*Por Alan Rômulo Queiroz, Eduardo César Senger e Luciene Queiroz**

Capítulo XI

Definição da estratégia de manutenção

Definição da periodicidade da manutenção preventiva

Este trabalho propõe que a periodicidade da manutenção preventiva para cada equipamento seja definida em função da taxa de falhas e do valor qualitativo da criticidade calculados para o equipamento em análise (metodologia de criticidade conforme capítulo anterior), divididos em quatro grupos, a saber:

a) Equipamentos de altíssima criticidade

Para esta classe de equipamentos, dada sua importância para a segurança da planta, a manutenção preventiva deverá ser realizada sempre que a função Confiabilidade - R(t) – atingir o valor mínimo de 0,95 ($R_{min}^{altíssima}$). Dessa forma, para um equipamento classificado como de altíssima criticidade e que apresenta taxa de falhas λ (falhas/ano), a periodicidade da manutenção é calculada pela expressão:

$$T_{altíssima} = -\frac{\ln(R_{min}^{altíssima})}{\lambda} \simeq \frac{0{,}0512933}{\lambda} \cdot 12 \ \text{(meses)}$$

Considera-se conveniente adotar uma periodicidade máxima para realização dos trabalhos de manutenção preventiva. Isso visa evitar que os equipamentos que apresentam uma taxa de falhas muito baixa fiquem um longo período sem manutenção. Para os equipamentos classificados como altíssima criticidade adotou-se essa periodicidade máxima igual a 30 meses (2,5 anos).

b) Equipamentos de alta criticidade

De forma análoga ao procedimento estabelecido para os equipamentos de altíssima criticidade, para definir a periodicidade desta classe de equipamentos, será adotada uma confiabilidade mínima (R_{min}^{alta}) igual a 0,9025 (0,95x0,95). Com esse valor resulta que, para equipamentos que possuam a mesma taxa de falhas, a periodicidade da manutenção de um equipamento de alta criticidade será o dobro daquela verificada para um de altíssima criticidade. Neste caso, a periodicidade pode ser calculada pela expressão:

$$T_{alta} = -\frac{\ln(R_{min}^{alta})}{\lambda} = \frac{0{,}102586}{\lambda} \cdot 12 \ \text{(meses)}$$

Já a periodicidade máxima para os equipamentos da classe de alta criticidade foi fixada em 60 meses (5 anos).

c) Equipamentos de média criticidade

Para esta classe de equipamentos adotou-se a confiabilidade mínima ($R_{min}^{média}$) igual a 0,857375 (0,95x0,95x0,95), resultando que equipamentos desta classe terão uma periodicidade de manutenção três vezes maior do que um equipamento classe altíssima criticidade com a mesma taxa de falhas. Neste caso, a periodicidade pode ser calculada pela expressão:

$$T_{Media} = -\frac{\ln(R_{min}^{media})}{\lambda} \simeq \frac{0{,}1538799}{\lambda} \cdot 12 \ \text{(meses)}$$

A periodicidade máxima para esta classe foi definida em 90 meses (7,5 anos).

d) Equipamentos de baixa criticidade

Equipamentos classificados como de baixa criticidade não serão submetidos a um programa de manutenção preventiva, recebendo somente manutenção corretiva, quando necessário.

O gráfico da Figura 1 apresenta a periodicidade da manutenção preventiva calculada em função da taxa de falha do equipamento para cada uma das três primeiras classes de criticidade.

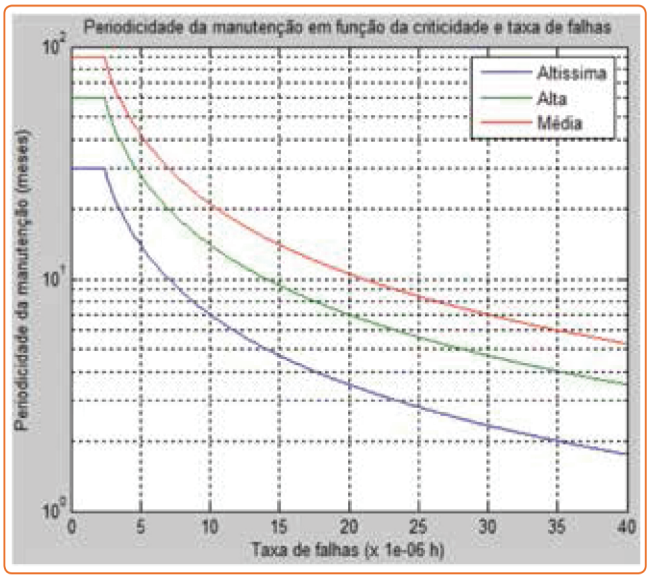

Figura 1 – Periodicidade da manutenção em função da criticidade e taxa de falhas.

Manutenção baseada na condição

A manutenção baseada na condição é uma técnica que consiste em inspecionar os equipamentos continuamente ou em intervalos regulares, com o objetivo de avaliar as condições do equipamento e identificar defeitos em desenvolvimento que podem, quando não tratados adequadamente, incorrer em falhas funcionais. Essas inspeções podem ser objetivas (com instrumentos) ou subjetivas (com os sentidos). Dessa forma, a manutenção baseada na condição realiza as intervenções em função das condições reais do equipamento, ao invés de um determinado intervalo de tempo, como no caso da manutenção preventiva.

Como qualquer outra técnica de manutenção, esta técnica não é suficiente para bloquear todos os modos de falha possíveis nos equipamentos. Contudo, a aplicação de técnicas de manutenção preditiva associadas às inspeções sensitivas permite o bloqueio de muitos modos de falha quando o defeito ainda está na fase de desenvolvimento. Dentre as principais técnicas de preditiva, destacam-se a termografia, a medição de vibração e a análise de óleo. Em relação às inspeções sensitivas, realizadas pelo operador, itens como a verificação de ruídos e vazamentos também agregam informações importantes sobre a condição dos equipamentos.

Este trabalho prioriza a técnica de manutenção baseada na condição para aqueles modos de falha onde a mesma é eficaz. Essa análise é realizada conforme a metodologia proposta nos itens a seguir. Dessa forma, o programa de manutenção preventiva é otimizado, contemplando apenas aquelas tarefas em que a manutenção baseada na condição não é eficaz. Considera-se que, após a realização da

inspeção e a identificação de um defeito, o equipamento é restaurado para uma situação "tão bom quanto um novo".

Definição da estratégia de manutenção

Conforme definido nos capítulos anteriores, este trabalho considera as seguintes diretrizes para elaboração dos planos de manutenção:

a) Participação ativa dos operadores nas atividades de manutenção;
b) Priorização pela manutenção baseada na condição;
c) Aplicação da filosofia de trabalho das operações integradas.

Este trabalho apresenta uma metodologia para definição da estratégia de manutenção para novas unidades, dividida em três etapas. O objetivo é estabelecer o programa inicial de manutenção, que deverá ser revisto e adequado ao longo da vida útil da unidade.

• ***Etapa 1***

A etapa 1 corresponde à análise dos modos de falha realizada através de uma FMEA por classe de equipamentos (tais como relés de proteção, disjuntores e motores elétricos), utilizando como parâmetro a norma IEC 60300-3-11 (Dependability Management – Part 3-11: Application Guide – Reliability Centred Maintenance) e os conceitos de FMEA abordados pelos autores Kume, Palady, Stamatis, Villacourt e na norma militar americana MIL-STD-1629A.

O modelo do formulário de FMEA proposto e seus respectivos campos são apresentados na Figura 2. Ainda nesta etapa, é realizada a estruturação da árvore de falhas (FTA) sobre todos os itens críticos que serão colocados na condição de eventos iniciais da árvore e atribuídas as respectivas taxas de falha, a fim de determinar o comportamento do equipamento e dos seus principais itens durante um período de tempo considerado.

A planilha de FMEA é composta pelos seguintes campos:

Em que:

1) Item

Sequência numérica para organização dos modos de falha analisados na planilha.

2) Equipamento

Descrição do equipamento a ser analisado.

3) Função

Descrição da função do equipamento no sistema/processo.

4) Função significante

Classificação da relevância do equipamento para a operação da unidade, sendo classificada em "sim" ou "não".

5) Falha funcional

Modos de falha que definem a incapacidade de um item em desempenhar a sua função conforme padrões de desempenho requeridos.

6) Local da falha/defeito

O local da falha/defeito identifica em qual componente do equipamento pode ocorrer uma falha funcional.

7) Mecanismo de degradação

Identificação das principais causas que levam o equipamento a falhar ou apresentar algum defeito.

8) Defeito

Maneira como a alteração das condições de um item se manifesta em um equipamento/componente em função do seu mecanismo de degradação.

9) Taxa de falha

Parâmetros/valores referentes ao número de falhas num determinado período de tempo.

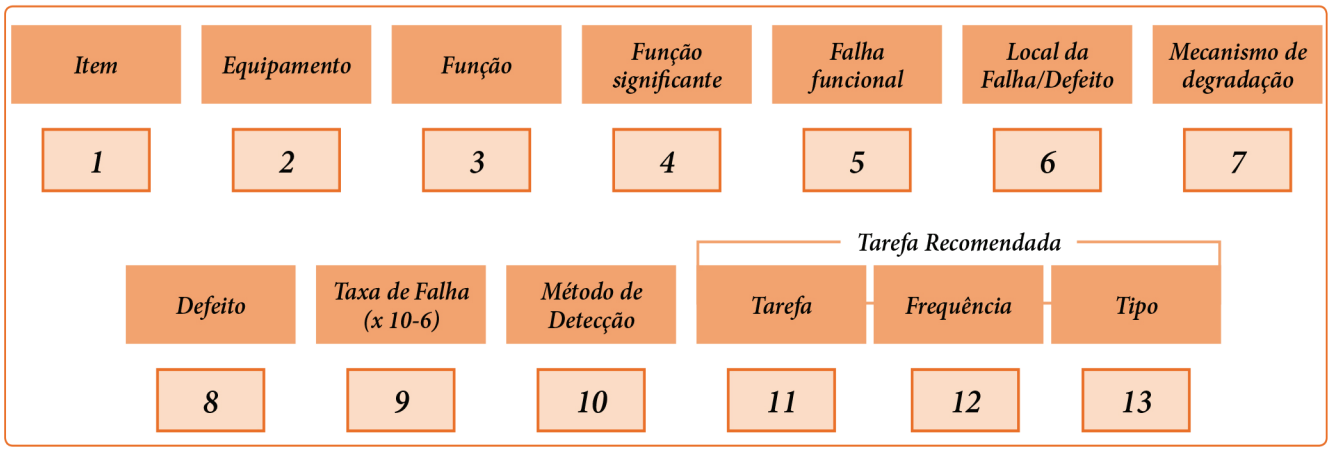

Figura 2 – Modelo de FMEA proposto.

10) Método de detecção

Para cada mecanismo de degradação identificado deve ser avaliado se existe algum parâmetro que sinaliza que a degradação está ocorrendo antes da ocorrência da falha, e se há algum método para monitorar estes parâmetros. São exemplos destes métodos: inspeção auditiva, medição de vibração, medição de temperatura, entre outros.

11) Tarefa

Tarefas de manutenção efetivas para bloquear uma falha funcional em função do modo de falha/mecanismo de degradação identificado.

12) Frequência

Periodicidade de execução das tarefas em função da taxa de falha dos componentes de um equipamento. A frequência será definida em intervalos múltiplos de três meses, a fim de otimizar o processo de planejamento da manutenção.

13) Tipo

Técnica de manutenção na qual a tarefa selecionada se insere. Exemplo: manutenção preditiva.

Os dados de falha são provenientes prioritariamente do banco de dados Oreda e da norma IEEE 500. Quando estas informações não estão disponíveis nas fontes citadas anteriormente, são utilizadas taxas de falha de outras fontes, que devem estar devidamente registradas nas análises.

- **Etapa 2**

Na etapa 2, a partir da taxa de falha de cada item, são obtidos os resultados referentes à confiabilidade e a influência desses itens sobre o equipamento/sistema, entre outras informações utilizadas na análise.

- **Etapa 3**

A estratégia de manutenção adequada com base na filosofia de Operações Integradas é determinada na etapa 3, com base nos estudos realizados nas etapas anteriores. Para determinação dos intervalos de manutenção, será utilizado o gráfico disposto na Figura 1, que correlaciona os valores de confiabilidade definidos para cada classe de criticidade, a taxa de falhas e a periodicidade manutenção.

No próximo capítulo, a metodologia proposta será aplicada para uma classe de equipamentos elétricos.

Referências bibliográficas

- *Bi, P.; Xue, J.; Ni, J.; Zhang, H.; Feng, T.; Li, M. Practice And Strategy For Condition Based Maintenance of Power Supply Equipment. In: "IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific". Dalian, 2005.*
- *IEC 60300-3-11. "Dependability Management – Parte 3-11: Application Guide – Reliability Centred Maintenance", 1999.*
- *IEEE 500. "IEEE Guide to the collection and presentation of electrical, electronic, sensing component and mechanical equipment reliability data for nuclear-power generating stations", 1984.*
- *Kume, H. "Quality Management in New-Product Development". Editora Productivity & Quality Publishing Pvt. Ltd. 2004. 270p.*
- *MIL-STD-1629A. "Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis". Military Standard, Naval Ship Engineering Center, Washington D.C., 1980.*
- *OREDA – Offshore Reliability Data Handbook. Sintef, 5ª Edição. Oslo, Noruega, 2009.*
- *Palady, P. "FMEA. Análise dos Modos de Falha e Efeitos, Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram". Editora Instituto IMAM, São Paulo, 2004. 270p.*
- *Queiroz, A. R. S. Estratégia de manutenção de equipamentos elétricos em unidades offshore de produção de petróleo e gás baseada na filosofia de operações integradas. Tese (Doutorado em Ciências – Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, 2016.*
- *Stamatis, D. H. "Failure Mode and Effects Analysis: FMEA from Theory to Execution". Editora ASQ Quality Press. Milwaukee, Wisconsin, 2003. 455p.*
- *Villacourt, M. "Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry". International Sematech, 1992.*

*ALAN RÔMULO SILVA QUEIROZ é engenheiro eletricista graduado pela Universidade Santa Cecília (Santos – SP), mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

EDUARDO CÉSAR SENGER é engenheiro eletricista e doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É professor livre-docente na área de Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade de São Paulo e coordenador do Laboratório de Pesquisa em Proteção de Sistemas Elétricos (Lprot).

LUCIENE COELHO LOPEZ QUEIROZ é bacharel em Ciências da Computação graduada pela Universidade Católica de Santos e mestre em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO
Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br