

Capítulo XXIII

Requisitos para oficinas de serviços de reparo, revisão, recuperação e modificação de equipamentos elétricos, de instrumentação e mecânicos para instalação em atmosferas explosivas

Recuperação de equipamentos e requisitos para ensaios de fluxo, reparos e serviços de reenrolamento de motores

Por Roberval Bulgarelli*

Serviços de recuperação de equipamentos "Ex"

Os serviços de recuperação que não afetam os tipos de proteção "Ex" existentes no equipamento a ser reparado não invalidam a documentação de conformidade do equipamento. As partes dos equipamentos devem ser recuperadas utilizando as boas práticas de engenharia, conforme requerido na norma ABNT NBR IEC 60079-19.

Algumas peças e componentes são considerados como não recuperáveis e, dessa forma, são excluídas do escopo desse tipo de serviço. Podem ser citados como exemplos:

- Peças e componentes fabricados com os seguintes materiais: vidro, plástico ou qualquer outro material que não seja dimensionalmente estável;
- Dispositivos de fixação;
- Peças componentes, como algumas montagens encapsuladas, que tenham sido declaradas pelos fabricantes como não sujeitas a reparo.

Técnicas e processos de reparos aceitáveis para serviços em equipamentos "Ex"

São indicadas, a seguir, algumas técnicas de serviços de reparo que são consideradas aceitáveis, de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60079-19:

- Eletrodeposição;
- Metalização;
- Soldagem, de acordo com os processos MMA (Manual Metal Arc), MIG (Metal Inert Gas), TIG (Tungsten Inert Gas), arco submerso, fio de adição;
- Costura metálica de carcaças;
- Usinagem;
- Furação;
- Embuchamento;
- Reenrolamento das espiras do estator

É importante ressaltar que nem todos estes procedimentos e técnicas de reparos podem ser aplicados para todos os tipos de proteção "Ex". Além disso, as oficinas de serviços de reparos devem possuir procedimentos de trabalho específicos para cada uma dessas técnicas de reparo.

A remoção de metal deve ser minimizada e suficiente apenas para remover os defeitos que necessitem de reparo. Quando requerida, esta remoção de metal deve proporcionar uma espessura mínima de revestimento recomendada pela técnica de reparo utilizada. As recomendações de serviços industriais sugerem que a remoção de até 2% da espessura do metal para metalização e até 20% para soldagem não prejudicam significativamente a resistência do componente reparado.

A remoção de espessuras maiores de material somente deve ser realizada após a devida consulta

ao fabricante ou por cálculos, quando o fabricante não mais for disponível.

Ao completar a recuperação, o reparador deve estar seguro de que o equipamento está em condições plenas de serviço e está em conformidade com as normas para o tipo de proteção “Ex”. Tal conformidade deve ser registrada pelo reparador e mantida nos arquivos dos serviços realizados.

São apresentadas, nas figuras indicadas a seguir, algumas técnicas utilizadas nos serviços de reparo e de recuperação de equipamentos “Ex”.



Figura 1 – Execução de serviços de reenrolamento do estator de motor de indução trifásico certificado para atmosferas explosivas em oficina de reparos com certificação de conformidade (Fonte: IECEx System / Kirkby Lindsey – UK)



Figura 2 – Execução de serviços de reenrolamento do estator de motor de indução trifásico “Ex” (Fonte: Karsten Moholt – Noruega).



Figura 3 – Execução de serviços de reenrolamento do estator de motor de indução trifásico “Ex”, método de resfriamento IC511 – “Water jacket” (Fonte: Eletro Buscarioli).



Figura 4 – Processo de imersão de estator de motor de indução trifásico “Ex” em autoclaves de impregnação a vácuo, após serviços de reparo nos enrolamentos do estator (Fonte: Eletro Buscarioli).



Figura 8 – Serviços de reparos por reenrolamento do estator de motor Ex “p” antes do processo de impregnação a vácuo (Fonte: Petrobras).



Figura 5 – Autoclave para impregnação a vácuo do tipo Global VPI (Vacuum Process Impregnation) de enrolamentos de motores para serviços de reparos “Ex”.



Figura 9 – Serviços de reparo por reenrolamento do estator de motor Ex “p” após o processo de impregnação a vácuo (Fonte: Petrobras).

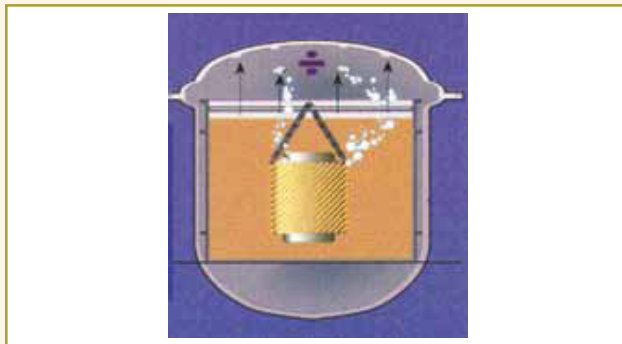


Figura 6 – Sistema de impregnação a vácuo em autoclave do tipo Global VPI (Vacuum Process Impregnation) – Primeira etapa: vácuo para extração de ar e gases existentes nos interstícios dos enrolamentos e bobinas.



Figura 10 – Equipamentos para ensaio de tensão aplicada (“Surge Test”) após ensaio do tipo “spray-test” durante serviços de reparo em motor Ex “p” (Fonte: Petrobras).



Figura 7 – Sistema de impregnação a vácuo em autoclave do tipo Global VPI (Vacuum Process Impregnation) – Segunda etapa: pressurização para impregnação completa dos enrolamentos e bobina pelo verniz isolante.



Figura 11 – Medição do ensaio de tensão aplicada (“Surge Test”) após serviços de reparo em motor Ex “p” (Fonte: Petrobras).





Figura 12 – Serviço de soldagem em rotor de motor de indução trifásico Ex “nA”, 800 kW/4,0 kV para o fechamento da gaiola de esquilo (Fonte: Petrobras).



Figura 13 – Exemplo de serviços de soldagem para o fechamento da gaiola de esquilo durante serviços de reparo de motores “Ex”, indicados na ABNT NBR IEC 60079-19 (Fonte: Karsten Moholt – Noruega).

Requisitos para serviços de modificações em equipamentos “Ex”

Nenhuma modificação deve ser realizada em um equipamento “Ex” certificado, a menos que seja indicada e permitida no certificado ou que seja aprovada por escrito pelo fabricante. A ABNT NBR IEC 60079-19 fornece instruções detalhadas referentes aos serviços de modificações no contexto de diferentes tipos de proteção “Ex”.

Quando uma modificação proposta por uma oficina de serviços de reparo puder resultar em um equipamento que possa estar em não conformidade com os documentos de certificação e com as normas aplicáveis dos tipos de proteção “Ex”, o usuário deve ser informado por escrito que o equipamento não é mais adequado para utilização em uma atmosfera explosiva.

Nestes casos, se a modificação proposta pela oficina de serviços de reparos for aceita pelo usuário e realizada, a placa da certificação “Ex” deve ser removida ou alterada, de forma a fornecer indicação clara de que o equipamento não atende mais aos requisitos da certificação. Nesta condição, o equipamento reparado deve ser considerado adequado, em princípio, para ser instalado apenas em áreas não classificadas (ou de acordo com análises de risco a serem posteriormente realizadas pelo usuário do equipamento, levando em consideração os aspectos de segurança específicos para o local da instalação do equipamento).

Requisitos específicos para as atividades de remoção de enrolamentos danificados em motores “Ex”

Os serviços de reenrolamento de motores elétricos “Ex” representam uma atividade bastante frequente em função dos elevados custos dos motores “Ex” de grande porte. Para estes motores, é economicamente viável a realização de serviços de reparos nos enrolamentos do estator e do rotor, ao invés da substituição do equipamento completo.

Para a execução dos serviços de remoção dos enrolamentos danificados, é aceitável o procedimento de diluição do verniz de impregnação das bobinas com solventes antes da sua remoção.

O procedimento alternativo, que utiliza a aplicação de calor para facilitar a remoção dos enrolamentos, é aceitável, desde que esta operação seja realizada com cautela, de forma que não afete significativamente as propriedades magnéticas, as características de desempenho e o nível de isolamento entre as chapas magnéticas dos pacotes do estator e do rotor do motor. Uma cautela especial é requerida para a realização de remoção de enrolamentos por meio de calor, utilizando maçaricos.

Em caso de dúvidas, as recomendações do fabricante devem ser seguidas em relação à construção do núcleo e do material de isolamento entre chapas com relação a um equipamento com tipo de proteção Ex “e” e a equipamentos com qualquer tipo de proteção, possuindo classe de temperatura T6, T5 ou T4.

A necessidade de cautelas especiais nestas circunstâncias deve-se ao fato de que um aumento nas perdas no núcleo, que podem ser resultantes da perda das propriedades magnéticas das chapas de aço silício e da degradação do isolamento entre estas chapas, pode afetar significativamente os parâmetros do tipo de proteção “e” (tempo t_e etc.) ou resultar no excesso da classe de temperatura, comprometendo a segurança do equipamento.

O reparador deve certificar-se em todos os procedimentos de recuperação que, após a conclusão da recuperação, o equipamento esteja em perfeitas condições de operação e em conformidade com as normas técnicas aplicáveis para os tipos de proteção “Ex” do motor a ser reparado e reenrolado.

Requisitos para a realização de ensaios de fluxo (“core-test” para motores com tipos de proteção “Ex”) antes do reenrolamento

Sempre que aplicável, antes da inserção das espiras do estator nas ranhuras do núcleo, a integridade do isolamento interlaminar entre as chapas magnéticas do núcleo deve ser verificada pela aplicação de ensaio de aplicação de fluxo, também denominado popularmente de “core-test” ou “loop-test”.

O ensaio deve ser realizado pela indução, no núcleo do pacote do estator de um fluxo magnético, com uma densidade mínima de 1,5 T (Tesla). O ensaio deve ser realizado pela colocação de espiras por meio do pacote magnético do estator de forma similar ao das espiras de um transformador.

O fluxo magnético deve ser mantido continuamente por

um período mínimo de 30 minutos, enquanto se realiza uma monitoração da temperatura atingida pelo pacote magnético do estator, por meio de uma câmera termográfica do tipo infravermelho. O critério de aceitação do ensaio é a não existência de pontos quentes no pacote magnético, com temperaturas acima de 5 °C acima das temperaturas médias dos pontos adjacentes no pacote do estator.

A Figura 14 mostra um exemplo de ensaio de fluxo sendo realizado em um núcleo do estator de um motor “Ex” de baixa tensão.



Figura 14 – Ensaio de fluxo requerido na norma ABNT NBR IEC 60079-19 para a detecção de defeitos no isolamento interlaminar do pacote magnético das chapas do estator em motores elétricos “Ex” (Fonte: LEXSECO).

As Figuras 15 e 16, indicadas a seguir, mostram exemplos de ensaios de fluxo magnético sendo realizado em pacotes magnéticos do núcleo do estator de motores “Ex” de alta tensão.



Figura 15 – Ensaio de fluxo requerido na NBR IEC 60079-19, realizado em pacote magnético das chapas do estator de motor elétrico “Ex” de 13,8 kV (Fonte: Petrobras).



Figura 16 – Ensaio de fluxo requerido na ABNT NBR IEC 60079-19 realizado em pacote magnético das chapas do estator de motor elétrico “Ex” de 4.0 kV/800 kW. (Fonte: Petrobras)

Com a realização desse tipo de ensaio, é possível detectar a ocorrência de falhas ou danos nas chapas magnéticas do pacote do estator, em que podem ser detectados pontos “quentes” pela utilização de instrumentos de medição de temperatura (pirômetros) ou por mapeamento térmico com câmeras digitais termográficas, conforme indicado nas Figuras 17, 18 e 19 e na Tabela 1.

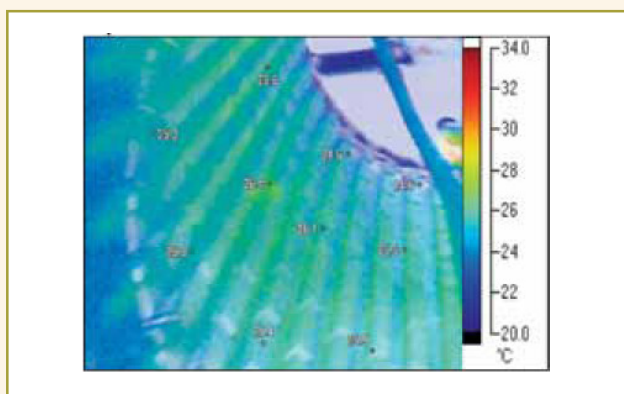


Figura 17 – Termografia do pacote do estator durante ensaio de fluxo, com identificação dos pontos mais quentes encontrados.

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS PONTOS DE DETECÇÃO DE PONTOS QUENTES EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DO PACOTE DO ESTATOR, MONITORADOS POR CÂMERA DIGITAL TERMOGRÁFICA, DURANTE ENSAIO DE FLUXO MAGNÉTICO

Ponto quente	Temperatura medida	Emissividade	Temperatura base do pacote
P0	26,4 °C	0,95	22,0 °C
P1	25,6 °C	0,95	22,0 °C
P2	24,6 °C	0,95	22,0 °C
P3	24,6 °C	0,95	22,0 °C
P4	25,2 °C	0,95	22,0 °C
P5	25,3 °C	0,95	22,0 °C
P6	25,4 °C	0,95	22,0 °C
P7	25,9 °C	0,95	22,0 °C
P8	26,1 °C	0,95	22,0 °C
P9	25,5 °C	0,95	22,0 °C

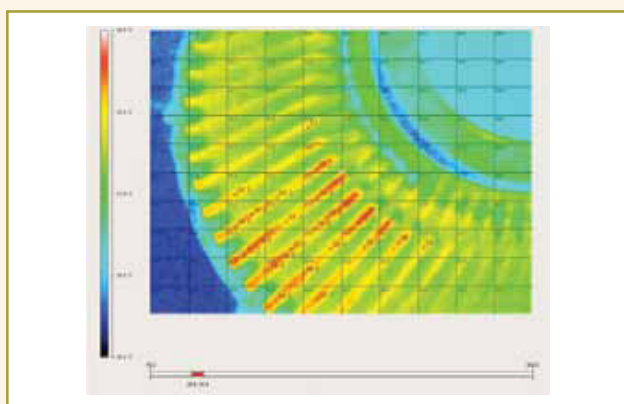


Figura 18 – Pontos de aquecimento, indicados por mapeamento térmico, detectados por meio de câmera termográfica, durante a realização de ensaio de fluxo em pacote magnético das chapas do estator de motor elétrico “Ex” de alta tensão (Fonte: Petrobras).



Figura 19 – Pontos de aquecimento, destacados com giz branco, detectados com pirômetro, durante a realização de ensaio de fluxo em pacote magnético das chapas do estator de motor elétrico “Ex” de alta tensão (Fonte: Petrobras).

Requisitos específicos para reparos de motores com tipos de proteção “Ex”

Eixos e mancais

Os eixos e os alojamentos de rolamentos podem ser recuperados, preferencialmente, pela utilização de técnicas de metalização ou de embuchamento. Soldagens podem ser apropriadas, levando-se em consideração as limitações apresentadas por esta técnica de reparo.

Mancais de bucha ou de deslizamento

As superfícies de mancais contendo buchas de deslizamento podem ser recuperadas pelas técnicas de eletrodeposição, metalização ou soldagem, exceto processo de soldagem do tipo MMA (Manual Metal Arc).

Rotores e estatores de motores “Ex”

Se os rotores e estatores necessitarem ser levemente usinados para a remoção de excentricidades e danos na superfície, após consulta ao fabricante, o aumento resultante do entreferro entre o rotor e o estator não pode produzir temperatura de superfície interna ou externa que infrinja a classe de temperatura da máquina.

Os núcleos de estatores danificados ou usinados devem ser submetidos a um “ensaio de fluxo” para assegurar que não sejam deixados pontos quentes que possam infringir a classe de temperatura ou causar dano subsequente nos enrolamentos do estator.

Requisitos específicos para serviços de reenrolamento de motores “Ex”

Após a conclusão dos serviços de reparo completo ou parcial de reenrolamento de motores “Ex”, os enrolamentos devem ser submetidos, desde que sejam praticáveis aos seguintes ensaios com o equipamento montado:

- A resistência de cada enrolamento deve ser medida na temperatura ambiente e verificada. No caso de enrolamentos

trifásicos, a resistência de cada fase ou entre os terminais de linha deve estar balanceada tanto quanto possível;

- O ensaio de resistência da isolação deve ser aplicado para a medição da resistência entre o enrolamento e o terra, entre enrolamentos, onde possível, entre enrolamentos e auxiliares, e entre auxiliares e o terra;
- É recomendada a aplicação de tensão mínima de ensaio de 500 V cc;
- Os valores mínimos aceitáveis de resistência de isolação são uma função da tensão nominal, da temperatura, do tipo do equipamento e se o serviço de reenrolamento é parcial ou completo;
- Nestes casos, é recomendado que a resistência da isolação não seja menor que $20 \text{ M}\Omega$ a 20°C , em um equipamento completamente reenrolado para ser utilizado com tensão de até 690 V;
- O ensaio de tensão aplicada, de acordo com a norma aplicável, deve ser realizado entre enrolamentos e o terra, entre enrolamentos, onde for possível, e entre enrolamentos e auxiliares inseridos nos enrolamentos;
- Os transformadores ou equipamentos similares devem ser preferencialmente energizados de acordo com a tensão de alimentação nominal. A corrente de alimentação, tensão e corrente de secundário devem ser medidas.

É recomendado que os valores medidos sejam comparados com os dados do fabricante, quando disponíveis e, em sistemas trifásicos, devem ser balanceados em todas as fases tanto quanto possível. Equipamentos com tensão nominal superior a 1,0 kV podem requerer ensaios adicionais. Estes ensaios devem ser definidos no escopo do contrato de reparo ou de revisão.

Requisitos específicos serviços de reenrolamento de motores de segurança aumentada (Ex “e”)

Especificamente no caso de necessidade de realização de serviços de reenrolamento de motores com tipo de proteção Ex “e”, cuidados especiais são requeridos em função das características especiais de construção e de proteção consideradas no projeto e do dimensionamento dos enrolamentos do estator de motores com este tipo de proteção.

A construção elétrica de um equipamento com tipo de proteção Ex “e” influencia decisivamente a segurança contra explosão e o reparador deve ter pleno conhecimento das informações necessárias e do equipamento.

Reenrolamento de motores Ex “e” com tensão nominal até 1,0 kV

Para estes motores, é permitida a aplicação da técnica de cópia de enrolamento nos casos de tempo t_E com valores maiores ou iguais a 7,0 s. No entanto, o valor do tempo t_E a ser marcado na placa de dados do equipamento reparado deve ser reduzido para 75% do valor original indicado na certificação, a menos que este

valor seja reconfirmado, via metodologia de ensaio indicado na norma ABNT NBR IEC 60079-7.

Nestes casos, o usuário do motor deve ser previamente informado que o tempo t_E será reduzido, de forma a verificar e confirmar que o motor continuará adequado para a aplicação à qual é destinado;

Nos casos em que os serviços de reenrolamento dos motores Ex “e” sejam realizados de acordo com as informações do fabricante, não há a necessidade de redução do tempo t_E .

Nos casos em que os dados completos do enrolamento não estiverem disponíveis e/ou quando a redução do tempo t_E não for aceitável, e quando a realização dos ensaios de confirmação do tempo não for considerada prática sob o ponto de vista técnico ou economicamente viável, os enrolamentos do estator devem ser somente substituídos por outros fornecidos pelo fabricante do motor.

Os seguintes dados e especificações sobre os enrolamentos são necessários para tornar o reparador capaz de reparar os enrolamentos do estator e manter o tempo t_E original:

- Tipo de enrolamento: por exemplo, camada simples, camada dupla, etc.;
- Diagrama de interligação dos enrolamentos;
- Número de condutores por ranhura, caminhos paralelos por fase;
- Conexões entre fases;
- Seção nominal do condutor;
- Sistema de isolação, incluindo especificação do verniz e do sistema de aplicação;
- Resistência por fase ou entre terminais.

Por este motivo, existe a necessidade de que o sistema de isolação seja refeito com os mesmos materiais e componentes, de forma a manter as características de transferência de calor entre o cobre e o aço do pacote do estator ou do rotor. A aplicação de procedimentos de serviços de reparos que considere somente a utilização de materiais classe “H” ao invés de materiais da classe “F”, sem levar em consideração todas as características dos materiais e do processo de fabricação do sistema de isolamento, não é suficiente para garantir a segurança do equipamento reparado, no caso de reenrolamento de motores com tipo de proteção Ex “e”.

Deve ser ressaltado que os motores com tipo de proteção Ex “e” controlados por conversores de frequência não são protegidos pela utilização do tempo t_E , em função da corrente de partida ser baixa. Estes motores são protegidos por sensores de temperatura embutidos em seus enrolamentos ou pelo sistema de proteção inerente ao conversor.

Reenrolamento de motores Ex “e” com tensão nominal acima de 1,0 kV

A menos que o sistema de isolamento tenha sido previamente submetido aos ensaios aplicáveis aos enrolamentos do estator

indicados na norma ABNT NBR IEC 60079-7, os enrolamentos do motor devem ser submetidos a estes ensaios.

Os seguintes dados e especificações sobre os enrolamentos são necessários para tornar o reparador capaz de reparar os enrolamentos do estator e manter o tempo t_e original.

- Tipo de enrolamento: por exemplo, camada simples, camada dupla, etc.;
- Diagrama de interligação dos enrolamentos;
- Número de condutores por ranhura, caminhos paralelos por fase;
- Conexões entre fases;
- Seção nominal do condutor;
- Sistema de isolamento, incluindo especificação do verniz e do sistema de aplicação;
- Resistência por fase ou entre terminais.

Quando os dados completos dos enrolamentos não forem disponíveis, os enrolamentos do estator devem ser somente substituídos por outros fornecidos pelo fabricante. Nestes casos, o motor deve manter o tempo t_e original.

Errata

Informamos que o capítulo publicado na edição 57, de outubro de 2010, foi divulgado com a numeração errada. Tratava-se do capítulo XXII e não XXV, como informado.

* **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