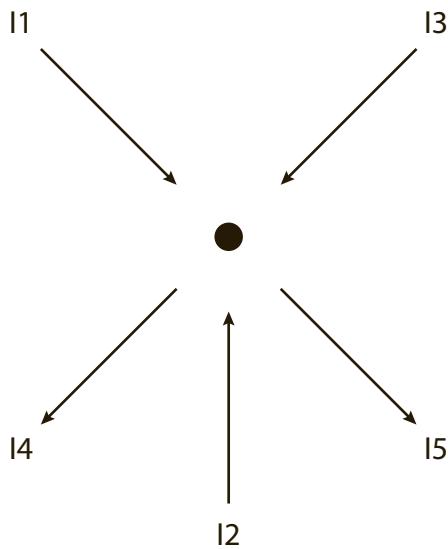


Figura 2.1: Primeira Lei de Kirchhoff

Fonte: Elaborada pelo autor

Esta relação (Figura 2.1) pode ser escrita como: $I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$ ou:

$$\sum_{i=1}^n I_i \text{ chegam} = \sum_{j=1}^m I_j \text{ saem}$$

Esta definição é muito utilizada para análise da corrente em elementos (resistivos ou não) associados em paralelo em um circuito.

2.2 Segunda Lei de Kirchhoff (ou Lei das Malhas)

A soma algébrica das forças eletromotrices e forças contraeletromotrices ao longo de uma malha (conjunto fechado de ramos (ou trechos)) em um circuito é igual à soma algébrica dos produtos “resistência versus corrente” em todas as resistências da malha.

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{j=1}^m R.I_j$$

Esta definição é muito utilizada para análise da tensão em elementos (resistivos ou não) associados em série em um circuito.

2.3 Potência elétrica

A potência é uma grandeza que mede quanto trabalho (conversão de energia de uma forma em outra) pode ser realizado em determinado período de tempo, ou seja, é a “velocidade” com que um trabalho é executado. Como a energia convertida é medida em Joule (J) e o tempo em segundos (s), tem-se que:

$$P = \frac{J}{s} = \text{Watt [W]}$$

A potência consumida por um sistema ou dispositivo elétrico, de natureza resistiva, pode ser dada em função dos valores de corrente e tensão:

$$P = V.I$$

Substituindo a Lei de Ohm tem-se que:

$$P = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R} \quad \text{ou} \quad P = V.I = R.I.I = R.I^2$$



O exemplo a seguir apresenta uma aplicação prática do conceito de potência elétrica.

Exemplo – Qual a potência dissipada por um resistor de 5Ω quando nele percorre uma corrente de 4 A?

Solução: $P = R.I^2 = 5.4^2 = 80 \text{ W}$

2.4 Potência em sistemas de corrente alternada (CA)

A Figura 2.2 mostra como a tensão e a corrente que circulam por uma resistência pura variam no tempo em um circuito de corrente alternada. Sendo a corrente positiva quando a tensão for positiva e a corrente negativa quando a tensão for negativa, o produto “tensão versus corrente” (que corresponde à potência) será sempre positivo (Figura 2.3).

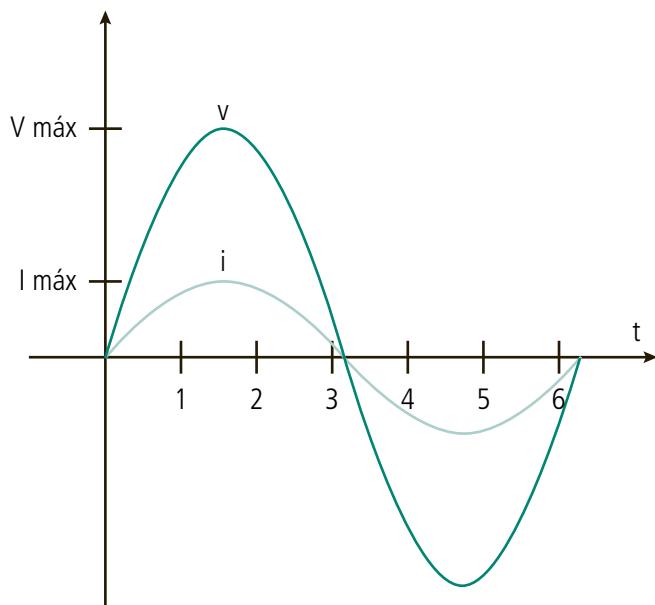


Figura 2.2: Tensão e corrente em circuito resistivo

Fonte: Elaborada pelo autor

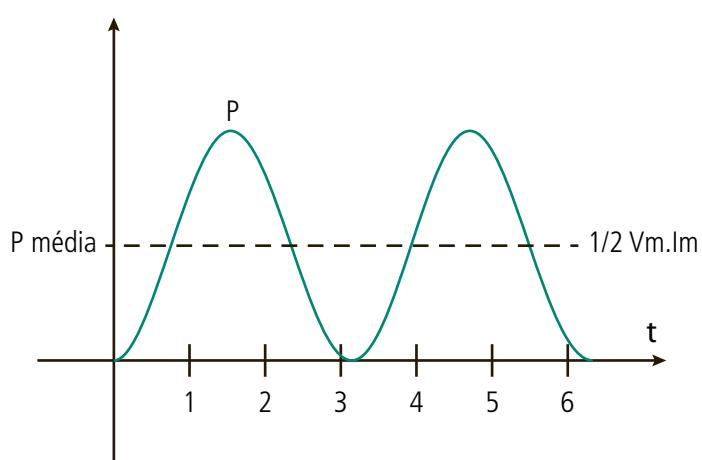


Figura 2.3: Potência em circuito resistivo

Fonte: Elaborada pelo autor

Para outros tipos de cargas (capacitivas e indutivas), comumente encontradas em instalações elétricas, a corrente se apresenta adiantada ou atrasada (respectivamente) em relação à tensão. A Figura 2.4 exemplifica este fato considerando uma pequena diferença de fase (corrente em atraso, uma vez que passa pelo zero depois da tensão).

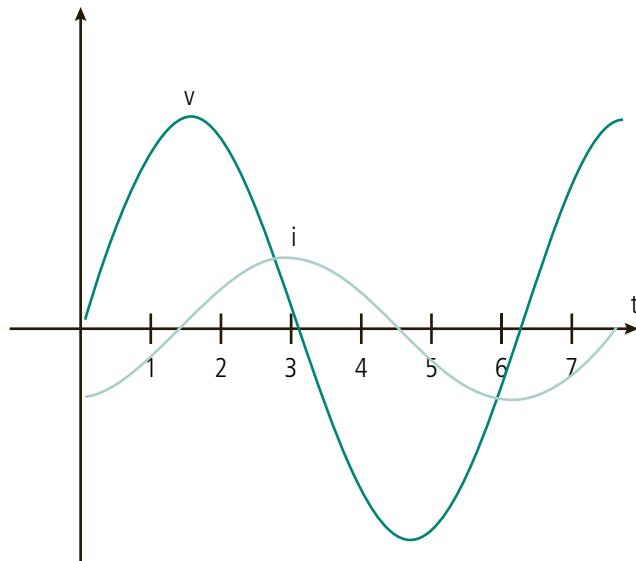


Figura 2.4: Tensão e corrente em circuito indutivo

Fonte: Elaborada pelo autor



Para verificar o fenômeno de defasagem entre tensão e corrente, acesse:
http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=302 Ao criar diferentes circuitos (resistivos, capacitivos e indutivos), essa animação permite verificar o comportamento dessas grandezas ao longo do tempo.

Nota-se que o produto (potência) desloca-se para baixo (Figura 2.5), de onde se conclui, portanto, que a defasagem entre tensão e corrente influencia a potência útil (potência média) a ser extraída do sistema e convertida em outra forma de energia (por exemplo, em energia mecânica, térmica ou luminosa).

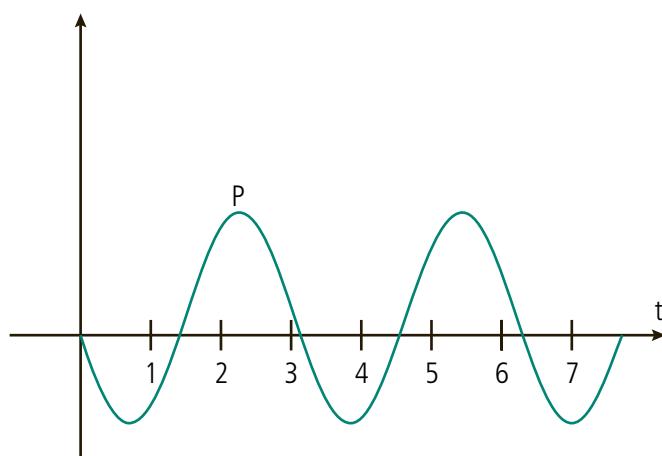


Figura 2.5: Potência em circuito indutivo

Fonte: Elaborada pelo autor

Desse fenômeno surge o chamado triângulo de potências, representado pela Figura 2.6 a seguir.

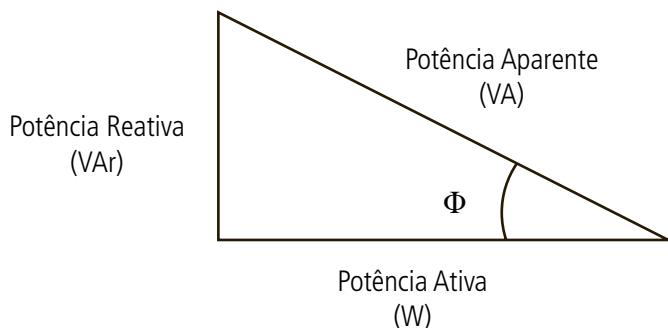


Figura 2.6: Triângulo de potências

Fonte: Elaborada pelo autor

A potência ativa, no eixo real, representa a potência útil que efetivamente será convertida em trabalho. A potência reativa, eixo imaginário, representa o quanto de potência não foi aproveitado pelo sistema (convertido em trabalho). A potência aparente nada mais é do que a quantidade total de potência gerada pelo sistema, considerando a soma vetorial das potências ativa e reativa.

A potência reativa, embora indesejada, é necessária, pois é ela, por exemplo, que alimenta os campos magnéticos dos geradores e dos motores. O que a legislação exige é que seu valor seja controlado de modo a não causar desperdícios no sistema.



O fator de potência ($\cos(\Phi)$), grandeza normalmente indicada nas especificações técnicas de equipamentos em geral, representa justamente o cosseno do ângulo de defasagem entre a tensão e corrente: $\cos(\Phi)$.

$$\cos(\Phi) = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{\text{potência ativa}}{\text{potência aparente}}$$



Observe que em uma dada instalação industrial, se o $\cos(\Phi)$ for maior que 0,92 será cobrada uma multa, sobretaxa, pelo não aproveitamento eficiente da potência que lhe é entregue.

2.5 Entrada de energia para clientes residenciais

Na Figura 2.7 pode-se observar um diagrama simplificado da rede de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

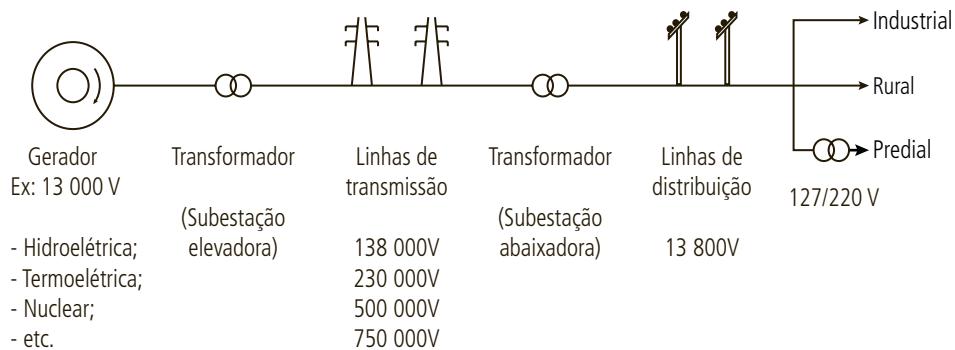


Figura 2.7: Diagrama simplificado da rede de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica

Fonte: Elaborada pelo autor

Já a Figura 2.8 apresenta um diagrama simplificado de uma instalação predial.

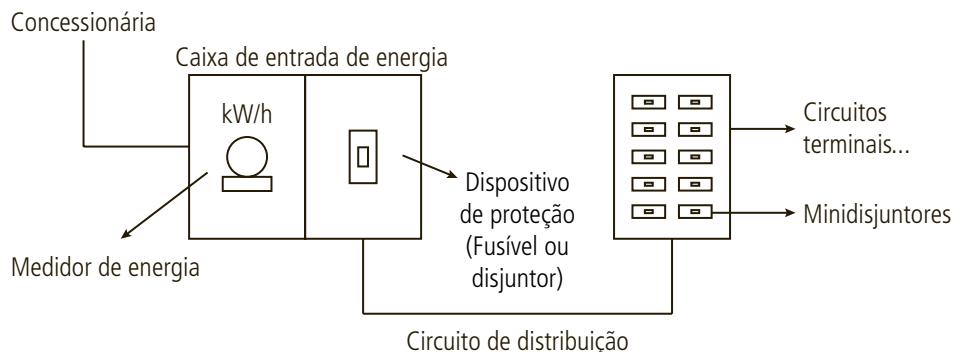


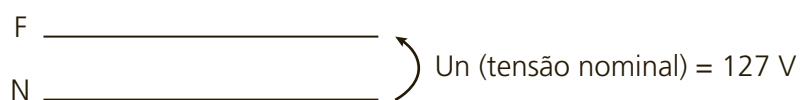
Figura 2.8: Diagrama simplificado de uma instalação residencial

Fonte: Elaborada pelo autor

A entrada de energia pode ser de três tipos, a seguir especificados:

- a) Monofásico: potência instalada $\leq 13 \text{ kW}$

127 V (F + N)



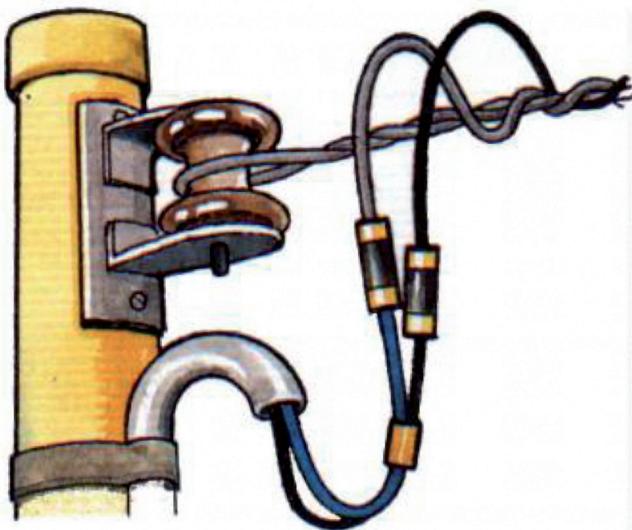


Figura 2.9: Entrada monofásica

Fonte: http://www.energibras.com.br/ajudatecnica/tensao_de_fornecimento.html

- b)** Bifásico: $13 \text{ kW} < \text{potência instalada} \leq 20 \text{ kWz}$

$127/220 \text{ V (F + F + N)}$

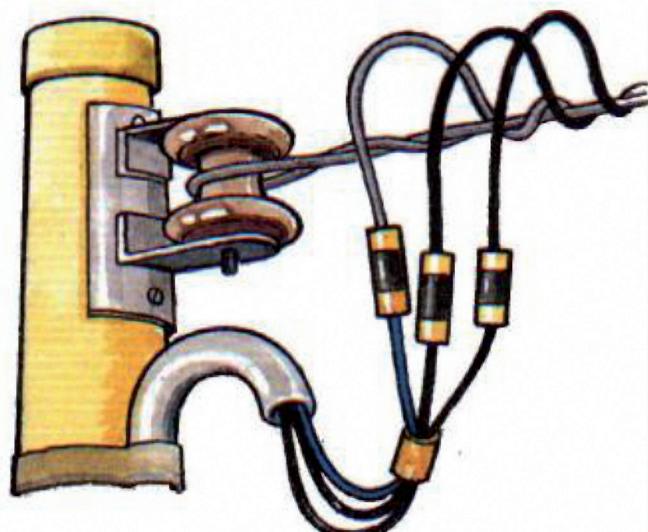
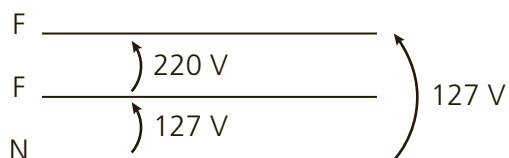


Figura 2.10: Entrada bifásica

Fonte: http://www.energibras.com.br/ajudatecnica/tensao_de_fornecimento.html

c) Trifásico: $20 \text{ kW} < \text{potência instalada} \leq 75 \text{ kW}$

127/220 V (F + F + F + N)

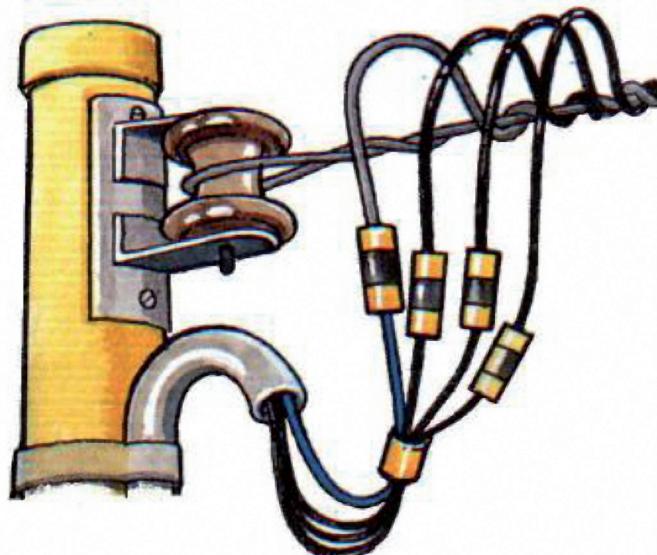
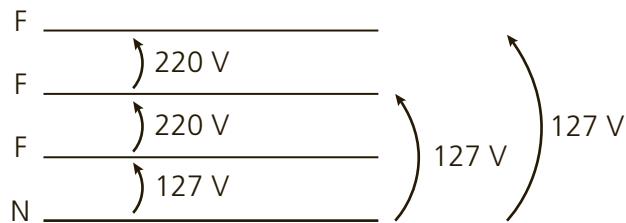


Figura 2.11: Entrada trifásica

Fonte: http://www.energabras.com.br/ajudatecnica/tensao_de_fornecimento.html



Os valores mínimos e máximos para cada tipo de entrada sofrem alterações conforme a concessionária de energia da região.

2.6 Cálculo da corrente nominal

Conforme o tipo de entrada deve-se utilizar as seguintes expressões:

$$\text{Instalação monofásica ou bifásica: } I_N = \frac{P(VA)}{U_N(V)} = \dots [A]$$

$$\text{Instalação trifásica: } I_N = \frac{P(VA)}{\sqrt{3} \cdot U_N(V)} = \dots [A]$$

Quando for fornecido o rendimento de um equipamento, ele é inserido no denominador desta equação.

O exemplo a seguir reforça a influência do fator de potência para determinar a corrente necessária a diversos equipamentos.



Exemplo – Calcule a corrente nominal para os seguintes equipamentos:

- a) Máquina de lavar roupa: 800 W; fp = 0,8; Un = 127 V.
- b) Chuveiro: 5000 W; 220 V.
- c) Ar-condicionado: 2000 VA; 220 V.
- d) Banheira de hidromassagem: motor trifásico de 1 cv (736 W); 220 V; fp = 0,82; rendimento (η) = 0,9.

Solução:

a) $P_{aparente} = \frac{P_{ativa}}{\cos(\Phi)} = \frac{800}{0,8} = 1000 \text{ VA}$

$$I_N = \frac{1000}{127} = 7,87 \text{ A}$$

b) $P_{aparente} = \frac{P_{ativa}}{\cos(\Phi)} = \frac{5000}{1} = 5000 \text{ VA}$

Observe que a defasagem entre tensão e corrente neste caso é “0”, pois a carga é resistiva. Portanto, $\cos(0) = 1$.

c) $I_N = \frac{2000}{220} = 9,09 \text{ A}$

d) $P_{aparente} = \frac{P_{ativa}}{\cos(\Phi)} = \frac{736}{0,82} = 897,56 \text{ VA}$

$$I_N = \frac{897,56}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,9} = 2,6 \text{ A}$$

Resumo

Nesta aula foram apresentados os conceitos complementares ao desenvolvimento de projetos elétricos neste curso (Leis de Kirchhoff, potência elétrica e entrada de energia). Observou-se a influência do fator de potência dos equipamentos para o aproveitamento real da potência e os métodos para o cálculo da corrente nominal em circuitos conforme o tipo de alimentação.

Atividades de aprendizagem

Resolva os problemas propostos para fixar os conteúdos vistos.

- 1.** Um sistema de alimentação bifásico é constituído por quais condutores?

- 2.** Calcule a corrente nominal para uma banheira de hidromassagem com motor trifásico de 1 cv; alimentação de 220 V; fator de potência de 0,82; e rendimento de 0,9.

Aula 3 – Símbologia e representação elétrica

Objetivos

Conhecer as símbologias utilizadas em projetos elétricos.

Entender os diferentes esquemas de interrupção de luz.

Interpretar representações elétricas em planta.

3.1 Símbologia para instalações prediais

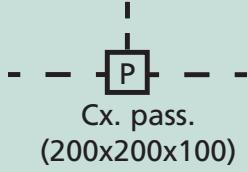
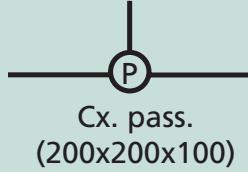
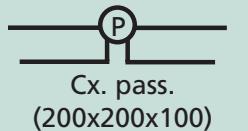
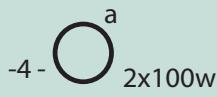
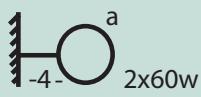
A símbologia gráfica, linguagem utilizada em projetos elétricos, é definida pela NBR-5444, porém, nem todos os projetistas adotam esses elementos fielmente. Por esta razão, orienta-se que sempre seja feita no projeto uma legenda com a descrição de cada símbolo utilizado.

No Quadro 3.1 são apresentados os símbolos a serem utilizados com mais frequência neste curso com base na referida norma.

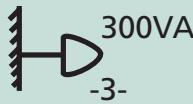
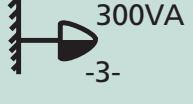
Quadro 3.1: Símbologia elétrica

Símbolo	Significado	Observações
	Eletroduto embutido no teto ou parede.	Para todas as dimensões em mm, indicar a seção, se esta não for de 15mm.
	Eletroduto embutido no piso.	
	Condutor de fase no interior do eletroduto.	
	Condutor neutro no interior do eletroduto.	Cada traço representa um condutor. Indicar o número de condutores, número do circuito e a seção dos condutores (exceto se forem de 1,5mm²).
	Condutor de retorno no interior do eletroduto.	
	Condutor terra no interior do eletroduto.	

continua

	Cx. pass. (200x200x100)	Caixa de passagem no piso.	Dimensões em mm.
	Cx. pass. (200x200x100)	Caixa de passagem no teto.	Dimensões em mm.
	Cx. pass. (200x200x100)	Caixa de passagem na parede.	Indicar a altura e se necessário fazer detalhes (dimensões em mm).
		Quadro parcial de luz e força aparente.	
		Quadro parcial de luz e força embutido.	
		Quadro geral de luz e força aparente.	Indicar as cargas de luz em W e de força em W ou kW.
		Quadro geral de luz e força aparente.	
	a	Interruptor de uma seção.	
	a b	Interruptor de duas seções.	
	a b c	Interruptor de três seções.	As letras minúsculas indicam os pontos comandados.
	a	Interruptor paralelo ou <i>three-way</i> .	
	a	Interruptor intermediário ou <i>four-way</i> .	
	-4 - 2x100w	Ponto de luz incandescente no teto. Indicar o número de lâmpadas e a potência em W.	A letra minúscula indica o ponto de comando e o número entre os dois traços o circuito correspondente.
	-4 - 2x60w	Ponto de luz incandescente na parede (arandela).	Deve-se indicar a altura da arandela.

continua

-4 - 	Ponto de luz incandescente no teto (embutido). 2x100w	---
-4 - 	Ponto de luz fluorescente no teto (indicar na legenda o número de lâmpadas, o tipo de partida e de reator). 4x20w	---
-4 - 	Ponto de luz fluorescente na parede. 4x20w	Deve-se indicar a altura da luminária.
-4 - 	Ponto de luz fluorescente no teto (embutido). 4x20w	---
	Tomada de luz baixa (300 mm do piso acabado). 300VA	
	Tomada de luz a meia altura (1.300 mm do piso acabado). 300VA	Devem ser indicados a potência em VA (exceto se for 100VA), o número do circuito correspondente e a altura da tomada (se diferente da normalizada).
	Tomada de luz alta (2.000 mm do piso acabado). 300VA	
	Tomada de luz no piso.	

Conclusão

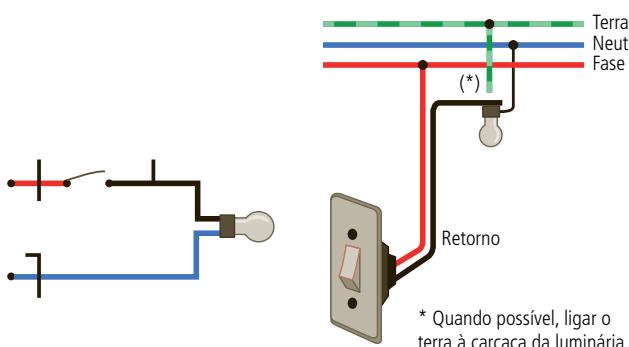
Fonte: Adaptado da NBR-5444

3.2 Ligação dos interruptores

Os subitens a seguir demonstram como ligar os diferentes tipos de interruptores.

3.2.1 Interruptor simples

Realiza comando do ponto de luz em um único local.



Veja o vídeo a seguir sobre interruptores simples: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=223&Itemid=304

Figura 3.1: Esquema elétrico do interruptor simples

Fonte: Elaborada pelo autor

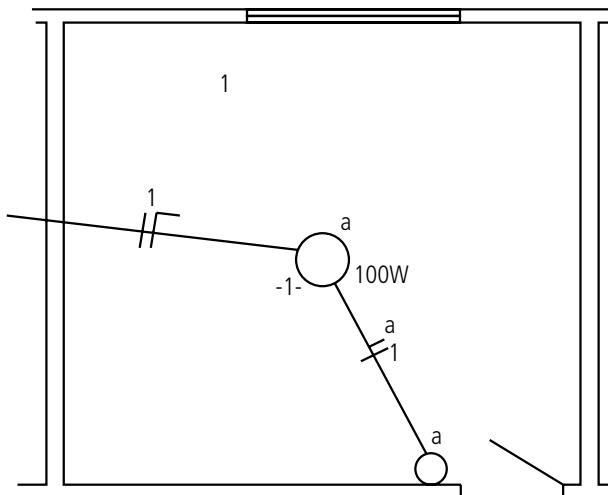


Figura 3.2: Interruptor simples – representação da ligação em planta
Fonte: Elaborada pelo autor



Veja o vídeo a seguir sobre interruptores paralelos: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=224&Itemid=305

3.2.2 Interruptor paralelo (ou *three-way*)

Realiza comando do ponto de luz de dois locais distintos.

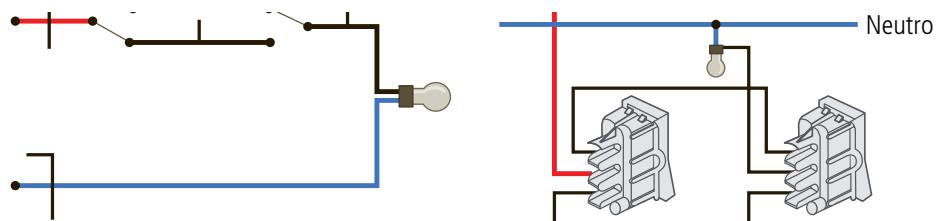


Figura 3.3: Esquema elétrico do interruptor paralelo
Fonte: http://www.fazfacil.com.br/reforma_construcao/electricidade_interruptor_2.html

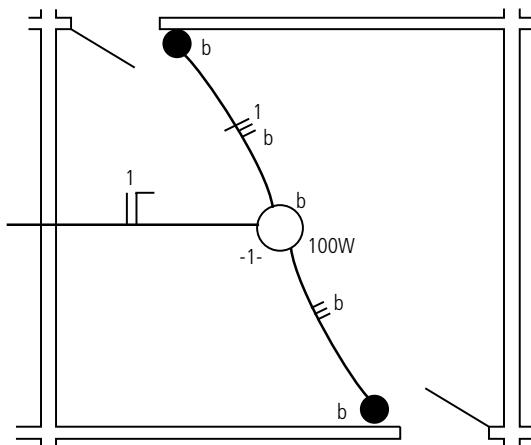


Figura 3.4: Interruptor paralelo: representação da ligação em planta
Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.3 Interruptor intermediário (ou four-way)

Realiza comando do ponto de luz de mais de dois locais distintos.

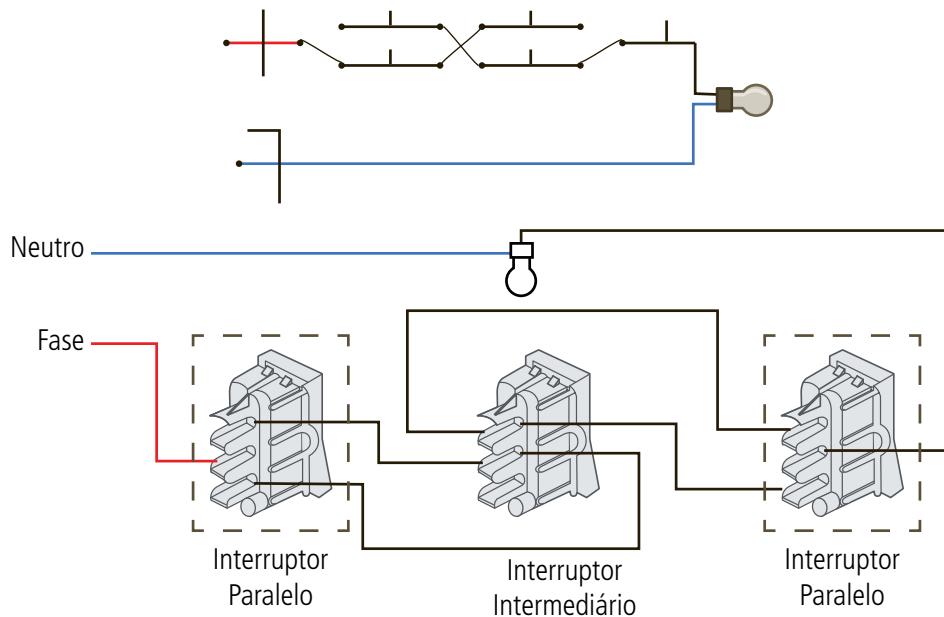


Figura 3.5: Esquema elétrico do interruptor intermediário

Fonte: Elaborada pelo autor

Para aumentar o número de pontos de comando, basta inserir novos interruptores intermediários no esquema acima.



Veja o vídeo a seguir sobre interruptores intermediários:
http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=225&Itemid=306

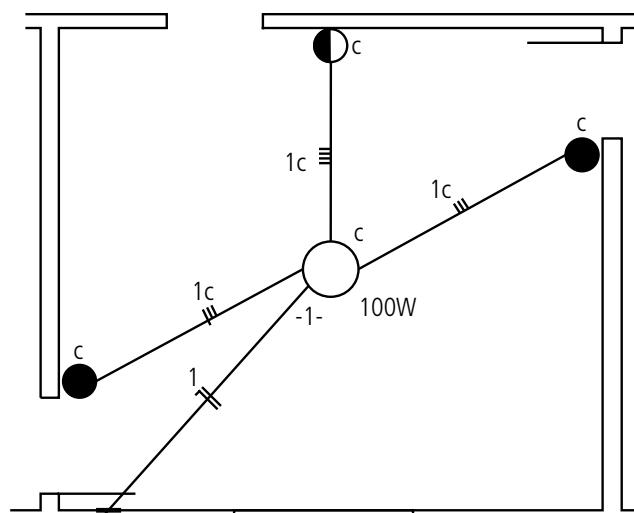


Figura 3.6: Interruptor intermediário – representação da ligação em planta

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3 Lâmpadas

A luz é uma forma de energia que pode ser liberada por um átomo. Ela é feita de várias partículas pequenas chamadas **fótons**. Os átomos liberam os fótons quando os seus **elétrons** são excitados. Geralmente, elétrons com maior nível de energia movem-se em órbitas mais afastadas do núcleo. Quando um átomo ganha ou perde energia, a mudança se reflete no movimento dos elétrons. Quando alguma coisa passa energia para o átomo, um elétron será temporariamente impulsionado para um orbital mais afastado do núcleo. O elétron mantém esta posição por uma pequena fração de segundo e, quase que imediatamente, é atraído de volta ao núcleo, para sua posição original. Assim que o elétron retorna ao seu orbital de origem, libera a energia extra na forma de um fóton (em alguns casos, um fóton luminoso).

Esse fenômeno ocorre em uma lâmpada quando no seu circuito se estabelece uma corrente elétrica, pois os elétrons que se movem no seu interior estão constantemente batendo nos átomos que a compõem. Assim, a energia de cada impacto faz um átomo vibrar e os elétrons a ele associados podem ser impulsionados temporariamente para um nível mais alto de energia. Ao retornarem para suas posições, emitem luz.

Nas instalações elétricas de baixa tensão as lâmpadas mais comumente utilizadas são as incandescentes e as fluorescentes. Os tipos existentes, seu princípio de funcionamento e o processo de fabricação podem ser vistos nos vídeos a seguir:

- a) **Tipos de lâmpadas incandescentes:** http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=226&Itemid=307
- b) **Como funcionam lâmpadas incandescentes:** http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=227&Itemid=308
- c) **Processo de fabricação de lâmpadas incandescentes:** http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=228&Itemid=311
- d) **Tipos de lâmpadas fluorescentes:** http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=229&Itemid=312
- e) **Como funcionam as lâmpadas fluorescentes:** http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=230&Itemid=313

- f) Processo de fabricação de lâmpadas fluorescentes: http://speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=247:processo-de-fabricacao-de-lampadas-fluorescentes&catid=65:ensino&Itemid=316

Ao se tratar de lâmpadas fluorescentes faz-se necessária a utilização de reatores cuja função é elevar a tensão da rede de alimentação, pois, para começar a funcionar, a lâmpada precisa de alta-tensão para **ionizar** o gás em seu interior. Após a partida da lâmpada o reator utiliza a tensão nominal da instalação, uma vez que depois de ionizado o gás se torna bom condutor.

Para informações complementares, dicas sobre montagens e outros dispositivos frequentemente utilizados em instalações elétricas de baixa tensão, veja também os vídeos a seguir:

- a) Interruptor de duas seções: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=232:interruptor-de-duas-secoes&catid=65:ensino&Itemid=316
- b) Interruptor bipolar (com proteção para duas fases): http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=233:interruptor-bipolar-com-protecao-para-duas-fases&catid=65:ensino&Itemid=316
- c) Interruptor simples mais tomada: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=234:interruptor-simples-mais-tomada&catid=65:ensino&Itemid=316
- d) Tomadas: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=235:tomadas&catid=65:ensino&Itemid=316
- e) Relés fotoelétricos: http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=236:reles-fotoeletricos&catid=65:ensino&Itemid=316
- f) Emendas (veja também na NBR5410, p. 116, informações sobre soldas): http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=237:emendas-veja-tambem-na-nbr-5410-p-116-informacoes-sobre-soldas&catid=65:ensino&Itemid=316

A-Z

Ion

É um átomo (ou molécula) eletricamente carregado que perdeu ou ganhou elétrons (sendo chamados de ânion ou cátion respectivamente)



Veja o vídeo a seguir sobre como ligar reatores eletrônicos:
http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=231:como-ligar-reactores-eletronicos&catid=65:ensino&Itemid=316



Os exemplos a seguir apresentam uma aplicação prática da utilização de simbologias elétricas.

Exemplo 1 – Representação em planta de um circuito de iluminação.

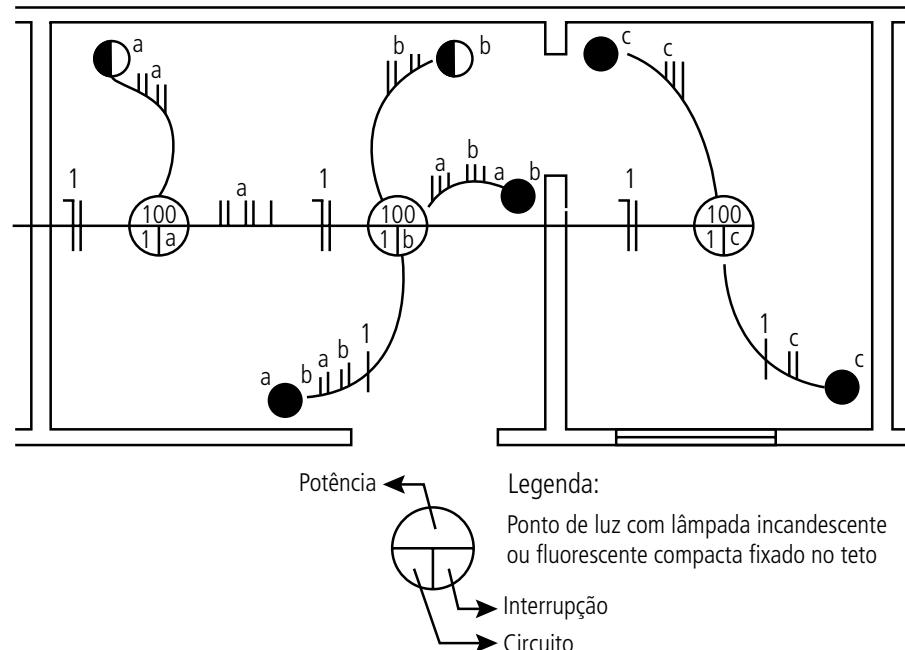


Figura 3.7: Três pontos de luz

Fonte: Elaborada pelo autor

Exemplo 2 – Representação em planta de quatro circuitos: iluminação, tomadas de uso geral (TUG), ar-condicionado e chuveiro.

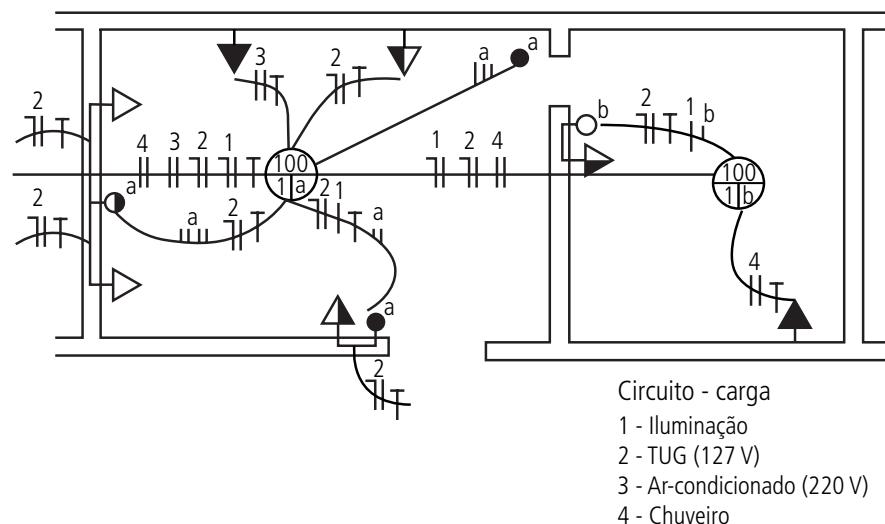


Figura 3.8: Quatro circuitos

Fonte: Elaborada pelo autor

Resumo

Nesta aula foram analisados os símbolos utilizados em instalações elétricas e o método de representação de cada elemento em um circuito. Apresentamos também a lógica de funcionamento de interruptores e características gerais sobre lâmpadas.

Atividades de aprendizagem

1. Faça a representação em planta de dois cômodos considerando que existam as seguintes cargas:

- a) Cômodo 1: dois pontos de luz "a" e "b" (utilizando dois interruptores paralelos de duas seções).
- b) Cômodo 2: dois pontos de luz "c" e "d" (utilizando um interruptor paralelo de duas seções e dois interruptores paralelos de uma seção).

2. Faça a representação em planta de um cômodo considerando que existam as cargas a seguir relacionadas:

- a) Iluminação;
- b) Máquina de lavar louça (127 V);
- c) Micro-ondas (127 V);
- d) Geladeira (127 V);
- e) Forno (127 V);
- f) Fogão e exaustor (127 V);
- g) 3 x TUG (127 V);
- h) TUE: tomada de uso específico (220 V).

Aula 4 – Projetos elétricos: proteção e dimensionamento

Objetivos

Conhecer os tipos de falha em instalações elétricas.

Compreender o princípio de funcionamento e os critérios para o dimensionamento de dispositivos de proteção.

Conhecer os critérios para o dimensionamento de quadros de distribuição.

Para realização de projetos elétricos é necessário profundo conhecimento da NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão), baseada na norma internacional IEC 60364 (*Electric Installations of Buildings*), que é aplicada a todas as instalações elétricas cuja tensão nominal é igual ou inferior a 1.000 V em corrente alternada (CA) ou a 1.500 V em corrente contínua (CC). Ela é complementada por outras duas normas: a NBR 13570 (Instalações Elétricas em Locais de Afluência de Público), que se aplica a locais como cinemas, teatros, boates, escolas, lojas, restaurantes etc.; e a NBR 13534 (Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde: Requisitos para Segurança), que se aplica a locais como hospitais, ambulatórios, clínicas médicas, odontológicas e veterinárias etc. Na NBR 5410, p. 2 a 6, outras normas importantes relacionadas ao assunto são citadas.



4.1 Funcionamento de uma instalação elétrica

Uma instalação elétrica deve funcionar sob dois estados:

- Normal** – funcionamento por tempo indeterminado sem prejuízo da vida útil dos componentes. A corrente que circula quando sob funcionamento normal é a “corrente nominal”: $I_N = \frac{P}{U}$ [A]
- Defeito** – interrupção do funcionamento em um tempo que garanta a proteção dos componentes (sem danificação). Os defeitos podem ser de três espécies:

- Sobrecarga: acréscimo da corrente nominal até valores da ordem de 10x I_n (possui, portanto, efeito térmico lento);
- Curto-círcuito: acréscimo da corrente nominal até valores da ordem de mais de 10x I_n (exige, portanto, interrupção imediata);
- Corrente de fuga: desvios de corrente da ordem de 30mA até aproximadamente 500mA (ocasiona choques, desperdício de energia, em alguns casos incêndio etc.).

4.2 Dispositivos de proteção em baixa-tensão

A seguir serão apresentados os elementos de proteção adequados a cada um dos defeitos anteriormente apresentados.

4.2.1 Sobrecarga

Para proteção de sobrecarga utiliza-se o relé térmico. Sua fabricação se dá a partir da laminação de dois metais de coeficientes de dilatação diferentes unindo-os por meio de um enrolamento por onde passa a corrente que vai para a carga (Figura 4.1).

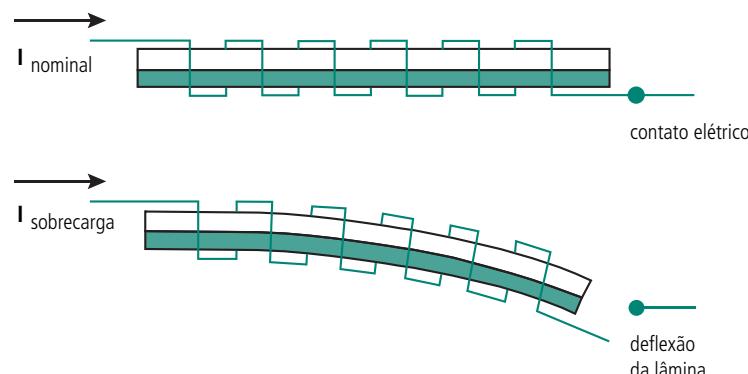


Figura 4.1: Lâmina bimetálica

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 4.2: Relé térmico

Fonte: http://www.siemens.com.br/medias/IMAGES/11254_20061109113340.jpg

Pode-se observar pela curva de atuação (Figura 4.3) que o relé térmico tem ação “retardada”.

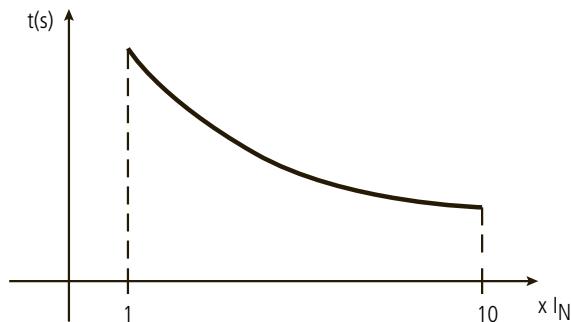


Figura 4.3: Curva de atuação do relé térmico

Fonte: Elaborada pelo autor

Este dispositivo é muito aplicado em instalações industriais para evitar o sobreaquecimento dos enrolamentos de motores.



4.2.2 Curto-círcito

Para proteção de curto-círcito utiliza-se:

a) Relé eletromagnético

É formado por um eletroímã e um conjunto de contatos. A movimentação física desse “interruptor” ocorre quando a corrente elétrica que percorre as espiras da bobina do relé cria um campo magnético forte o suficiente para atrair a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos.

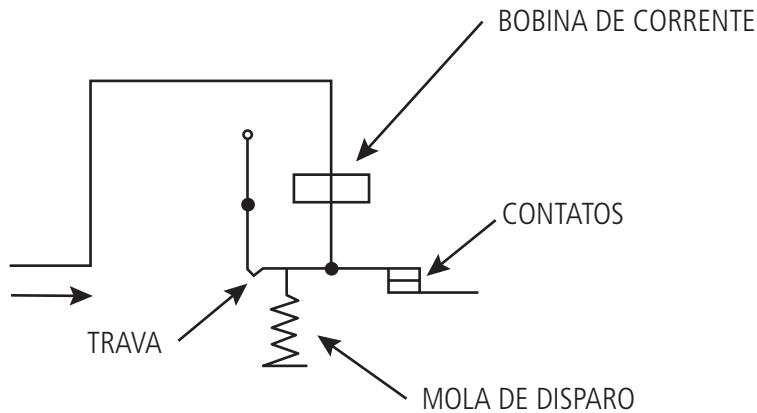


Figura 4.4: Princípio de funcionamento do relé eletromagnético

Fonte: SENAI (2005)

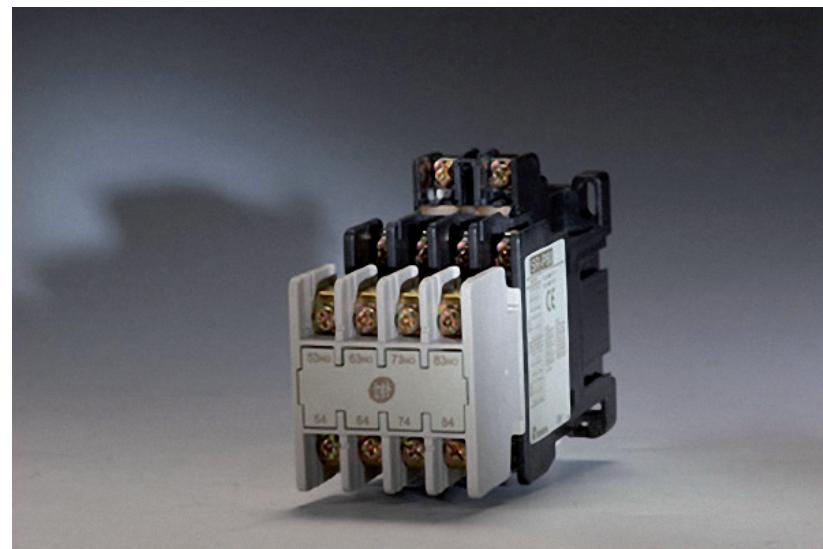


Figura 4.5: Relé eletromagnético

Fonte: http://circuit-breaker.ready-online.com/images/prd/m/prd_118_1.jpg



Dispositivos eletromecânicos têm sido substituídos, em algumas aplicações industriais, por dispositivos de estado sólido que não possuem partes móveis. Seu chaveamento ocorre por elementos semicondutores que tornam nulo o sinal de passagem.

Pode-se observar pela curva de atuação (Figura 4.6) que o relé eletromagnético tem ação rápida para valores de corrente superiores a $10 \times I_{n}$.

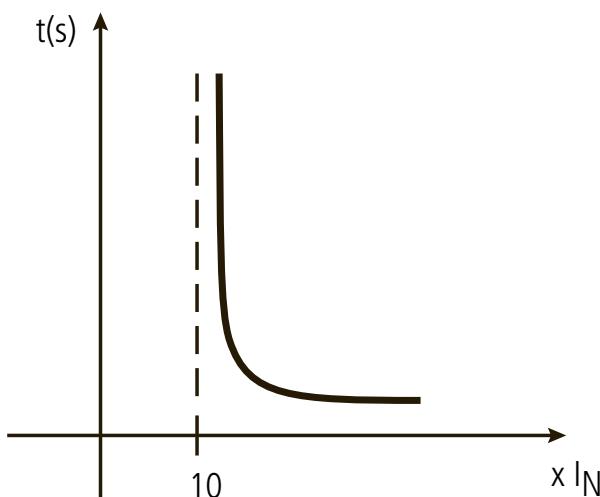


Figura 4.6: Curva de atuação do relé eletromagnético

Fonte: Elaborada pelo autor

b) Fusível

É um dispositivo destinado a eliminar uma corrente de curto-circuito através de um condutor chamado “elo fusível”, que se funde. É formado por um corpo de material isolante (fibra prensada, porcelana etc.) e um fio fusível de chumbo, cobre ou prata.



Os primeiros computadores utilizavam relés para implementar funções Booleanas.

Pode ser encontrado em diversos modelos, sendo os mais usuais os do tipo cartucho, faca, Diazed e NH. A Figura 4.7 apresenta alguns modelos de fusíveis.

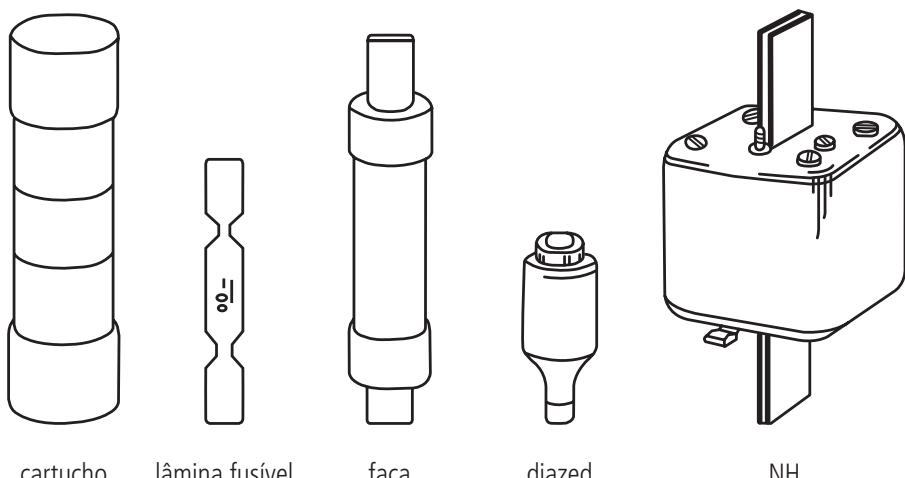


Figura 4.7: Tipos de fusíveis

Fonte: Adaptado de SENAI (2010, p. 5-6)

Como exemplos destes circuitos podem ser citados motores, cargas capacitivas e indutivas em geral.

Eles podem ser de efeito rápido (empregados em circuitos onde não há grande variação entre a corrente de partida e corrente nominal) ou de efeito retardado (empregados em circuitos cuja corrente de partida é elevada ou circuitos sujeitos a sobrecargas de curta duração).

Os fusíveis mais comumente utilizados são os do tipo NH (ação retardada) ou Diazed (ação rápida ou retardada). Os fusíveis NH possuem valores comerciais de corrente maiores que os do Diazed, sendo suas capacidades de ruptura dadas pelos catálogos dos fabricantes (normalmente dezenas de kA).

4.2.3 Corrente de fuga

Para proteção de corrente de fuga utiliza-se:

a) Interruptor de corrente de fuga (FI) ou Diferencial residual (DR)

É um dispositivo que verifica a soma vetorial das correntes que entram e saem em um circuito, protegendo pessoas e animais domésticos contra correntes de fuga.

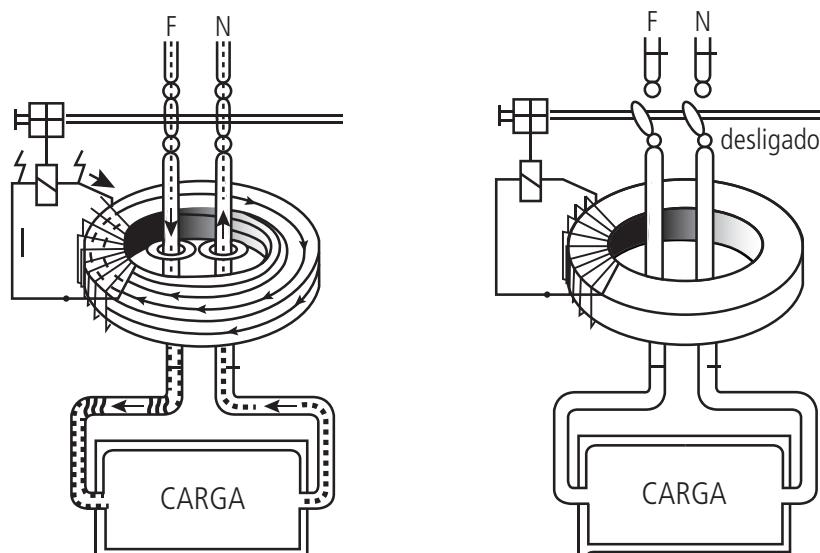


Figura 4.8: Princípio de funcionamento do diferencial residual

Fonte: Adaptado de SENAI (2010, p. 3)

Interruptor
Diferencial
Residual 2P

Disjuntor
Diferencial
Residual

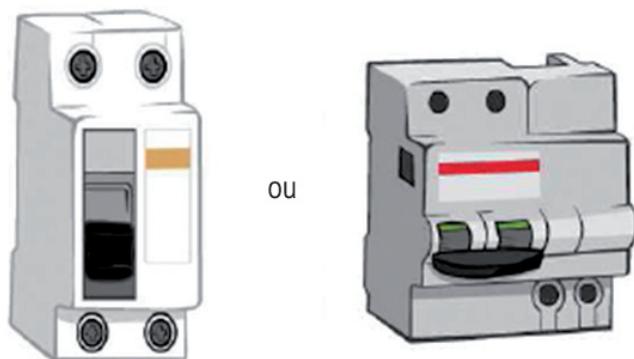


Figura 4.9: Diferencial residual

Fonte: Adaptado de SENAI (2010, p. 2)

Quando a corrente percorre um condutor elétrico, cria ao seu redor um campo magnético proporcional a essa corrente. Estando a fase e neutro em sentido contrário, seus campos, se de mesma intensidade, irão se anular. Caso exista alguma fuga de corrente, os valores das correntes de ida e volta (fase e neutro) serão desiguais, criando um campo magnético resultante que por sua vez induzirá o funcionamento de um relé encarregado de chavear os terminais de contato (abrindo o circuito).

Este dispositivo é obrigatório para algumas cargas em instalações de baixa tensão como: chuveiros, tomadas de áreas externas, copas, cozinhas, demais dependências internas molhadas ou sujeitas a lavagens, etc. (ABNT, 2004, p. 49). Os dispositivos DR, módulos DR ou disjuntores DR de corrente nominal residual até 30mA são destinados fundamentalmente à proteção de pessoas, enquanto os de correntes nominais residuais de 100mA, 300mA, 500mA, 1000mA ou ainda superiores a estas, são destinados à proteção patrimonial contra os efeitos causados pelas correntes de fuga à terra, tais como consumo excessivo de energia elétrica ou ainda incêndios.



4.2.4 Disjuntor

É um dispositivo de manobra (seccionamento) e proteção capaz de atuar tanto na sobrecarga quanto no curto-círcuito (constituído de relé térmico e relé eletromagnético).

Quando empregue como dispositivo de manobra, deve-se observar que: o seccionamento deve ser efetuado preferencialmente por dispositivo multipolar que seccione todos os polos da respectiva alimentação. Contudo admite-se o empre-



go de dispositivos unipolares justapostos, exceto para algumas aplicações que envolvam seccionamento de manutenção ou emergência (para estas e outras recomendações de segurança, veja a NBR 5410, p. 140).

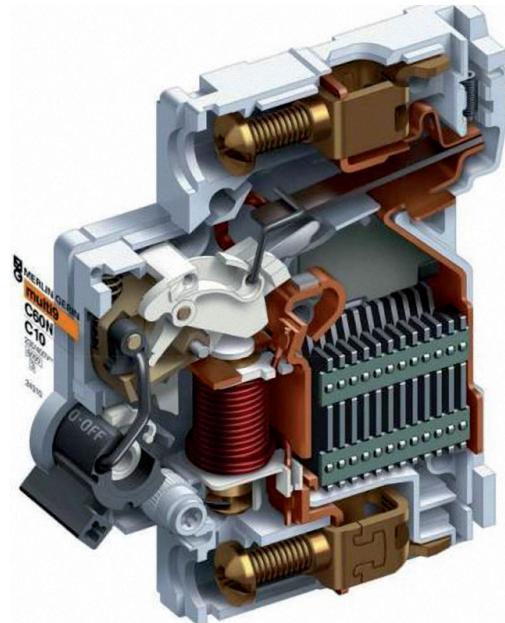


Figura 4.10: Esquema de funcionamento de um disjuntor

Fonte: http://www.electricpj.com.br/eventos/Apresenta%20_Dimensionamento_PJ.pdf

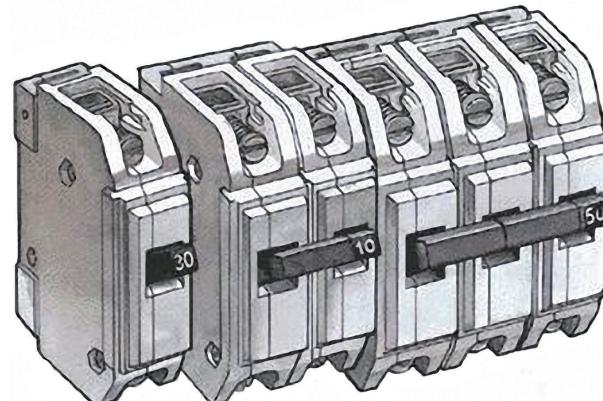


Figura 4.11: Disjuntores monopolar, bipolar e tripolar

Fonte: <http://www.energibras.com.br/ajudatecnica/images/139.gif>

Considerando que o disjuntor possui ambos os elementos (relé térmico e eletromagnético), observa-se na Figura 4.12 sua curva de atuação.

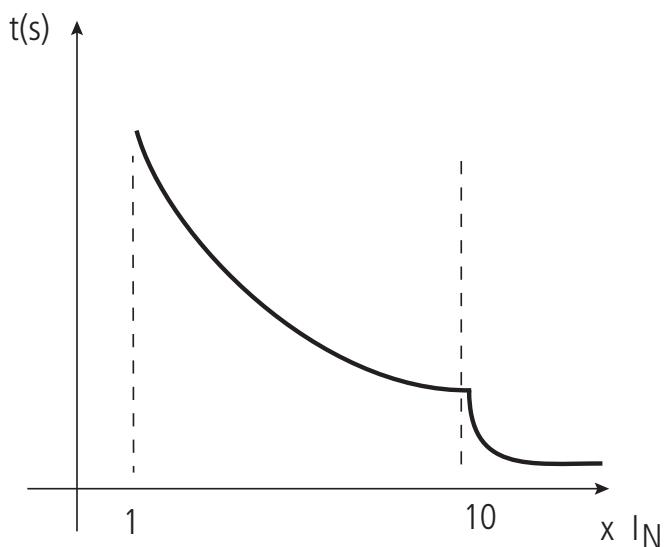


Figura 4.12: Curva de atuação do disjuntor

Fonte: Elaborada pelo autor

Para as instalações prediais são utilizados os minidisjuntores que podem ser:

- Monopolares (monofásicos: F + N);
- bipolares (bifásicos: F + F);
- tripolares (trifásicos: F + F + F).

Eles ainda podem ser classificados como:

- tipo americano (NEMA) – caixa externa na cor preta, tamanho (módulo) maior, atuação em correntes de curto-circuito de 20 a 30x In, não possui bobina eletromagnética (apenas uma espira);
- tipo europeu (DIN) – caixa externa na cor cinza, tamanho (módulo) menor, classificação L (atua de 3,5 a 5,3 x In) ou G (atua de 7 a 10 x In), possui bobina eletromagnética.

Para o dimensionamento do minidisjuntor deve-se considerar:



Veja o vídeo a seguir sobre
disjuntores:
http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=245:disjuntores&catid=65:ensino&Itemid=316

$$I_{disj} = \frac{I_B}{fa \cdot ft}$$

Onde:

I_{disj} – corrente nominal do disjuntor (adotar valor comercial superior);

fa – fator de agrupamento (ver gráfico fornecido pelo fabricante);

ft – fator de temperatura (ver gráfico fornecido pelo fabricante);

I_B – corrente de projeto.



São valores tradicionais de disjuntores comerciais: 2 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, 30 A, 35 A, 40 A, 50 A, 75 A.

O fator de temperatura realiza uma correção para o valor da temperatura ambiente e deve ser verificado em um gráfico (ou tabela) fornecido pelo fabricante (a NBR 5410, p. 106, também estima estes valores). A Figura 4.13 exemplifica esta informação.

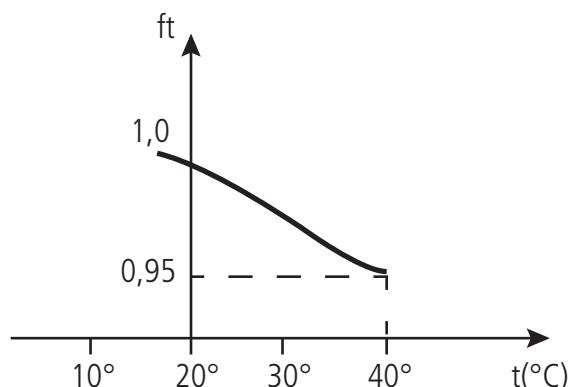


Figura 4.13: Fator de temperatura

Fonte: Elaborada pelo autor

O fator de agrupamento realiza uma correção para o número de polos existentes no quadro terminal e deve ser verificado em um gráfico (ou tabela) fornecido pelo fabricante. A Figura 4.14 exemplifica esta informação.

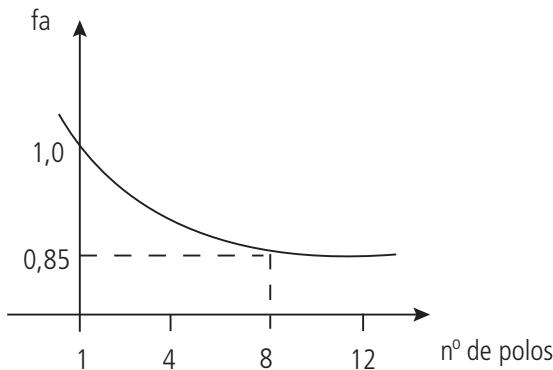


Figura 4.14: Fator de agrupamento

Fonte: Elaborada pelo autor

Atividades de aprendizagem: os exemplos a seguir apresentam uma aplicação prática do dimensionamento da proteção.



Exemplo 1 – Dimensione o disjuntor para proteção do circuito terminal de um aparelho de ar-condicionado de 2500 VA – 220 V. Sabe-se que a temperatura ambiente no local de instalação do quadro terminal é de 40°C e que este tem instalados 20 polos.

Solução:

$$I_B = \frac{P}{V} = \frac{2500}{220} = 11,36 \text{ A}$$

$$ft \text{ (40°C)} = 0,95$$

$$fa \text{ (20 polos)} = 0,85$$

$$I_{disj} = \frac{I_B}{fa \cdot ft} = \frac{11,36}{0,95 \cdot 0,85} = 14,1 \text{ A}$$

Descrição comercial: Disjuntor bipolar de 15 A – tipo G (opção do projetista).

Exemplo 2 – Dimensione o quadro terminal para um apartamento com as cargas a seguir especificadas. Considere uma temperatura de 40° C e a rede de alimentação trifásica 127/220 V.

Quadro 4.1: Circuitos do exemplo 2

Círculo	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
1	Iluminação	1200	127
2	Iluminação	800	127
3	TUG	1800	127
4	TUG	1800	127
5	Máq. lavar roupa	1000	127
6	Máq. lavar louça	3000	127
7	Geladeira e freezer	1000	127
8	Micro-ondas	1400	127
9	Forno elétrico	2000	127
10	Torneira elétrica	3500	220
11	Ar-condicionado	2500	220
12	Ar-condicionado	2500	220
13	Ar-condicionado	2500	220
14	Chuveiro	5000	220
15	Chuveiro	5000	220
16	Chuveiro	5000	220
17	Banheira de hidromassagem	2500	220
18	Microcomputador	1000	127
19	Aquecedor elétrico	3000	220

Fonte: Elaborada pelo autor



O projetista deve dividir a instalação em quantos circuitos forem necessários obedecendo a critérios de segurança, economia de energia, manutenção e necessidades funcionais (ABNT, 2004, p. 18). A quantidade de pontos de luz e de tomadas mínima estabelecida pode ser vista na NBR 5410, p. 182-183).



Para partida de motores com potência acima de 5 CV (3700 W) em instalações alimentadas pela rede de distribuição pública de baixa tensão, devem ser observadas as restrições e limites de perturbações impostos pela concessionária local de energia (ABNT, 2004, p. 154).

Solução:

Círculo 1:

$$I_B = \frac{1200}{127} = 9,45 \text{ A}$$

$$ft(40^\circ\text{C}) = 0,95$$

$$fa(28 \text{ polos}) \sim 0,85$$

$$I_{disj} = \frac{I_B}{fa.ft} = \frac{9,45}{0,95.0,85} = 11,7 \text{ A}$$

Círcuito 2: $I_b = 6,3 \text{ A}$ e $I_{disj} = 7,8 \text{ A}$

Circuitos 3 e 4: $I_b = 14,17 \text{ A}$ e $I_{disj} = 17,55 \text{ A}$

Círcito 5: $I_b = 7,87 \text{ A}$ e $I_{disj} = 9,75 \text{ A}$

Círcito 6: $I_b = 23,62 \text{ A}$ e $I_{disj} = 29,25 \text{ A}$

Círcito 7: $I_b = 7,87 \text{ A}$ e $I_{disj} = 9,75 \text{ A}$

Círcito 8: $I_b = 11,02 \text{ A}$ e $I_{disj} = 13,65 \text{ A}$

Círcito 9: $I_b = 15,75 \text{ A}$ e $I_{disj} = 19,5 \text{ A}$

Círcito 10: $I_b = 15,91 \text{ A}$ e $I_{disj} = 19,7 \text{ A}$

Circuitos 11, 12 e 13: $I_b = 11,36 \text{ A}$ e $I_{disj} = 14,07 \text{ A}$

Circuitos 14, 15 e 16: $I_b = 22,73 \text{ A}$ e $I_{disj} = 28,15 \text{ A}$

Círcito 17: $I_b = 11,36 \text{ A}$ e $I_{disj} = 14,07 \text{ A}$

Círcito 18: $I_b = 7,87 \text{ A}$ e $I_{disj} = 9,75 \text{ A}$

Círcito 19: $I_b = 13,64 \text{ A}$ e $I_{disj} = 16,89 \text{ A}$

Quadro 4.2: Especificação dos disjuntores

Círcito	Disjuntor comercial	Tipo	Classificação
1	15 A	Monopolar	L
2	10 A	Monopolar	L
3 e 4	20 A	Monopolar	G
5	10 A	Monopolar	G
6	30 A	Monopolar	G
7	10 A	Monopolar	G
8	15 A	Monopolar	G
9	20 A	Monopolar	L

continua

10	20 A	Bipolar	L
11, 12 e 13	15 A	Bipolar	G
14, 15 e 16	30 A	Bipolar	L
17	15 A	Bipolar	G
18	10 A	Monopolar	G
19	20 A	Bipolar	L

Conclusão

Fonte: Elaborada pelo autor

Cálculo da corrente geral:

$$\sum_{c \in \text{as}} = 46500 \text{ VA}$$

Fator de simultaneidade (ou demanda) = 60% a 70% (para locais onde todas as cargas são acionadas ao mesmo tempo considera-se 100%).

Portanto, $I_{\text{geral}} = \frac{46500 \cdot 0,7}{\sqrt{3} \cdot 220} = 85,42 \text{ A}$ (usar o disjuntor comercial de 90A tipo NEMA).

Diagrama trifilar do quadro terminal:

Deve conter barramentos (fases, neutro e proteção), disjuntor geral, disjuntores DR (quando exigido), disjuntores dos circuitos terminais, números dos circuitos.

Para definir os circuitos terminais a se conectar em cada fase é necessário promover o equilíbrio de cargas distribuindo-as da forma mais igual possível.

Potência das cargas monofásicas (127 V) = 15000 VA

Equilíbrio = $\frac{15000}{3} = 5000 \text{ VA}$ em cada fase. Portanto,

L1/N: 1, 2 e 6 = 5000 VA

L2/N: 3, 4 e 8 = 5000 VA

L3/N: 5, 7, 9 e 18 = 5000 VA

Potência das cargas bifásicas (220 V) = 31500 VA

$$\text{Equilíbrio} = \frac{31500}{3} = 10500 \text{ VA em cada fase. Portanto,}$$

L1/L2: 15 e 15 = 10000 VA

L2/L3: 10, 11, 12 e 13 = 11000 VA

L1/L3: 16, 17 e 19 = 10500 VA

Com esta opção de arranjo, o quadro de distribuição fica assim:

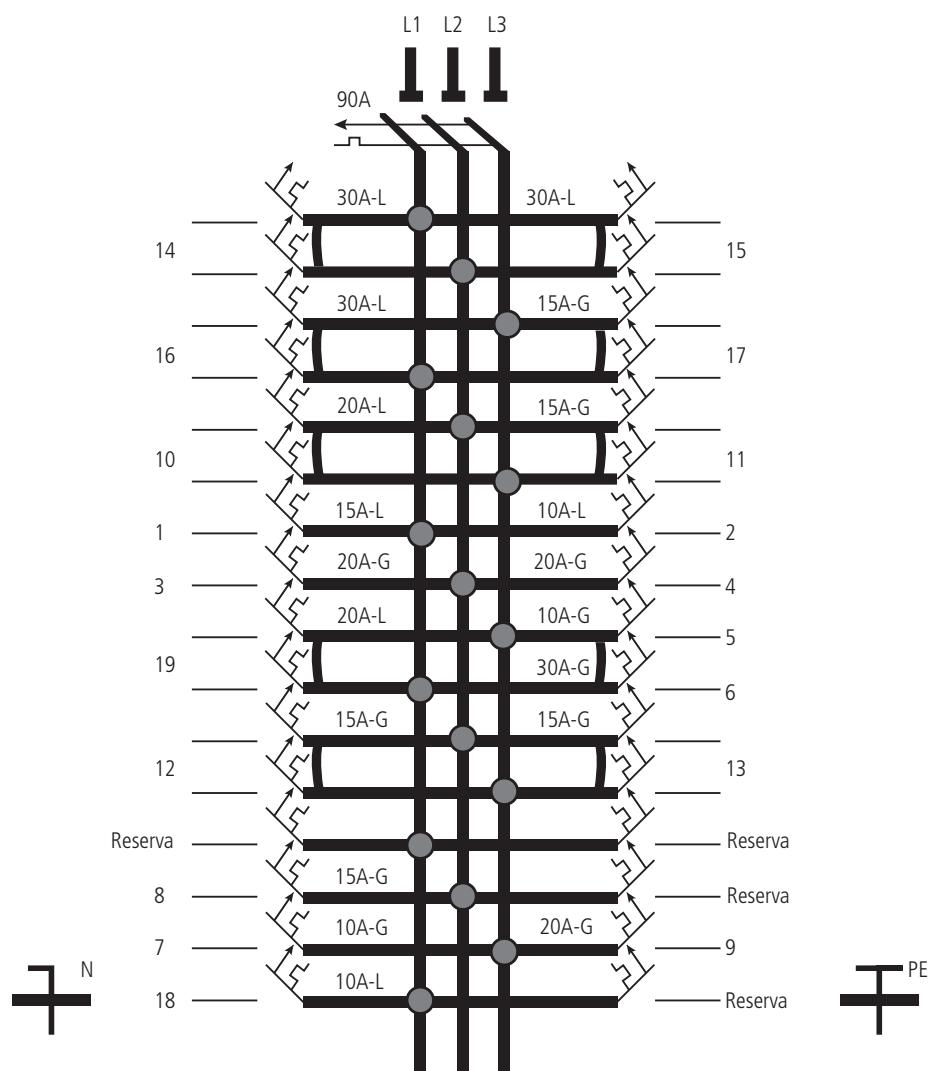


Figura 4.15: Diagrama trifilar do exemplo 2

Fonte: Elaborada pelo autor



Para esta instalação devem-se especificar disjuntores DR de alta sensibilidade para os casos previstos na NBR-5410, p. 157.



A Figura 4.16 dá a ideia dessa distribuição em uma situação real.

O símbolo representa os elementos eletromagnético e térmico do disjuntor

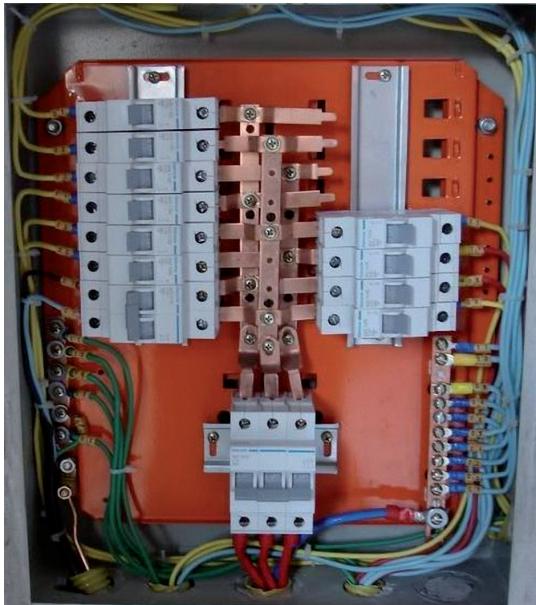


Figura 4.16: Foto de um quadro de distribuição real

Fonte: http://i307.photobucket.com/albums/nn309/rirsf/0gAAALrrM8AtotXQUA_SV9Xlsdy0qkd4o6l.jpg



O tamanho mínimo, distância mínima de segurança entre barramentos e outras características dos quadros de distribuição são apresentados na NBR 5410, p. 157.

Resumo

Nesta aula foram apresentados os tipos de defeitos existentes em instalações elétricas e os dispositivos de proteção utilizados para cada um deles. Também demonstramos os procedimentos para dimensionar as proteções individuais e gerais em quadros terminais, assim como o método para melhor distribuí-las.



Assista ao vídeo a seguir para uma revisão dos conceitos vistos até agora:

http://www.speed.eng.br/index.php?option=com_content&view=article&id=246:revisao&catid=65:ensino&Itemid=316

Atividades de aprendizagem

1. Dimensione o quadro terminal para uma instalação com temperatura de 40°C e as seguintes cargas:

Quadro 4.3: Circuitos da atividade 1

Círculo	Descrição	Potência (VA)	Tensão (V)
1	Ar-condicionado	2000	220
2	Ar-condicionado	2000	220
3	Ar-condicionado	200	220
4	Chuveiro	4000	220
5	Chuveiro	4000	220
6	Chuveiro	4000	220
7	Banheira de hidromassagem	1000	220
8	Aquecedor elétrico	3000	220
9	Torneira elétrica	3000	220
10	Máq. lavar louça	2500	127
11	Geladeira e freezer	1000	127
12	Máq. lavar roupa	1000	127
13	Micro-ondas	1200	127
14	Forno elétrico	2000	127
15	Exaustor	600	127
16	Iluminação	1500	127
17	Iluminação	1500	127
18	TUG	1800	127
19	TUG	1800	127
20	Microcomputador e impressora	1000	127

Fonte: Elaborada pelo autor

Aula 5 – Dimensionamento de condutores e eletrodutos em baixa-tensão

Objetivos

Conhecer os tipos existentes e os critérios de dimensionamento para condutores e eletrodutos.

5.1 Critérios para o dimensionamento de condutores

Conforme prescrito na NBR-5410, devem ser dimensionados para instalações prediais condutores de cobre isolados para 750 V ou 1 kV. As seções padronizadas são dadas pelos fabricantes em mm². Ex: 1 mm²; 1,5 mm²; 2,5 mm²; 4 mm²; 6 mm²; 10 mm²; 16 mm²; 25 mm²; 35 mm²; 50 mm² etc. Os condutores de cobre podem ser:

- fio – único condutor sólido;
- cabo – vários condutores encordoados (rígido ou flexível).

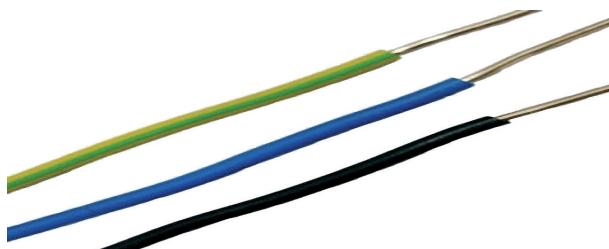


Figura 5.1: Fio condutor

Fonte: <http://www.tecnologiadoglobo.com/2009/04/diferenca-entre-fios-cabos-condutores>



As características elétricas (capacidade de condução de corrente, resistência da isolação etc.) dos cabos são as mesmas dos fios. Portanto, sua escolha depende da flexibilidade requerida: os cabos flexíveis proporcionam maior facilidade no manuseio por deslizarem mais facilmente nos eletrodutos. Cabos flexíveis requerem mais atenção ao descascar as pontas para efetuar conexões. Cabos rígidos ou fios sólidos requerem maior cuidado no momento de serem passados pelos eletrodutos para que a isolação não seja danificada. A quantidade de condutores é quem determina a flexibilidade do cabo; quanto mais condutores, mais flexível o cabo e vice-versa.

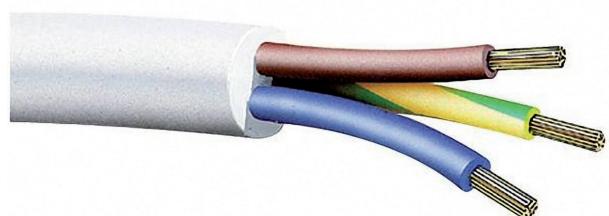


Figura 5.2: Cabo condutor multipolar

Fonte: <http://www.tecnologiadoglobo.com/2009/04/diferenca-entre-fios-cabos-condutores>



Cabos multipolares só devem conter condutores de um único circuito. No que diz respeito a circuitos diferentes em um mesmo eletroduto, observe os critérios da NBR 5410, p. 119.

Para o dimensionamento deve-se considerar uma seção de condutor que atenda a todos os critérios a seguir:

1. seção mínima normalizada;
2. capacidade de corrente;
3. queda de tensão;
4. coordenação com a proteção;
5. verificação em caso de curto-circuito.

A seguir apresenta-se o detalhamento de cada um destes itens.

1. Seção mínima normalizada

A NBR-5410 prescreve que sejam utilizados condutores com as seguintes seções mínimas:

- a) circuitos de iluminação: 1,5 mm²;
- b) circuitos de TUG e TUE: 2,5 mm².

2. Capacidade de corrente

- a) o material condutor;
- b) o tipo de isolação do condutor;
- c) a maneira de instalar;
- d) a temperatura ambiente;
- e) o número de circuitos no eletroduto.

Em relação aos tipos de isolação, a tabela a seguir aponta pontos fracos e fortes de cada um.

Quadro 5.1: Tipos de isolação

Material	Pontos fracos	Pontos fortes
PVC (cloreto de polivinila)	Baixo índice de estabilidade térmica.	Boas propriedades mecânicas e elétricas. Não propagante de chama.
XLPE (polietileno reticulado)	Baixa flexibilidade. Baixa resistência à chama.	Excelentes propriedades elétricas. Boa resistência térmica.
EPR (borracha etíleno propileno)	Baixa resistência mecânica. Baixa resistência a chamas.	Excelentes propriedades elétricas. Boa resistência térmica.

Fonte: Moraes e Silva (2010)

A capacidade de condução de corrente do condutor será designada por "Iz". Assim, deve-se garantir que: $I_Z \geq I_B$.

Onde:

I_B - é a corrente de projeto.



Para maiores detalhamentos e critérios exigidos para cabos condutores, devem ser observadas as normas apontadas na NBR 5410, p. 88.

3. Queda de tensão

A NBR 5410, p. 115, prescreve valores máximos admissíveis para as instalações:

- a) Instalações alimentadas diretamente por ramal de baixa-tensão: 5%
- b) Instalações alimentadas por subestação própria: 7%

A queda de tensão poderá ser calculada da seguinte forma:

$$\Delta V \% = \frac{2.100.\rho.I.l}{S.V_N}, \text{ para circuitos monofásicos ou bifásicos;}$$

$$\Delta V \% = \frac{\sqrt{3}.100.\rho.I.l}{S.V_N}, \text{ para circuitos trifásicos.}$$

Onde:

ΔV - queda de tensão [%];

$$\rho - resistividade do material (Ex: \rho_{\alpha} \text{ (cobre)} = \frac{1}{58} \left[\frac{\Omega.mm^2}{m} \right]);$$

I - corrente do circuito [A];

l - comprimento do circuito [m];

V_N - tensão nominal [V];

S - seção do condutor [mm^2].



Os valores supracitados são calculados a partir do ponto de entrega. Nos circuitos terminais a queda de tensão não pode ser superior a 4%.

4. Coordenação com a proteção

Também conforme a NBR 5410, p. 63, deve-se garantir que:

a) $I_B \leq I_N \leq I_Z$;

b) $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$.

Onde:

I_N - corrente do dispositivo de proteção [A];

I_B - corrente de projeto [A];

I_Z - capacidade de corrente do condutor [A];

I_2 - corrente de atuação do dispositivo de proteção [A].

5. Verificação em caso de curto-círcito

No evento de um curto-círcito o dispositivo de proteção deve atuar antes que ocorra a danificação dos condutores. Essa verificação poderá ser feita através de um gráfico (fornecido pelo fabricante do condutor). Exemplo:

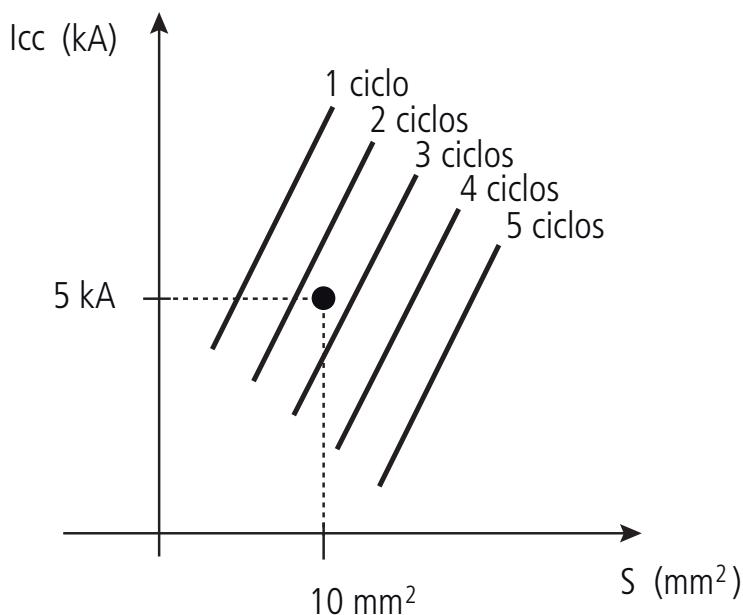


Figura 5.3: Ciclos que o condutor suporta

Fonte: Elaborada pelo autor

Portanto, esse valor que o condutor suporta deve ser comparado com o tempo de atuação do dispositivo de proteção.

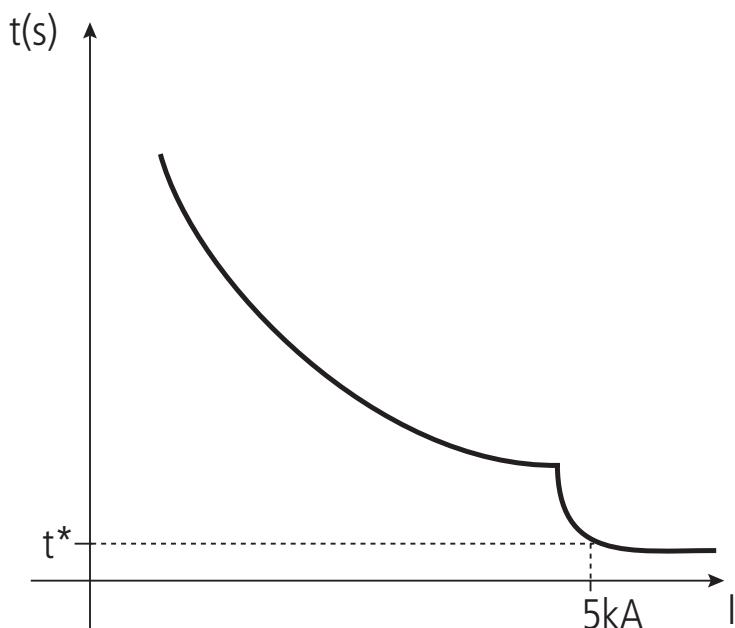


Figura 5.4: Tempo de atuação da proteção

Fonte: Elaborada pelo autor

Deve-se assegurar que: $t^* \leq t_{ciclos\ do\ condutor}$.



Veja o exemplo a seguir para fixar os conhecimentos.



Para maiores detalhamentos e critérios relacionados ao agrupamento de circuitos, veja a NBR 5410, p. 107.

Exemplo – Dimensione os condutores para o circuito terminal de um aparelho de ar- condicionado de 2000 VA – 220 V. Considere a instalação em eletroduto embutido em alvenaria e temperatura ambiente de 40°C. A distância do quadro terminal até o aparelho é de 20 m. A proteção é feita com minidisjuntor de 15 A. Considere a corrente de curto-círcuito presumida de 1 kA. Considere ainda que existam dois circuitos no mesmo eletroduto.

Quadro 5.2: Fatores de agrupamento e de temperatura

Fator de agrupamento	Fator de temperatura
1 circuito – 1,00	20°C – 1,12
2 circuitos – 0,80	25°C – 1,06
3 circuitos – 0,70	30°C – 1,00
4 circuitos – 0,65	35°C – 0,94
5 circuitos – 0,60	40°C – 0,87
	45°C – 0,79
	50°C – 0,71

Fonte: Elaborada pelo autor

Solução:

1. Seção mínima normalizada

Para TUE seção mínima = 2,5 mm²

2. Capacidade de corrente

- a) Material condutor: cobre
- b) Material isolante: PVC
- c) Maneira de instalar: eletroduto embutido em alvenaria (B5)

Recorra às tabelas no final desta aula, antes do resumo, para verificar a capacidade de condução dos condutores conforme a maneira de instalar.



d) Temperatura ambiente: 40°C → fator de correção: 0,87

e) Número de condutores no eletroduto: 2 → fator de correção: 0,80

Calculando a corrente de projeto: $I_B = \frac{2000}{220} = 9,1\text{ A}$

Para o condutor de 2,5 mm² → $I_Z = 24\text{ A}$

Fazendo a correção: $I_Z = 24 \times 0,87 \times 0,80 = 16,7\text{ A}$

Portanto $I_Z > I_B$ ($16,7 > 9,1$) → Critério Ok!

3) Queda de tensão

$$\Delta V \% = \frac{2.100.\rho.I.l}{S.V_N} = \frac{2.100 \cdot \frac{1}{58} \cdot 9,1 \cdot 20}{2,5 \cdot 220} = 1,14\%$$

Portanto $\Delta V \% < 4\% \rightarrow$ Critério Ok!

4) Coordenação com a proteção



a) $I_B \leq I_N \leq I_Z \rightarrow 9,1 < 15$ (disjuntor) $< 16,7 \rightarrow$ Critério Ok!

b) $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$

$$1,2 \times 15 < 1,45 \times 16,7$$

$$18 < 24,2 \rightarrow$$
 Critério Ok!

A corrente de atuação do dispositivo de proteção representa um valor superior a sua corrente nominal. Normalmente 1,2 x In para disjuntores e 1,6 x In para fusíveis. Para valores exatos deve-se consultar o catálogo do fabricante.

5) Verificação em caso de curto-círcito

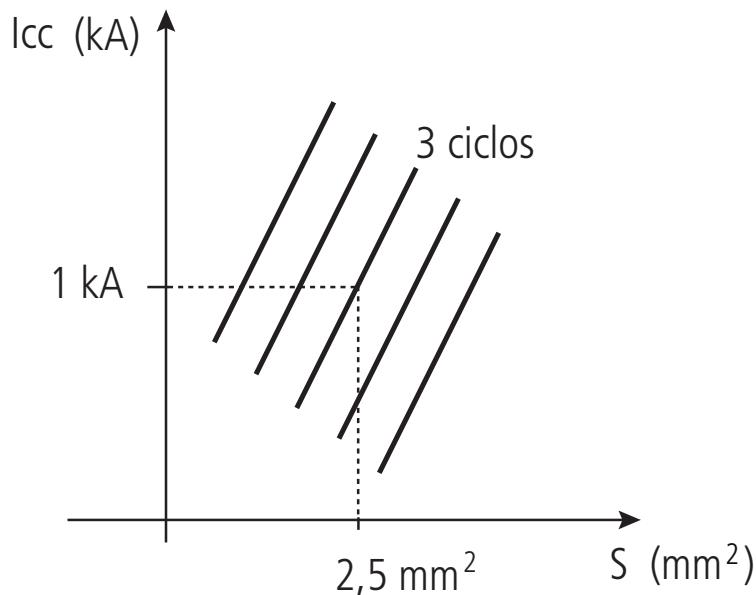


Figura 5.5: Ciclos que o condutor de 2,5 mm² suporta

Fonte: Elaborada pelo autor

Para cada ciclo, baseado na frequência de 60 Hz da rede, tem-se:

$$T \text{ (período)} = \frac{1}{60} = 16 \text{ ms}$$

Logo, 3 ciclos $\sim 50 \text{ ms}$

Comparando com a curva característica do minidisjuntor:

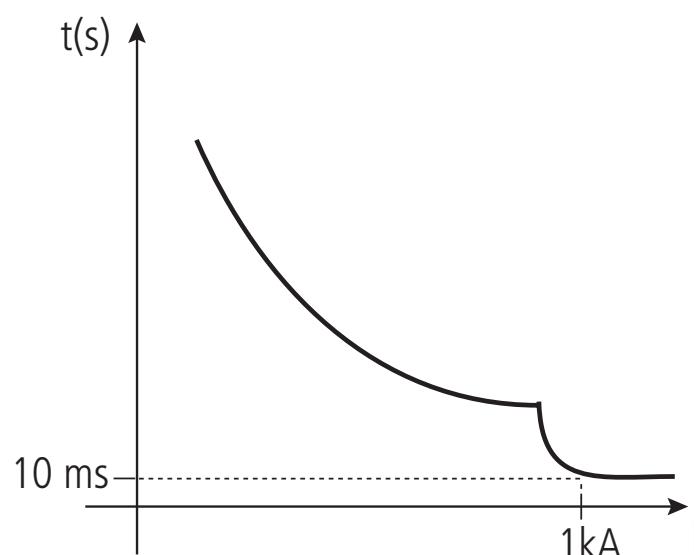


Figura 5.6: Tempo de atuação do minidisjuntor de 15 A

Fonte: Elaborada pelo autor

Portanto, o minidisjuntor protege o condutor de $2,5 \text{ mm}^2$ → Critério Ok!

Conclusão: o condutor de $2,5 \text{ mm}^2$ atende a todos os critérios e pode ser utilizado.

O condutor neutro, para circuitos monofásicos, deve ter a mesma seção do condutor fase. Para circuitos bifásicos e trifásicos acompanhados do condutor neutro, devem ser observados os critérios apontados pela NBR 5410, p. 114.



O condutor terra, para casos em que a seção dos condutores fase forem menores que 16 mm^2 , deve ter a mesma seção do condutor fase – sendo $2,5 \text{ mm}^2$ a menor seção admitida (para condutores de cobre). Mais detalhes são vistos na NBR 5410, p. 147 a 153.

5.2 Dimensionamento de eletrodutos

Eletroduto é uma canalização destinada a conter condutores elétricos, permitindo tanto a inserção quanto a retirada dos condutores. Podem ser:

- Metálicos – esmaltados ou galvanizados (protege contra corrosão);
- Isolantes – PVC ou polietileno (XLPE).

Para valores precisos de suas medidas é necessário consultar o catálogo do fabricante, mas a título de exemplo observam-se a seguir valores médios dos eletrodutos.

Tabela 5.1: Eletrodutos de PVC

Tamanho nominal	Designação em polegadas ("")	Diâmetro externo (mm)	Espessura da parede (mm)
16	1/2	$16,7 \pm 0,3$	2,0
20	3/4	$21,1 \pm 0,3$	2,5
25	1	$26,2 \pm 0,3$	2,6
32	1 e 1/4	$33,2 \pm 0,3$	3,2
40	1 e 1/2	$42,2 \pm 0,3$	3,6
50	2	$47,8 \pm 0,4$	4,0
60	2 e 1/2	$59,4 \pm 0,4$	4,6

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 5.2: Condutores isolados (PVC)

Seção (mm ²)	Diâmetro (mm)
1,5	2,8*
2,5	3,7*
4	4,2*
6	4,8*
10	6,2*
16	7,5*

* estes valores representam o diâmetro externo (condutor + isolante)

Fonte: Elaborada pelo autor



Veja o exemplo a seguir para fixar os conhecimentos.

Exemplo – Dimensione o eletroduto para conter:

Círculo 1 – 3 x 2,5 mm²;

Círculo 2 – 3 x 4 mm²;

Círculo 3 – 4 x 6 mm².

$$\text{Área do condutor de } 2,5 \text{ mm}^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 3,7^2}{4} = 10,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área do condutor de } 4 \text{ mm}^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4,2^2}{4} = 13,85 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área do condutor de } 6 \text{ mm}^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4,8^2}{4} = 18,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área dos condutores} = 3 \times 10,75 + 3 \times 13,85 + 4 \times 18,1 = 146,2 \text{ mm}^2$$

Segundo a NBR 5410, a área dos condutores não pode ultrapassar 53% da área do eletroduto no caso de um condutor, 31% no caso de dois condutores e 40% no caso de três ou mais condutores (ABNT, 2004, p. 120).



A colocação dos condutores só deve ser iniciada após a montagem dos eletrodutos; para isso podem ser utilizadas guias de puxamento e/ou lubrificantes que não prejudiquem a isolamento dos condutores (ABNT, 2004, p. 121).

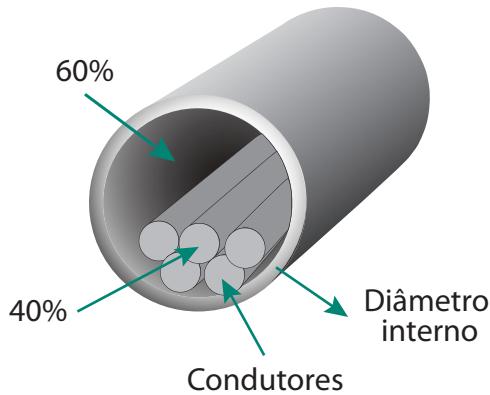


Figura 5.7: Taxa máxima de ocupação dos eletrodutos

Fonte: http://www.brasfio.com.br/img/it_dimensionamento1.jpg

Solução:

Assim, a área mínima necessária para o eletroduto deste problema é:

$$A_C = 0,4 \cdot A_E \rightarrow A_E = \frac{146,2}{0,4} = 365,5 \text{ mm}^2$$

Deve-se então verificar qual dimensão comercial atende a esse valor:

$$A_{\text{eletroduto 16}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (16,7 - 0,3 - 2 \cdot 2,0)^2}{4} = 120,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{eletroduto 20}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (21,1 - 0,3 - 2 \cdot 2,5)^2}{4} = 196,1 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{eletroduto 25}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (26,2 - 0,3 - 2 \cdot 2,6)^2}{4} = 336,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{eletroduto 32}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (33,2 - 0,3 - 2 \cdot 3,2)^2}{4} = 551,5 \text{ mm}^2$$

Portanto, o eletroduto de tamanho 32 (1 e 1/4") atende à área mínima exigida.



Para elaborar um projeto elétrico sugere-se o seguinte roteiro:

- elaborar a planta de arquitetura (planta baixa) em escala 1:50;
- localizar pontos de luz, TUGs, TUEs e interruptores (utilizar a simbologia);
- localizar o quadro terminal;
- definir o caminho dos eletrodutos deste o quadro terminal até as respectivas cargas e interruptores;
- representar os condutores de ligação.



Um projeto elétrico finalizado deve conter no mínimo (ABNT, 2004, p. 87):

- plantas;
- esquemas unifilares;
- detalhes de montagem, se necessários;
- memorial descritivo;
- especificação dos componentes;
- parâmetros de projeto (correntes de curto-círcuito, quedas de tensão, fatores de demanda, temperatura ambiente etc.).



Antes de colocar em serviço um projeto elétrico (seja instalação nova, ampliação ou reforma), deve-se inspecionar e ensaiar as instalações conforme as prescrições da NBR 5410, p. 163-164



Versões mais completas e detalhadas dessas tabelas podem ser vistas na NBR 5410, p. 90-105.

Para verificar a capacidade de condução do condutor, deve ser observada a maneira de instalar apresentada no Quadro 5.3 e associar essa informação com a seção do condutor pretendido nas Tabelas 5.3 ou 5.4.

Quadro 5.3: Maneiras de instalar

Ref.	Descrição
A	1 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto embutido em parede termicamente isolante.
	2 Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em parede isolante.
	3 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto contido em canaleta fechada.
B	1 Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente.
	2 Condutores isolados ou cabos unipolares em calha.
	3 Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura.
C	4 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto contido em canaleta aberta ou ventilada.
	5 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto embutido em alvenaria.
	6 Cabos unipolares ou cabo multipolar contido(s) em blocos alveolados.
C	1 Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente fixados em parede ou teto.
	2 Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido (s) (diretamente) em alvenaria.
	3 Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta aberta ou ventilada.
	4 Cabo multipolar em eletroduto aparente.
	5 Cabo multipolar em calha.

continua

D	1	Cabos multipolares ou cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo.
D	2	Cabos unipolares ou cabo multipolar enterrado (s) (diretamente) no solo.
D	3	Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta fechada.
E	-	Cabo multipolar ao ar livre.
F	-	Condutores isolados e cabos unipolares agrupados ao ar livre.
G	-	Condutores isolados e cabos unipolares espaçados ao ar livre.

Conclusão

Fonte: Cofimet (2010)

Tabela 5.3: Capacidade de condução para as maneiras de instalar de A a D

Seções Nominais (mm ²)	Maneiras de Instalar Definidas na TABELA 2							
	A		B		C		D	
	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados
Cobre
1,0	11	10,5	13,5	12	15	13,5	17,5	14,5
1,5	14,5	13	17,5	15,5	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	24	21	26	24	29	24
4	26	24	32	28	35	32	38	31
6	34	31	41	36	46	41	47	39
10	46	42	57	50	63	57	63	52
16	61	56	76	68	85	76	81	67
25	80	73	101	89	112	96	104	86
35	99	89	125	111	138	119	125	103
50	119	108	151	134	168	144	148	122
70	151	136	192	171	213	184	183	151
95	182	164	232	207	258	223	216	179
120	210	188	269	239	299	259	246	203
150	240	216	307	275	344	294	278	230
185	273	248	353	314	392	341	312	257
240	320	286	415	369	461	403	360	297
300	367	328	472	420	530	464	407	336

Fonte: Cofimet (2010)

Tabela 5.4: Capacidade de condução para as maneiras de instalar de E a G

Seções Nominais (mm ²)	Maneiras de Instalar Definidas na TABELA 2						
	Cabos Multipolares		Cabos Unipolares				
	E	E	F	F	F	G	G
	Cabos Bipolares	Cabos Tripolares e Tetrapolares	2 Condutores Isolados ou 2 Cabos Unipolares	Condutores Isolados ou Cabos Unipolares em Trifólio	3 Condutores ou 3 Cabos Unipolares		
					Contíguos	Espaçados Horizontalmente	Espaçados Verticalmente
Cobre	1	2	3	4	5	6	7
1,5	22	18,5	23	19	19	26	22
2,5	30	25	31	26	26	35	30
4	40	34	42	35	36	47	41
6	51	43	53	45	46	60	52
10	70	60	71	60	62	81	70
16	94	80	95	81	83	108	94
25	115	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	181	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	307	320	396	362
150	379	319	406	356	371	456	419
185	434	364	463	407	426	521	480
240	513	430	546	482	504	615	569
300	594	497	629	556	582	709	659

Fonte: Cofimet (2010)

É importante salientar ainda que a interferência eletromagnética é uma grande causadora de falhas em redes de computadores e, portanto, alguns cuidados devem ser tomados em relação aos cabos de dados quando compartilham a mesma infraestrutura dos cabos de energia.

A norma ANSI/EIA/TIA-569-A (apud OLIVEIRA, 2011), que tem como objetivo padronizar a instalação de dutos e espaços para edifícios comerciais bem como os equipamentos que serão instalados, permite o compartilhamento entre a rede lógica e a rede elétrica. Segundo essa norma, se a eletricidade é um dos serviços que compartilham o mesmo duto ou canaleta com a rede de dados, estes deverão ser particionados, observando-se as seguintes situações:

- a tensão de alimentação deve ser inferior a 480V;
- as canaletas devem oferecer uma divisão física para a rede lógica e elétrica;
- a corrente nominal do cabeamento elétrico não deve ser superior a 20A.

Além disso, devem ser mantidas distâncias mínimas entre os trechos por onde haverá a passagem dos cabos da rede lógica e elétrica, conforme visto a seguir.



Para mais especificações de uso e instalação, consulte as normas NBR-4565, NBR-14306 e correlatas.

Tabela 5.5: Distância entre os cabos de dados e elétricos

Fonte de interferência eletromagnética	Distância mínima recomendada
Motores ou transformadores elétricos	1,20m
Conduítes e cabos elétricos	0,30m
Lâmpadas fluorescentes	0,12m

Fonte: ANSI/EIA/TIA-569-A (apud OLIVEIRA, 2011, p.56)

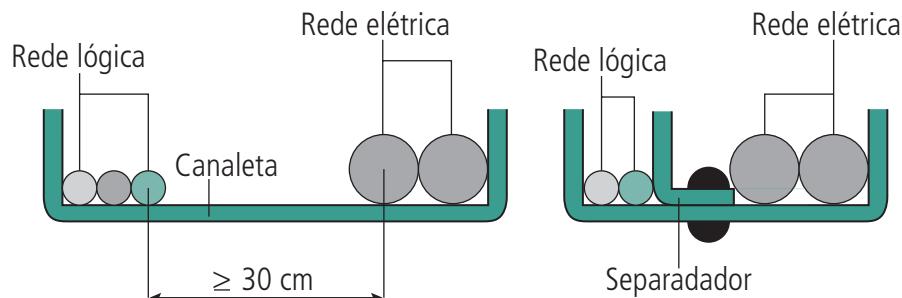


Figura 5.8: Exemplo de cabos da rede lógica e elétrica em uma mesma canaleta

Fonte: www.projetoderedes.com.br/apostilas/

Resumo

Nesta aula foram apresentados passo a passo os critérios e procedimentos para dimensionar condutores e eletrodutos.

Atividades de aprendizagem

- 1.** Qual o valor máximo de queda de tensão permitido por norma para circuitos terminais?

- 2.** É correto afirmar que a corrente que o disjuntor suporta deve ser maior do que a corrente que o condutor suporta? Por quê?

Aula 6 – Tópicos de segurança

Objetivos

Conhecer alguns elementos básicos de segurança: aterramento, estabilizadores, *no-breaks* e choques elétricos.

6.1 Aterramentos

A terra é um condutor por onde a corrente pode fluir dispersando-se (COTRIM, 2003, p. 113). A ligação intencional da carcaça de um equipamento à terra (ou um dos condutores do sistema) visa assegurar o funcionamento seguro e confiável do sistema.

Toda edificação deve dispor de infraestrutura de aterramento, podendo ser admitidas as armaduras do concreto da própria fundação, barras ou cabos metálicos imersos nas fundações, malhas metálicas, hastes ou anéis metálicos (ABNT, 2004, p. 142).

O eletrodo de aterramento é um condutor ou um conjunto de condutores enterrado em solo com baixa resistividade. Este termo se aplica tanto a um condutor enterrado como a vários interligados em diversos tipos de configurações (COTRIM, 2003, p. 113).



Mais detalhes sobre esquemas de aterramento, equipotencialização e dimensionamento dos condutores de proteção podem ser vistos na NBR 5410, p. 14-17, p. 38-42, p. 142-154 e p. 166- 67.

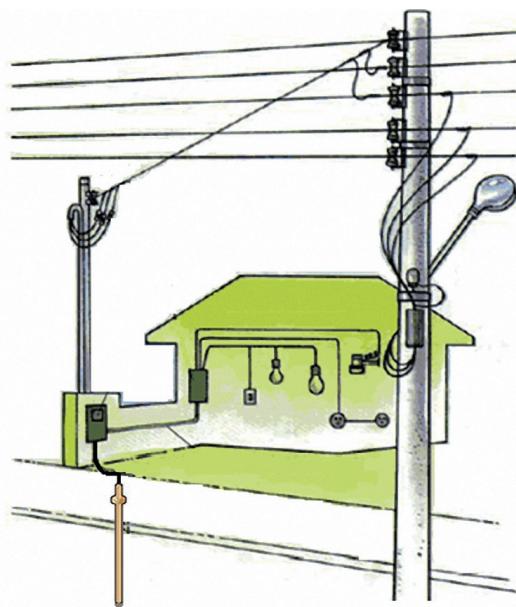


Figura 6.1: Aterramento em uma instalação

Fonte: http://www.fazfacil.com.br/images/ref_ele_aterramento_4.gif



Para ampliar seus conhecimentos, faça uma pesquisa sobre os tipos de aterramento (funcional e de proteção), os componentes de um sistema de aterramento, os principais esquemas de aterramento (TT, TN e IT), condições de equipotencialização e os critérios para dimensionamento de um sistema de proteção.

6.2 Estabilizadores

Estabilizadores são equipamentos eletrônicos responsáveis por corrigir a tensão da rede para que a alimentação dos equipamentos seja estável e segura. Eles protegem os equipamentos contra sobretensão, subtensão e, em alguns casos transitórios, variações instantâneas do sinal elétrico. Alguns deles, a minoria, contam com a presença de filtros de linha cuja finalidade é suprimir ruídos transitórios indesejáveis.

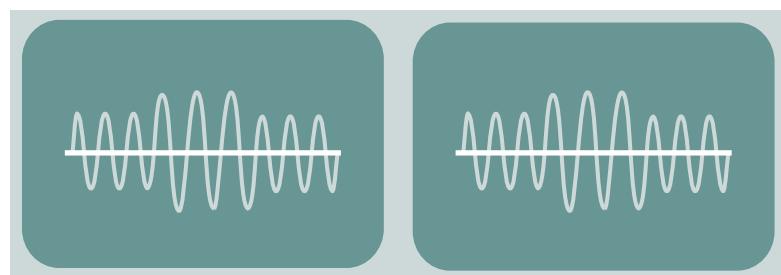


Figura 6.2: Sobretensão e subtensão

Fonte: <http://www.forumpcs.com.br/comunidade/viewtopic.php?t=136538>



Figura 6.3: Estabilizador

Fonte: <http://www.astechsystem.com.br/loja/images/estabilizador.jpg>

Nem todos os estabilizadores, especialmente os de menor qualidade, conseguem corrigir rapidamente as variações nos níveis de tensão da rede, o que pode ser um problema essencialmente se sua aplicação for destinada a equipamentos mais sensíveis. Para atestar sua qualidade é importante, portanto, verificar algumas de suas especificações como a tensão máxima, capacidade de dissipação de energia e tempo de resposta. Outro problema advém do fato de alguns estabilizadores desligarem abruptamente o equipamento mediante uma oscilação brusca do sistema, o que para equipamentos mais sensíveis como computadores, por exemplo, ocasiona problemas diversos. Por esta razão, sugere-se atenção quanto à qualidade do dispositivo a ser adquirido e, preferencialmente, a utilização de *no-breaks* estabilizados ou filtros de linha de boa procedência.

Para ampliar seus conhecimentos, faça uma pesquisa sobre o princípio de funcionamento de estabilizadores de energia e suas características de qualidade.



As fontes de alimentação de computadores possuem tempo de resposta mais rápido do que os estabilizadores em geral. Portanto, problemas mais graves para esse tipo de equipamentos seriam as faltas bruscas, interrupções instantâneas de energia (piscadas) ou desligamentos temporários. Estes últimos, além de ocasionar a perda de dados, podem prejudicar os dispositivos de *hardware*, haja vista que o sistema operacional dos microcomputadores reinicia em modo de segurança ou recuperação sempre que isso ocorre, pois, ele parte do princípio de que pode ter ocorrido algum dano à integridade da máquina.



6.3 No-breaks

Basicamente o *no-break* tem dupla função: evitar desligamentos repentinos de equipamentos, em caso de falha de alimentação da rede, e garantir uma alimentação estabilizada para os dispositivos por ele alimentados. Em incidência de *blackout*, por exemplo, o *no-break* coloca suas baterias em ação imediatamente, o que garante a não interrupção na alimentação das cargas.

Para isso ele precisa converter a corrente alternada da rede (CA) em corrente contínua para ser armazenada pela bateria e, posteriormente, quando em ação, converter a corrente contínua em alternada para alimentar a carga. Esse sistema é chamado de "*off-line*". Existe ainda o chamado *no-break on-line*, que a todo instante alimenta a carga através da bateria que é constantemente recarregada. A vantagem desse sistema é a garantia de energia sempre estável e não suscetível a variações como aquela advinda da rede convencional (é, entretanto, mais caro que o *off-line*).



Para mais especificações de uso e instalação, consulte a NBR-15014.



Figura 6.4: No-break

Fonte: <http://www.pcleve.com.br/images/NOBREAK%20APC%20SUA2200.jpg>

6.4 Choque elétrico

Como visto na lei de Ohm, o aumento da corrente é diretamente proporcional ao nível de tensão e inversamente proporcional ao nível da resistência elétrica.

$$I = \frac{V}{R} \quad [A]$$

Embora em situações normais a resistência do corpo humano seja relativamente constante (de 1.300 ohms a 3.000 ohms medidos da palma de uma mão até a outra ou até a planta do pé), ela pode reduzir-se por situações diversas como corpo úmido, contato direto com o solo, baixa resistência orgânica etc. Portanto, a gravidade de um choque elétrico depende de diversos fatores:

- da quantidade de corrente que atravessa o corpo em função da resistência;
- do tempo que a corrente elétrica fica em contato com o corpo;
- do percurso da corrente elétrica, sendo crítico quando passa pelo coração;
- das condições do organismo do ser humano: pessoas doentes, com ferimentos ou molhadas, sofrem mais intensamente o choque elétrico, pois sua resistência está comprometida.

Ao passar pelo corpo humano, a corrente elétrica danifica os tecidos nervosos e cerebral, provoca coágulos nos vasos sanguíneos e pode paralisar a respiração e os músculos cardíacos. A sensibilidade do organismo à passagem de corrente elétrica pode ser representada por três efeitos:

- **limiar de sensação** – ocorre com intensidade superiores a 1 mA para corrente alternada e 5 mA para corrente contínua;
- **limiar de não largar** – associado às contrações musculares provocadas pela corrente alternada a partir de determinado valor. Ela excita os nervos provocando contrações musculares permanentes; com isso cria-se o efeito de agarramento que impede a vítima de se soltar do circuito; a intensidade de corrente para esse limiar varia entre 9 e 23 mA para os homens e de 6 a 14 mA para as mulheres;
- **limiar de fibrilação ventricular** – correntes maiores que 20 mA são muito perigosas, mesmo quando atuam durante curto espaço de tempo. Correntes da ordem de 100 mA, quando atingem a zona do coração, produzem fibrilação ventricular em apenas 2 ou 3 segundos. Correntes de alguns Ampères, além de asfixia pela paralisação do sistema nervoso, produzem queimaduras extremamente graves, com necrose dos tecidos. Nessa faixa de corrente o salvamento torna-se de difícil realização.

Dados os riscos iminentes de acidente com eletricidade, é altamente recomendado que antes de qualquer intervenção em instalações elétricas se tenha conhecimento da norma regulamentadora NR-10 (Instalações e Serviços com Eletricidade). Ela recomenda condições mínimas para garantir a segurança das pessoas e estabelece critérios para proteção contra os riscos de contato, incêndio e explosão etc. Além disso, devem ser cumpridas todas as recomendações da NBR 5410 a fim de proteger os usuários de partes vivas e massas nas instalações.





Para ampliar seus conhecimentos, faça uma pesquisa sobre as preSCRIções da NR-10, outros efeitos do choque no corpo humano e os primeiros socorros a serem realizados nesses casos.



Assista aos vídeos a seguir para uma revisão de tudo o que foi visto neste curso:

http://www.youtube.com/watch?v=OH8hP09_Qx4&feature=related

<http://www.youtube.com/watch?v=DkGOzFLIJ8Q&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=qfxLP6TZycM&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=rgUO2WevyEI&feature=related>

Resumo

Nesta aula foram apresentados alguns princípios e dispositivos de segurança para preservar equipamentos e usuários.

Atividades de aprendizagem

1. É correto afirmar que o condutor terra é necessário apenas quando a tensão de alimentação for considerada alta?
2. Uma lâmpada de 60 W alimentada em uma rede de 127 V possui uma corrente aproximada de 0,5 A. Essa corrente já é suficiente para provocar fibrilação ventricular? Justifique sua resposta.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410:** instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5444:** símbolos gráficos para instalações prediais. Rio de Janeiro, 1989.

BRASIL. Ministério do Trabalho e do Emprego. **Portaria n. 598**, de 07 de dezembro de 2004. Altera a Norma Regulamentadora NR 10 – Instalações e serviços em eletricidade. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BF9276F71736C/p_20041207_598.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2011.

COFIMET. Capacidade de condução de corrente. Indústria de condutores elétricos. Disponível em: <<http://www.cofimet.com.br/tabelaprat1e2.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

COTRIM, Ademaro. **Instalações elétricas**. São Paulo: Pearson, 2003.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MORAES, A. J.; SLVA, S. F. de P. **Dimensionamento de condutores**. Departamento de Engenharia Elétrica, UFU, 2010. Disponível em: <http://www.eletrica.ufu.br/pastas/EID/6.05__Dimensionamento.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2010.

OLIVEIRA, Carlos Donizeti de. **Infraestrutura elétrica para redes de computadores**. 2011. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Faculdades Hoyler, UNIESP, Hortolândia, 2011.

SECRETAN, Lance H. K. **Os passos do tigre**. Rio de Janeiro: Record, 1989. In: Pensador UOL. Disponível em: <http://pensador.uol.com.br/autor/lance_h_k_secretan>. Acesso em: 30 jul. 2011.

SENAI-SP. **Curso de eletricidade predial**. Disponível em: <http://senaisp.webensino.com.br/sistema/webensino/aulas/42_196/Un3-Dispositivos_de_protecao.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2010.

SENAI-SP. **Curso técnico em eletroeletrônica**: comandos elétricos. 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/comandos-apostila-pdf-a5244.html>>. Acesso em 3 jan. 2011.

Curriculum do professor-autor



Niltom Vieira Junior possui habilitação para o magistério pelo Centro Específico de Formação e Aperfeiçoamento do Magistério (CEFAM/Barretos-SP) e graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB/Barretos-SP). Concluiu mestrado e doutorado em engenharia elétrica com foco no planejamento de interfaces educacionais, pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/Ilha Solteira- SP). É professor dos cursos técnicos em Informática, licenciatura em Matemática e Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Formiga. Desenvolve pesquisas na área de Ensino de Engenharia, Ciências Cognitivas e Sistemas de Energia Elétrica.

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3283103593476831>.

