

Capítulo XIV

Requisitos específicos para seleção da proteção e ensaios funcionais de motores do tipo segurança aumentada “e”

Por Roberval Bulgarelli*

Requisitos específicos para seleção da proteção e ensaios funcionais de motores do tipo segurança aumentada “e”

Dentre os diversos tipos de proteção utilizados por motores elétricos industriais, particularmente para o tipo de proteção “e” (segurança aumentada) o dispositivo de proteção térmica possui uma importante função de um “sistema de proteção”, sobre o qual depende a efetividade do tipo de proteção do conjunto motor Ex “e” mais dispositivo de proteção, o qual pode ser entendido como sendo um dispositivo associado à segurança aumentada.

Ao lado dos requisitos técnicos e formais, os serviços de projeto para uma montagem elétrica de uma instalação Ex necessitam levar em consideração uma série de condições durante as etapas de seleção, especificação técnica, ajuste e ensaios de tais dispositivos de proteção térmica.

Tempo de desligamento para os dispositivos de proteção para motores Ex “e” (tempo t_E):

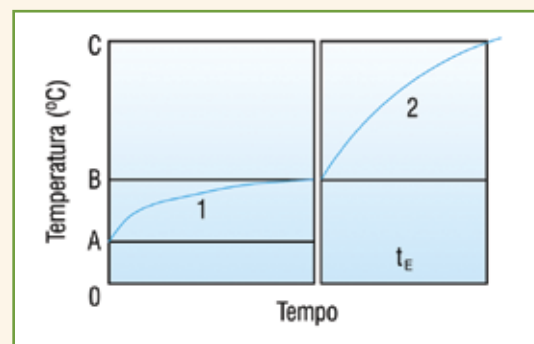
O tempo t_E é aquele necessário para que um enrolamento de corrente alternada, quando percorrido pela sua corrente de partida, atinja a sua temperatura limite. Partindo da temperatura atingida em regime nominal, considerando a temperatura ambiente em seu máximo. A duração do tempo t_E deve ser tal que, quando o rotor estiver bloqueado, o motor possa ser desligado por um dispositivo de proteção dependente de corrente, antes que o tempo t_E tenha transcorrido.

O dispositivo de proteção para motores com tipo proteção segurança aumentada deve ser ajustado de tal modo que seja evitado, sob todas as condições de operação, que a temperatura limite dos gases inflamáveis presentes no local da instalação seja atingida. O dispositivo de proteção do motor deve operar de forma

confiável não somente em casos de sobrecarga, mas também em casos de rotor bloqueado. Além disso, o dispositivo de sobrecorrente deve ser ajustado de forma que o tempo de desligamento, obtido a partir da curva de característica de corrente de partida em relação à corrente nominal do motor a ser protegido não seja maior do que o tempo t_E , que deve ser marcado na placa de dados do motor.

Quando utilizada a proteção do motor, com dispositivo baseado na medição de corrente (como o caso usual de relé de sobrecorrente e sobrecarga), a corrente de partida em relação à corrente nominal (I_A/I_N) e o tempo t_E devem ser determinados e marcados na placa de dados, de forma que o limite de temperatura de classificação de área seja excedido, por meio do ajuste do relé de proteção.

O gráfico apresentado a seguir mostra a determinação do tempo t_E .



Em que:

A: temperatura ambiente máxima

B: temperatura em serviço nominal

C: temperatura limite

Curva 1: elevação da temperatura em regime (corrente) nominal

Curva 2: elevação da temperatura com rotor bloqueado

Em nenhum caso, o valor do tempo t_E pode ser inferior a 5 s, quando for utilizado um dispositivo de proteção sensível à corrente ou quando a razão da corrente de partida I_A/I_N for maior que 10.

A duração do tempo t_E deve ser tal que, quando o rotor estiver bloqueado, o motor seja desligado por um dispositivo de proteção baseado na medição de corrente, antes que o tempo t_E tenha transcorrido. Em geral, isto é possível se os valores mínimos do tempo t_E apresentados na Figura 1, em função da razão da corrente de partida I_A/I_N forem excedidos.

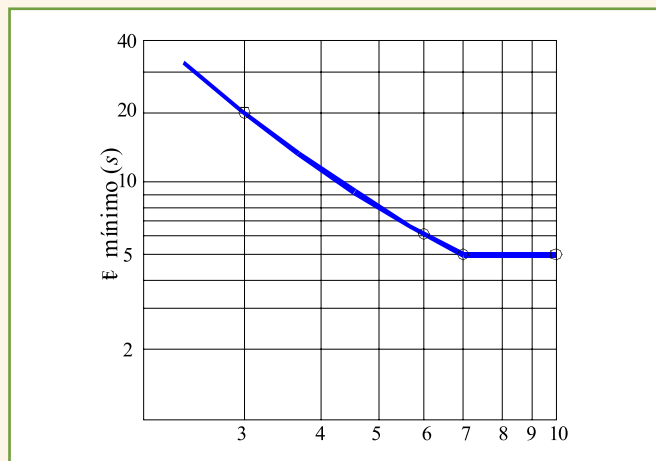


Figura 1 - Valores mínimos de tempo t_E de motores do tipo segurança aumentada em função da relação da corrente de partida e corrente nominal (I_A/I_N)

Como pode ser verificado, o motor de segurança aumentada está intrinsecamente ligado ao respectivo relé de proteção em seu circuito de alimentação, constituindo um sistema único, inclusive, do ponto de vista de certificação.

Os dispositivos de proteção temporizados por tempo inverso, para a proteção de motores de indução trifásicos com partida direta na rede, devem possuir características tais que não somente monitorem a corrente do motor, mas que também desliguem o motor em condição de rotor bloqueado, dentro do tempo t_E indicado na placa de marcação.

As curvas características tempo-corrente, apresentando o tempo de atuação ou de disparo do relé de sobrecarga, como uma função da razão da corrente de partida e da corrente nominal, devem estar disponíveis para o usuário.

As curvas de atuação devem indicar os valores de tempo a partir do estado a frio, com relação à temperatura ambiente de 20°C e para a faixa de razão de corrente de partida (I_A/I_N) de pelo menos 3 até 8. O tempo de desligamento do dispositivo de proteção deve ser, no máximo, igual a estes valores de retardo, com uma tolerância de $\pm 20\%$.

Em geral, motores projetados para operação contínua (regime de serviço S1), envolvendo partidas rápidas, não frequentes e que não produzam aquecimento adicional significativo são aceitáveis com proteção contra sobrecarga por corrente de tempo inverso. Motores projetados para condições de partidas severas ou que tenham partidas frequentes são aceitáveis somente com dispositivos de proteção adequados que assegurem que a temperatura-limite não seja excedida.

Condições severas de partida são consideradas existentes se um dispositivo de proteção contra sobrecarga com corrente de tempo inverso, corretamente especificado conforme anteriormente descrito, desligar o motor antes que este atinja a sua rotação nominal. Geralmente isto ocorre se o tempo total de partida excede $1,7 t_r$.

Com relação ao tempo de partida de motores Ex “e” com partida direta na rede, o projeto de detalhamento deve levar em consideração que o tempo de partida seja menor que o tempo t_r , de forma que o dispositivo de proteção do motor não desligue o motor durante a partida.

Quando o tempo de partida exceder 80% do tempo t_r , a limitação de partida associada à continuidade da operação, de acordo com o manual de instruções da máquina, deve ser determinada pelo fabricante do motor.

Uma vez que a tensão cai durante a partida direta na rede, a corrente de partida diminui e o tempo de partida aumenta. Embora estes efeitos possam tender a se cancelar para pequenas quedas de tensão, recomenda-se que, para tensões abaixo de 85% da UN durante a partida, o fabricante do motor declare as limitações de partida associadas. Os motores normalmente são limitados pelo fabricante para um número definido de tentativas de partidas, sendo normalmente duas partidas a frio e uma partida a quente.

O relé de proteção para motores com o tipo de proteção “e” deve monitorar a corrente em cada fase e fornecer rígido ajuste da proteção térmica contra sobrecarga na condição do motor totalmente carregado. Relés de proteção do tipo de tempo inverso podem ser aceitáveis para máquinas com regime de serviço S1 que possuam partidas rápidas e não frequentes.

Quando o ciclo de partida for severo ou quando partidas frequentes forem requeridas, recomenda-se que o dispositivo de proteção seja especificado de forma que este assegure que as temperaturas limites não sejam excedidas sob os parâmetros operacionais declarados da máquina. Quando o tempo de partida exceder $1,7 t_r$, é previsto que um relé do tipo de corrente inversa atue durante a partida da máquina.

Sob certas circunstâncias, por exemplo, regime de serviço diferente de S1, o motor normalmente é certificado incluindo o requisito especial de utilizada segura com detecção e proteção por temperatura. Nestes casos de proteção por monitoração direta de temperatura, o tempo $1,7 t_r$ pode não ser identificado.

Requisitos específicos de projeto para circuitos de proteção para motores com tipo de proteção por segurança aumentada Ex “e”

Os motores com tipo de proteção por segurança aumentada necessitam estar protegidos, juntamente com os requisitos de operação contínua, com as condições de falha previstas para rotor travado.

Durante o processo de certificação de conformidade por um Organismo de Certificação de Produto (OCP) acreditado pelo Inmetro, o tempo após o dispositivo de proteção deve atuar é determinado de forma que as temperaturas nos enrolamentos do estator e na gaiola do rotor permaneçam abaixo da temperatura de ignição da mistura explosiva pretendida para a marcação do motor, considerando ainda uma margem de segurança.

O tempo seguro de rotor bloqueado, chamado de tempo t_r , é associado às classes de temperatura T1 / T2 / T3 / T4, ou seja, é indicado no certificado de conformidade os tempos permitidos para que o ponto de temperatura mais elevada do motor não atinja respectivamente 450 °C / 300 °C / 200 °C / 135 °C. Os valores da classe de temperatura T e dos tempos t_r devem ser indicados na placa de dados do motor.

É indicado nas imagens da Figura 2 um exemplo de marcação de placa de dados de um motor com tipo de proteção Ex “e”, em que são apresentados os dados requeridos pela norma IEC 60034-1, bem como dados de tempo de partida e tempos t_r para cada classe de temperatura do motor (T1 / T2 / T3).



Figura 2 - Exemplo de placa de dados de um motor com tipo de proteção “e”, contendo a marcação referente ao tipo de proteção “e”

Requisitos gerais para seleção, especificação técnica e ajuste do dispositivo de proteção térmica

Os requisitos indicados na norma ABNT NBR IEC 60079-14 devem ser atendidos, com relação à proteção térmica de máquinas elétricas girantes. É apresentado a seguir, na Figura 3, um exemplo de diagrama unifilar contendo as funções aplicáveis de proteção para motores do tipo Ex “e”, alimentados por painéis do tipo CCM contendo dispositivos digitais de proteção.

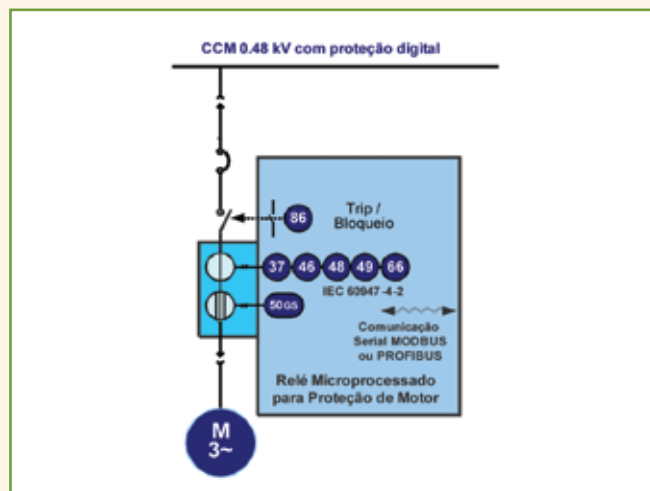


Figura 3 - Esquema unifilar típico para CCM de baixa tensão contendo dispositivos digitais de proteção (CCMs do tipo inteligente) para proteção de motores de indução trifásicos com potência nominal até cerca de 55 kW

O dispositivo de proteção dependente de corrente de tempo inverso, tal como um relé bi-metálico ou relé digital de CCM inteligente, deve monitorar as três fases do motor e não é permitido que seja ajustado para um valor superior à corrente nominal do motor. Em 1,2 vezes o ponto de ajuste da corrente, o dispositivo de proteção deve atuar em um intervalo de tempo menor que 2 h e no ponto de 1,05 vezes o ajuste da corrente o dispositivo de proteção não deve atuar dentro de 2 h. O dispositivo de proteção deve atender aos requisitos da norma ABNT NBR IEC 60947-4-1, de relés de proteção eletromecânicos, eletrônicos ou digitais, de forma que estes requisitos sejam automaticamente atendidos.

Cada motor necessita ser protegido individualmente contra sobreaquecimento devido a sobrecargas. Os seguintes requisitos devem ser atendidos:

- De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60079-14, todos os motores necessitam ser protegidos contra sobreaquecimento por um relé temporizado com proteção contra falta de fase;
- O dispositivo de proteção necessita ser ajustado para a corrente nominal do motor, indicado nos dados de placa;
- Para motores com tipo de proteção Ex “e”, o tempo de partida também deve ser monitorado;
- Se o rotor estiver bloqueado, o relé necessita desconectar dentro do tempo t_E indicado para a respectiva classe de temperatura T;
- Este requisito é atendido se o tempo para atuação, indicado na curva característica de trip (temperatura inicial de 20 °C), para a relação I_A/I_N , não exceder o tempo de aquecimento t_E ;
- Motores com partidas longas, com tempo de aceleração $> 1,7 \times t_E$ devem ser protegidos por um dispositivo de tempo de partida certificado em conjunto com o motor.

O projetista do sistema de proteção de um motor Ex “e” deve selecionar e elaborar a especificação técnica do dispositivo de proteção com características que estejam de acordo com estas condições de trip indicadas nas normas ABNT NBR IEC 60947-4-1 ou IEC 60947-4-2.

Em geral, estes requisitos são atendidos porque, durante os ensaios e verificações para a certificação, é verificado que as combinações de corrente de partida (I_A/I_N) e os dados de t são tecnicamente adequados para proteção por parte dos fabricantes dos relés de proteção térmica. Entretanto, os dados do equipamento e a documentação devem ser verificados caso a caso.

As características do dispositivo de proteção devem estar disponíveis para os usuários e para a organização da estrutura de operação da empresa, de acordo com os requisitos indicados na ABNT NBR IEC 60079-14. Estas informações podem estar disponíveis na forma de documentação em papel ou em meio eletrônico, na forma de instruções de operação e de manutenção ou de manual do motor.



Figura 4 – Exemplo de placa de dados de um dispositivo digital de proteção de motores de baixa tensão, com classes de disparo de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60947-4-1



Figura 5 - Exemplo de dispositivo digital para proteção de motores de indução trifásicos de baixa tensão, com classes de disparo selecionadas por software de configuração e parametrização

É apresentado a seguir um exemplo de verificação de proteção de tempo t_E e ajuste de tempos de atuação de dispositivo digital de proteção, de acordo com a ABNT NBR IEC 60947-4-1 e com a ABNT NBR IEC 60079-7.

- Motor com tensão nominal de 440 V em 60 Hz
- Potência nominal de 58 kW
- Corrente nominal de 99 A
- Corrente de partida (I_A/I_N) = 7,9
- Tempos seguros para rotor bloqueado t_E de 50 s (T1/T2) e de 20 s (T3)

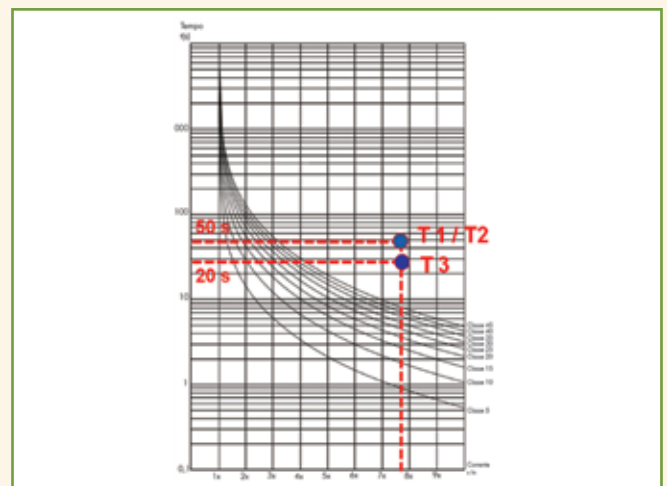


Figura 6 - Exemplo de verificação de proteção e ajuste de tempo t_E em dispositivos de proteção, de acordo com os requisitos da ABNT NBR IEC 60947-4-1 e da ABNT NBR IEC 60079-7

Requisito para rearme manual de relés de proteção térmica para motores Ex “e”

Os relés para proteção térmica são normalmente fabricados com a capacidade de rearmagem (*reset*) após a ocorrência de uma atuação (*trip*), tanto de forma manual como de forma automática. Quando estes relés de proteção de térmica são ajustados para rearme automático, a função de bloqueio do relé é automaticamente removida, tornando o relé apto a permitir nova repartida do motor elétrico.

Quando estes relés de proteção térmica são ajustados para rearme automático, a função de bloqueio mantém o relé atuado, impedindo e bloqueando novas repartidas do motor, seja por comandos locais, a partir da botoeira de campo instalada junto ao motor, seja a partir de comandos remotos provenientes dos sistemas digitais de controle de processo (SDCD ou PLC) ou de controle do sistema elétrico (UTR ou IED/IEC 61850).

Os relés para proteção térmica de motores devem ser ajustados para que o rearme (*reset*) seja realizado somente no modo manual. Este procedimento de segurança tem como objetivo não permitir a liberação de nova partida do motor até que uma pessoa responsável pela operação ou pela manutenção do motor tenha verificado as causas da atuação do sistema de proteção e efetue o rearme do relé de proteção térmica somente após as causas terem sido solucionadas.

A atuação do relé de proteção térmica pode ser causada por diversos motivos, tais como falta de fase no sistema de alimentação, queima de fusível de proteção do motor, sobrecarga, rotor travado do motor, elevação da viscosidade do produto bombeado, problemas mecânicos em mancais e problemas mecânicos da máquina acionada.

O rearme automático dos relés de proteção térmica deve ser evitado para impedir que o motor fique indevidamente sujeito a partidas frequentes e sucessivas. O que pode levar a atingir temperatura extremamente elevadas, podendo causar a completa queima e destruição dos materiais de isolamento elétrico dos enrolamentos do estator e do rotor.

No caso de motores para instalação em áreas classificadas, a exigência de ajuste do relé de proteção térmica na condição manual é um requisito normativo, indicado nas listas de verificação da ABNT NBR IEC 60079-17. Nestes casos, o ajuste de rearme na condição auto não é permitido para evitar a possibilidade e o risco de o motor atingir a temperatura limite de autoignição das substâncias inflamáveis ou combustíveis que possam estar presentes no local da instalação.

Particularmente no caso de motores com proteção do tipo Ex “e” (de segurança aumentada), instalados em áreas classificadas do tipo Zona 1, a possibilidade de ocorrência indevida de partidas frequentes poderia fazer o motor ultrapassar o valor desta temperatura limite, o que o levaria a uma condição de extremo risco.

Requisitos específicos e sensibilidade dos

dispositivos de proteção nas condições de falta de fase em motores com tipo de proteção Ex “e”

Quando um motor de indução trifásico com rotor em gaiola de esquilo em funcionamento normal experimenta a falta de tensão de alimentação em uma das fases, a fase aberta terá corrente zero e cada uma das duas fases remanescentes terá uma circulação de corrente de aproximadamente 170% da corrente de carga do motor, anterior à abertura da fase. Esta condição de desbalanço resulta em uma sequência negativa que pode produzir um fluxo que gira em sentido contrário ao sentido de rotação do motor. Este fluxo, por sua vez, induz uma corrente no rotor de aproximadamente 120 Hz (em um sistema elétrico de 60 Hz).

Adicionalmente, a natureza de frequência de 120 Hz da corrente induzida resulta no aumento da resistência do rotor devido ao fenômeno do efeito pelicular (*skin effect*). O rápido aquecimento, causado por estes dois fatores, pode danificar um motor em um curto período de tempo. Desta forma, no evento de uma falta de fase, é necessário que esta função de proteção desligue rapidamente o motor. No caso de um motor Ex “e”, esta situação se apresenta como um caso de elevado risco, em função da possibilidade de ignição da atmosfera que pode estar presente no ambiente da instalação.

Na ABNT NBR IEC 60079-14, este risco é previsto no requisito sobre proteção elétrica, em que são requeridas precauções para evitar a operação de equipamentos elétricos polifásicos (por exemplo, motores trifásicos) quando ocorrerem a perda de uma ou mais fases, de tal forma a ocasionar um sobreaquecimento.

Para motores com tipo de proteção “e”, é indicado na ABNT NBR IEC 60079-14 que as propriedades de motores com enrolamento em triângulo, em casos de perda de uma fase, devem estar especificamente descritas em sua documentação técnica. De forma diferente das máquinas com enrolamento em estrela, a perda de uma das fases pode não ser detectada, particularmente se esta ocorrer durante o estado de operação.

Um motor com enrolamento em triângulo com uma carga com baixo torque de partida pode também ser capaz de partir sob esta condição de falha de enrolamento ou de falta de fase e esta falha pode permanecer não detectada por longos períodos. Dessa forma, em motores Ex “e” com enrolamento em triângulo, a proteção de desbalanço de fases deve ser implantada, a qual deve detectar desbalanceamentos de corrente antes que estes possam causar efeitos de aquecimentos excessivos.

Pode ser verificado, em casos práticos de instalação, que um motor com enrolamento em triângulo com uma carga com baixo torque de partida pode também ser capaz de partir sob esta condição de falha de enrolamento e esta falha pode permanecer não detectada por longos períodos. Desse modo, em motores Ex “e” com enrolamento em triângulo, a proteção de desbalanço de fases deve ser implantada para detectar os desbalanceamentos de corrente antes que estes possam causar efeitos de aquecimentos excessivos.

Assim sendo, as propriedades do sistema de proteção térmica de

motores Ex “e” com enrolamento em triângulo, em casos de perda de uma fase, devem estar especificamente descritas no projeto de eletricidade. De forma diferente das máquinas com enrolamento em estrela, a perda de uma das fases pode não ser detectada, particularmente se esta ocorrer durante o estado de operação.

Requisitos de inspeção inicial dos circuitos de proteção e de motores Ex “e” após a etapa de instalação

O responsável pela instalação de motores Ex “e” pode assumir que os dois pontos de características de disparo (de 1,05 e 1,2 vezes o tempo de ajuste de corrente nominal) e também o ponto de proteção para a corrente de partida IA (corrente de rotor bloqueado) são atendidos, com as tolerâncias permitidas, e são assegurados pelo sistema de garantia de qualidade do fabricante do dispositivo de proteção, no caso de dispositivos que atendam aos requisitos das normas ABNT NBR IEC 60947-4-1 e IEC 60947-4-2.

Dessa forma, é suficiente, durante a inspeção inicial e as periódicas subsequentes, que seja verificado o valor de ajuste da corrente nominal do dispositivo de proteção, correspondente à corrente nominal do motor. Deve ser verificada também, na inspeção inicial, a classe de disparo do dispositivo de proteção (Classes 10 / 10 / 30).

Uma medição dos valores de tempo de disparo, com pré-aquecimento ou teste de injeção de corrente aplicada durante o ensaio, não é necessária a menos que existam dúvidas sobre a correta operação do dispositivo de proteção, tal como no caso de danos visíveis, no exterior do relé, causados durante o transporte ou a utilização anterior.

Sobre este requisito para a verificação de proteção de motores Ex “e”, a ABNT NBR IEC 60079-17 indica que, dependendo da experiência, pode ou não ser necessária a medição dos tempos de atuação do dispositivo de proteção térmica por injeção de corrente na inspeção inicial ou durante as inspeções periódicas. Os tempos de atuação na operação real devem ser os mesmos daqueles indicados nas curvas de características de tempo, considerando uma tolerância máxima de mais de 20%.

Esta norma, a ABNT NBR IEC 60079-17, também apresenta informações sobre as tarefas e os planos para inspeções periódicas. De acordo com a Tabela 1 daquela norma, o plano de inspeção para motores com tipos de proteção “d” e “e” devem incluir verificações detalhadas, tais como:

- Os dispositivos de proteção automática devem operar dentro dos limites permitidos;
- Os dispositivos de proteção elétrica estão corretamente ajustados (sendo que o religamento automático não é permitido).

Deve ser ressaltado que a edição de 2009 da norma ABNT NBR IEC 60079-17 ainda não trouxe os requisitos específicos sobre os intervalos de inspeção. De acordo com a recente abordagem,

baseada na inspeção baseada no risco, a RBI, do inglês *Risk Based Inspection*, o usuário necessita definir os intervalos de inspeção baseados em avaliações de risco, sendo que este intervalo não deve ser maior que três anos.

Ensaio funcionais de sistema de proteção térmica para motores Ex “e”

Se for baseado nos critérios anteriormente indicados, pode ser necessário realizar um ensaio da função de proteção dos dispositivos de proteção térmica e de sobrecorrente, sendo que o método de ensaio de injeção de corrente nos dispositivos de proteção em bancada tem se mostrado eficaz e adequado.

Nestes casos, as respectivas curvas características de limite de dano térmico ou de *trip*, a serem indicadas na documentação a ser fornecida pelos fabricantes dos dispositivos de proteção, são requeridas para a avaliação e a realização do ensaio em bancada.

As características de desligamento para o dispositivo de proteção específico é verificado em condições de bancada, utilizando, por exemplo, uma caixa de injeção de corrente. A variação permitida deve ser de, no máximo, + 20%, conforme indicado na ABNT NBR IEC 60079-17.

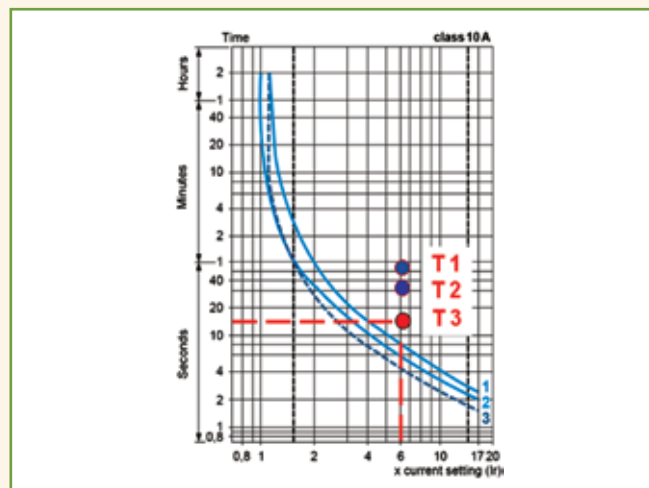


Figura 7 - Exemplo de verificação de tempo de atuação de relé de proteção por sobrecarga em relação ao tempo t_e indicado no certificado de conformidade de motores Ex “e”

*ROBERVAL BULGARELLI é engenheiro eletricista, mestre em Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, consultor técnico e engenheiro sênior da Petrobras. É membro da subcomissão de Normalização Técnica da Petrobras, na área de eletricidade; coordenador do subcomitê SC 31 – Atmosferas explosivas, do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Iluminação e Telecomunicações (Cobei); delegado da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), representando o Brasil no Technical Committee TC 31 – Equipment for Explosive Atmospheres da International Electrotechnical Commission (IEC).

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br