

**GRUPO VIII
SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS (GSE)**

MONITORAMENTO DE SUBESTAÇÕES - A EXPERIÊNCIA CESP

Antônio Carlos T. Diogo (*) Manabu Asano

Gervásio L. de Castro Arnaldo G. Kanashiro

Luiz Eduardo F. Lemos
CESP

IEE-USP

RESUMO

Este trabalho apresenta o Sistema de Monitoramento ora em desenvolvimento na CESP - Companhia Energética de São Paulo em parceria com o IEE-USP – Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, que tem como objetivo desenvolver e implantar um sistema que monitora parâmetros de equipamentos de subestações em tempo real, propiciando a informação rápida e segura para a engenharia de manutenção da empresa das condições operativas e de degradação dos equipamentos, principalmente os transformadores e disjuntores, possibilitando a tomada de decisões adequadas e programadas para uma possível intervenção de manutenção, que por sua vez será executada num patamar de custo bem inferior ao atual.

PALAVRAS - CHAVE

Sistema de Monitoramento – Subestações – Disjuntor - Transformador - Manutenção Preditiva.

1.0 - INTRODUÇÃO

A grande expansão do sistema elétrico da CESP ocorreu no final da década de 60 e no decorrer da década de 70, estando atualmente grande parte de seus equipamentos na fase final de sua vida útil. Esse projeto portanto nasceu da necessidade de se aplicar técnicas adequadas que permitam o prolongamento da vida útil operativa desses equipamentos, bem como também implantar em todos eles uma sistemática de manutenção de caráter preditivo, que além de permitir redução nos seus custos de manutenção, deverá também minimizar a possibilidade de ocorrências que provoquem desligamentos intempestivos, aumentando assim a confiabilidade do sistema. Portanto,

conhecendo-se e acompanhando-se com detalhes o estado e as condições de funcionamento de um equipamento, este poderá ser utilizado até o seu final de vida útil com toda a segurança para o sistema.

Os resultados do monitoramento de equipamentos de subestações também permitirão o desenvolvimento de especificações técnicas mais otimizadas, para aquisição ou reparo de equipamentos, eliminando-se as exigências de superdimensionamento e redundâncias.

A CESP já tinha acumulado ao longo dos anos uma grande quantidade de dados de equipamentos que permitiam trilhar o caminho da manutenção preditiva, porém necessitava de um parceiro para ajudar a desenvolver o sistema e colocar em operação um protótipo. Com o IEE-USP iniciou-se a pesquisa, com o objetivo de catalogar, conceituar, desenvolver e implantar um protótipo de sistema de monitoramento dentro das mais modernas tecnologias disponíveis no mercado. Também fará parte do projeto um sistema inteligente de diagnóstico que informará a área de manutenção o momento ideal da realização da manutenção do equipamento.

O sistema de monitoramento, objeto deste trabalho, foi desenvolvido no âmbito multidisciplinar do Convênio entre as concessionárias de energia do estado de São Paulo - CESP, CPFL e ELETROPAULO (hoje representada pela EPTE) - e o IEE-USP, com a participação de vários fabricantes além de empresas de desenvolvimento de sistemas. A participação de diversas concessionárias proporcionou a diminuição do custo do investimento, além de consistir em fórum para discussão de assuntos relativos a equipamentos e sua manutenção.

2.0 - HISTÓRICO

Em 1989, por solicitação do GCOI – Grupo Coordenador para a Operação Interligada (até então o operador do sistema interligado) foi realizada uma pesquisa pelas grandes empresas concessionárias do setor elétrico, que gerou um relatório denominado “Diagnóstico das Instalações do Sistema Elétrico Brasileiro” (1), onde foram analisadas as condições dos equipamentos e instalações quanto ao desempenho e expectativa de vida útil.

Naquela época, as grandes conclusões obtidas foram:

- O sistema apresentava sinais de envelhecimento de maneira homogênea, pois a implantação das instalações deu-se praticamente ao mesmo tempo.
- O ponto crítico seria atingido na virada do século, quando se correria o risco de “sucateamento” do sistema, se as atividades de “rejuvenescimento” dos equipamentos e instalações não fossem implementadas.
- Seriam necessários para tal, investimentos da ordem de US\$ 100 milhões por ano ao longo da década de 90 para contornar esse problema.

O sistema da CESP também não estava diferente daquela realidade, pois no início da década de 90 estávamos presenciando o limiar do processo de envelhecimento. Atualmente o sistema de transmissão da CESP é composto por 255 transformadores de potência com idade média de 23,5 anos e 865 disjuntores com idade média de 24,1 anos, conforme pode ser observado nas Figuras 1 e 2.

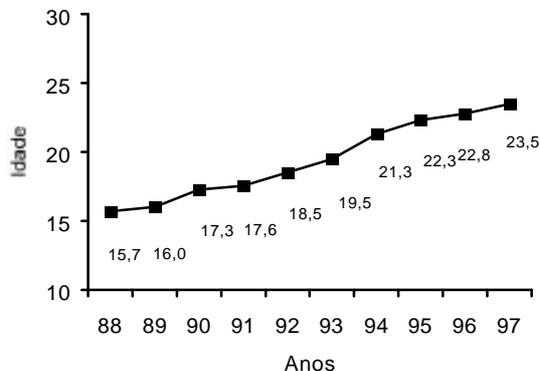


FIGURA 1 - IDADE MÉDIA DOS TRAFOS

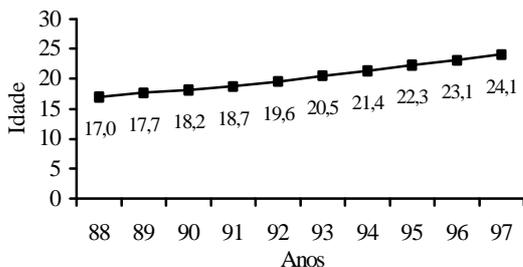


FIGURA 2 - IDADE MÉDIA DOS DISJUNTORES

Poucos investimentos foram feitos no sentido de rejuvenescer o parque de equipamentos, com o intuito de aumentar a vida útil dos mesmos, devido a grande dificuldade de se obter os recursos necessários, agravando deste modo as condições apontadas há 10 anos.

Contudo, ainda foi possível nesses últimos anos garantir uma boa qualidade de manutenção em função da implementação de novas técnicas de manutenção, destacando-se por exemplo o processo de desenvolvimento/nacionalização de componentes mais problemáticos dos principais disjuntores e sua substituição preventiva, bem como o desenvolvimento de técnica preditiva de controle do processo de envelhecimento da parte ativa dos transformadores pela cromatografia líquida de alto desempenho do óleo isolante (teor furfural). Isso tudo, aliado à atual estagnação do crescimento do mercado energético, motivou a redução da carga de mão de obra dos serviços de manutenção para esses equipamentos, especialmente no que tange aos disjuntores, conforme pode ser observado na Figura 3.

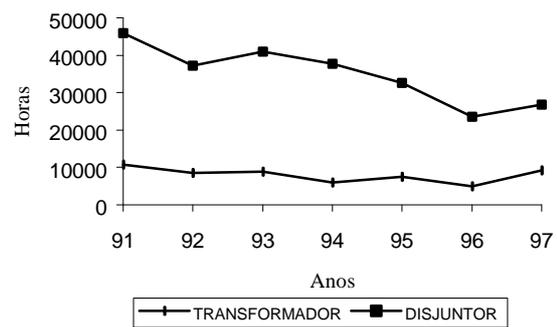


FIGURA 3 - TEMPO GASTO COM MANUTENÇÃO

Essa situação, no entanto, não vai perdurar por muito tempo, pois certamente tão logo aumente a demanda do mercado, teremos uma tendência inversa. É dentro desse cenário que o monitoramento desempenhará um papel importante e essencial, para aumentar a disponibilidade dos equipamentos para o sistema com conseqüente diminuição dos custos de manutenção, através da aplicação dos recursos de mão de obra no momento certo.

3.0 - APLICAÇÃO DO MONITORAMENTO

3.1 Grandezas Monitoradas

A princípio, foram escolhidos para teste do protótipo do sistema de monitoramento, um transformador de potência de 138-13,8kV, 12,5MVA e um disjuntor com comando monopolar (6 câmaras por polo) a ar comprimido de 440kV, In = 3000A e Pot.c.c.

= 25000MVA, ambos em operação na subestação de Cabreúva da CESP. As grandezas que estão sendo monitoradas são:

no transformador: correntes e tensões de fase na AT, temperatura, concentração de gases combustíveis dissolvidos no óleo, posição do “tap” do comutador, diferença de temperatura entre os tanques do comutador e transformador, correntes do motor do comutador, operação dos ventiladores, registros dos instantes de acionamento do motor do comutador e nível de óleo do transformador.

no disjuntor: oscilografia das correntes de fase, bobinas de abertura e fechamento, pressão do ar comprimido dos polos, pressão do sistema de alimentação de ar comprimido, correntes do motor do disjuntor ou do sistema de acionamento, registro dos instantes de abertura e fechamento do disjuntor. São medidas, ainda, as seguintes grandezas analógicas: pressão do ar comprimido e temperatura ambiente.

As grandezas acima foram escolhidas tendo em mente a importância dos parâmetros, a disponibilidade e o custo dos sensores no mercado.

3.2 Definição Básica do Sistema

Para aquisição dos sinais são utilizados sensores instalados nos equipamentos das subestações e, em alguns casos, subsistemas de monitoramento de determinadas grandezas ou funções já disponíveis no mercado. Junto aos equipamentos, é instalada a unidade de aquisição de dados (UAD), destinada a gerenciar a aquisição de sinais e transmitir as informações a um microcomputador localizado na subestação (2) (3).

As grandezas são medidas continuamente pela UAD, sendo adquiridas em intervalos programados, ou então na ocorrência de eventos. Estas informações são transmitidas para o computador da subestação onde são armazenadas num banco de dados. As informações dos subsistemas de monitoramento também são enviadas diretamente, ou via UAD, para o banco de dados do computador da subestação.

O microcomputador arquiva a série histórica das grandezas aquisitadas no banco de dados, possibilitando análises do comportamento dos equipamentos monitorados. Os dados armazenados no computador da subestação são então enviados ao computador central do sistema. No escritório central são coletadas as informações de todas as subestações monitoradas, o que possibilita a imediata obtenção das principais informações dos equipamentos monitorados de cada subestação que integra o sistema.

A comunicação entre os computadores é feita por linha telefônica discada, propiciando a qualquer

momento a conexão do PC do escritório central ao PC de uma determinada subestação, para análise de seus equipamentos.

A análise das grandezas arquivadas no banco de dados torna possível determinar o estado de funcionamento do equipamento e orientar a equipe para efetuar a manutenção do mesmo, possibilitando as seguintes vantagens:

- Diminuir a duração das intervenções;
- Aumentar o espaçamento entre intervenções;
- Prolongar a vida útil;
- Detetar a possível falha ou defeito prematuramente.

3.3 Detalhes da Instalação

A seguir está apresentada uma sequência de figuras, mostrando os detalhes de instalação dos sensores utilizados, subsistemas de monitoramento e UAD utilizados na Subestação de Cabreúva da CESP.



FIGURA 4 – VISTA DO TRANSFORMADOR



FIGURA 5– SUBSISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA



FIGURA 6 – VISTA DO DISJUNTOR



FIGURA 7 - UNIDADE DE AQUISIÇÃO DE DADOS

3.4 Problemas Encontrados na Instalação

Durante a instalação dos sensores e demais componentes do sistema de monitoramento nos equipamentos escolhidos da Subestação Cabreúva, foram encontradas certas dificuldades que devem ser eliminadas numa futura instalação, tais como:

- Na instalação do sensor de medição de gases combustíveis dissolvidos no óleo, foi utilizado um dispositivo prolongador tubular para permitir que o sensor fosse instalado sem inviabilizar o acesso ao registro superior do tanque do transformador. Isso provocou uma perda na qualidade dos valores medidos, muito provavelmente em função de se ter criado uma região de confinamento do óleo dentro desse dispositivo. Nas próximas instalações o aparelho deverá ser instalado diretamente no registro, e nas compras futuras de transformadores deverá ser previsto ponto específico para conexão do aparelho junto ao radiador.
- Deve-se tomar extremo cuidado no momento de lançar os cabos de fibra ótica entre a UAD e o computador da subestação de forma a não danificá-los.

4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Curvas Históricas

No banco de dados estão arquivadas as séries históricas das grandezas detetadas pelo sistema de monitoramento, instalado na Subestação Cabreúva da

CESP. Exemplificando, abaixo estão mostradas algumas curvas históricas.

4.1.1 Monitoramento do Transformador

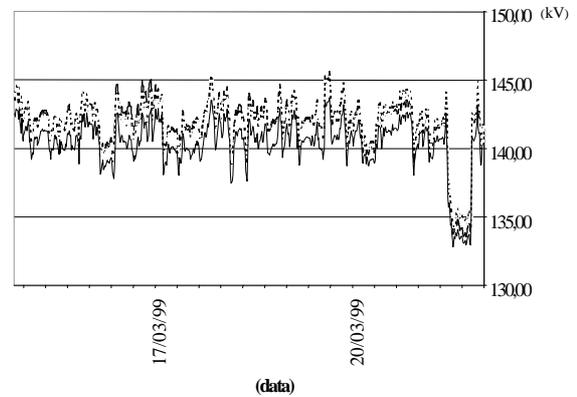


FIGURA 8 – TENSÃO TRIFÁSICA DO TRANSFORMADOR

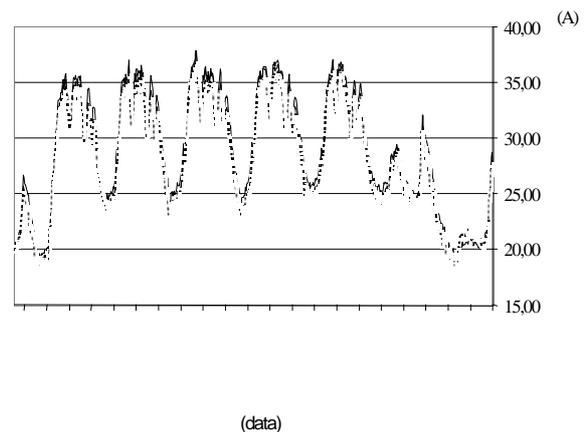


FIGURA 9 – CORRENTE TRIFÁSICA DO TRANSFORMADOR

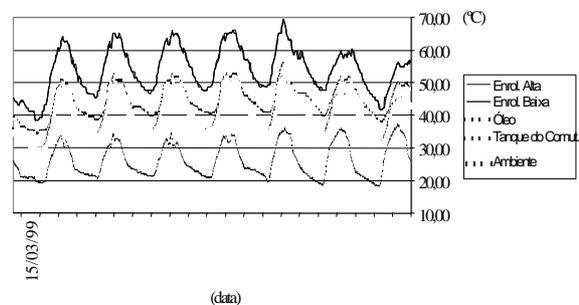


FIGURA 10 – TEMPERATURAS DO TRAFÓ

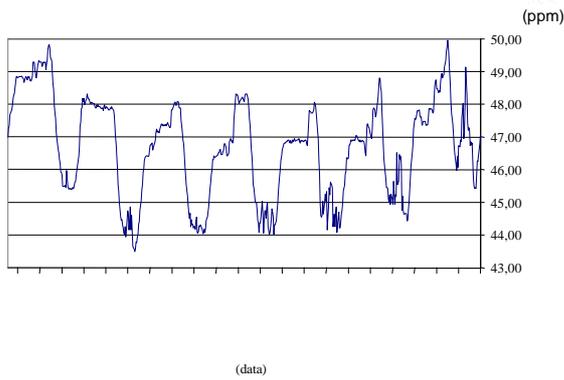


FIGURA 11 – GASES DISSOLVIDOS NO ÓLEO

4.1.2 Monitoramento de Disjuntor

As grandezas analógicas do disjuntor são aquisitadas e apresentadas da mesma forma que as grandezas analógicas do transformador. Idem para a grandeza oscilografada da corrente do motor do disjuntor que é similar a corrente do motor do comutador.

A grande diferença está nas grandezas de oscilografia rápida, que são: as correntes de fase de abertura ou fechamento, pressões nos pólos e percursos do contato principal. A seguir são mostradas algumas oscilografias deste tipo de grandeza para o disjuntor de Cabreúva.

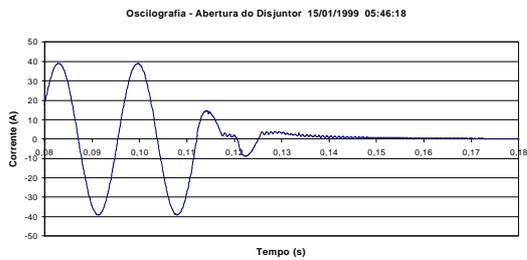


FIGURA 12 – ABERTURA DA CORRENTE DE FASE DE UM POLO

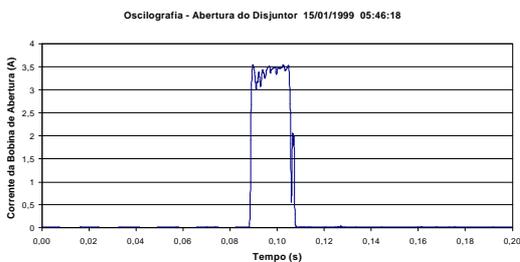


FIGURA 13 – I DA BOBINA DE ABERTURA

4.2 Geração de Curvas de Tendência do Transformador Monitorado

A partir das curvas históricas armazenadas no banco de dados da subestação, pode-se levantar curvas de tendência das grandezas medidas do transformador monitorado. A apresentação das curvas de tendência considera a curva principal, referente a grandeza a ser estudada, e curvas auxiliares, referente as grandezas acessórias sincronizadas no mesmo eixo de tempo.

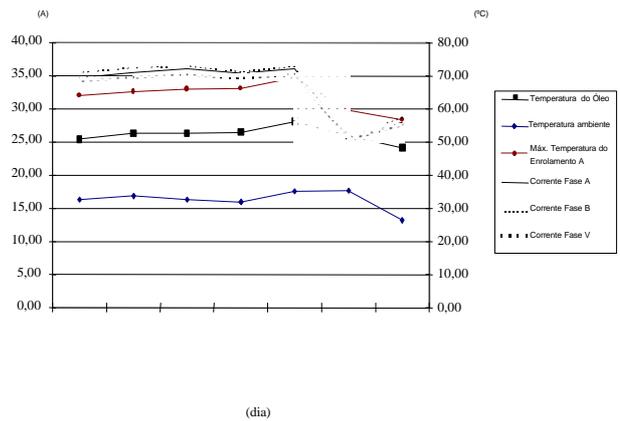


FIGURA 14 – TEMPERATURA DO ENROLAMENTO

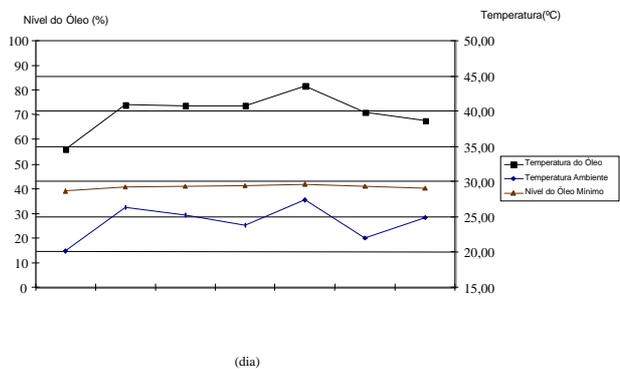


FIGURA 15 – NÍVEL DE ÓLEO MÍNIMO EM FUNÇÃO DAS TEMPERATURAS DO ÓLEO E AMBIENTE

5.0 APLICAÇÃO DE SISTEMA ESPECIALISTA

Estão em desenvolvimento os sistemas especialistas para diagnóstico de transformadores e disjuntores.

5.1 Diagnóstico Aplicado a Transformador

Cada uma das grandezas aquiritadas de transformador serão analisadas por programas especialistas, de forma que a partir dos dados aquiritados, seja prevista a evolução de cada grandeza, juntamente com a análise do comportamento das demais grandezas medidas. Algumas das análises em desenvolvimento são as seguintes:

- Evolução do total de gases combustíveis em função do carregamento e temperaturas do óleo e enrolamentos;
- Nível de óleo em função do carregamento e temperatura do óleo;
- Variação da forma de onda de corrente do motor do comutador;
- Evolução do diferencial de temperatura entre os tanques do comutador e transformador;
- Detecção de ventiladores fora de operação;
- Perda de vida do isolamento do transformador.

5.2 Diagnóstico Aplicado a Disjuntor

Para o disjuntor serão desenvolvidos dois tipos de sistemas de diagnósticos:

- Diagnóstico das grandezas analógicas e digitais
- Diagnóstico das grandezas oscilografadas.

5.2.1 Diagnóstico das Grandezas Analógicas e Digitais

- Evolução da pressão ou densidade dos gases;
- Evolução na variação da pressão do sistema de ar comprimido;
- Evolução dos tempos de fechamento e abertura, através das medições de posição de contatos auxiliares.

5.2.2 Diagnóstico de Grandezas Oscilografadas

- Análise dos tempos de fechamento ou abertura dos disjuntores através da oscilografia das correntes de fases, correntes das bobinas de fechamento ou abertura e percurso dos contatos principais;
- Análise da forma de onda das correntes de fase de fechamento ou abertura dos disjuntores, detetando falhas no sistema de interrupção;
- Evolução das formas de onda das correntes das bobinas de fechamento ou abertura dos disjuntores;

- Evolução da forma de onda da corrente do motor do disjuntor;
- Evolução na discordância de tempo de abertura e fechamento dos contatos principais.

6.0 - CONCLUSÕES

- O projeto de monitoramento de equipamentos abre uma perspectiva toda especial no que diz respeito a otimização dos procedimentos de manutenção de subestações. Através dos dados aquiritados em tempo real, certamente serão estabelecidas novas tendências, as quais conduzirão a um balanço custo/benefício mais enquadrado com as necessidades do sistema de potência, em função da economia que se conseguirá atuando no equipamento somente nos momentos necessários, bem como prolongando sua vida útil através da análise preditiva de seu desempenho.
- Este projeto piloto inicia um ciclo, que se aperfeiçoará no decorrer do tempo, a medida que novas grandezas forem sendo aquiritadas no sistema de monitoramento, estabelecendo um banco de dados cada vez mais abrangente, que indicará com eficácia crescente a “performance” dos equipamentos em operação, objetivando um controle final mais qualificado, com o menor custo possível e maior confiabilidade.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

(1) DIAGNÓSTICO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO, SCM - Subcomitê de Manutenção do GCOI, 1989.

(2) ELETRICIDADE MODERNA – Ano XXVI, nº 292, Julho de 1998, páginas 196 até 203.

(3) INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA DA USP, IEE em Revista – Ano IV, nº 3, 1998.