

## **PROJETO DE PESQUISA**

### **TÍTULO**

Guia de Manutenção Centrada na Confiabilidade de Subestações

### **ENTIDADE**

Cigré-Brasil

### **COMITÊ DE ESTUDOS**

B3 - Subestações

### **COORDENAÇÃO**

Eng. Iony Patriota de Siqueira (CHESF)

### **PARTICIPANTES**

Força Tarefa composta, preferencialmente por especialistas em:

- Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC);
- Operação e Manutenção de Equipamentos de Subestações;
- Projeto e Especificação de Equipamentos de Subestações;
- Fabricação e Montagem de Equipamentos de Subestações;
- Reparo e Restauração de Equipamentos de Subestações;
- Pesquisa e Desenvolvimento de Equipamentos de Subestações;
- Ensaio e Testes de Equipamentos de Subestações;
- Proteção, Regulação e Monitoramento de Equipamentos de Subestações.

### **INTRODUÇÃO**

Subestações desempenham funções indispensáveis na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Seja na elevação de tensão para transmissão a longas distâncias, seja no chaveamento ou redução para distribuição e uso urbano, residencial e industrial, as subestações concentram complexos equipamentos essenciais aos sistemas de potência atuais. Com o crescimento da capacidade unitária, a operação destes

equipamentos passou a exigir, além da função básica de transformação, regulação e chaveamento, um complexo conjunto de sistemas e funções de suporte, incluindo proteção, compensação de reativos, controle de carga e tensão, isolamento, supervisão, etc. Esta diversidade, embora necessária, multiplica os modos de falha possíveis das subestações, além daqueles associados às funções de transformação, regulação e chaveamento.

Entre os equipamentos de subestações, os transformadores representam talvez a principal concentração unitária de investimento imobilizado, e também a maior preocupação quanto à manutenção e conservação. Identificar e estudar todos os modos de falha de equipamentos tão complexos exige um esforço considerável dos agentes responsáveis pela manutenção, projeto e fabricação. Estudos anteriores citam a possibilidade de ocorrência de mais de 150 tipos de modos de falha possíveis em um transformador de grande porte.

Tradicionalmente, a Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) tem sido recomendada como método ideal para catalogar e analisar as conseqüências das falhas em sistemas complexos. Além da identificação, é necessário também definir que tipo de atividade é recomendável para prevenir, ou corrigir, as falhas ou minimizar suas conseqüências. Os dois objetivos só são atingidos adotando-se uma metodologia estruturada, que correlacione cada modo de falha com a atividade preventiva de combate.

Entre as metodologias contemporâneas de manutenção, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) destaca-se por definir um conjunto integrado de ferramentas que permitem identificar e analisar todos os modos de falha de uma instalação, sugerindo atividades preventivas ou corretivas para minimizar os impactos das falhas. Além disso, a MCC caracteriza-se por priorizar o atendimento a estritos critérios de segurança e preservação do meio-ambiente, buscando simultaneamente assegurar sua atratividade econômica. Métodos qualitativos para escolha das atividades de manutenção são bastante sistematizados na MCC, e normalizados por organismos internacionais (IEC, SAE, ISO e ANSI).

## **OBJETIVO**

Constitui objetivo deste projeto avaliar a aplicação da metodologia MCC na pesquisa dos modos de falha de equipamentos de subestações, estabelecendo seus mecanismos causais e conseqüências, visando definir as atividades de manutenção mais recomendáveis. Além das atividades de manutenção, o projeto deverá pesquisar os métodos de quantificação das freqüências de execução, identificando os mais adequados a cada modo de falha. A pesquisa buscará respostas ao conjunto de questões propostas pela MCC, especializadas por tipo de equipamento, ou seja:

- Quais **funções** a manutenção deseja preservar?
- Quais **falhas** provocam interrupções destas funções?

- Quais **modos** de falha são causadores destas falhas?
- Quais **efeitos** são resultantes destes modos de falha?
- Quais **conseqüências** são derivadas destes efeitos?
- Quais **tarefas** são aplicáveis e efetivas para combater estas conseqüências?
- Quais **alternativas** restam se não for possível a prevenção das falhas?
- Quais **freqüências** de manutenção são ideais para as tarefas?

Na busca de resposta a estas questões, muitas outras deverão ser respondidas:

- Que tipo de manutenção é mais adequada para cada modo de falha? Manutenção preventiva? Técnicas preditivas? Manutenção por inspeção? Ou apenas corretiva?
- A periodicidade deve ser diferente para cada ambiente industrial? Diferenciada por instalação? Por nível de produção? Por nível de tensão? Por tipo de equipamento? Sincronizada com outras manutenções?

O projeto será iniciado com a aplicação da MCC a transformadores de potência, devendo estender-se aos demais equipamentos típicos de uma subestação, nas etapas seguintes. No estudo destas questões, o projeto buscará conclusões gerais, de utilidade para fabricantes, pesquisadores, consultores, mantenedores e operadores destes equipamentos. Os parágrafos seguintes apresentam um resumo seqüencial da metodologia proposta.

## **METODOLOGIA**

O desenvolvimento do projeto piloto ocorrerá em oito etapas, típicas da metodologia MCC, assim denominadas:

- (0) Nivelamento conceitual sobre a metodologia MCC;
- (1) Seleção dos sistemas e coleta de informações;
- (2) Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- (3) Seleção das Funções Significantes;
- (4) Seleção das Atividades Aplicáveis;
- (5) Avaliação da Efetividade das Atividades;
- (6) Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- (7) Definição da Periodicidade das Atividades.

A etapa inicial, **Nivelamento conceitual sobre a metodologia**, consistirá na discussão e troca de experiências entre os participantes sobre a metodologia, objetivando estabelecer um referencial comum para o projeto. Em especial, serão escolhidos os seguintes recursos para uso no restante do trabalho:

- Manual de referência sobre a metodologia;
- Formulários impressos para uso da MCC;

- Base de dados para uso no projeto;
- Software de MCC que será utilizado.

A primeira etapa, **Seleção dos sistemas e coleta de informações**, objetiva identificar e documentar os sistemas típicos de um transformador submetidos à análise. Os seguintes produtos serão gerados ou analisados normalmente nesta etapa:

- Documentação dos sistemas;
- Definição dos contextos operacionais;
- Caracterização das fronteiras e interfaces entre os subsistemas;
- Diagrama organizacional da hierarquia dos subsistemas e componentes;
- Diagrama funcional dos sistemas;
- Diagrama lógico funcional do sistema.

Na segunda etapa, **Análise de Modos de Falha e Efeitos**, serão identificadas e documentadas as funções de cada sistema de um transformador e seus modos de falha, assim como os efeitos adversos produzidos por elas. Utilizando a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), serão documentados os seguintes aspectos do transformador:

- Funções desempenhadas por cada sistema;
- Falhas associadas a cada função;
- Modos como as falhas se originam;
- Efeitos provocados pelas falhas;
- Severidade de cada efeito.

Para isto, poderão ser utilizadas as ferramentas de Árvores de Falha e de Eventos, derivadas dos Diagramas Lógicos e Funcionais do sistema, eventualmente desenvolvidos na primeira etapa da MCC, gerando o resultado no formulário padronizado FMEA.

A terceira etapa, **Seleção de Funções Significantes**, utilizará um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa anterior, e determinar se uma falha tem efeito significativo, levando em conta os impactos nos aspectos pilares da MCC: segurança, meio-ambiente, operação e economia do processo. O estudo de severidade dos efeitos das falhas, resultante da etapa anterior, servirá de entrada para uma análise de riscos e conseqüências, dos quais derivar-se-á uma priorização segundo o grau de significância. Como produto final, esta etapa documentará a relação de funções significantes, que serão submetidas às etapas subseqüentes da metodologia. As demais funções (não significantes) serão documentadas apenas até esta etapa.

Na quarta etapa, **Seleção de Atividades Aplicáveis**, serão determinadas as tarefas de manutenção preventiva que sejam tecnicamente aplicáveis a transformadores, para

prevenir ou corrigir cada modo de falha, ou amenizar suas conseqüências. Como resultado deste processo, uma das seguintes opções será determinada:

- Manutenção preventiva é aplicável;
- Manutenção preventiva não é aplicável; ou
- Outra ação alternativa (default) é sugerida.

A quinta etapa, **Avaliação da Efetividade das Atividades**, constitui-se em um processo estruturado para determinar se as tarefas de manutenção preventiva da etapa anterior são efetivas para reduzir, a um nível aceitável, as conseqüências previstas para uma falha. Como resultado deste processo, uma das seguintes opções será escolhida:

- Manutenção preventiva é recomendada;
- Manutenção preventiva é desnecessária; ou
- Outra ação alternativa (default) sugerida.

Na sexta etapa, **Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas**, será utilizado um processo estruturado para determinar a melhor tarefa, baseada em:

- Resultados do Processo;
- Impactos Operacionais;
- Segurança Física; e
- Impactos Ambientais.

Finalmente, na sétima etapa, **Definição da Periodicidade das Atividades**, serão estabelecidos os métodos e critérios recomendados para definição da periodicidade ou frequência de execução das atividades selecionadas, através da análise dos aspectos de:

- **Confiabilidade** - análise de estatísticas descritivas de confiabilidade dos transformadores;
- **Mantenabilidade** - avaliação de estatísticas descritivas de manutenibilidade dos transformadores;
- **Produtividade** - determinação de estatísticas descritivas dos impactos da manutenção e falha dos transformadores nos resultados empresariais;

As estatísticas serão obtidas preferencialmente por amostragem no histórico de desempenho dos equipamentos ou bases de dados similares, ou por estimativas baseadas no conhecimento a priori de especialistas.

## **PRODUTOS**

Os seguintes produtos serão gerados pelo projeto piloto:

- Guia de Manutenção Centrada na Confiabilidade em Transformadores;
- Banco de Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade de Transformadores.

O Guia de Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Transformadores será um manual contendo o resultado de todas as etapas do projeto. O Guia será estruturado como um documento de referência sobre aplicação da MCC a estes equipamentos. Será útil como referência na estruturação de programas de manutenção de transformadores.

O Banco de Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade de Transformadores será uma base informatizada com todos os dados utilizados nas diferentes etapas do processo de análise. A base será estruturada para acesso automático pelo software de análise de MCC que for adotado, sendo parte integrante do Guia de Aplicação.

Após a conclusão, o projeto piloto será avaliado para extensão aos demais equipamentos de subestações, dentro da programação da Força Tarefa.

## **CONCLUSÕES**

A aplicação da RCM a transformadores pode servir de piloto para outros equipamentos e processos tecnológicos do setor elétrico, que adotem sistemas sofisticados. Muitas destas generalizações poderão ser propostas, como sugestões de pesquisas adicionais no programa de trabalho da Força Tarefa. Em especial, será descrito o resultado final do projeto em um artigo para divulgação nos congressos promovidos pelo Cigré.

## **CRONOGRAMA**

O cronograma de atividades será definido pela força tarefa, devendo contemplar prazos para os seguintes tópicos:

- Nivelamento conceitual sobre a metodologia
- Seleção dos sistemas e coleta de informações
- Análise de Modos de Falha e Efeitos
- Seleção das Funções Significantes
- Seleção das Atividades Aplicáveis
- Avaliação da Efetividade das Atividades
- Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas
- Definição da Periodicidade das Atividades
- Base de dados de MCC em Transformadores
- Guia de MCC em transformadores
- Avaliação e extensão a outros equipamentos

## **BIBLIOGRAFIA**

As seguintes referências principais são propostas para início do trabalho. Outras serão acrescentadas durante a realização do estudo.

1. PENA, M.C.M, "Falhas em Transformadores de Potência: uma Contribuição para Análise, Definições, Causas e Soluções", Dissertação de Mestrado, UNIFEI, 2003.
2. MILASCH, M, "Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante", Editora Edgard Blucher Ltda, 1998.
3. SIQUEIRA, I.P, "Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação", Curso de Especialização em Gestão da Manutenção, UFPE, 2003.
4. MOUBRAY, J, "Reliability-Centered Maintenance", Butterworth-Heinemann, 1994.
5. SMITH, A.M, "Reliability-Centered Maintenance", McGraw Hill, New York, USA.
6. JONES, R.B, "Risk-Based Management – A Reliability-Centered Approach", Gulf publishing Company, 1995.
7. MENDES, J.C.. "Sobretensões Ressonantes: Fundamentos, Falhas e Monitoramento Contínuo de Transformadores de Alta Tensão". Dissertação de Mestrado apresentado a USP, 1989.
8. MENDES, J.C. "Redução de Falhas em Grandes Transformadores de Alta Tensão". Tese de Doutorado apresentado à USP, 1995.
9. I.E.E.E., "Guide for Failure Investigation, Documentation, and Analysis for Power Transformers and Shunt Reactors", 1991.
10. I.E.E.E., "Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus – Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors", 1995.