





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

### Capítulo I

# Estratégia de manutenção de equipamentos elétricos baseada na filosofia de operações integradas

### Apresentação e breve histórico de manutenção

Este fascículo abordará aspectos relativos à manutenção industrial e confiabilidade, com a apresentação de um método para definição da estratégia de manutenção para equipamentos elétricos, mas que também é útil para outras áreas. Este método está aderente à filosofia das Operações Integradas, que será detalhada ao longo deste fascículo.

#### Introdução

A manutenção industrial sempre teve uma importância estratégica para garantir o cumprimento das metas de produção de qualquer empresa, sendo relevante para que os requisitos de segurança, meio ambiente e econômico sejam plenamente atendidos. Contudo, na grande maioria dos casos, a definição de uma estratégia de manutenção é decorrente da experiência de um grupo de pessoas, podendo ter como resultado planos de manutenção carregados de tarefas, que não necessariamente estão relacionadas com os modos de falha do equipamento que se deseja manutenir.

Com o objetivo de otimizar o processo de manutenção, este trabalho propõe uma estratégia que atende aos requisitos legais vigentes, inserida em um novo paradigma de forma de trabalho, as Operações Integradas, alinhando a estruturação do

processo de manutenção junto às etapas de implantação de um projeto de capital. Contudo, a estratégia proposta também pode ser aplicada na revisão da estratégia de manutenção em unidades que já se encontram em operação.

Dentre os principais itens que serão abordados nos capítulos seguintes, estão os procedimentos propostos para elaboração da hierarquia de equipamentos e definição das tarefas de manutenção com base nos modos de falha dos equipamentos, sempre com o foco em otimizar o uso dos recursos humanos e materiais, na visão das Operações Integradas. Outro item é relacionado ao procedimento proposto para classificação da criticidade de equipamentos.

Esta metodologia adota como premissas a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e a integração da manutenção na filosofia de Operações Integradas. Ambas as premissas representam o estado da arte em suas respectivas áreas, cabendo a este trabalho definir o método adequado para integração das mesmas desde a fase de projeto de uma unidade, passando pelas etapas intermediárias até o início da operação, em que os produtos resultantes da aplicação da metodologia proposta deverão garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos e a integração dos processos de manutenção

em um ambiente colaborativo pautado na filosofia de Operações Integradas. Esta tendo sido desenvolvida pela indústria norueguesa de exploração e produção de petróleo para otimizar a produção de seus campos que já estão em fase de amadurecimento.

## A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Ao longo dos últimos trinta anos, a atividade de manutenção sofreu mudanças na gestão da produção. Essas mudanças devem-se ao aumento do número e variedade de plantas, à quantidade de equipamentos e instalações que devem ser mantidos, ao desenvolvimento de projetos de engenharia mais complexos, às novas técnicas de manutenção e à evolução da organização e das responsabilidades da manutenção.

Moubray destaca que, com essa evolução da gestão da manutenção, criam-se algumas expectativas sobre essa atividade, tais como: o impacto da falha de um equipamento na segurança e meio ambiente; a ligação entre manutenção e qualidade do produto; conseguir uma planta com alta disponibilidade e com custos reduzidos. Segundo Moubray, a evolução da manutenção pode ser descrita através de três gerações.







primeira geração descreve desenvolvimento da manutenção período que antecede a Segunda Guerra Mundial. Nessa época, a indústria não era muito mecanizada e a prevenção de falha em equipamentos não era uma prioridade para os gerentes. Ao mesmo tempo, os equipamentos, em sua maioria, eram simples e sobreprojetados para as operações que exerciam e isso os tornavam confiáveis e fáceis de reparar. Por isso não era necessária uma estruturação sistemática da manutenção, além das simples rotinas de limpeza, reparo e lubrificação. A necessidade de capacitação também não era tão exigida com nos dias atuais.

A segunda geração da evolução foi marcada pelas grandes mudanças causadas pela Segunda Guerra Mundial na indústria, que aumentou a demanda de bens de todos os tipos e diminuiu a oferta da mão de obra. Por isso surgiu a necessidade de aumentar a mecanização das operações na indústria, o que levou ao aumento do número de

máquinas e suas complexidades.

A indústria começou a ficar, cada vez mais, dependente das máquinas. A inatividade dessas máquinas começou a preocupar os gerentes, o que levou à ideia de que as falhas nos equipamentos podiam e deveriam ser prevenidas. Na década de 1960 surgia o conceito de manutenção preventiva como uma atividade de reparo nos equipamentos realizada em intervalos fixos de tempo. Outra consequência gerada pela guerra foi o aumento acentuado dos custos de manutenção comparado aos custos de operação, o que levou à ideia do planejamento e controle do sistema de manutenção.

Todo o valor do capital gasto com reparos de equipamentos mais o aumento dos custos com manutenção levaram os gerentes a procurarem formas de maximizar a vida dos ativos físicos nas empresas.

Ainda segundo Moubray, a terceira geração da evolução da manutenção marca o período que envolve as mudanças que trouxeram mais dinamismo para as indústrias e que engloba os dias atuais.

A indisponibilidade já era a maior preocupação de diversos setores da indústria nas décadas de 1960 e 1970, pois ela sempre afeta a capacidade produtiva dos ativos reduzindo seu output, aumentando os custos de operação e interferindo diretamente no atendimento ao cliente. Os efeitos da indisponibilidade na manufatura estavam mais agravados pelo movimento mundial em torno dos sistemas just in time, nos quais o objetivo era reduzir os estoques de produtos em processo o que significava que qualquer quebra poderia parar a produção da planta.

O aumento da mecanização e automação da produção tornam a confiabilidade e a disponibilidade itens fundamentais na maioria dos setores produtivos. Com esse aumento, as falhas começam a afetar cada vez mais os padrões de qualidade, tanto do produto, como do serviço. As falhas em equipamentos de automação alteram medições de temperatura, pressão,

38

Manutenção de equipamentos elétricos







dosagem, enfim, fatores que interferem consistentemente nas tolerâncias de especificação do produto. As falhas também podem impactar questões relativas à segurança e ao meio ambiente.

um primeiro momento, visão de falha era bastante simples. Ao longo de sua vida, o equipamento tinha uma probabilidade constante de falha (falha aleatória) e, ao final da vida, essa probabilidade crescia exponencialmente, correspondendo ao final de sua vida útil. Já na segunda geração, o conceito de mortalidade infantil, que era a possibilidade de o equipamento falhar logo no princípio de seu funcionamento, gerou uma nova visão de falha que ficou conhecida como "curva da banheira". Na terceira geração, após muitas pesquisas, foram descobertos não apenas dois tipos de comportamento, mas sim seis tipos de comportamentos predominantes. Essa descoberta causou profundo efeito forma de conduzir a manutenção nos equipamentos, visto que diferentes de comportamentos falha requerem diferentes estratégias de manutenção. Este trabalho considera apenas equipamentos com taxa de falha constante.

A Figura 1 mostra a visão do comportamento das falhas na vida do equipamento ao longo das três fases de evolução da manutenção.

A partir da terceira geração, foram desenvolvidos diversos conceitos e técnicas que serviram como ferramentas de apoio para as atividades de manutenção:

- Novas técnicas de monitoramento da condição do equipamento;
- Projetos com foco em confiabilidade e manutenibilidade;
- Ferramentas de suporte a decisão;
- Análises de risco das atividades de manutenção;
- Análise de modo e efeito da falha;
- Sistemas especializados;
- Organização do trabalho com capacitação de profissionais e formação de grupos de trabalho.

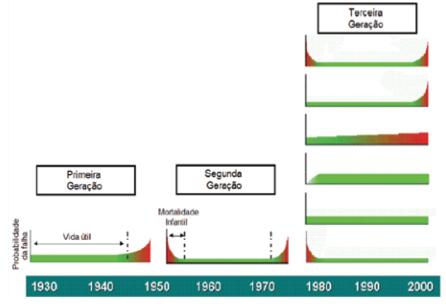


Figura 1 - Evolução da visão da falha.

A Tabela 1 resume as principais evoluções das expectativas e técnicas ao longo do tempo.

Por meio desse retrospecto da evolução da manutenção, é possível notar a mudança do conceito da atividade de manutenção, que, a princípio, era focada em restabelecer com mais rapidez possível as condições dos ativos físicos e passou a se preocupar em prevenir a ocorrência das falhas garantindo a disponibilidade do equipamento para atender à produção, sempre com a preocupação em segurança, preservação do meio ambiente e redução de custos.

Wyrebski resume a evolução da manutenção conforme disposto na Figura 2.

As metodologias apresentadas na Figura

2 são definidas como:

### a) MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade

Trata-se de um método estruturado para estabelecer uma estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento com base na sua funcionalidade ou desempenho requerido, identificando os modos de falha e suas consequências. A metodologia permite selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionadas para os modos de falha identificados.

### b) MPT – Manutenção Produtiva Total

Filosofia de manufatura que enfoca e valoriza o relacionamento efetivo dos

TABELA 1 - EVOLUÇÃO DAS EXPECTATIVAS E TÉCNICAS DA MANUTENÇÃO

	Gerações		
	Primeira	Segunda	Terceira
Expectativas	Consertar quando falhar.	- Aumentar a disponibilidade da planta; - Aumentar a vida dos equipamentos; - Reduzir os custos.	- Aumentar a disponibilidade e confiabilidade da planta;  - Maior segurança;  - Melhor qualidade do produto;  - Sem danos ao meio ambiente;  - Aumento da vida útil do equipamento;  - Melhor custo-benefício.
Técnicas		- Programação de reparos; - Sistemas de planejamento e controle; - Informatização básica.	- Monitoramento da condição; - Projetos para confiabilidade e manutenibilidade; - Análise de riscos; - Informatização complexa; - Análises de modos e efeitos de falha; - Sistemas especializados; - Capacitação e grupos de trabalho.







operadores com o equipamento e suas funções, tendo em vista a eliminação total de perdas. A MPT estimula a participação dos operadores em um esforço de manutenção preventiva e corretiva através da técnica conhecida como manutenção autônoma.

Alguns autores apresentam motivações para que seja determinada uma quarta geração da manutenção. Labib destaca como um diferencial para essa nova geração os sistemas informatizados "automanuteníveis". Manickam destaca a tecnologia de informação embarcada nos equipamentos e os sistemas especialistas como principal item desta nova geração. Para Adamatti, a quarta geração é caracterizada pela gestão de ativos, tendo como base a norma PAS 55. Já para Dunn, a quarta geração foca na eliminação da falha, ao invés da predição ou prevenção. Contudo, até o momento não há na literatura nenhuma evidência concreta e aceita pela comunidade técnica sobre a quarta geração da manutenção.

O próximo capítulo abordará os

principais conceitos de manutenção e a sua aplicação no método proposto.

#### REFERÊNCIAS

- Adamatti, G. A. "Gestão de Ativos". NTT Treinamentos Avançados. Rio de Janeiro, 2013.
- BSI PAS 55. "Specification for the optimized management of physical assets". Londres, 2008.
- Dunn, S. "The Fourth Generation of Maintenance". Disponível em: http://www.plant-maintenance.com. Acesso em 04/08/2013.
- Labib, A. W. Next Generation Maintenance Systems: Towards the Design of a Self-maintenance Machine. In: "IEEE International Conference on Industrial Informatics", 2006.
- Manickam, L. R. A. "Proposal for the fourth generation of maintenance and the future trends & challenges in production". Dissertação (Mestrado em Engenharia). Mälardalen University. Suécia, 2012.
- Moubray, J. "RCM II Reliability-Centered Maintenance". 2<sup>a</sup> Edição, Editora Industrial Press Inc, Nova York, 1997.
- Nakajima, S. "Introduction to TPM: Total Productive Maintenance". 1ª Edição. Editora Productivity Press, 1988.
- NASA National Aeronautics and Space Administration.
  "Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment". Washington D.C. 2000, 356p.
- 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.
- Smith, A. M; Hincheliffe, G. R. "RCM: Gateway to World Class Maintenance". 1ª Edição. Editora Elsevier, 2003. 337p.

- Takayama, M. A. S. "Análise de falhas aplicada ao planejamento estratégico da manutenção". Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.
- Wireman, T. "Total Productive Maintenance: An American Approach". 1ª Edição. Editora Industrial Press, 1992. 206p.
- Wyrebski, J. "Manutenção produtiva total Um modelo adaptado". Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

\*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