

## 1.6 CARACTERÍSTICA EM REGIME

### 1.6.1 ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA, CLASSE DE ISOLAMENTO

#### 1.6.1.1 AQUECIMENTO DO ENROLAMENTO

- **Perdas:**

A potência útil fornecida pelo motor na ponta do eixo é menor que a potência que o motor absorve da linha de alimentação, isto é, o rendimento do motor é sempre inferior a 100%. A diferença entre as duas potências representa as perdas, que são transformadas em calor, o qual aquece o enrolamento e deve ser dissipado para fora do motor, para evitar que a elevação de temperatura seja excessiva. O mesmo acontece em todos os tipos de motores. No motor de automóvel, por exemplo, o calor gerado pelas perdas internas tem que ser retirado do bloco pelo sistema de circulação de água com radiador ou pela ventoinha, em motores resfriados a ar.

- **Dissipação de calor:**

O calor gerado pelas perdas no interior do motor é dissipado para o ar ambiente através da superfície externa da carcaça. Em motores fechados essa dissipação é normalmente auxiliada pelo ventilador montado no próprio eixo do motor. Uma boa dissipação depende:

- Da eficiência do sistema de ventilação;
  - Da área total de dissipação da carcaça;
  - Da diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e do ar ambiente ( $t_{\text{ext}} - t_a$ ).
- a) O sistema de ventilação bem projetado, além de ter um ventilador eficiente, capaz de movimentar grande volume de ar; deve dirigir esse ar de modo a “varrer” toda a superfície da carcaça, onde se dá a troca de calor. De nada adianta um grande volume de ar se ele se espalha sem retirar o calor do motor.
  - b) A área total de dissipação deve ser a maior possível. Entretanto, um motor com uma carcaça muito grande, (para obter maior área) seria muito caro e pesado, além de ocupar muito espaço. Por isso, a área de dissipação disponível é limitada pela necessidade de fabricar motores pequenos e leves. Isso é compensado em parte, aumentando-se a área disponível por meio de aletas de resfriamento, fundidas com a carcaça.
  - c) Um sistema de resfriamento eficiente é aquele que consegue dissipar a maior quantidade de calor disponível, através da menor área de dissipação. Para isso, é necessário que a queda interna de temperatura, mostrada na figura 1.51, vale a soma da queda interna com a queda externa.

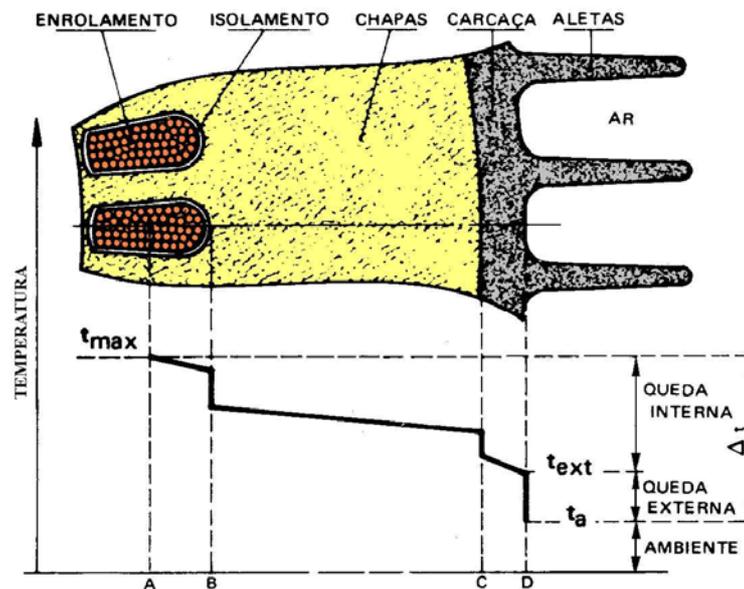


Figura 1.51

Como visto anteriormente, interessa reduzir a queda interna (melhorar a transferência de calor) para poder ter uma queda externa a maior possível, pois esta é que realmente ajuda a dissipar o calor. A queda interna de temperatura depende de diversos fatores como indica a figura 1.51, onde as temperaturas de certos pontos importantes do motor estão representadas e explicadas a seguir:

- A – Ponto mais quente do enrolamento, no interior da ranhura, onde é gerado o calor proveniente das perdas nos condutores.
- AB – Queda de temperatura na transferência de calor do ponto mais quente até os fios externos. Como o ar é um péssimo condutor de calor, é importante que não haja “vazios” no interior da ranhura, isto é, as bobinas devem ser compactas e a impregnação com verniz deve ser perfeita.
- B – Queda através do isolamento da ranhura e no contato deste com os condutores de um lado, e com as chapas do núcleo, do outro. O emprego de materiais modernos melhora a transmissão de calor através do isolante; a impregnação perfeita melhora o contato do lado interno, eliminando espaços vazios; o bom alinhamento das chapas estampadas melhora o contato do lado externo, eliminando camadas de ar que prejudicam a transferência de calor.
- BC – Queda de temperatura por transmissão através do material das chapas do núcleo.
- C – Queda no contato entre o núcleo e a carcaça. A condução de calor será tanto melhor quanto mais perfeito for o contato entre as partes, dependendo do bom alinhamento das chapas, e precisão da usinagem da carcaça. Superfícies irregulares deixam espaços vazios entre elas, resultando mau contato e, portanto, má condução do calor e elevada queda de temperatura neste ponto.
- CD – Queda de temperatura por transmissão através da espessura da carcaça.

Graças a um projeto moderno, uso de materiais avançados, processos de fabricação aprimorados, sob um permanente Controle de Qualidade, os motores WEG apresentam uma excelente transferência de calor do interior para a superfície, eliminando “pontos quentes” no enrolamento.

- Temperatura externa do motor:

Era comum, antigamente, verificar o aquecimento do motor, medindo, com a mão, a temperatura externa da carcaça. Em motores modernos, este método primitivo é completamente errado. Como se viu anteriormente, os critérios modernos de projeto procuram aprimorar a transmissão de calor internamente, de modo que a temperatura do enrolamento fique pouco acima da temperatura externa da carcaça, onde ela realmente contribui para dissipar as perdas. Em resumo, a temperatura da carcaça não dá indicação do aquecimento interno do motor, nem de sua qualidade. Um motor frio por fora pode ter perdas maiores e temperatura mais alta no enrolamento do que um motor exteriormente quente.

### ***1.6.1.2 VIDA ÚTIL DO MOTOR***

Sendo o motor de indução, uma máquina robusta e de construção simples, a sua vida útil depende quase exclusivamente da vida útil da isolação dos enrolamentos. Esta é afetada por muitos fatores, como umidade, vibrações, ambientes corrosivos e outros. Dentre todos os fatores, o mais importante é, sem dúvida a temperatura de trabalho dos materiais isolantes empregados. Um aumento de 8 a 10 graus na temperatura da isolação reduz sua vida útil pela metade.

Quando se fala em diminuição da vida útil do motor, não se refere às temperaturas elevadas, quando o isolante se queima e o enrolamento é destruído de repente. Vida útil da isolação (em termos de temperatura de trabalho, bem abaixo daquela em que o material se queima), refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado, perdendo o poder isolante, até que não suporte mais a tensão aplicada e produza o curto-circuito.

A experiência mostra que a isolação tem uma duração praticamente ilimitada, se a sua temperatura for mantida abaixo de um certo limite. Acima deste valor, a vida útil da isolação vai se tornado cada vez mais curta, à medida que a temperatura de trabalho é mais alta. Este limite de temperatura é muito mais baixo que a temperatura de “queima” do isolante e depende do tipo de material empregado.

Esta limitação de temperatura refere-se ao ponto mais quente da isolação e não necessariamente ao enrolamento todo. Evidentemente, basta um ponto fraco no interior da bobina para que o enrolamento fique inutilizado.

### ***1.6.1.3 CLASSES DE ISOLAMENTO***

Como visto acima, o limite de temperatura depende do tipo de material empregado. Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento (cada um formado pela combinação de vários materiais) são agrupados em CLASSES DE ISOLAMENTO, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil.

As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura conforme NBR 7094 são as seguintes:

- Classe A (105°C);
- Classe E (120°C);
- Classe B (130°C);
- Classe F (155°C);
- Classe H (180°C).

As classes B e F são as comumente utilizadas em motores normais.

#### **1.6.1.4 MEDIDA DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA DO ENROLAMENTO**

É muito difícil medir a temperatura do enrolamento com termômetros ou termopares, pois a temperatura varia de um ponto a outro e nunca se sabe se o ponto da medição está próximo do ponto mais quente. O método mais preciso e mais confiável de se medir a temperatura de um enrolamento é através da variação de sua resistência ôhmica com a temperatura, que aproveita a propriedade dos condutores de variar sua resistência, segundo uma lei conhecida. A elevação da temperatura pelo método da resistência é calculada por meio da seguinte fórmula, para condutores de cobre:

$$\Delta t = t_2 - t_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (234,5 + t_1) + t_1 - t_a$$

Onde:

- $\Delta t$  – é a elevação de temperatura;
- $t_1$  – temperatura do enrolamento antes do ensaio, praticamente igual a do meio refrigerante, medida por termômetro;
- $t_2$  – temperatura dos enrolamentos no fim do ensaio;
- $t_a$  – temperatura do meio refrigerante no fim do ensaio;
- $R_1$  – resistência do enrolamento antes do ensaio;
- $R_2$  – resistência do enrolamento no fim do ensaio.

#### **1.6.1.5 APLICAÇÃO A MOTORES ELÉTRICOS**

A temperatura do ponto mais quente do enrolamento deve ser mantida abaixo do limite da classe. A temperatura total vale a soma da temperatura ambiente com a elevação de temperatura  $\Delta t$  mais a diferença que existe entre a temperatura média do enrolamento e a do ponto mais quente. As normas de motores fixam a máxima elevação de temperatura  $\Delta t$ , de modo que a temperatura do ponto mais quente fica limitada, baseada nas seguintes considerações:

- A temperatura ambiente é, no máximo 40°C, por norma, e a cima disso as condições de trabalho são consideradas especiais;

- A diferença entre a temperatura média e a do ponto mais quente, não varia muito de motor para motor e seu valor estabelecido em norma, baseado na prática é 5°C, para as classes A e E, 10°C para a classe B e 15°C para as classes F e H.

As normas de motores, portanto, estabelecem um máximo para a temperatura ambiente e especificam uma elevação de temperatura máxima para cada classe de isolamento. Deste modo, fica indiretamente limitada a temperatura do ponto mais quente do motor. Os valores numéricos e a composição da temperatura admissível do ponto mais quente são indicados na tabela 1.6.1.5.1.

Classe de Isolamento		A	E	B	F	H
Temperatura Ambiente	°C	40	40	40	40	40
$\Delta t$ – elevação de temperatura (método da resistência)	K	60	75	80	105	125
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média	°C	5	5	10	10	15
<b>Total: temperatura do ponto mais quente</b>	°C	105	120	130	155	180

Tabela 1.6.1.5.1 – Composição da temperatura em função da classe de isolamento

Para motores de construção naval, deverão ser obedecidos todos os detalhes particulares de cada entidade classificadora.

Entidades classificadoras para uso naval	Máxima temperatura ambiente °C $t_a$	Máxima sobre elevação de temperatura permitida por classe de isolamento, $\Delta t$ em °C (método de variação de resistência)			
		A	E	B	F
Germanischer Lloyd	45	55	70	75	96
American Bureau of Shipping	50	55	65	75	95
Bureau Véritas	50	50	65	70	90
Norske Véritas	45	50	65	70	90
Lloyds Register of Shipping	45	50	65	70	90
RINa	45	50	70	75	---

Tabela 1.6.1.5.2 – Correções de temperatura para rotores navais

## 1.6.2 PROTEÇÃO TÉRMICA DE MOTORES ELÉTRICOS

A proteção térmica é efetuada por meio de termo-resistências (resistência calibrada), termistores, termostatos ou protetores térmicos. Os tipos de detetores a serem utilizados são determinados em função da classe de temperatura do isolamento empregado, de cada tipo de máquina e da exigência do cliente.

Tipos de protetores utilizados pela WEG:

### 1.6.2.1 TERMO-RESISTÊNCIA (PT-100)

São elementos onde sua operação é baseada na característica de variação da resistência com a temperatura intrínseca a alguns materiais (geralmente platina, níquel ou cobre). Possuem resistência calibrada, que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor pelo display do controlador, com alto grau de precisão e sensibilidade de resposta. Sua aplicação é ampla nos diversos setores de técnicas de medição e automatização de temperatura nas indústrias. Geralmente, aplica-se em instalações de grande responsabilidade como, por exemplo, em regime intermitente muito irregular. Um mesmo detetor pode servir para alarme e para desligamento.

Desvantagem: os elementos sensores e o circuito de controle possuem alto custo.

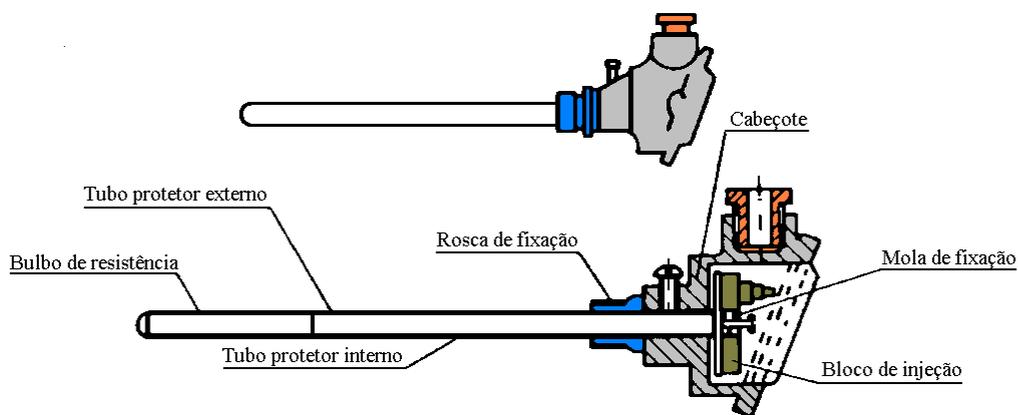


Figura 1.52 – Visualização do aspecto interno e externo dos termo-resistores

### 1.6.2.2 TERMISTORES (PTC E NTC)

São detetores térmicos compostos de sensores semicondutores que variam sua resistência bruscamente ao atingirem uma determinada temperatura.

- PTC – coeficiente de temperatura positivo;
- NTC – coeficiente de temperatura negativo.

O tipo “PTC” é um termistor cuja resistência aumenta bruscamente para um valor bem definido de temperatura, especificado para cada tipo. Essa variação brusca na resistência interrompe a corrente no PTC, acionando um relé de saída, o qual desliga o circuito principal. Também pode ser utilizado para sistemas de alarme ou alarme e desligamento (2 por fase). Para o termistor “NTC” acontece o contrário do PTC, porém, sua aplicação não é normal em motores elétricos, pois os circuitos eletrônicos de controle disponíveis, geralmente são para o PTC.

Os termistores possuem tamanho reduzido, não sofrem desgastes mecânicos e têm uma resposta mais rápida em relação aos outros detetores, embora permitam um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor. Os termistores com seus respectivos circuitos eletrônicos de controle oferecem proteção completa contra sobreaquecimento produzido por falta de fase, sobrecarga, sob ou sobretensões ou freqüentes operações de reversão ou liga-desliga.

Possuem um baixo custo, relativamente ao do tipo PT-100, porém, necessitam de relé para comando da atuação do alarme ou operação.

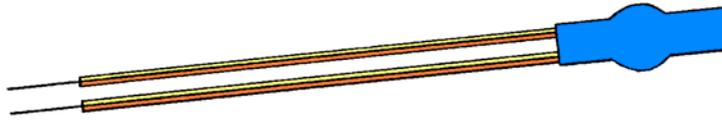


Figura 1.53 – Visualização do aspecto externo dos termistores

### 1.6.2.3 TERMOSTATOS

São detetores térmicos do tipo bimetálico com contatos de prata normalmente fechados, que se abrem quando ocorre determinada elevação de temperatura. Quando a temperatura de atuação do bimetálico diminuir, este volta a sua forma original instantaneamente permitindo o fechamento dos contatos novamente.

Os termostatos podem ser destinados para sistemas de alarme, desligamento ou ambos (alarme e desligamento) de motores elétricos trifásicos, quando solicitado pelo cliente. São ligados em série com a bobina do contator. Dependendo do grau de segurança e da especificação do cliente, podem ser utilizados três termostatos (um por fase) ou seis termostatos (grupo de dois por fase).

Para operar em alarme e desligamento (dois termostatos por fase), os termostatos de alarme devem ser apropriados para atuação na elevação de temperatura prevista do motor, enquanto que os termostatos de desligamento deverão atuar na temperatura máxima do material isolante.

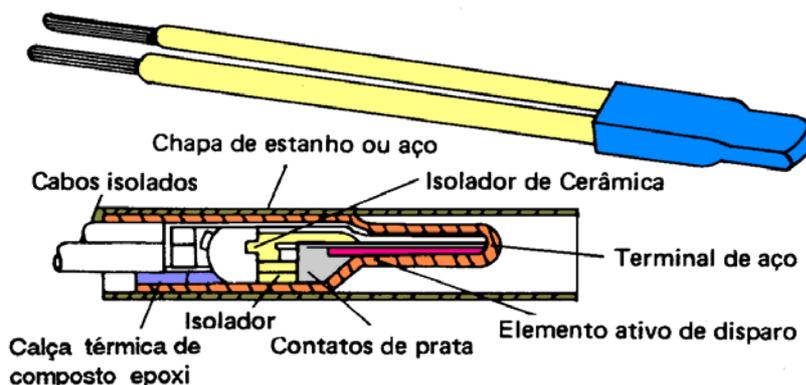


Figura 1.54 – Visualização do aspecto interno e externo do termostato

Os termostatos também são utilizados em aplicações especiais de motores monofásicos. Nestas aplicações, o termostato pode ser ligado em série com a alimentação do motor, desde que a corrente do motor não ultrapasse a máxima corrente admissível do termostato. Caso isto ocorra, liga-se o termostato em série com a bobina do contator. Os termostatos são instalados nas cabeças de bobinas de fases diferentes.

### 1.6.2.4 PROTETORES TÉRMICOS

São do tipo bimetálico com contatos normalmente fechados. Utilizados, principalmente, para proteção contra sobreaquecimento em motores de indução monofásicos, provocado por sobrecargas, travamento do rotor, quedas de tensão, etc. São aplicados quando especificados pelo cliente. O protetor térmico consiste basicamente em um disco bimetálico que possui dois contatos móveis, uma resistência e um par de contatos fixos.

O protetor é ligado em série com a alimentação e, devido à dissipação térmica causada pela passagem da corrente através da resistência interna deste, ocorre uma deformação do disco, tal que, os contatos se abrem e a alimentação do motor é interrompida. Após ser atingida uma temperatura inferior à especificada, o protetor deve religar. Em função de religamento, pode haver dois tipos de protetores:

- Protetor com religamento automático, onde o rearme é realizado automaticamente;
- Protetor com religamento manual, onde o rearme é realizado através de um dispositivo manual.

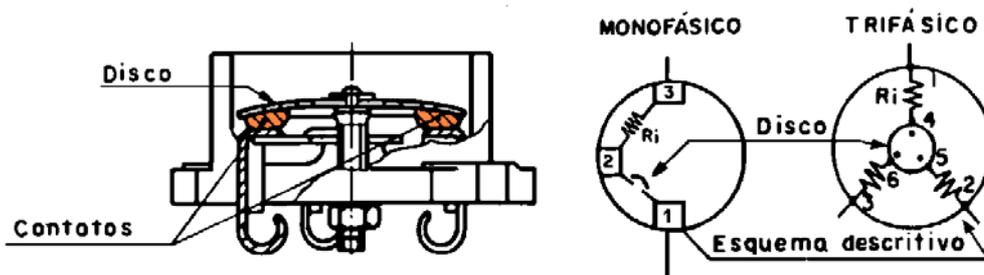


Figura 1.55 – Visualização do aspecto interno do protetor térmico

O protetor térmico também tem aplicação em motores trifásicos, porém, apenas em motores com ligação Y. O seguinte esquema de ligação poderá ser utilizado:

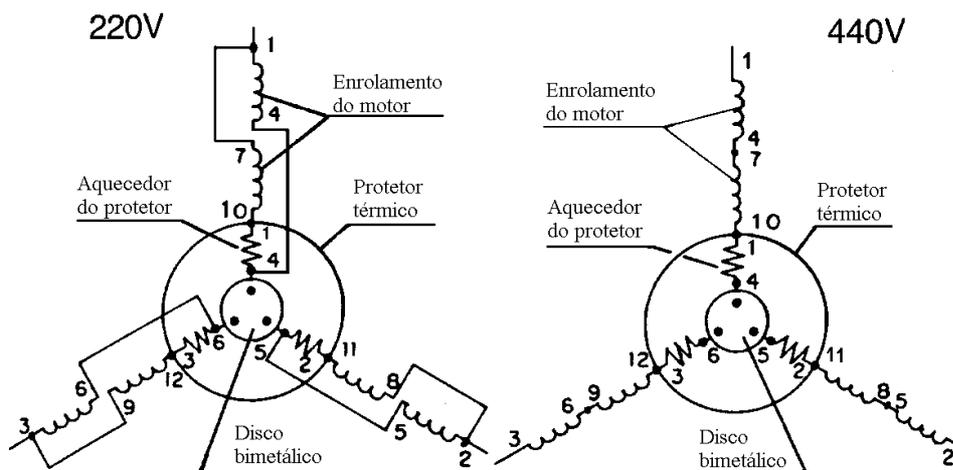


Figura 1.56 – Esquema de ligação do protetor térmico para motores trifásicos

**Vantagens:**

- Combinação de protetor sensível à corrente e a temperatura;
- Possibilidade de religamento automático.

**Desvantagens:**

- Limitação da corrente, por estar o protetor ligado diretamente à bobina do motor monofásico;
- Aplicação voltada para motores trifásicos somente no centro da ligação Y.

	<b>Termoresistor (PT100)</b>	<b>Termistor (PTC e NTC)</b>	<b>Termostato</b>	<b>Protetor Térmico</b>
<i>Mecanismo de proteção</i>	Resistência calibrada	Resistor de avalanche	- Contatos móveis - Bimetálicos	Contatos móveis
<i>Disposição</i>	Cabeça de bobina	Cabeça de bobina	- Inserido no circuito - Cabeça de bobina	Inserido no circuito
<i>Forma de atuação</i>	Comando externo de atuação na proteção	Comando externo de atuação na proteção	- Atuação direta - Comando externo de atuação na proteção	Atuação direta
<i>Limitação de corrente</i>	Corrente de comando	Corrente de comando	- Corrente do motor - Corrente do comando	Corrente do motor
<i>Tipo de sensibilidade</i>	Temperatura	Temperatura	Corrente e temperatura	Corrente e temperatura
<i>Número de unidades por motor</i>	3 ou 6	3 ou 6	3 ou 6 1 ou 3	1
<i>Tipos de comando</i>	Alarme e/ou desligamento	Alarme e/ou desligamento	- Desligamento - Alarme e/ou desligamento	Desligamento

Tabela 1.6.2.4.1 – Comparativa entre os sistemas de proteção mais comuns

**1.6.2.5 PROTEÇÃO DE MOTORES DE ALTA TENSÃO WEG**

Na filosofia da proteção a ser adotada para um determinado motor pesam o tamanho do motor, o nível de tensão da rede de alimentação, o método de partida, a importância da contribuição de uma falta no motor para o sistema de alimentação, o grau de necessidade da operação do motor em questão para o processo industrial em curso, a política de reposição de motores da empresa e considerações econômicas quanto ao custo da proteção em relação ao custo do motor e ao custo de uma paralisação no processo industrial.

Serão abordados a seguir alguns tipos de proteções frequentemente utilizadas em motores de alta tensão.

### 1.6.2.5.1 PROTEÇÃO DO ESTATOR

- **Proteção Contra Curtos-Circuitos**

As correntes elevadas que ocorrem em um curto circuito tornam necessário isolar o motor afetado. Dependendo do motor e a tensão de alimentação do mesmo, é usual a utilização de um relé instantâneo ajustado para uma corrente ligeiramente acima da corrente com rotor bloqueado, conjugado com um relé ajustado para 3 a 4 vezes a corrente nominal do motor com temporização suficiente para não operar durante a partida. Para motores de grande potência e alta tensão, a proteção contra curto-circuito é geralmente realizada por relés secundários.

- **Proteção Contra Surtos de Tensão**

O nível de isolamento de máquinas girantes é muito menor que o de outros tipos de equipamentos elétricos. Tal nível para um transformador de 5kV imerso em óleo, por exemplo, é de 60 kV, ao passo que para um motor de 4 kV nominais é da ordem de 13kV. Esse nível é igual ao valor de pico da onda de tensão aplicada durante 1 minuto no “ensaio de tensão aplicada” (2 vezes a tensão nominal + 1kV).

Um enrolamento de máquina de corrente alternada pode ser considerado como uma pequena linha de transmissão, com reflexão e refração de onda nos terminais, impedância de surto, etc. A maior solicitação do ponto de vista da tensão de impulso geralmente ocorre nas primeiras espiras do enrolamento, pois o surto vai sendo atenuado ao longo do enrolamento. Motores elétricos têm impedância de surto na faixa de 150 a 1500 ohms, tipicamente; na medida em que a tensão nominal e a potência nominal dos motores crescem, também cresce sua impedância de surto.

As fontes comuns de surtos de tensão são descargas atmosféricas na linha (principalmente), operações de manobra ou ligação de cargas de alta corrente no mesmo circuito. Nos surtos de manobra a tensão geralmente não ultrapassa duas a três vezes a tensão fase-neutro do sistema.

Embora as tensões de surto sejam altas, sua duração é muito pequena. Tipicamente, a onda se eleva muito depressa (1 a 10 microsegundos), atingindo então seu valor máximo depois de 2 a 150 microsegundos.

A proteção de máquinas girantes contra surtos requer a limitação da tensão de impulso junto aos terminais da máquina e a diminuição da inclinação da frente de onda de tensão. A combinação dessas duas condições é denominada “achatamento da onda”. Este achatamento da onda é obtido com a instalação de pára-raios entre os terminais da máquina e a carcaça aterrada.

Quando mais de uma máquina estive ligada a um barramento comum é usual ligar-se os pára-raios entre cada fase e a terra, desde que as carcaças das máquinas estejam ligadas a uma malha de terra de baixa resistência e que seja a mesma dos pára-raios.

A diminuição da inclinação da frente de onda é conseguida por capacitores de derivação ligados aos terminais da máquina.

- **Proteção Diferencial**

O sistema de proteção diferencial exige que os dois terminais de cada fase do motor sejam acessíveis. As maiores vantagens de um sistema de proteção diferencial são a alta sensibilidade, alta velocidade e o fato de operar somente sob faltas internas ao motor, não sendo

sensível às sobrecorrentes durante a partida. Sistemas de proteção diferencial não exigem coordenação com outras proteções no sistema.

Os transformadores de corrente vão, normalmente, instalados na caixa de ligação do motor, o que implica que, quando se deseja utilizar este tipo de proteção, caixas de ligação maiores que as usuais são necessárias.

### 1.6.3 REGIME DE SERVIÇO

É o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, (a carga é constante), por tempo indefinido, e igual a potência nominal do motor. A indicação do regime do motor deve ser feita pelo comprador, da forma mais exata possível. Nos casos em que a carga não varia ou varia de forma previsível, o regime poderá ser indicado numericamente ou por meio de gráficos que representam a variação em função do tempo das grandezas variáveis. Quando a seqüência real dos valores no tempo for indeterminada, deverá ser indicada uma seqüência fictícia não menos severa que a real.

#### 1.6.3.1 REGIMES DE SERVIÇOS PADRONIZADOS (NBR 7094/IEC 60034)

Os regimes tipo e os símbolos alfa-numéricos a eles atribuídos, são indicados a seguir:

##### a) Regime Contínuo (S1):

O funcionamento da carga constante de duração suficiente para que se alcance o equilíbrio térmico (figura 1.57).

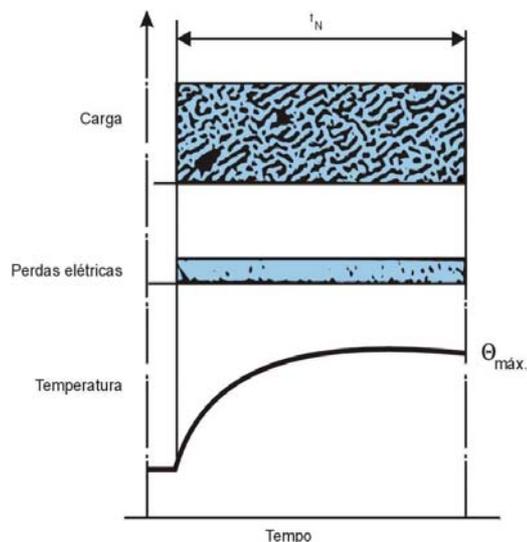


Figura 1.57

Onde:  $t_N$  – tempo mínimo de funcionamento em carga constante;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida (equilíbrio térmico).

**b) Regime de Tempo Limitado (S2):**

O funcionamento da carga é constante e, durante certo tempo, inferior ao necessário para atingir o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante (figura 1.58).

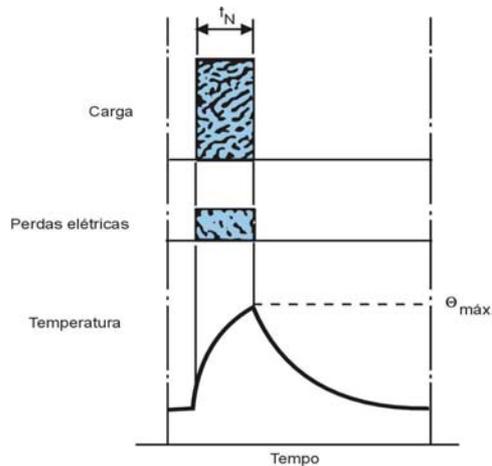


Figura 1.58

Onde:  $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $\Theta_{máx}$  – temperatura máxima atingida.

**c) Regime Intermitente periódico (S3):**

A seqüência de ciclos idênticos, cada qual incluindo um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso. Neste regime o ciclo é tal que a corrente de partida não afete de modo significativo a elevação de temperatura (figura 1.59).

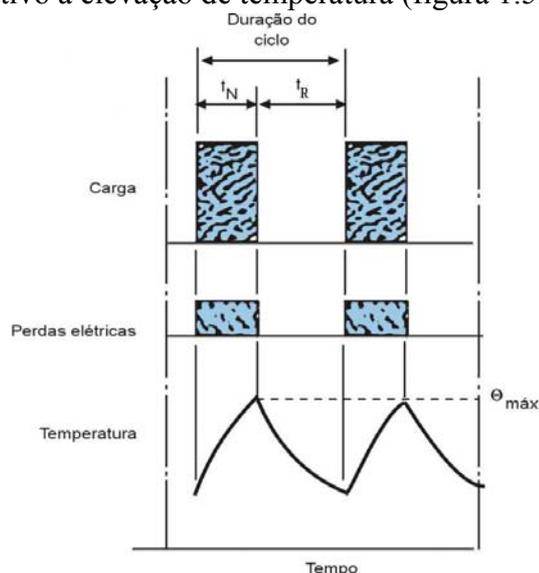


Figura 1.59

Onde:  $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_R$  – repouso;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_R} \times 100\%$$

**d) Regime Intermitente Periódico com Partidas (S4):**

Este regime tem uma seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida significativo, um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso (figura 1.60).

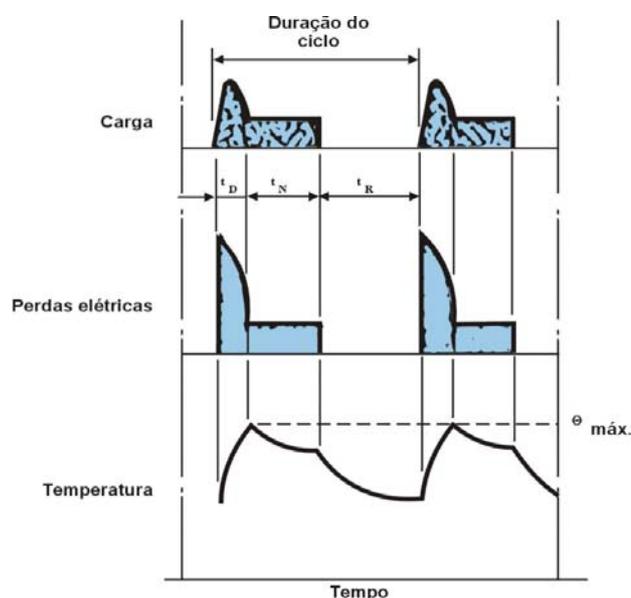


Figura 1.60

Onde:  $t_D$  – partida;  
 $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_R$  – repouso;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_D + t_N}{t_N + t_R + t_D} \times 100\%$$

**e) Regime Intermitente Periódico com frenagem elétrica (S5):**

A seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante, um período de frenagem elétrica rápida e um período de repouso (figura 1.61).

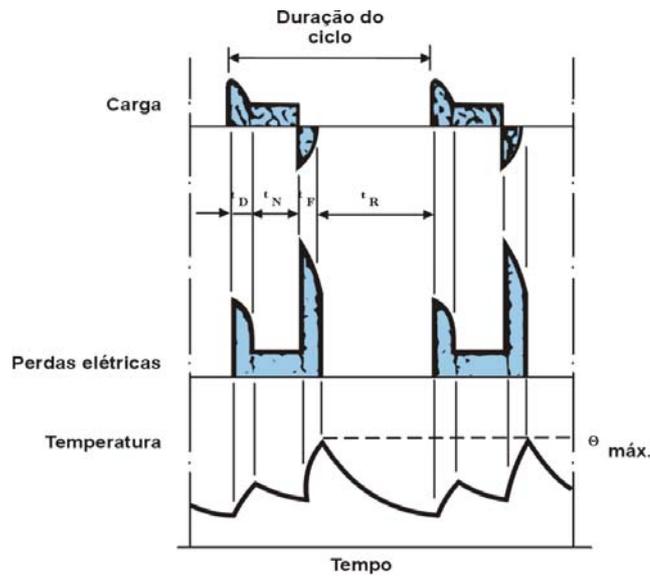


Figura 1.61

Onde:  $t_D$  – partida;  
 $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_F$  – frenagem elétrica;  
 $t_R$  – repouso;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_D + t_N + t_F}{t_D + t_N + t_F + t_R} \times 100\%$$

**f) Regime de Funcionamento Periódico com Carga Intermitente (S6):**

A seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de funcionamento a carga constante e de um período de funcionamento em vazio, não existindo período de repouso (figura 1.62).

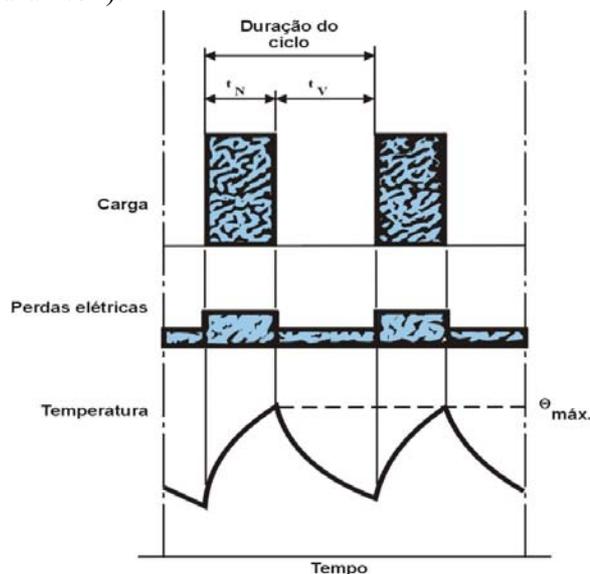


Figura 1.62

Onde:  $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_V$  – funcionamento em vazio;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_V} \times 100\%$$

**g) Regime de Funcionamento Periódico com Frenagem Elétrica (S7):**

É a seqüência de ciclos de regimes idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, de um período de funcionamento a carga constante e um período de frenagem elétrica, não existindo o período de repouso (figura 1.63).

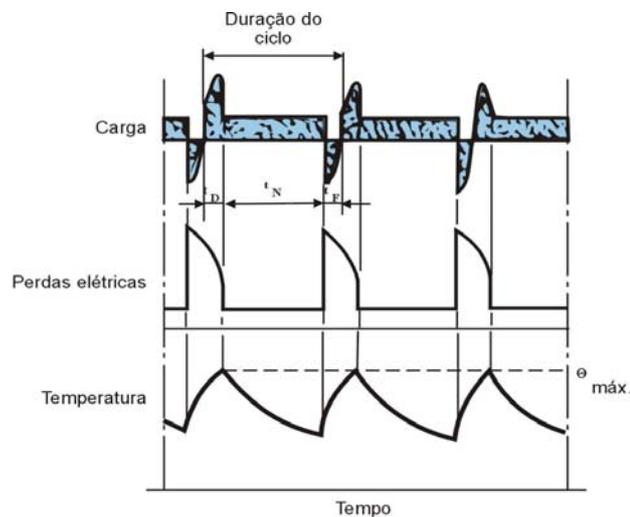


Figura 1.63

Onde:  $t_D$  – partida;  
 $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_F$  – frenagem elétrica;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = 1$$

**h) Regime de Funcionamento Contínuo Periódico com Mudanças correspondentes de carga e de velocidade (S8):**

A seqüência de ciclos de regimes idênticos, cada ciclo consistindo de um período de partida e um período de funcionamento a carga constante, correspondendo a uma velocidade de rotação pré-determinada, seguidos de um ou mais períodos de funcionamento a outras cargas constantes, correspondentes a diferentes velocidades de rotação. Não existe período de repouso (figura 1.64).

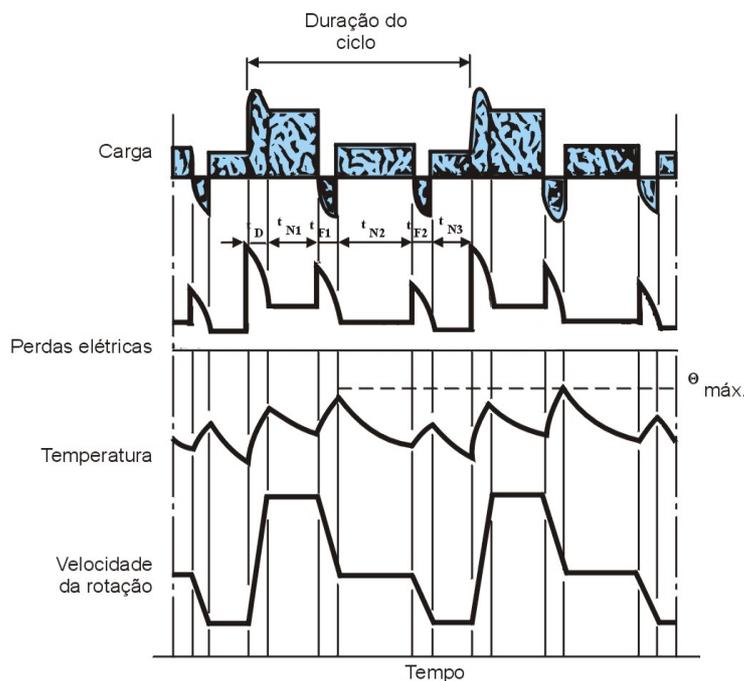


Figura 1.64

Onde:  $t_{F1} - t_{F2}$  – frenagem elétrica;  
 $t_D$  – partida;  
 $t_{N1} - t_{N2} - t_{N3}$  – funcionamento em carga constante;  
 $\Theta_{máx}$  – temperatura máxima atingida.

Fator de duração do ciclo

$$= \frac{t_D + t_{N1}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \times 100\%$$

$$= \frac{t_{F1} + t_{N2}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \times 100\%$$

$$= \frac{t_{F2} + t_{N3}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \times 100\%$$

**NOTA:** nos regimes periódicos (S3 a S8) implicam que o equilíbrio térmico não seja atingido durante o tempo em carga.

*i) Regimes Especiais:*

Onde a carga pode variar durante os períodos de funcionamento, existe reversão ou frenagem por contracorrente, etc., a escolha do motor adequado, deve ser feita mediante consulta à fábrica e depende de uma descrição completa do ciclo:

- Potência necessária para acionar a carga ou, se ela varia conforme um gráfico de potência requerida durante um ciclo (a figura 1.63 mostra um gráfico simples, onde a potência varia no período de carga);
- Conjugado resistente da carga;
- Momento de inércia total ( $GD^2$  ou J) da máquina acionada, referida à sua rotação nominal.
- Número de partidas, reversões, frenagens por contracorrente, etc.;
- Duração dos períodos em carga e em repouso ou vazio.

**1.6.3.2 DESIGNAÇÃO DO REGIME TIPO**

O regime tipo é designado pelo símbolo descrito no item 1.6.3. No caso de regime contínuo, este pode ser indicado, em alternativa, pela palavra “contínuo”. Exemplos das designações dos regimes:

- S2 60 segundos;

A designação dos regimes S2 à S8 é seguida das seguintes indicações:

- a) S2, do tempo de funcionamento em carga constante;
- b) S3 à S6, do fator de duração do ciclo;
- c) S8, de cada uma das velocidades nominais que constituem o ciclo, seguida da respectiva potência nominal e do seu respectivo tempo de duração.

Nos casos dos regimes S4, S5, S7 e S8, outras indicações a serem acrescentadas à designação, deverão ser estipuladas mediante acordo entre fabricante e comprador.

**Nota:** como exemplo das indicações a serem acrescentadas, mediante o referido acordo às designações de regimes tipo diferentes do contínuo, cita-se as seguintes, aplicável segundo o regime tipo considerado:

- a) Número de partidas por hora;
- b) Número de frenagens por hora;
- c) Tipo de frenagens;
- d) Constante de energia cinética (H), na velocidade nominal, do motor e da carga, esta última podendo ser substituída pelo fator de inércia (FI).

Onde: constante de energia cinética é a relação entre a energia cinética (armazenada no rotor à velocidade de rotação nominal) e a potência aparente nominal. Fator de inércia é a relação

entre a soma do momento de inércia total da carga (referido ao eixo do motor) e do momento de inércia do rotor.

- S3 25%; S6 40%;
- S8 motor H.1, FI.10, 33cv 740rpm 3min;

Onde H.1 significa uma constante de energia cinética igual a 1 s e FI. 10 significa um fator de inércia igual a 10.

### ***1.6.3 POTÊNCIA NOMINAL***

É a potência que o motor pode fornecer, dentro de suas características nominais, em regime contínuo. O conceito de potência nominal, ou seja, a potência que o motor pode fornecer está intimamente ligada à elevação de temperatura do enrolamento. Sabe-se que o motor pode acionar cargas de potências bem acima de sua potência nominal, até quase atingir o conjugado máximo. O que acontece, porém, é que, se esta sobrecarga for excessiva, isto é, for exigida do motor uma potência muito acima daquela para a qual foi projetado, o aquecimento normal será ultrapassado e a vida do motor será diminuída, podendo ele, até mesmo, queimar-se rapidamente.

Deve-se sempre ter em mente, que a potência solicitada ao motor é definida pelas características da carga, isto é, independentemente da potência do motor, ou seja: para uma carga de 90 cv, solicitada de um motor, por exemplo, independentemente de este ser de 75 cv ou 100 cv, a potência solicitada ao motor será de 90 cv.

### ***1.6.4 FATOR DE SERVIÇO (FS)***

Chama-se fator de serviço (FS) o fator que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor sob condições especificadas. Note que se trata de uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis. O fator de serviço não deve ser confundido com a capacidade de sobrecarga momentânea, durante alguns minutos. Os motores WEG podem suportar sobrecargas até 60% da carga nominal, durante 15 segundos. O fator de serviço  $FS = 1,0$  significa que o motor não foi projetado para funcionar continuamente acima de sua potência nominal. Isto, entretanto, não muda a sua capacidade para sobrecargas momentâneas. A NBR 7094 especifica os FS usuais por potência.