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

Capítulo II

Conceitos e definições da função manutenção

Conceitos básicos de manutenção

Definições sobre manutenção

Apesar de intuitiva, a definição de manutenção é muito diversificada. Os itens seguintes apresentam as principais concepções sobre o conceito de manutenção, extraídas das principais referências bibliográficas sobre o assunto.

a) 10 CFR 50.65:

Um agregado de funções requeridas para preservar ou restaurar a segurança, confiabilidade e disponibilidade das estruturas das plantas, sistemas e componentes.

b) ABNT NBR 5462:

Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

c) AFNOR NFX 60-010:

A manutenção é um conjunto de ações que permitem manter ou restabelecer um bem dentro de um estado específico, ou medida para assegurar um determinado serviço.

d) BS EN 60300-3-14:

A manutenção é uma combinação de técnicas e medidas administrativas com a finalidade de conservar um item em seu estado, ou restabelecer este estado, no qual ele possa realizar uma determinada função.

Uma das melhores concepções de manutenção é apresentada por Gits no seu projeto a respeito dos conceitos de manutenção:

"O processo primário em uma organização industrial é a produção em que a sua entrada primária (material, energia, potência humana) é transformada na saída da produção primária (o produto desejado). Este processo de transformação se utiliza de um sistema técnico.

Um sistema técnico é uma coleção de elementos físicos que preenchem uma função específica. O estado do sistema técnico é a habilidade física considerada relevante para preenchimento de sua função. Este estado pode ser alterado por causas externas, envelhecimento e uso, que conduz inevitavelmente a uma saída de produção secundária, a demanda da manutenção.

Manutenção é o total de atividades requeridas para manter os sistemas, ou restaurá-los ao estado necessário para executar a função de produção".

Independentemente da definição que se utilize de manutenção, é possível perceber que as definições citadas anteriormente utilizam a expressão "manter", "restabelecer", "conservar", "restaurar" ou "preservar" a função requerida do ativo físico de um sistema. Para que o sistema técnico possa apoiar, preservar e, em última instância aperfeiçoar as metas organizacionais, é necessário conhecimento na forma da correta aplicação de técnicas e medidas administrativas, o que implica no emprego de conhecimento técnico, administrativo, organizacional e, especialmente, do negócio a que o sistema técnico da manutenção apoia.

Defeito e falha

Defeito e falha são dois conceitos relevantes no processo de manutenção, mas que, em alguns casos, são aplicados erroneamente como sinônimos.

Defeito é qualquer anormalidade em um sistema que não o impossibilite de permanecer em funcionamento ou disponível para a operação, mas que afete o grau de confiabilidade e/ou desempenho especificado ou esperado para esse sistema.

Falha é o efeito ou consequência de uma ocorrência acidental em uma instalação ou equipamento que acarreta sua indisponibilidade operativa em condições não programadas, impedindo-o de funcionar, e, portanto, de desempenhar suas funções em

caráter permanente ou em caráter temporário.

Conforme o modo de falha evolui no tempo, desde o seu início, consideram-se duas possibilidades: falhas e defeitos. Exemplos de falhas são um curto-circuito em uma linha de transmissão ou a quebra do bloco de um motor a explosão. Já defeitos podem ser exemplificados com a alteração gradual da emissão catódica de um monitor de computador ou o desgaste na camisa de um cilindro de motor diesel.

Quanto à duração da falha, ela pode ser:

- Temporária (curto-circuito fase-terra ou entre fases, devido a uma causa efêmera);
- Intermitente (mau contato no borne de um relé);
- Permanente (lâmpada ou bobina queimada).

As falhas de vários componentes podem, ou não, estar ligadas casualmente entre si. Se uma falha em um elemento induz falhas em outros, diz-se que a falha é do tipo Dependente. Por exemplo, um resistor aberto no circuito anódico de uma válvula pode levar esta à destruição. Uma folga excessiva no mancal de um motor elétrico pode levar a um roçamento do rotor na massa estatórica, podendo gerar um curto-circuito. Se não houver inter-relação entre falhas, elas são do tipo Independente.

Uma das principais diferenças entre defeito e falha é que a falha impede o sistema de realizar sua função, enquanto que o defeito não. A falha sempre tem um caráter corretivo, enquanto que o defeito, quando detectado e realizada a manutenção, possui um caráter preventivo.

Moubray defende o conceito de que o(s) defeito(s) antecede(m) a(s) falha(s). Para Moubray, a falha potencial (P) equivale à definição de defeito, e falha funcional (F) corresponde à definição de falha. Por esse motivo, a curva da Figura 1 é conhecida como

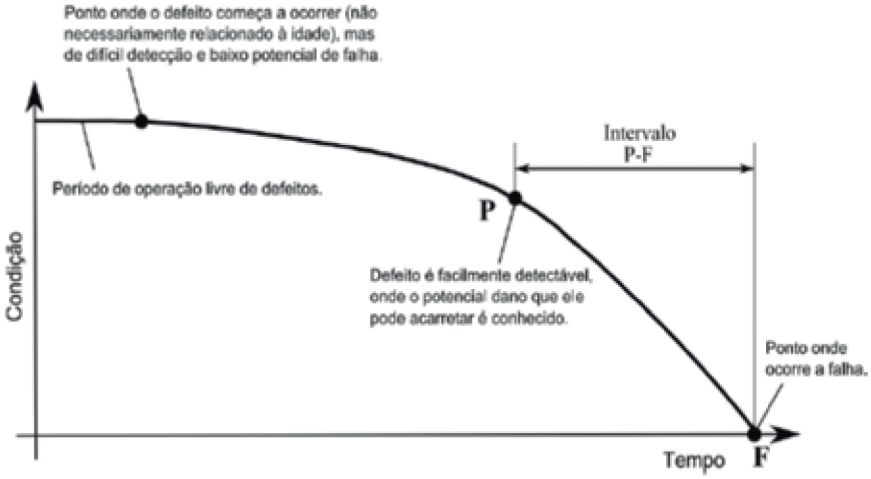

Figura 1 – Curva P-F.

"Curva P-F".

Em alguns casos, classificar uma ocorrência como defeito ou falha não é uma tarefa trivial, apesar de as definições serem aparentemente bem distintas: falha causa a indisponibilidade da função e defeito não. Entretanto, a classificação precisa de quando um sistema está indisponível para a função ao qual foi concebido (ou seja, em condição de falha) depende estritamente da definição dessa função, havendo regiões de incerteza em termos dessa classificação, como ilustra a Figura 2. O tamanho dessa incerteza depende do quão clara é a definição da função do sistema.

Por exemplo, pode-se definir a função de um transformador de duas formas:

1 - Elevar a tensão de 13,8 kV para 230 kV com potência máxima de 300 MVA;
2 - Elevar a tensão de 13,8 kV para 230 kV com potência máxima de 300 MVA e temperatura interna do óleo isolante menor ou igual a 80° C.

Pela primeira definição, se o transformador estiver convertendo 300 MVA e o sistema de refrigeração encontrar-se inoperante, fazendo com que o óleo isolante superaqueça (81 °C, por suposição), o transformador estará em um estado de defeito, pois ele continua realizando sua função de elevar a tensão na potência de 300 MVA, estando, portanto, disponível e operando dentro das suas especificações. Já se a mesma situação se apresentar para a segunda definição, o equipamento estará em falha, pois a temperatura interna ultrapassou o limite especificado, não mais realizando a função então definida.

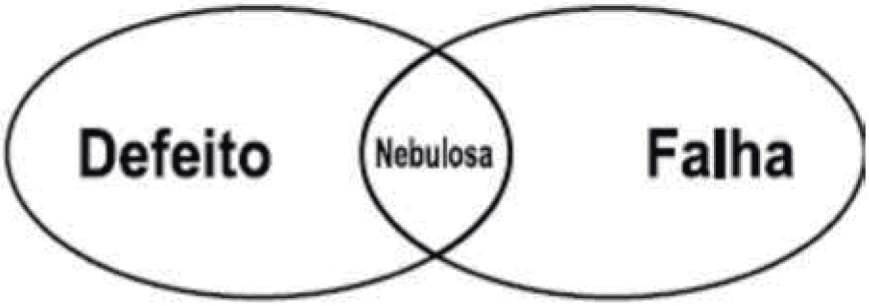

Figura 2 – Incerteza na classificação de defeito ou falha.

Na prática, nem sempre cada função de um sistema está devidamente detalhada. Assim, nos casos em que a inconformidade se encontra na região nebulosa da Figura 2, um tratamento pormenorizado pode ser usado para a correta classificação.

Tipos de manutenção

A manutenção é executada nas empresas como uma combinação de diversas atividades. Essas atividades podem ser classificadas através de duas abordagens: atividades proativas e atividades reativas. As atividades proativas são aquelas executadas antes de as falhas ocorrerem, desenvolvendo ações que antecipam sua ocorrência para não permitir o estado de falha do equipamento. Já as atividades reativas atuam após a ocorrência da falha do equipamento, desenvolvendo ações para restabelecer a disponibilidade do equipamento.

As atividades de manutenção são realizadas utilizando as técnicas descritas na Figura 3.

Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é definida pela norma ABNT NBR 5462 como uma manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Essas atividades são reativas, destinadas à correção de falhas funcionais e de desempenho. Significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido.

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes:

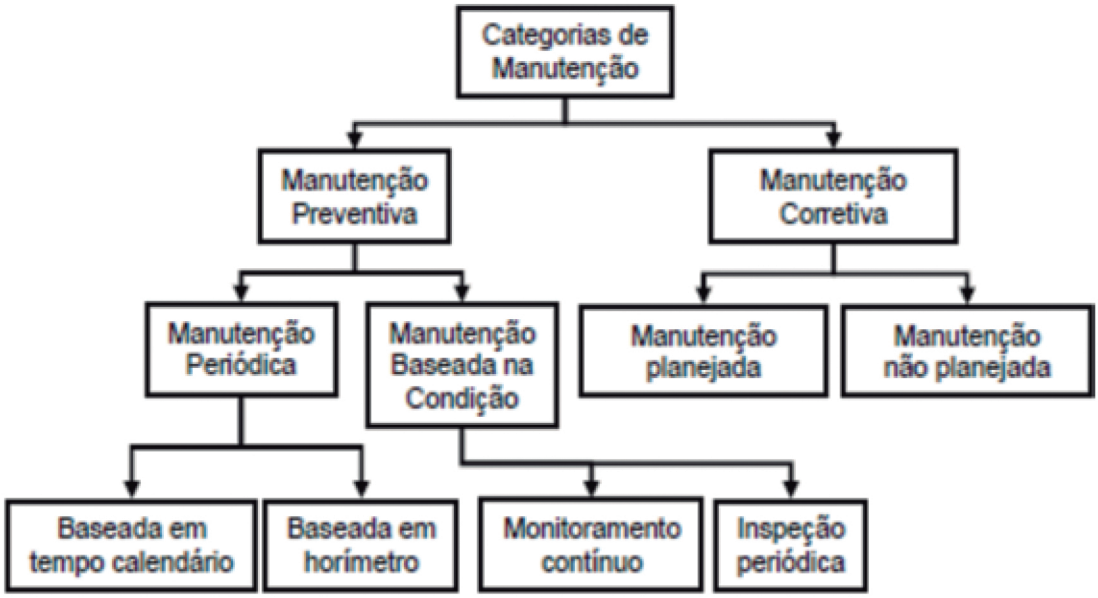

Figura 3 – Técnicas de manutenção.

- Manutenção corretiva não planejada: correção da falha de maneira aleatória, ou seja, é a correção da falha (ou desempenho menor que o esperado) após a ocorrência do fato. Esse tipo de manutenção implica altos custos, pois causa perdas de produção e a extensão dos danos aos equipamentos é usualmente maior;
- Manutenção corretiva planejada: correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até pela decisão gerencial de se operar até a falha. Esse tipo de manutenção é planejado, sendo menos custosa do que uma intervenção corretiva não planejada.

Qualquer que seja o tipo de manutenção adotada, sempre existirá uma parte de falhas que necessitam de ações corretivas. Belmonte ratifica que a manutenção corretiva não pode ser totalmente descartada principalmente por existirem falhas aleatórias nos equipamentos.

Em relação aos custos, uma manutenção não planejada é, em geral, de duas a três vezes mais cara do que uma manutenção planejada, e, em caso de quebra, o custo pode ser superior a dez vezes.

Manutenção preventiva

Segundo a norma ABNT NBR 5462, a manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

O principal objetivo da manutenção preventiva é melhorar a confiabilidade geral do sistema e prevenir repentinas e inesperadas falhas, que podem ser catastróficas. Contudo, mesmo com a adoção de uma estratégia de manutenção preventiva, não é possível eliminar totalmente a ocorrência de falhas nos equipamentos. A própria realização da manutenção preventiva também pode inserir falhas nos equipamentos, visto que a qualidade da intervenção depende, principalmente, de aspectos relacionados ao comportamento e capacitação do executante da manutenção e da qualidade/confiabilidade dos componentes substituídos. Após uma manutenção preventiva, um equipamento pode estar tão bom quanto um novo, ou em péssimas condições, como um equipamento degradado.

O fato de a manutenção preventiva reduzir o risco de paradas não programadas devido a falhas no equipamento já a coloca como uma opção melhor do que a manutenção corretiva em máquinas ligadas diretamente ao processo. Cabe destaque para dois pontos: o primeiro é o fato de que a troca de um item por tempo de uso apenas pode ser considerada naqueles que sofrem desgaste. Outro ponto é a imprevisibilidade (mesmo nos itens que sofrem desgaste), ou seja, o ritmo de desgaste pode não ser uniforme e está sujeito a muitas variáveis. Da mesma forma que é possível trocar uma peça ainda com muito tempo de vida, pode ocorrer falha antes do tempo previsto. Essa imprevisibilidade requer estoques de peças de reposição, elevando os custos relativos.

Além do estoque elevado para cobrir a imprevisibilidade das falhas, a manutenção preventiva apresenta o inconveniente de intervenções muitas vezes desnecessárias, que reduzem a produtividade e elevam o custo operacional total. No entanto, esse tipo de manutenção pode ser a melhor alternativa para equipamentos e/ou peças que apresentam desgaste em ritmo constante e que representam um custo baixo, em comparação com o custo da falha, podendo-se prever estoques adequados e seguros.

A manutenção preventiva pode ser dividida em duas partes: a manutenção periódica (baseada no tempo) e a manutenção baseada na condição.

A manutenção periódica é baseada em intervalos de tempo pré-definidos (por exemplo, em tempo-calendário ou horas de operação), sem considerar o estado/condição do equipamento. A manutenção preventiva é geralmente controlada através de planos de manutenção. Contudo, na prática, as tarefas dos planos de manutenção não necessariamente estão relacionadas aos modos de falhas, implicando na realização de tarefas muitas vezes desnecessárias. Tarefas comuns em planos de manutenção preventiva são inspeções e ajustes em componentes, limpeza e lubrificação.

Já a Manutenção Baseada na Condição (MbC) é uma estratégia de manutenção avançada que utiliza dados de monitoração da condição dos equipamentos. O principal objetivo da MbC é otimizar as atividades de manutenção e reduzir os custos através da utilização de informações preditivas e de monitoramento da saúde dos equipamentos. Este tipo de manutenção é geralmente aplicado em equipamentos que apresentam deterioração durante o tempo, sendo que os defeitos podem ser identificados antes da ocorrência de uma falha.

Os intervalos de inspeção são usualmente baseados na curva P-F (representada anteriormente na Figura 1), o que significa que é necessário encontrar o intervalo onde ocorre um defeito ou falha potencial (P) e o ponto onde uma falha efetivamente ocorre (F). Se o intervalo de manutenção for maior que o intervalo P-F, provavelmente, resultará em uma falha no equipamento. Para determinar esses intervalos de inspeção, é fundamental determinar também a probabilidade de falhas. Se o intervalo P-F é de um mês e a probabilidade de falha é 0,01 por ano, então pode não ser eficiente, em termos de custo, realizar a inspeção todo mês.

Uma forma de prevenir problemas com o intervalo P-F é utilizar ferramentas de monitoramento contínuo, conhecidas como monitoramento online. Isso permite que a equipe de manutenção possa acompanhar um equipamento continuamente e realizar as manutenções quando for efetivamente necessário. Contudo, esta solução geralmente apresenta um alto custo e demanda recursos humanos para acompanhamento, sendo aplicada em máquinas de grande porte.

Uma terceira parte da manutenção preventiva são os testes funcionais, aplicáveis principalmente em equipamentos de segurança e sistemas que operam em stand-by. Um teste funcional tem como objetivo observar se o sistema/equipamento está operando conforme esperado e se necessita de algum tipo de intervenção de manutenção.

Manutenção de primeira linha

Um tipo de intervenção comumente

utilizado é a manutenção de primeira linha, realizada pelos operadores da instalação e que está alicerçada na teoria da Manutenção Produtiva Total.

Esse tipo de manutenção consiste em atividades simples, que requerem pouco ou nenhum treinamento. As manutenções de primeira linha visam, além de reduzir custos, criam um envolvimento entre os operadores e a instalação, através de tarefas simples, tais como: verificar estado de filtros de ar, de combustível e de óleo, estado geral de correias e polias; funcionamento adequado da instrumentação; nível de óleo, dentre outras tarefas, tomando as medidas necessárias sempre que cabíveis.

O próximo capítulo abordará os principais conceitos de confiabilidade.

Referências

• *10 CFR 50.65 "Requirements for monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants", 2010.*

• *Alkaim, J. L. "Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada na confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos". Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.*

• *Amayri, A. ; Tian, Z ; Jin, T. Condition Based Maintenance of Wind Turbine Systems Considering Different Turbine Types. In: "IEEE International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (ICQR2MSE)". China, 2011.*

• *Araújo, I. M.; Câmara, J. M. "Terotecnologia e tipos de manutenção". Revista O Setor Elétrico, v.49, p. 38-41, Fevereiro 2010.*

• *Belmonte, D. L.; Scandelari, L. "Gestão do conhecimento: aplicabilidade prática na gestão da manutenção". Disponível em: http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/Ebook/ARTIGOS2005/E-book%202006_artigo%2054.pdf.*

• *Branco Filho, G. "Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade". 3ª Edição. Editora Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro, 2004.*

• *BS EN 60300-3-14. "Dependability management. Application guide. Maintenance and maintenance support". Inglaterra, 2004.*

• *Chapin, N. Do we know what preventive maintenance is? In: "IEEE Proceedings - International Conference on Software Maintenance", 2000.*

• *Geraerds, W. M. J. Towards a Theory of Maintenance. In: "Organization of Logistic Support Systems", p.197-219. Londres, 1972.*

• *Giacomet, L. F. "Um Método para Determinação Qualitativa de Sobressalentes para Hidrogeradores". Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.*

• *Gilardoni, G. L.; Colosimo, E. A. Optimal maintenance time for repairable systems. In: "Journal of quality Technology". Vol. 39, p 48-53. Milwaukee, Wisconsin, EUA, 2007.*

• *Gits, C.W. Design of Maintenance Concepts. In: "International Journal of Production Economics". Vol. 24, 1992.*

• *Hägerby, M.; Johansson, M. "Maintenance performance assessment – Strategies and indicators". Dissertação de Mestrado. Linkoping Institute of Technology. Noruega, 2002.*

• *Jin, T.; Mechehoul, M. "Minimize production loss in device testing via condition based equipment maintenance". IEEE Transactions on Automation Science & Engineering. Vol. 7, p. 958-963, 2010.*

• *Kenne, J. P.; Boukas, E. K.; Gharbi, A. Control of production and corrective maintenance rates in a multiple-machine, multiple-product manufacturing system. In: "Mathematical and Computer Modelling". Vol. 38, p. 351-365. Agosto, 2003.*

• *Kouedeu, A. F. ; Kenne, J. P. ; Songmene, V. Production, Preventive and corrective maintenance planning in manufacturing systems under imperfect repairs. In: "3rd IEEE International Workshop on Dependable Control of Discrete Systems (DCDS)". p. 59-64. Quebec, Canadá, 2011.*

• *Löfsten, H. Management of industrial maintenance - economic evaluation of maintenance policies. In: "International Journal of Operations & Production Management". Vol: 19, p. 716 – 737, 1999.*

• *Luz, A. F. "Uma metodologia baseada em algoritmo de otimização por enxame de partículas para manutenção preventiva focada em confiabilidade e custo". Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear). Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, 2009.*

• *Marcorin, W. R.; Lima, C. R. C. "Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos". Revista de Ciência e Tecnologia. Vol. 11, p. 35-42, 2003.*

• *McCall, J.J. "Maintenance Policies for Stochastically Failing Equipment: A Survey". Revista Management Science. Vol. 11, p.493-524. Califórnia, EUA, 1965.*

• *Monchy, F. "A Função Manutenção". Editora Ebras. São Paulo, 1989. 424p.*

• *Monks, J. G. "Administração da Produção". Editora McGraw-Hill Company, São Paulo, 1989. 466p.*

• *Moubray,J. "RCM II Reliability-Centered Maintenance". 2ª Edição, Editora Industrial Press Inc, Nova York, 1997.*

• *NBR 5462. "Confiabilidade e mantenabilidade". Rio de Janeiro, 1994.*

• *Nowlan, F. S.; Heap, H. F. "Reliability-Centered Maintenance". Department of Defense. Report Number AD-AO66579. Washington D.C. 1978.*

• *Nuñes, J. L. T. "Modelo para o gerenciamento de ativos de transmissão de energia elétrica". Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.*

• *ONS – Operador Nacional do Sistema. "Submódulo 20.1 – Definições e glossários". Resolução Normativa nº 372/09, 2009.*

• *Petrillo, F. S. "Manutenção em sistemas de transmissão: dos conceitos às estratégias adotadas no Brasil". Monografia (Especialista em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.*

• *Pierskalla, W. P.; Volker, J. A. A Survey of Maintenance Models: The Control and Surveillance of Deteriorating Systems. In: "Naval Research Logistic Quartely". Vol 23, p.352-388, 1976.*

• *Pinto, A. K.; Xavier, J. A. N. "Manutenção Função Estratégica". 4ª Edição. Editora Qualitymarck. Rio de Janeiro, 2012. 440p.*

• *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.*

• *Singh, S. "Optimal maintenance policies applicable to repairable systems onboard ships". Dissertação (Master of Science in Operations Research). Naval Postgraduate School, Monterey, Califórnia, EUA. Março, 1991.*

• *Silva, V. "Manutenção na Agroindústria de Citros". Monografia (Tecnólogo em Agronegócios). Centro Paula Souza. Taquaritinga, 2009.*

• *Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R. "Administração da Produção". 2ª Edição. Editora Atlas. São Paulo, 2002. 754p.*

• *Tavares, L. A. "Administração Moderna da Manutenção". Editora Novo Pólo Publicações e Assessoria Ltda. Rio de Janeiro, 1999.*

• *Tostengard, G. Good maintenance management. In: "Performance Associates International". Arizona, EUA, 2001.*

• *Wilson, A. "Asset maintenance management – A guide to developing strategy and Improving Performances". 2ª Edição. Editora Industrial Press, 2008. 824p.*

• *Wongmongkolrit, S. Work Force Scheduling for mixture policy of Preventive and Corrective maintenance. In: "IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management". p. 1365-1369. Cingapura, 2008.*

• *Wyder, C. G. "Preventive maintenance". 3ª Edição. Editora McGraw-Hill Company, Nova York, 1977.*

*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