



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO**

PSI-3263 - Práticas de Eletricidade e Eletrônica I

Experiência 6

**CONDUTORES E DISPOSITIVOS DE
PROTEÇÃO**

Edição 2016

Hernán Prieto Schmidt
J. Aquiles B. Grimoni
Carlos C. Barioni de Oliveira
Marcos R. Gouvea

Maio de 2001

Índice

1. Objetivos.....	1
2. Condutores elétricos	1
2.1 - Conceitos básicos.....	1
2.2 - Classificação de cabos e fios.....	1
2.3 - Aspectos construtivos de condutores.....	2
2.4 - Aspectos construtivos de isolantes	4
2.5 - Cálculo da capacidade de condução de corrente de cabos isolados.....	5
2.5.1 - Equacionamento	5
2.5.2 - Cálculo das resistências térmicas	7
2.5.3 - Cálculo das capacidades térmicas.....	8
3. Dispositivos de proteção.....	9
3.1 - Considerações gerais.....	9
3.2 - Fusíveis	10
3.3 - Disjuntores de baixa tensão	12
4. Lista de Material	14
5. Bibliografia.....	14
6. Procedimento experimental	15
Anexo 1 - Exemplo de cálculo de capacidade de condução de corrente.....	15
Anexo 2 - Tabelas A, B e C (NBR 5410).....	18

1. Objetivos

Esta experiência tem por finalidade desenvolver um estudo introdutório de condutores elétricos (fios e cabos) e de dispositivos de proteção (fusíveis e disjuntores) utilizados em instalações elétricas de Baixa Tensão.

As principais questões que devem ser tratadas quando se projeta uma instalação elétrica são as seguintes:

- escolha adequada do tipo e da bitola dos condutores em função da instalação e da aplicação, para que não haja desperdício de material e tampouco sobreaquecimento dos condutores (compromisso entre custo e segurança);
- escolha adequada dos dispositivos de proteção, para que eles protejam os usuários, os equipamentos e os condutores;
- adequada coordenação entre os diversos dispositivos de proteção para que, em caso de defeito, a porção da instalação a ser desenergizada seja a menor possível e além disso, exista sempre dispositivo de retaguarda garantindo a isolação do defeito.

As 2 primeiras questões serão tratadas na presente experiência, respectivamente nos Capítulos 2 e 3. O procedimento experimental se encontra no Capítulo 4. A 3ª questão, embora importante, não será estudada nesta experiência.

2. Condutores elétricos

2.1 - Conceitos básicos

Na construção de circuitos elétricos procura-se geralmente trabalhar com valores baixos de resistência elétrica, de forma a limitar as quedas de tensão (lei de Ohm: $\Delta V = RI$) e as perdas de energia por efeito Joule (RI^2t). Os materiais mais utilizados na fabricação de condutores elétricos são o cobre e o alumínio, pois oferecem as melhores características técnicas (resistividade, flexibilidade, resistência à tração, etc.) e econômicas. Materiais como ouro e prata apresentam resistividade menor que a do cobre e a do alumínio, mas seu elevado custo limita sua utilização a aplicações especiais.

A seguir são apresentados alguns conceitos básicos relativos a condutores elétricos.

Fio elétrico

é um produto metálico maciço e flexível, de seção transversal invariável e de comprimento muito maior do que a dimensão transversal. Fios podem ser usados diretamente como condutores ou na fabricação de cabos.

Cabo elétrico

é um condutor formado por um conjunto de fios (condutor encordoado) não isolados entre si ou um conjunto de condutores isolados entre si.

2.2 - Classificação de cabos e fios

A Tabela 2.1 mostra a classificação de cabos e fios segundo a tensão nominal do sistema elétrico. Destaca-se que este não é o único critério, há ainda critérios de isolação, grau de proteção contra agentes químicos, etc.

Tabela 2.1 – Classificação quanto à tensão utilizada

Baixa Tensão (BT)	Para operação em tensões inferiores ou iguais a 1000 V
Média Tensão (MT)	Para operação em tensões maiores que 1000 V e iguais ou inferiores a 35000 V;
Alta Tensão (AT)	Para operação em tensões maiores que 35000 V.

2.3 - Aspectos construtivos de condutores

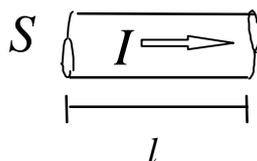
Os materiais utilizados na fabricação de condutores são, em geral, o cobre e o alumínio. O cobre deve ser eletrolítico, ou seja, refinado por eletrólise, de pureza mínima 99,9%, recozido, tempera mole, de condutividade mínima 100% IACS a 20 °C. O IACS é o padrão internacional de resistividade elétrica (*International Annealed Copper Standard*, padrão internacional de cobre recozido que corresponde à resistividade de 0,017241 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ a 20 °C). O alumínio puro utilizado em condutores isolados é normalmente de tempera dura e de condutividade 61% IACS a 20 °C.

Na Tabela 2.2 é apresentada uma comparação entre o cobre e o alumínio quanto a suas características físicas.

Tabela 2.2 - Comparação entre cobre e alumínio

Característica	Cobre recozido	Alumínio
Densidade (g/cm^3)	8,89	2,70
Ponto de fusão ($^{\circ}\text{C}$)	1083	652
Calor específico volumétrico ($\text{J}/\text{K} \cdot \text{m}^3$)	$3,45 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
Coefficiente de expansão linear ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ a 20 °C)	$16,8 \times 10^{-6}$	$23,6 \times 10^{-6}$
Condutividade térmica ($\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{seg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	0,934	0,56
Carga de ruptura (kgf/mm^2)	-----	20.3
Alongamento a ruptura (%)	2,5	1,2
Resistividade elétrica ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ a 20°C)	0,017241	0,02828
Condutividade elétrica (%IACS a 20°C)	100	61

Do ponto de vista elétrico, a comparação entre a aplicação de um condutor de cobre ou um de alumínio se faz de forma que em ambos casos se tenha a mesma resistência elétrica em um trecho de rede ($R = \rho l/S$, onde ρ é a resistividade elétrica, l é o comprimento e S é a seção transversal do condutor). Assim, considerando a mesma corrente transportada, a questão proposta é: qual é a relação entre as seções dos condutores de cobre e de alumínio que, aplicados alternativamente, resultam na mesma resistência?



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

$$\rho_{Cu} \frac{l}{S_{Cu}} = \rho_{Al} \frac{l}{S_{Al}}$$

$$\frac{S_{Cu}}{S_{Al}} = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} = \frac{0.017241}{0.02828} = 0.610$$

$$S_{Cu} = 0.610 \cdot S_{Al}$$

$$d_{Cu} = 0.781 \cdot d_{Al}$$

Portanto, conclui-se que para se obter a mesma queda de tensão em um trecho de rede constituído alternativamente por condutor de cobre ou de alumínio, necessita-se aplicar um condutor de cobre que tenha cerca de 61% da seção do de alumínio, ou 78% do diâmetro.

Por outro lado, a relação entre as massas específicas do cobre μ_{Cu} e do alumínio μ_{Al} é:

$$\frac{\mu_{Cu}}{\mu_{Al}} = \frac{8.89}{2.70} = 3.29.$$

Isso permite concluir que a relação entre as massas do cobre M_{Cu} e do alumínio M_{Al} necessárias para o transporte de uma mesma corrente, com a mesma resistência, é:

$$\frac{M_{Cu}}{M_{Al}} = 0,610 \cdot 3,29 \cong 2.$$

Conclui-se assim que para obter a mesma resistência, o condutor de cobre terá uma seção transversal 61% da seção do de alumínio mas, mesmo assim, pesará cerca do dobro deste!

Os fios e cabos são caracterizados por sua seção reta nominal, grandeza referente ao condutor respectivo (ou aos condutores respectivos, no caso de cabos com mais de um condutor). A seção nominal não corresponde a um valor estritamente geométrico (área da seção transversal do condutor), mas sim, a um valor determinado por uma medida de resistência. É o que se poderia chamar de “seção elétrica efetiva”.

Até há alguns anos, a designação da seção transversal era feita em AWG ou MCM (padrões norte-americanos). No entanto, atualmente os condutores são designados em escala milimétrica (mm^2) de acordo com uma série definida pela IEC - *International Electrotechnical Commission*, reproduzida na Tabela 2.3. A conversão do padrão AWG para o padrão IEC apresentou alguns problemas tecnológicos importantes, pois as bitolas padronizadas AWG não correspondem perfeitamente às bitolas padronizadas da IEC. Desta forma, os fabricantes de cabos tiveram que adaptar os processos de fabricação para as novas bitolas, e a mudança de sistema levou alguns anos até ser completada.

Tabela 2.3 - Série métrica para seção transversal de condutores (* a bitola 1,5 mm² é a mínima para instalações elétricas de Baixa Tensão)

Série métrica IEC (seções nominais em mm ²)			
0,5	6	70	300
0,75	10	95	400
1	16	120	500
1,5 (*)	25	150	630
2,5	35	185	800
4	50	240	1000

2.4 - Aspectos construtivos de isolantes

A isolação dos cabos e fios condutores se presta fundamentalmente para isolar eletricamente o material condutor do meio externo, necessitando para tal ser constituída de materiais com suficiente rigidez dielétrica. Além disso, o material isolante deve ter características que permitam que suporte as temperaturas de operação do cabo, sem haver degradação física ou química do material e, ainda, apresentar resistência mecânica suficiente para não se danificar diante dos esforços mecânicos presentes na instalação (tração), e mesmo na operação (quando o aquecimento produz dilatações e contrações periódicas).

Em geral, os cabos isolados de baixa tensão são constituídos apenas pelo condutor e pela isolação e, em casos específicos, existe também uma capa externa para proteção mecânica.

Os cabos de média e alta tensão, por motivos de segurança, possuem uma blindagem sobre a isolação para confinamento do campo elétrico. Basicamente os cabos de média tensão são constituídos por condutor, camada semi-condutora interna, isolação, camada semi-condutora externa, blindagem metálica e capa externa. As camadas semi-condutoras interna e externa têm por finalidade uniformizar o campo elétrico nas interfaces condutor-isolante e isolante-blindagem metálica, respectivamente.

Os materiais normalmente utilizados na isolação dos cabos são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Materiais isolantes

Cabos	Materiais	
Extrudados	Termoplásticos	PVC (cloreto de polivinila) PE (polietileno)
	Termofixos	XLPE (polietileno reticulado) EPR (borracha etileno-propileno)
Estratificados	- papel impregnado com massa (tensões inferiores ou iguais a 35kV) - papel impregnado com óleo sob pressão (cabo a óleo fluido)	

Para cabos de baixa tensão, a isolação mais utilizada é o PVC por ser mais econômico apesar de suas características serem apenas regulares. Para cabos de média tensão, onde deseja-se maior confiabilidade, utiliza-se EPR e XLPE.

Nos cabos de alta tensão, a escolha recai sobre o XLPE por apresentar melhor desempenho (elevado gradiente de descarga e baixas perdas dielétricas) e melhor viabilidade econômica. Em circuitos de

baixa tensão o condicionante para o dimensionamento dos condutores a serem utilizados é a queda de tensão e, nos de média e alta tensão, o condicionante é a corrente admissível. Como a temperatura do condutor está associada à corrente que transmite, em geral isolantes termoplásticos são utilizados em circuitos de baixa tensão e termofixos nos de média e alta tensão.

A Tabela 2.5 apresenta as temperaturas máximas admissíveis dos diversos tipos de isolamento. Nas condições de sobrecarga e curto-circuito tolera-se valores de temperatura maiores que na condição de regime contínuo pois em ambas condições considera-se que sua duração (no tempo) é limitada pelos dispositivos de proteção do circuito elétrico.

Tabela 2.5 - Temperaturas máximas de materiais isolantes

Isolação	Temperatura máxima admissível (°C)		
	Operação em regime contínuo	Sobrecarga	Curto-Circuito
PVC	70	100	160
PE	75	90	160
XLPE	90	130	250
EPR	90	130	250
papel impregnado com massa	85	110	200
papel impregnado com óleo sob pressão	85	105	250

Finalmente, cabe destacar que alguns tipos de cabos são protegidos por uma capa não metálica, montada sobre a isolação, para dar proteção mecânica ao cabo durante a operação e a instalação, contra corrosão e penetração de água e outros agentes químicos. Os materiais normalmente utilizados são PVC, polietileno e neoprene. Na maioria dos casos o PVC é mais utilizado por ser mais econômico, não propagar chamas, apresentar boa processabilidade, excelentes propriedades dielétricas e resistência contra produtos químicos.

2.5 - Cálculo da capacidade de condução de corrente de cabos isolados

2.5.1 - Equacionamento

Como o ponto de fusão do cobre e do alumínio é bastante elevado (cfr. Tabela 2.3), a capacidade de condução de corrente de um cabo isolado não é limitada pela temperatura admissível do condutor, mas sim pela temperatura admissível da isolação.

O efeito Joule ($R I^2$) é responsável pelo aquecimento do cabo toda vez que circula corrente elétrica em seu condutor. Para calcular a corrente que um cabo pode suportar, lançamos mão da equação que exprime o balanço de calor gerado, armazenado e dissipado por um condutor que transporta uma corrente I .

Em um condutor por onde passa certa corrente I , entre os instantes t e $(t + dt)$ tem-se:



$$\boxed{\text{CALOR PRODUZIDO}} = \boxed{\text{CALOR ARMAZENADO}} + \boxed{\text{CALOR TRANSFERIDO}}$$

$$W \cdot dt = Q \cdot d\theta + A \cdot k \cdot \theta \cdot dt \quad (2.1)$$

onde:

- W = calor produzido por efeito Joule (RI^2);
 Q = $Q_{cond} + Q_{iso}$ = capacidade térmica total (condutor mais isolante);
 $d\theta$ = variação de temperatura no intervalo de tempo dt ;
 A = área da superfície de troca de calor (por convecção);
 k = coeficiente de troca de calor por convecção;
 θ = elevação de temperatura do condutor sobre o ambiente.

Considerando que imediatamente antes do instante inicial não há corrente passando pelo condutor e que no instante $t = 0$ imprime-se um degrau de corrente de amplitude I constante no condutor, a temperatura do mesmo começa a elevar-se conforme a equação 2.2, a qual representa uma solução para a equação diferencial de primeira ordem 2.1:

$$\theta(t) = t_{cond} - t_{amb} = W \cdot R_t \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R_t \cdot Q}}\right) \quad (2.2)$$

onde:

- $\theta(t)$: elevação de temperatura do condutor sobre o ambiente ($^{\circ}\text{C}$);
 t_{cond} : temperatura do condutor ($^{\circ}\text{C}$);
 t_{amb} : temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$);
 $W = RI^2$: calor produzido (W);
 $R_t = \frac{1}{Ak}$: resistência térmica ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}/\text{W}$);
 $R_t \cdot Q$: constante de tempo térmica (s);
 $Q = Q_{cond} + Q_{iso}$: capacidade térmica total [$\text{J}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m})$];
 $Q_{cond} = S_{cond} \cdot c_{cond}$: capacidade térmica do condutor [$\text{J}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m})$];
 $Q_{iso} = S_{iso} \cdot c_{iso}$: capacidade térmica do isolante [$\text{J}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m})$];
 S_{cond} : área da seção transversal do condutor (m^2);
 S_{iso} : área da seção transversal do isolante (m^2);
 c_{cond} : calor específico do material do condutor [$\text{J}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^3)$];
 c_{iso} : calor específico do material do isolante [$\text{J}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^3)$].

Nota-se que:

- a) quando $t = 0$, verifica-se que $\theta(0) = 0$, o que representa que a temperatura do condutor é igual à ambiente, no instante inicial;
- b) quando t tende a infinito a temperatura do condutor se estabiliza em $t_{cond} = t_{amb} + WR_t$, que é chamada temperatura de regime permanente;
- c) a elevação da temperatura segue uma lei do tipo exponencial somada com uma constante, com constante de tempo igual a $R_t Q$. Há portanto uma elevação rápida da temperatura no período inicial e, posteriormente a elevação se dá a taxas cada vez menores.

2.5.2 - Cálculo das resistências térmicas

Considere-se inicialmente o cabo representado na Figura 2.1.

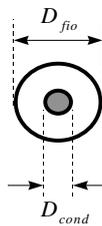


Figura 2.1 - Cálculo das resistências térmicas

A dissipação de calor através do material isolante se dá por processo de condução e sua resistência térmica Rt_{iso} é dada por:

$$Rt_{iso} = \frac{\rho_{iso}}{2\pi} \ln \frac{D_{fio}}{D_{cond}} \tag{2.3}$$

onde:

ρ_{iso} é a resistividade térmica do isolante ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$);
 Rt_{iso} é a resistência térmica do isolante.

A dissipação de calor de um cabo ao ar livre dá-se principalmente por convecção e por radiação, e a resistência térmica neste caso é dada por:

$$Rt_{ar} = \frac{10^3}{\pi \cdot D_{fio} \cdot h \cdot \theta_s^{0,25}} \tag{2.4}$$

onde:

Rt_{ar} é a resistência térmica do meio ambiente ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$);
 h é o coeficiente de dissipação de calor;
 θ_s é a elevação de temperatura da superfície externa do isolante sobre o ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

O valor de h é dado pela expressão:

$$h = \frac{Z}{(10^{-3} D_{fio})^g} + E, \quad (2.5)$$

onde os parâmetros Z , g , E são determinados pelo modo de instalação, conforme apresentado no Anexo 1.

A resistência térmica total Rt é a soma de Rt_{ar} e Rt_{iso} .

2.5.3 - Cálculo das capacidades térmicas

As capacidades térmicas dos elementos constituintes do cabo são dadas por:

$$Q = S \cdot c \quad (2.6)$$

onde Q é a capacidade térmica do elemento, S é a área da seção transversal do elemento, e c é o calor específico do material do elemento. Logo, tem-se que a capacidade térmica do condutor é:

$$Q_{cond} = S_{cond} \cdot c_{cond} \quad (2.7)$$

e a capacidade térmica do isolante (oco):

$$Q_{iso} = c_{iso} \cdot S_{iso} = c_{iso} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{fio}^2 - D_{cond}^2). \quad (2.8)$$

Na Tabela 2.7 é apresentado o valor do calor específico de alguns materiais.

Tabela 2.7 - Calor específico de alguns materiais

Material	Calor específico (J/°C.m ³)
cobre	3.45 x 10 ⁶
alumínio	2.50 x 10 ⁶
PVC	1.70 x 10 ⁶
polietileno	2.40 x 10 ⁶
EPR	2.00 x 10 ⁶

No Anexo 1 é apresentado um exemplo de cálculo de capacidade de corrente.

A norma NBR-5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) apresenta tabelas de capacidade de condução de corrente de condutores em função do modo de instalação e do número de condutores para cada tipo de condutor. Quanto maior o número de condutores dissipando energia térmica na mesma instalação maior será a elevação de temperatura, o que acaba limitando a corrente máxima para atingir o limite térmico da isolação. Define-se portanto um *fator de agrupamento* (tabelado na norma NBR-5410) que corrige a corrente máxima para atingir o limite térmico da isolação, sendo que ele depende do modo de instalação, do número de circuitos e do número de condutores por circuito.

No nosso caso o modo de instalação é do tipo B1 – condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente. Neste modo de instalação para um condutor de cobre de $2,5 \text{ mm}^2$, isolamento de PVC com temperatura ambiente de 30° C , os limites de corrente para 2 e para 3 condutores carregados são respectivamente 24 A e 21 A. Já ao ar livre (modo de instalação tipo E) este valor sobe para 30 A.

3. Dispositivos de proteção

3.1 - Considerações gerais

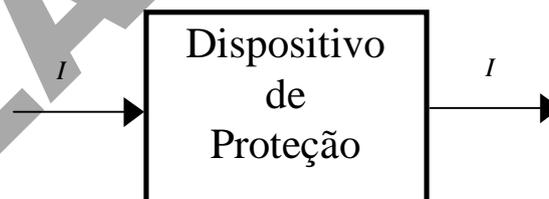
Nas instalações elétricas o aumento da temperatura, devido a circulação de corrente projetada para o funcionamento normal, é tal que não afeta qualquer elemento do sistema. Entretanto, a corrente pode atingir valores muitas vezes maiores do que aqueles projetados para condição normal de operação, quando houver alguns tipos de defeito nos circuitos, nos aparelhos ligados na rede elétrica, ou mesmo quando ocorrer situações de utilização indevida de rede.

Essa sobrecarga produz sobreaquecimento nos condutores, podendo provocar, inclusive, incêndios. Há possibilidade de se fundir o condutor, ocasionando faíscas que podem incendiar materiais inflamáveis próximos, ou mesmo inflamar materiais constituintes da isolamento presentes em alguns tipos de condutores. Torna-se evidente, portanto, que toda instalação elétrica deve ser convenientemente protegida contra os efeitos citados.

Emprega-se, para tanto, dispositivos de proteção, em número tal a garantir o perfeito suprimento da carga que está sendo alimentada (equipamentos elétricos) além da função de proteção dos condutores e dos usuários. Estes dispositivos devem interromper o circuito, automaticamente, sempre que a intensidade de corrente atingir valor que poderá causar danos. Os dispositivos de proteção dos condutores são dimensionados em função de sua bitola e do modo de instalação. Quanto aos equipamentos, a proteção deve ser feita de acordo com as características dos mesmos.

Para os dispositivos de proteção define-se:

- **Corrente nominal:** máxima intensidade de corrente que, circulando continuamente pelo dispositivo, não provoca abertura do circuito.



$I \leq I_{nom}$ - não ocorre desligamento automático.

$I > I_{nom}$ - ocorre desligamento com intervalo de tempo $\Delta t = f(I)$.

- **Capacidade disruptiva:** máxima intensidade de corrente que o dispositivo consegue efetivamente interromper, usualmente expressa em kA. Este parâmetro depende diretamente do projeto do dispositivo: tamanho, materiais empregados, afastamento dos contatos, elemento utilizado para extinção do arco elétrico, etc.;
- **Curva Tempo x Corrente**, que relaciona o tempo de interrupção do circuito com as correntes que o atravessam [$\Delta t = f(I)$].

Pode-se classificar os dispositivos de proteção, quanto a operação, em dois tipos:

- elementos fusíveis: rompem o circuito pela fusão de um elo;
- “no-fuse”: interrompem o circuito por ação mecânica não destrutiva,

os quais serão abordados a seguir.

3.2 - Fusíveis

São constituídos por elemento condutor, de composição especial, dimensionados de modo a fundir quando submetidos a correntes especificadas durante períodos de tempo bem determinados. O elo de rompimento é geralmente de chumbo, estanho, prata ou ligas desses com outros materiais.

Sendo o calor necessário à fusão fornecido por efeito Joule, resultante da corrente que atravessa o fusível, existe um valor mínimo da corrente abaixo da qual não ocorre a fusão. Após a fusão temos a formação de uma arco elétrico que tende a manter a continuidade da corrente do circuito devido à impossibilidade de se zerar instantaneamente a corrente em circuitos com características indutivas; para eliminar este arco, alguns elos fusíveis estão mergulhados em um material que facilita a extinção do arco, como por exemplo areia de quartzo (fusíveis Diazed e NH).

A Figura 3.1 apresenta uma curva tempo x corrente de fusível convencional.

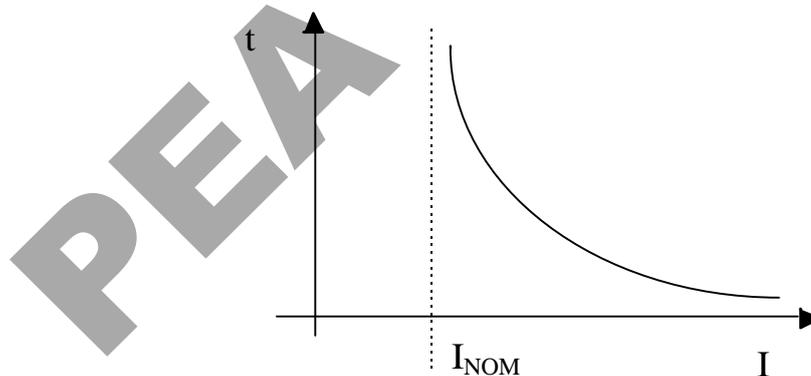


Figura 3.1 - Curva tempo x corrente de fusível

Há 3 classes principais de fusíveis aplicados em instalações comerciais e residenciais, as quais serão abordadas a seguir.

a) Fusíveis tipo rolha, cartucho e faca (Figura 3.2)

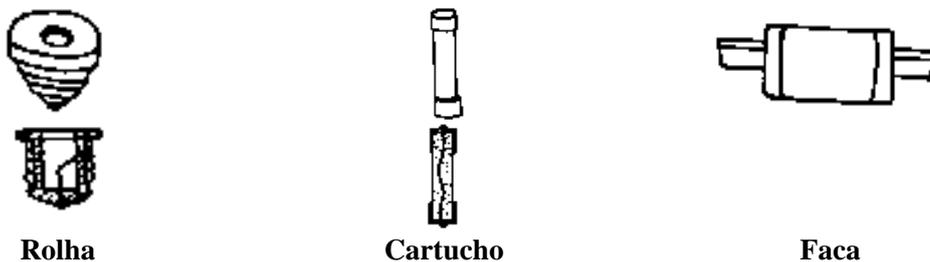


Figura 3.2 - Fusíveis tipo rolha, cartucho e faca

Estes fusíveis são de concepção muito simples e de fácil aquisição no comércio. Os fusíveis do tipo rolha cobrem a faixa de 6 a 30A; os fusíveis do tipo cartucho são encontrados de 10 A até 60 A, e do tipo faca apresentam correntes nominais de até 600 A.

b) Fusíveis “Diazed” (Figura 3.3)



Figura 3.3 - Fusível “Diazed”

Os fusíveis “Diazed” são utilizados em instalações industriais, por apresentar maior precisão de atuação. Ele tem botão sinalizador na sua parte superior, que é expulso quando ele atua.

c) Fusíveis tipo NH (Figura 3.4)

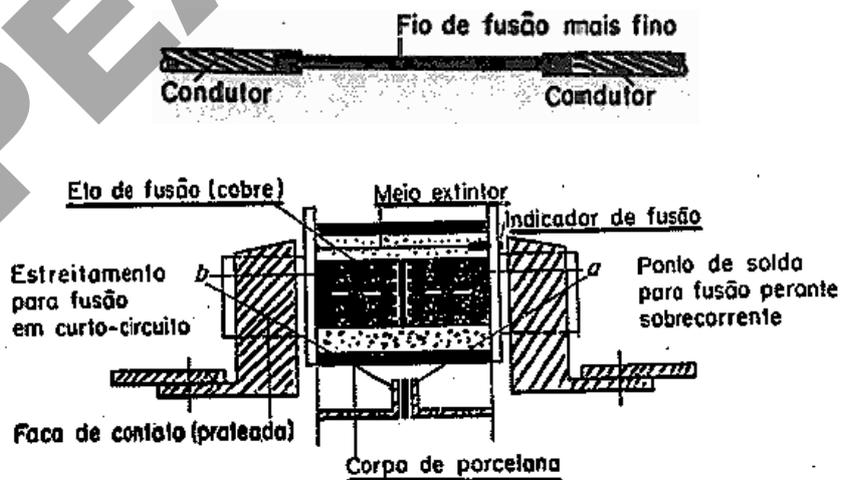


Figura 3.4 - Fusível NH

Este fusível é aplicado em situações onde há presença de altos níveis de correntes a serem interrompidas. Geralmente possuem um botão sinalizador que, por simples inspeção visual, permite a identificação da ocorrência de queima. Eles têm característica limitadora de corrente de curto, ou seja, eles não deixam a corrente atingir o seu valor máximo.

3.3 - Disjuntores de baixa tensão

Dentro dos elementos “no fuse” para a proteção de circuitos, vamos estudar os disjuntores de baixa tensão, muito utilizado nas instalações prediais.

A interrupção de um circuito em condições anormais de operação (sobrecarga ou curto-circuito) não deve ser entendida apenas como a abertura mecânica do circuito, mas sim, a completa extinção da corrente que atravessa o disjuntor. Isto porque após a abertura mecânica dos contatos, estabelece-se entre os mesmos um arco elétrico, o qual tendo baixíssima resistência, comporta-se como um circuito fechado. Em outras palavras, não há continuidade mecânica mas há continuidade elétrica. Após a extinção do arco, e supondo que não ocorra sua re-ignição, a resistência elétrica entre os contatos volta a assumir valor elevado, cessando a circulação de corrente com a conseqüente interrupção do circuito.

Os componentes principais de um disjuntor com dispositivo de interrupção magnético baseado em uma bobina, podem ser vistos na Figura 3.5.

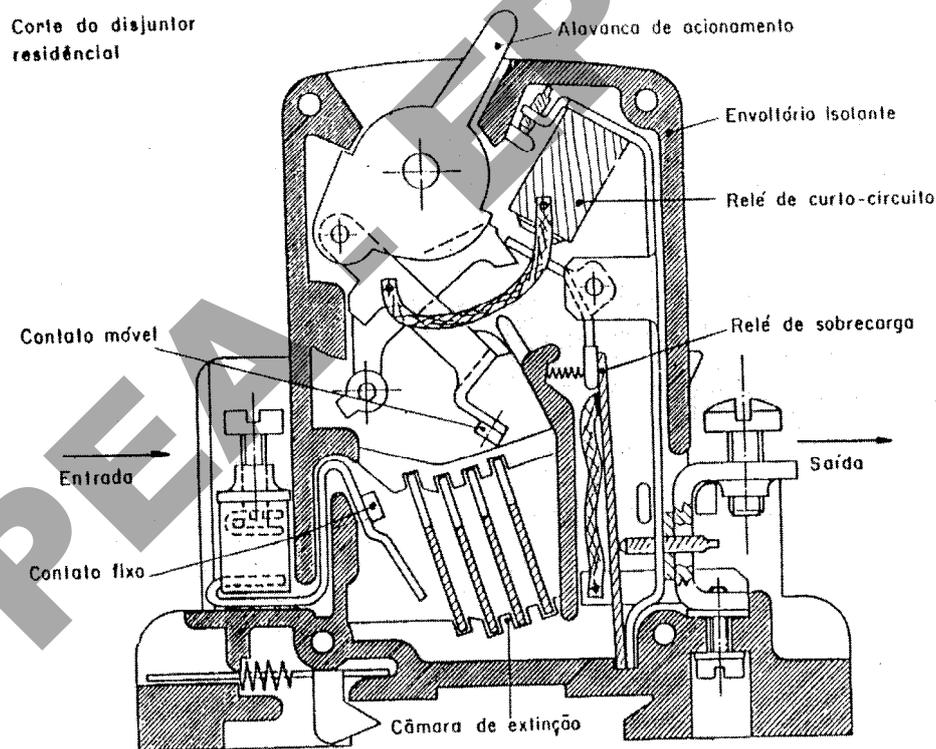


Figura 3.5 - Disjuntor de baixa tensão

A câmara de extinção destina-se a confinar, dividir e extinguir o arco elétrico formado entre os contatos do disjuntor quando o mesmo interrompe uma corrente elétrica.

Os disjuntores de baixa tensão interrompem a continuidade metálica do circuito por ação térmica, magnética ou termo-magnética.

A proteção térmica é realizada por meio de lâmina (em geral bi-metálica) que é aquecida diretamente ou indiretamente pela corrente que atravessa a chave; desse aquecimento resulta deformação com conseqüente deslocamento da lâmina. Quando o deslocamento atingir um valor determinado, acionará, por meio de dispositivo mecânico, a chave, abrindo-a.

O dispositivo de proteção magnética baseia-se no emprego de um condutor em forma de U (modelo americano) ou uma bobina (modelo europeu) que contém em seu interior um núcleo de ferro. A bobina ou o condutor em forma de U são percorridos pela corrente que atravessa a chave sendo, portanto, sede de força magneto-motriz (f.m.m). Quando a corrente atingir valor mínimo especificado, aparecerá sobre o núcleo da bobina ou entre as partes do condutor em U força suficiente para acionar um dispositivo mecânico que desliga a chave. O modelo europeu tem duas classificações: a classe L, onde as correntes de atuação magnética estão na faixa de 3,5 a 5 vezes a nominal do disjuntor e a classe G, onde esta faixa está entre 7 e 10 vezes a corrente nominal. O modelo americano tem faixas de atuação da proteção magnética entre 10 e 30 vezes a corrente nominal.

O dispositivo de ação térmica destina-se a interromper sobrecargas de pequena intensidade e longa duração, enquanto que a magnética interrompe, quase que imediatamente, situações de curto-circuito onde as correntes são bem maiores que as de sobrecarga. De fato, o elemento térmico, devido a sua inércia, leva um certo tempo para se aquecer, enquanto que com a proteção magnética isto não ocorre pois tão logo circula, pela bobina ou pelo elemento em forma de U, intensidade de corrente suficiente, a chave é desligada.

Para rearmar um disjuntor cuja proteção térmica acabou de operar deve-se esperar um certo tempo, pois o engate não se realiza devido à deformação do par bimetálico enquanto ele estiver aquecido.

A Figura 3.6 apresenta exemplos de curvas tempo x corrente de disjuntores de baixa tensão. Note-se que, na região correspondente à proteção magnética, o tempo de abertura não depende da corrente; tal valor é o tempo fixo necessário para a movimentação dos contatos e extinção do arco elétrico.

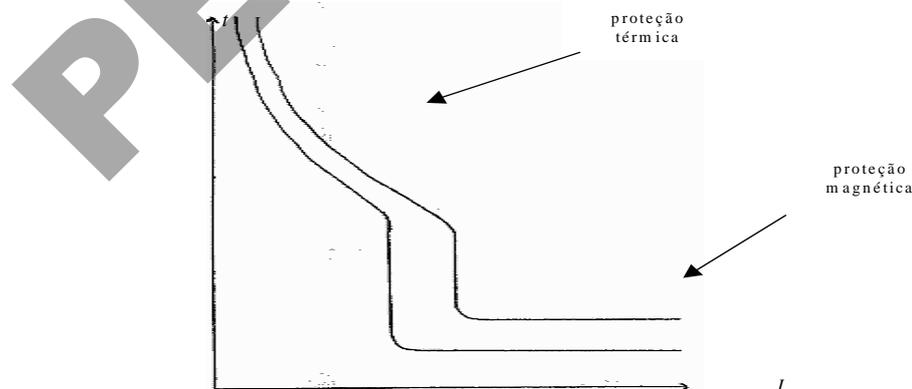


Figura 3.6 - Curva tempo x corrente de disjuntor de baixa tensão

Observa-se que, no caso de manobra e proteção de motores elétricos, os disjuntores devem ser específicos para esta aplicação, uma vez que não devem atuar durante a partida do motor, quando a corrente de partida pode atingir o valor da ordem de 10 vezes a corrente nominal do motor.

4. Lista de Material

- Placa didática com disjuntor
- Termopar
- Multímetro Tektronix TX3
- Amperímetro de alicate
- Contador de ciclos
- Transformador de corrente
- Variac monofásico

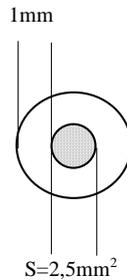
5. Bibliografia

- [1] Cotrim, Ademaro A. M. B: Instalações Elétricas. Makron Books, 3a. edição, 1993.
- [2] Creder, Hélio: Instalações Elétricas. Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 9a. edição, 1984.
- [3] Condutores e Dispositivos de Proteção. Apostila do PEA/EPUSP.
- [4] NBR-5410 : - Norma Técnica de Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Edição 1997 - ABNT.

PEA - EPUSP

ANEXO 1 - Exemplo de cálculo de capacidade de condução de corrente

Calcular a capacidade de corrente de um fio de cobre isolado em PVC (resistividade térmica igual a 6 °C.m/W) de bitola 2,5mm², sabendo-se que a temperatura máxima admissível em regime permanente é de 70°C e a espessura da isolação é de 1 mm. Os fios alimentam um circuito monofásico e estão encostados um ao outro.



O diâmetro do fio é dado por:

$$D_{\text{ond}} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2,5}{\pi}} = 1,78 \text{ mm}$$
$$D_{\text{fio}} = 1,78 + 2 \times 1 = 3,78 \text{ mm}$$

A resistência térmica do isolante é dada por:

$$Rt_{\text{iso}} = \frac{\rho_{\text{iso}}}{2\pi} \ln \frac{D_{\text{fio}}}{D_{\text{cond}}} = \frac{6}{2\pi} \ln \frac{3,78}{1,78} = 0,72 \text{ °Cm/W.}$$

Considerando o modo de instalação número 5 na Tabela A1.1 (dois cabos encostados, posição vertical), tem-se:

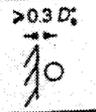
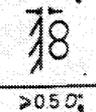
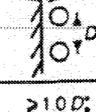
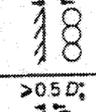
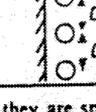
$$z = 1,42 \quad g = 0,25 \quad E = 0,86$$

e

$$h = \frac{1,42}{(10^{-3} \cdot 3,78)^{0,25}} + 0,86 = 6,59 \text{ .}$$

Tabela A1.1 - Coeficientes Z , g e E em função do modo de instalação (IEC)

Values for constants Z , E and g for black surfaces of cables in free air
 (A) In free air, installed on non-continuous brackets, ladder supports or cleats, D_c^* not greater than 0.15 m.

No.	Installation	Z	E	g	Mode
1	Single cable †	0.21	3.94	0.60	
2	Two cables touching, horizontal	0.29	2.35	0.50	
3	Three cables in trefoil	0.96	1.25	0.20	
4	Three cables touching, horizontal	0.62	1.95	0.25	
5	Two cables touching vertical	1.42	0.86	0.25	
6	Two cables, spaced D_c^* , vertical	0.75	2.80	0.30	
7	Three cables touching, vertical	1.61	0.42	0.20	
8	Three cables, spaced D_c^* , vertical	1.31	2.00	0.20	

† Values for a "single cable" also apply to each cable of a group when they are spaced horizontally with a clearance between cables of at least 0.75 times the cable overall diameter.

(B) Clipped direct to a vertical wall (D_c^* not greater than 0.08 m)

9	Single cable	1.69	0.63	0.25	
10	Three cables in trefoil	0.94	0.79	0.20	

A resistência térmica do ar é dada por:

$$R_{tar} = \frac{10^3}{\pi \times D_{fio} \times h \times \theta_s^{0,25}} = \frac{10^3}{\pi \times 3,78 \times 6,59 \times 15^{0,25}} = 6,49 \text{ } ^\circ\text{Cm/W}$$

A resistência elétrica é dada por :

$$R_{cond} = \frac{0,017241}{S_{cond}} [1 + 0,00393 \times (T_{cond} - 20)] =$$

$$= 6,89 \times 10^{-3} [1 + 0,00393 \times 50] = 8,24 \times 10^{-3} \Omega$$

Temos que a elevação da temperatura é dada por:

$$\theta = WR_t [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}];$$

para regime permanente, temos:

$$\theta = WR_t$$

$$I = \sqrt{\frac{\theta}{R_{cond} R_t}} = \sqrt{\frac{50 \times 1000}{8,24 \times (0,72 + 6,49)}} = 29 \text{ A}$$

Para o regime transitório, temos que a elevação da temperatura em função do tempo é dada por:

$$Q_{cond} = c_{cond} S_{cond} = 8,625 \text{ J}/(^\circ\text{C.m});$$

$$Q_{iso} = c_{iso} S_{iso} = 14,84 \text{ J}/(^\circ\text{C.m});$$

$$Q = Q_{cond} + Q_{iso} = 23,47 \text{ J}/(^\circ\text{C.m});$$

$$\theta = 8,24 \times 10^{-3} \times 29^2 \times 7,21 \times [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

$$\tau = Rt \times Q = 23,47 \times 7,21 = 169,22 \text{ s}$$

$$\theta = 50 \times (1 - e^{-\frac{t}{169,22}})$$

ANEXO 2 - Tabelas A, B e C (NBR 5410)

Tabela A - Tipos de Linhas Elétricas

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.
	4 Condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares 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.
D	1 Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo.
	2 Cabos unipolares ou cabo multipolar enterrado(s) (diretamente) no solo.
	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.
H	- Cabos multipolares em bandejas não perfuradas ou em prateleiras.
J	- Cabos multipolares em bandejas perfuradas.
K	- Cabos multipolares em bandejas verticais perfuradas.
L	- Cabos multipolares em escadas para cabos ou em suportes.
M	- Cabos unipolares em bandejas não perfuradas ou em prateleiras.
N	- Cabos unipolares em bandejas perfuradas.
P	- Cabos unipolares em bandejas verticais perfuradas.
Q	- Cabos unipolares em escadas para cabos ou em suportes.

Fonte: Tabela 27 da NBR-5410/90

Tabela B - Fatores de Correção (FCT) para Temperaturas Ambientas Diferentes de 30°C para Cabos Não-Enterrados e de 20°C (Temperatura do Solo) para Cabos Enterrados

Temperatura °C	ISOLAÇÃO			
	PVC	EPR ou XLPE	PVC	EPR ou XLPE
	Ambiente		do Solo	
10	1,22	1,15	1,10	1,07
15	1,17	1,12	1,05	1,04
20	1,12	1,08	1,00	1,00
25	1,06	1,04	0,95	0,96
30	1,00	1,00	0,89	0,93
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85
45	0,79	0,87	0,71	0,80
50	0,71	0,82	0,63	0,76
55	0,61	0,76	0,55	0,71
60	0,50	0,71	0,45	0,65
65	-	0,65	-	0,60
70	-	0,58	-	0,53
75	-	0,50	-	0,46
80	-	0,41	-	0,38

Fonte: Tabela 34 da NBR-5410/90

Tabela C - Capacidade de Condução de Corrente, em Ampères, para Maneiras de Instalar A, B, C e D da Tabela 7.2

- Condutores e cabos isolados de PVC, cobre ou alumínio;
- 2 e 3 condutores carregados;
- Temperatura no condutor: 70°C;
- Temperatura ambiente: 30°C para instalação e 20°C para instalação enterrada.

Seções Nominais (mm ²)	Maneiras de Instalar Definidas na Tabela 7.2							
	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	309	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
Alumínio								
10	36	32	44	39	49	44	48	40
16	48	43	59	53	66	59	62	52
25	63	57	79	69	83	73	80	66
35	77	70	98	86	103	91	96	80
50	93	84	118	105	125	110	113	94
70	118	107	150	133	160	140	140	117
95	142	129	181	161	195	170	166	138
120	164	149	210	186	226	197	189	157
150	189	170	241	215	261	227	213	178
185	215	194	274	246	298	259	240	200
240	252	227	323	289	352	305	277	230
300	289	261	361	332	406	351	313	260

Fonte: Tabela 30 da NBR-5410/90