

## 9 – PROTEÇÃO

### 9.1 - Disjuntor

9.1.1 - Principais características de um disjuntor

9.1.2 - Princípio de Funcionamento

9.1.3 - Classificação dos disjuntores

(a) Disjuntor Standard

(b) Disjuntor Limitador

(c) Disjuntor Seletivo

### 9.2 - Fusíveis

9.2.1 - Princípio de Funcionamento

9.2.2 - Norma dos fusíveis

9.2.3 - Ação de um fusível limitador

9.2.4 - Curva característica de um fusível de ação rápida e retardada

9.2.5 - Principais tipos de fusíveis existentes em uma instalação industrial

9.2.6 – Base de fixação

9.2.7 – Vantagens dos fusíveis

9.2.8 – Desvantagens dos fusíveis

### 9.3 – Relé bimetálico de sobrecarga

9.3.1 – Introdução

9.3.2 – Ação das correntes nas lâminas

### 9.4 – Relé de temperatura à termistor

### 9.5 – Dimensionamentos

9.5.1 – Disjuntores

a) Proteção contra sobrecargas

1<sub>a</sub> Condição:  $I_{aj} \geq I_p$

2<sub>a</sub> Condição:  $I_{aj} \leq I_{nc}$

3<sub>a</sub> Condição:  $I_{adc} \leq 1,45 \times I_{nc}$

4<sub>a</sub> Condição:  $T_{ad} > T_{pm}$

b) Proteção contra curto-circuitos

5<sub>a</sub> Condição:  $I_{cs} \leq I_{rd}$

6<sub>a</sub> Condição:  $T_{ad} \leq T_{cc}$

9.5.2 – Relés térmico de sobrecarga

9.5.3 – Fusíveis

(a) Circuitos terminais de motores em regime S1

(b) Circuito de distribuição de motores

(c) Circuito de distribuição de aparelhos

(d) Circuito de distribuição de cargas mistas (aparelhos e motores)

(e) Circuito de distribuição de capacitores ou banco

(f) Comportamento do fusível perante a corrente de partida do motor

(g) Proteção da isolamento dos condutores

(h) Proteção dos dispositivos de comando e manobra

## Proteção

O Dimensionamento dos dispositivos de proteção de um circuito só está adequadamente protegido contra sobrecorrentes quando todos os seus elementos, tais como condutores, chaves e outros, estiverem com suas capacidades térmicas e dinâmicas iguais ou inferiores aos valores limitados pelos dispositivos de proteção correspondentes. Desse modo, torna-se importante analisar as sobrecorrentes e os tempos associados à resposta efetiva da proteção.

### 9.1 - Disjuntor

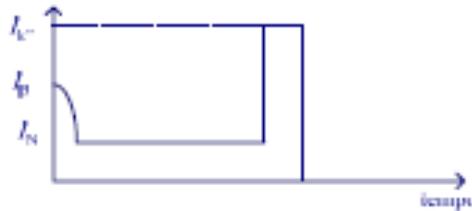
São dispositivos de proteção capazes de proteger circuitos elétricos, tendo como função básica o desligamento do circuito e como função secundária permitir a operação manual, através de alavanca liga/desliga.

#### 9.1.1 - Principais características de um disjuntor

(a) Estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais de um circuito;

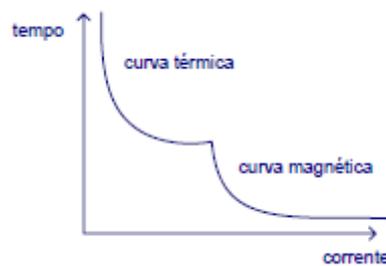


(b) Conduzir por tempo especificado e interromper em condições anormais as correntes de curto-circuito;



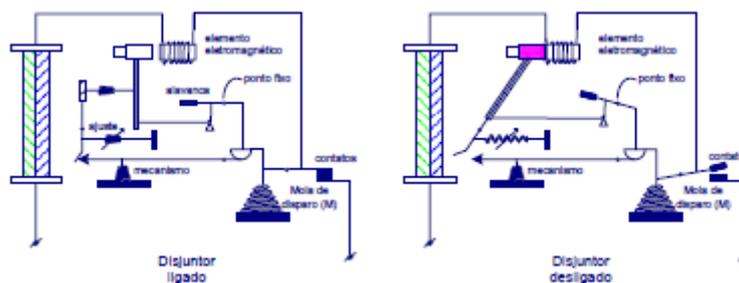
(c) Sua operação é repetitiva, ou seja, podem ser religados após ter atuado, sem necessidade de troca;

(d) A característica tempo x corrente na maioria das vezes podem ser ajustadas.



### 9.1.2 - Princípio de Funcionamento

Devido às suas principais características o disjuntor é um equipamento complexo devido principalmente a sua capacidade de interrupção. Apresentaremos de um esquema simplificado o princípio de funcionamento de um disjuntor.



Um mecanismo é movimentado por uma força externa (alavanca ou motor), acionando um bloco de contato, ao mesmo tempo em que distende um jogo de molas (M). Ao fim do curso dos contatos. Uma trava mantém os contatos fechados e o conjunto de molas se distendidas. Qualquer

comando no disparador retira a trava, liberando o mecanismo, que provocara a separação brusca dos contatos, por efeito de liberação das molas. Na interrupção da corrente que ocorre durante o período de abertura tem um valor máximo eficaz denominado “capacidade de interrupção do disjuntor” que é um valor sempre em kA, que representa o maior valor eficaz simétrico que o disjuntor pode interromper com plena segurança para o operador e equipamento.

### **9.1.3 - Classificação dos disjuntores**

Os disjuntores são classificados em três tipos:

1º. DISJUNTOR Standard

2º. DISJUNTOR Limitador

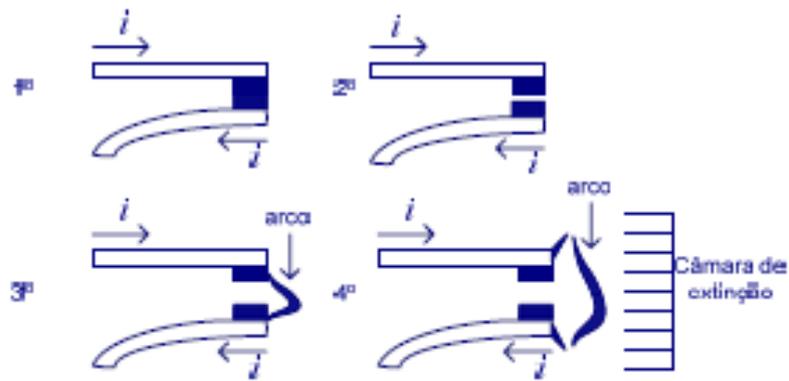
3º. DISJUNTOR Seletivo

#### **(a) Disjuntor Standard**

O princípio de funcionamento do disjuntor Standard é o mesmo apresentado anteriormente, onde a sua capacidade de interrupção (velocidade de abertura dos contatos é exercida exclusivamente pelas forças das molas de disparo). Os disjuntores Standard mais modernos têm um tempo total de corte bastante reduzido (20 ms). Entretanto devemos observar as informações dos fabricantes para cada tipo de disjuntor em suas funções específicas.

#### **(b) Disjuntor Limitador**

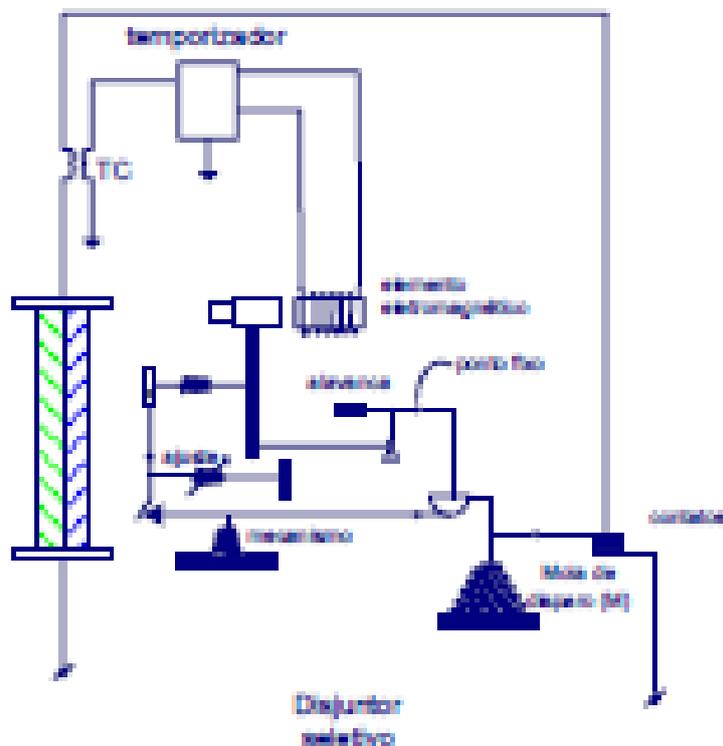
À medida que o nível de curto-circuito aumenta num sistema elétrico, disjuntores com capacidades maiores deverão ser projetados para atender a condição do sistema. Entretanto, existem sistemas elétricos com níveis de curto-circuito tão elevados que não se encontra comercialmente disjuntores Standard com esta característica, pois necessitaríamos um mecanismo e técnicas de disparo economicamente inviáveis na sua construção. Para aumentar a capacidade de interrupção sem aumentar exageradamente o tamanho do disjuntor, introduziu-se uma série de modificações construtivas, visando aproveitar o fluxo magnético de interrupção/extinção. Basicamente é um disjuntor Standard com estas modificações construtivas, sendo a mais significativa a alteração no formato das peças de contato.



### (c) Disjuntor Seletivo

Para garantir a seletividade em disjuntores instalados em série na condição de curto-circuito, é necessário que o “tempo total de interrupção” do disjuntor mais próximo do defeito, seja menor que o tempo mínimo de impulso do disjuntor

imediatamente a montante. Sendo esta condição difícil de ser obtida com a utilização de disjuntores Standard ou seletivo. Com o advento da eletrônica, conseguiu-se obter a seletividade entre disjuntores. A técnica de regular o tempo de atuação do disparador eletromagnético, intercalando-se um circuito RC, que retarda o sinal de desligamento.



Os disjuntores são utilizados principalmente quando:

- a) Espera-se ocorrência periódica de curto-circuito;

- b) Deseja-se o desligamento de todas as fases com o desligamento automático;
- c) For necessário o religamento imediato após o desligamento, desde que eliminado o defeito;
- d) É desejado o comando a distância

## 9.2 - Fusíveis

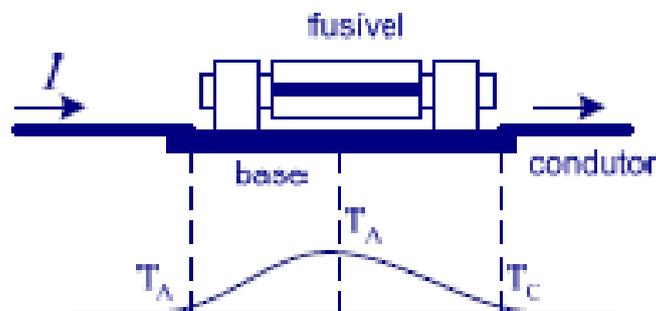
São dispositivos usados com o objetivo de limitar o efeito de uma perturbação, proporcionando a sua interrupção. Os fusíveis são os elementos mais frágeis que são propositadamente intercalados num determinado ponto do circuito elétrico para interromper corrente de sobrecargas violentas. Após a interrupção temos que assegurar que a d.d.p que poderão aparecer na extremidade do elo fundido não venha estabelecer condições de circulação de correntes através do invólucro ou pela interrupção do elo.

Apresentaremos os dois tipos de normalmente encontrados de sobrecarga:

- i) Tipo 1: Sobrecarga moderada -----  $I_N$  até  $I_{RBL} = X \cdot I_N$
- ii) Tipo 2: Sobrecarga violenta -----  $I_{RBL}$  até  $100 I_N$

### 9.2.1 - Princípio de Funcionamento

Apresentaremos agora o funcionamento do fusível de alta capacidade de interrupção:



O condutor e o elemento fusível são percorridos por uma corrente admissível que os aquece. A temperatura do condutor deverá assumir um valor constante em toda a sua extensão. Devido a resistência do elo fusível este sofre um aquecimento maior, atingindo na parte central uma temperatura  $T_B$ , o qual a partir deste valor é transferida para o meio ambiente. A temperatura  $T_A$  não deve ultrapassar a um determinado valor para não prejudicar a vida útil do isolamento do elemento condutor.

### **9.2.2 - Norma dos fusíveis**

As normas de fusíveis definem para diversos tipos, diversas faixas de corrente nominais, os seguintes parâmetros:

(a) Tempo convencional:  $t_c$ :

(b) Corrente convencional de não fusão ( $I_{nf}$ ): é o maior valor de corrente, para o qual o dispositivo não atua em menos de 2 horas

(c) Corrente convencional de fusão ( $I_f$ ): é o menor valor de corrente para o qual o dispositivo atua em 1 hora.

(d) Corrente nominal ( $I_N$ ): corrente elétrica que poderá percorrer permanentemente no elemento sem provocar sua fusão.

### **9.2.3 - Ação de um fusível limitador**

Alguns fusíveis tais como o NH, HH, Diazed de elevada capacidade de interrupção, apresentam características de limitação de corrente para determinados níveis de corrente de curto-circuito, que é uma característica importante na proteção de condutores e equipamentos, pois a limitação da intensidade da corrente de curto-circuito implica em valores mais reduzidos das solicitações térmicas e dinâmicas. Estas limitações são conseguidas com a utilização de elos especialmente projetados.

### **9.2.4 - Curva característica de um fusível de ação rápida e retardada**

Devido às características próprias dos diversos tipos de carga (resistiva, capacitiva e indutiva), os fusíveis são fabricados em conformidade com estas peculiaridades, para poder desempenhar com mais eficiência possível nas suas funções de proteção.

Para atender a estas condições de carga, os fusíveis são fabricados com duas características distintas de ação: RÁPIDA e RETARDADA.

Os fusíveis de característica rápida são utilizados nos circuitos que operam em condições de corrente nominal, como é o caso de circuitos que suprem cargas resistivas.

Os fusíveis de efeito retardado é o mais adequado aos circuitos sujeitos a sobrecarga periódica, tais como motores e capacitores.

### **9.2.5 - Principais tipos de fusíveis existentes em uma instalação industrial**

Os principais tipos de fusíveis utilizados são

**a) Tipo Cartucho** - São limitadores de corrente usados especialmente para proteger circuitos elétricos em geral, tais como: os condutores, os aparelhos elétricos, os consumidores/installações residenciais, etc. Exemplos: Diazed, Silized e Neozed. Os tipos Diazed e Neozed têm ação retardada, sendo que esse é utilizado em painéis e aquele é utilizado na proteção dos circuitos de comando. O Silized é ultra-rápido - esse é ideal para a proteção de aparelhos equipados com semicondutores (tiristores e diodos).

**b) Tipo Faca** - São dispositivos limitadores de corrente, utilizados preferencialmente em instalações industriais, protegendo circuitos elétricos em geral, tais como: os condutores, os aparelhos, os consumidores/prediais, os motores, etc. Exemplo são os fusíveis NH. Esses fusíveis possuem características retardadas em função das partidas de motores trifásicos com rotor em curto-circuito que estão sujeitos a sobrecarga de curta duração. Exemplo: motores trifásicos com rotor em Estes são os principais tipos de fusíveis existentes, onde os mais utilizados quase que na sua maioria são os de elevada capacidade de interrupção (Tipo Faca), devido principalmente as suas principais características: elevada capacidade de interrupção, limitadores de corrente, curvas típicas de atuação (fusão ).

Através de estudos realizados, foi verificado que a maioria dos motores existentes num sistema industrial, são motores de pequenas potências ( $P < 20$  cv). Desse modo, os fusíveis de encaixe calibrado, são os mais utilizados, devido basicamente a quatro fatores:

- (i) Atender eletricamente qualquer tipo de instalação existente (curto-circuito, tensão nominal, etc.);
- (ii) Custo relativamente baixo;
- (iii) Ocupar pouco espaço nos quadros de força;
- (iv) Corrente nominais comercialmente encontrados: 2 – 4 – 6 – 10 – 16 – 20 – 25 - 35 – 50 – 63 – 80 – 100 A).

#### 9.2.6 – Base de fixação

• Tipos Diazed, Silized e Neozed: sua fixação compõe-se dos seguintes elementos: base, parafuso de ajuste, anel de proteção e tampa. Podem ser fixados diretamente no trilho ou no espelho do painel, sempre com o auxílio de dois parafusos.



• Tipo NH - é utilizado com uma base de fixação, sendo individuais ou em conjunto com chaves seccionadoras, sendo essas, para abertura em sobre carga ou simples. Após retirado o fusível, a base constitui uma separação visível das fases, tornando dispensável, em alguns casos, a utilização de um seccionador adicional.

OBS.:

- 1) Para as bases com fusíveis tipo NH é recomendável a utilização de um punho apropriado para instalar ou sacar o fusível. Observamos que o equipamento deve ser desligado antes de instalar e/ou retirar o fusível;
- 2) Os tipos de fusíveis Diazed, Silized e Neozed são utilizados para correntes menores e os tipo NH são para correntes maiores;
- 3) Material de enchimento - os corpos dos fusíveis de alta capacidade de interrupção são sempre cheios com quartzo granulado de alta pureza química.

### **9.2.7 – Vantagens dos fusíveis**

- a) Elevada capacidade de interrupção;
- b) Para altas correntes funcionam como fusíveis limitadores;
- c) Custo inicial da instalação relativamente baixo.

### **9.2.8 – Desvantagens dos fusíveis**

- a) Intervalo de fabricação
- b) O fusível não pode ser testado e nem calibrado;
- c) Favorece funcionamento bifásico em sistema trifásico;
- d) Perigo ao recolocar o fusível;
- e) Reserva;

f) Custo alto de manutenção.

Os fusíveis são utilizados principalmente quando:

- a) A ocorrência de curto-circuito é remota;
- b) As correntes de curto circuito são tão elevadas que o uso de disjuntores torna-se quase impossível devido ao elevadíssimo custo;
- c) É desejado a limitação da corrente com pouco investimento;
- d) Existir pouco espaço.

### **9.3 – Relé bimetálico de sobrecarga**

#### **9.3.1 – Introdução**

Os fusíveis, conforme visto anteriormente, são dispositivos de proteção para atuar (interromper o circuito) quando da ocorrência de um defeito em determinado ponto do sistema, sem do este defeito um curto circuito (fase-terra, fase-fase, trifásico).

Existem determinados tipos de cargas, onde somente os fusíveis não resolvem os problemas, pois no caso de circuitos alimentando motores, as sobrecargas mais frequentes são as moderadas (cobrindo a faixa de corrente nominal até a corrente com rotor bloqueado) em que os fusíveis normalmente não são projetados para atuar nesta faixa.

Para cobrir parcialmente a faixa de sobrecarga moderada, apesar de não ser um elemento ideal, mas de custo relativamente baixo, utiliza-se o RELÉ BIMETÁLICO DE SOBRECARGA.

Os relés bi metálicos de sobrecarga foram desenvolvidos a partir do comportamento de lâminas bi metálicas, onde o seu princípio de operação está fundamentado nas diferentes dilatações que apresentam determinados metais, quando submetidos a uma variação de temperatura.

O elemento bimetálico é composto de duas lâminas de metais diferentes, ligados intimamente através de solda sob pressão ou eletroliticamente. As lâminas se curvam e esta mudança de posição é usada para atuar num mecanismo de disparo do relé ou disjuntor.

#### **9.3.2 – Ação das correntes nas lâminas**

Existem diversas maneiras de se aquecer o elemento bimetálico, dependendo basicamente da corrente nominal do relé e da opção do fabricante. Apresentamos a seguir algumas maneiras de se aquecer o elemento bimetálico:

a) Aquecimento direto: as lâminas estão diretamente acopladas no circuito de força, sendo percorrido pela corrente do sistema.



b) Aquecimento indireto: as lâminas são envolvidas por enrolamento de aquecimento.



c) Aquecimento misto: as lâminas são aquecidas pela passagem da corrente e adicionalmente por enrolamento de aquecimento.



d) Aquecimento intercalando TC: dependendo do tipo de proteção em que o TC é empregado, estes poderão possuir várias curvas de saturação. Normalmente os TC's utilizados para fins de proteção opera linearmente até aproximadamente 20 vezes a corrente nominal. Para motores, normalmente utilizam-se os TC's que opera linearmente até aproximadamente 8 vezes o valor nominal.

#### 9.4 – Relé de temperatura à termistor

Relés de temperatura à termistor são dispositivos de proteção ideais para motores e autotrafo de partida, utilizados em sistemas elétricos industriais. Pois os sensores, quando solicitados de fábrica, são intercalados nos pontos de maior

aquecimento do enrolamento. Estes sensores sentem diretamente a temperatura através de variação de resistência dos elementos semicondutores e transmitem estas informações ao relé de temperatura que, dependendo do valor de ajuste, desliga ou não o sistema controlado.

Os relés de temperatura à termistor são utilizados em sistemas de proteção contra sobrecarga moderadas, assim como o relé bimetálico de sobrecarga, com grande vantagem sobre este, pois são sensores de temperatura e não de corrente elétrica.

Os termistores são detectores térmicos compostos de semicondutoras que varia a sua resistência em função da temperatura. São estes elementos que são intercalados nos enrolamentos dos equipamentos que se deseja proteger, fabricados em dois tipos:

- NTC: coeficiente de temperatura negativa
- PTC: coeficiente de temperatura positiva

Os termistores PTC são construídos a partir de materiais semicondutores especiais, em que estes elementos apresentam grande faixa de liberação elétrons-buracos em razão do decréscimo de temperatura. Portanto quanto maior a temperatura maior será a resistência do PTC.

## 9.5 – Dimensionamentos

### 9.5.1 – Disjuntores

A seleção e ajuste dos disjuntores deve ser feita com base nos requisitos previstos pela NBR 5410.

#### a) Proteção contra sobrecargas

$$1^{\text{a}} \text{ Condição: } I_{aj} \geq I_p$$

$I_{aj}$  → Corrente de ajuste do disjuntor

$I_p$  → Corrente de projeto do circuito

$$2^{\text{a}} \text{ Condição: } I_{aj} \leq I_{nc}$$

$I_{aj}$  → Corrente de ajuste do disjuntor

$I_{nc}$  → Corrente nominal do condutor

$$3^{\text{a}} \text{ Condição: } I_{adc} \leq 1,45 \times I_{nc}$$

$I_{adc} = K \times I_{aj}$  → Corrente convencional de atuação do disjuntor

$K$  → Fator de multiplicação (tabelado e depende do fabricante do disjuntor)

$$4^{\text{a}} \text{ Condição: } T_{ad} > T_{pm}$$

$T_{ad}$  → Tempo de atuação do disjuntor

$T_{pm}$  → Tempo de partida do motor

5ª Condição:  $I_{cc} \leq I_{rd}$

$I_{rd}$  → Capacidade de interrupção do disjuntor

$I_{cc}$  → Corrente de curto-circuito no ponto considerado da instalação

6ª Condição:  $T_{ad} \leq T_{cc}$

$T_{ad}$  → Tempo de atuação do disjuntor

$T_{cc}$  → Tempo de suportabilidade da isolação do condutor

### 9.5.2 – Relés térmico de sobrecarga

Os relés térmicos de sobrecarga seguem os mesmos critérios de dimensionamento dos disjuntores descritos no item (a) da seção 9.5.1.

### 9.5.3 – Fusíveis

(a) Circuitos terminais de motores em regime S1

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm}$  → Corrente de partida do motor

$I_{nf}$  → Corrente nominal do fusível

$I_{nm}$  → Corrente nominal do motor

$R_{cpm}$  → Relação entre a corrente de partida e a corrente nominal do motor

$K$  → fator de multiplicação

- Para:  $I_{pm} \leq 40A$  →  $K = 0,5$
- Para:  $40 < I_{pm} \leq 500A$  →  $K = 0,4$
- Para:  $I_{pm} > 500A$  →  $K = 0,3$

(b) Circuito de distribuição de motores

$$I_{nf} \leq I_{pmm} \times K + \sum I_{nm}$$

$I_{pmm}$  → Corrente de partida do maior motor

$\sum I_{nm}$  → Soma das correntes dos demais motores

**(c) Circuito de distribuição de aparelhos**

$$I_{nf} \geq \alpha \times \sum I_{na}$$

$\alpha = 1$  a  $1,15$

$\sum I_{na} \rightarrow$  Soma das correntes nominais dos aparelhos

**(d) Circuito de distribuição de cargas mistas (aparelhos e motores)**

$$I_{nf} \leq I_{pmm} \times K + \sum I_{nm} + \sum I_{na}$$

**(e) Circuito de distribuição de capacitores ou banco**

$$I_{nf} \leq 1,65 \times I_{nca}$$

$I_{nca} \rightarrow$  Corrente nominal do capacitor ou banco

**(f) Comportamento do fusível perante a corrente de partida do motor**

$$T_{af} > T_{pm}$$

$T_{af} \rightarrow$  Tempo de atuação do fusível

$T_{pm} \rightarrow$  Tempo de partida do motor

**(g) Proteção da isolação dos condutores**

$$T_{af} < T_{cc}$$

$T_{af} \rightarrow$  Tempo de atuação do fusível

$T_{cc} \rightarrow$  Tempo de suportabilidade da isolação do condutor

## (h) Proteção dos dispositivos de comando e manobra

- Contactor:  $I_{nf} \leq I_{nfc}$
- Relé térmico:  $I_{nf} \leq I_{nfr}$
- Chave seccionadora interruptora:  $I_{nf} \leq I_{nfcch}$

$I_{nf}$  → Corrente nominal do fusível

$I_{nfc}$  → Corrente nominal do fusível a ser pré-ligado ao contactor.