



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GSE 08  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO VIII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS**

#### **EXPERIÊNCIA DE FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A COM A UTILIZAÇÃO PRÁTICA DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO PARA EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO PARA USINAS E SUBESTAÇÕES**

**Orlando J. Michel da Motta \***

**Ronaldo Nahar Neder**

**Jorge Kotlarewski**

**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

## **RESUMO**

Falhas em equipamentos elétricos de subestações e usinas hidrelétricas representam um grande problema para as concessionárias de energia elétrica por indisponibilizar temporariamente parte de sua rede básica, muitas vezes, gerando perdas de receita e/ou multas significativas. Sistemas de monitoramento representam uma das tentativas de FURNAS de mitigar tais riscos, aumentando a disponibilidade e otimizando procedimentos de manutenção dos principais equipamentos de suas subestações/usinas. Por meio de estudos de viabilidade técnica foi concebida uma solução pioneira e inovadora para a aquisição, análise e distribuição dos dados monitorados utilizando-se a ferramenta de comunicação mais popular no mundo atual: a internet. Como análise dos dados, foi proposto o desenvolvimento de um módulo exclusivo - diagnóstico e prognóstico - módulo esse responsável pela execução de regras, modelos matemáticos e equações visando a detecção de falhas e tendências dos equipamentos em tempo real.

No ano de 2000, Furnas instalou o primeiro sistema de monitoramento para banco de transformadores e a partir dessa data uma série de outros sistemas continuaram a ser instalados. Hoje, 7 anos após à instalação do primeiro sistema, os mesmos estão sendo re-avaliados, levando-se em consideração os seguintes aspectos:

- Inovação tecnológica;
- Funcionalidades;
- Benefícios;
- Situação atual dos sistemas instalados;
- Tendência futura;
- Robustez do sistema;
- Padronização das interfaces e protocolos de comunicação.

Uma vez obtidos tais dados a empresa poderá reformular suas especificações e priorizar a aquisição desses sistemas de acordo com a criticidade do equipamento e/ou empreendimento.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Monitoramento, Funcionalidades, Custo-benefício, Padronização, Robustez

## 1.0 - INTRODUÇÃO

Os equipamentos elétricos de um sistema de potência devem ser especificados para permanecer em serviço por um período de tempo que seja suficiente para compensar os custos de sua aquisição e instalação.

Historicamente as manutenções dos equipamentos sempre foram efetuadas periodicamente, onde o intervalo de tempo obedecido era aquele recomendado pelo fabricante e/ou experiência própria da concessionária (manutenção preventiva). A exceção a essa regra seria alguma falha grave no equipamento (com ou sem detecção) que era responsável por indisponibilizar o mesmo.

No ano de 1998, como consequência das alterações nas leis de mercado do setor elétrico e o estabelecimento de multas por indisponibilidades de sistemas/equipamentos, FURNAS iniciou uma série de levantamentos a respeito de falhas de equipamentos em função do tempo de instalação visando tomar medidas preventivas para diminuir indisponibilidades do sistema.

A partir de estudos e reuniões chegou-se à conclusão que a implantação de chaveamento para unidade reserva (trafo), painéis de plugue e sistemas de monitoramento para equipamentos de alta tensão poderiam oferecer maior disponibilidade da rede básica de FURNAS reduzindo as penalidades. Como se tratava de uma idéia pioneira no mundo, tais sistemas praticamente começaram a ser desenvolvidos pelos principais fabricantes de equipamentos, simultaneamente aos respectivos fornecimentos.

Especificações de equipamentos foram modificadas, estudos de viabilidade foram efetuados e, a partir daí, procedeu-se à aquisição e instalação dos novos sistemas. Inicialmente foram instaladas versões preliminares que não contemplavam todas as funcionalidades especificadas porém a adequação/atualização desses sistemas se mostrou muito mais complexa do que era esperado: prazos não foram cumpridos, o suporte aos sistemas instalados não foi satisfatório, tendo como consequência a inoperabilidade do mesmo em várias localidades, a exclusão temporária do item monitoramento das especificações técnicas de equipamentos e o descrédito dos mesmos por parte dos órgãos de manutenção de equipamentos.

Há cerca de 1 ano, diversos fabricantes vêm tentando acelerar o processo de atualização dos sistemas. Paralelo a isso, Furnas está fazendo um grande esforço no sentido de tornar operacionais todos os sistemas já adquiridos e proceder a um estudo rigoroso em relação ao binômio "real necessidade" e "criticidade operacional" para futuras aquisições de novos sistemas.

## 2.0- DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Desde o início dos estudos de viabilização do monitoramento para os equipamentos elétricos das subestações/usinas de Furnas, a idéia central deveria ser a utilização de um browser padrão para a navegação pela internet como uma forma de padronizar o acesso aos sistemas de diversos fabricantes e que o mesmo pudesse ser acessado por qualquer usuário autorizado e conectado a rede intranet de Furnas, reduzindo assim, a quantidade de interfaces homem-máquina que seriam instaladas caso se optasse pela solução convencional. Os dados monitorados são lidos através de sensores instalados no próprio "corpo" do equipamento e repassados ao PLC de aquisição (geralmente, localizado no painel local do equipamento). Do PLC, esses dados são transmitidos ao servidor de monitoramento (sala de controle/casa de relés) através de uma rede óptica. Esse servidor é responsável pela montagem das páginas WEB que podem ser facilmente acessadas de qualquer ponto da empresa através da rede intranet. Como dispositivo de segurança e controle de acesso ao sistema foi previsto um fire-wall dedicado que controla usuários através de um filtro de IP, conforme mostrado na figura 1.

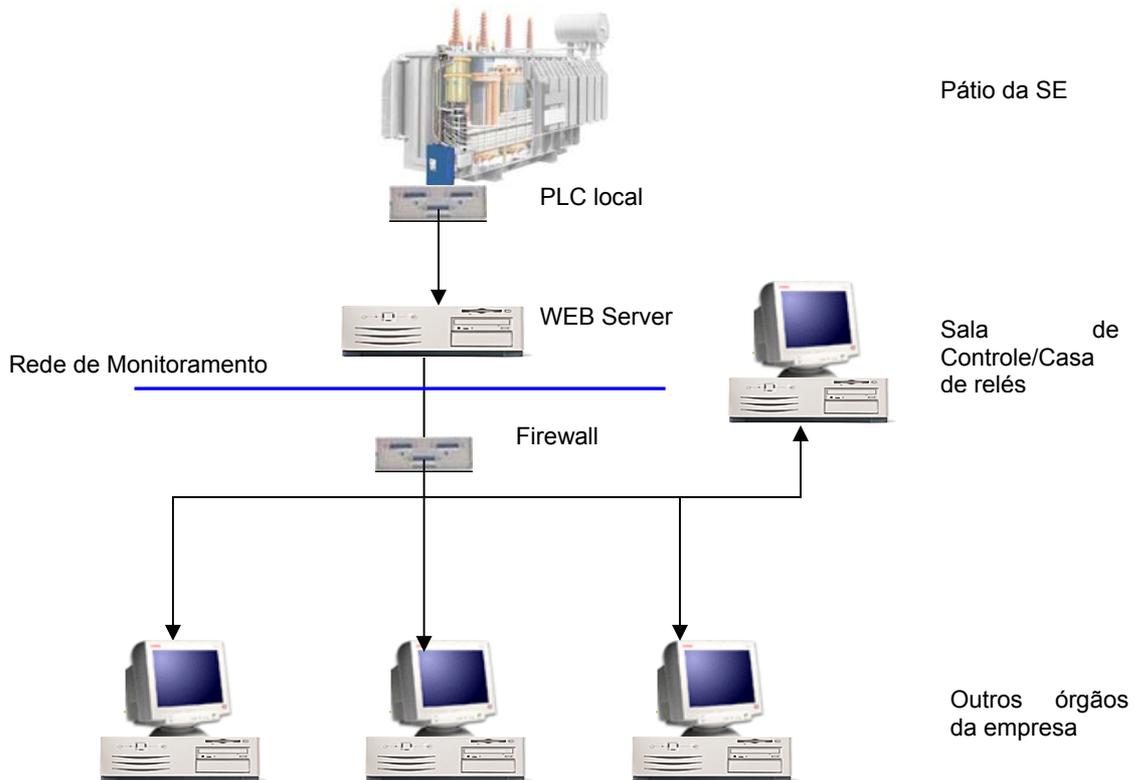


Figura 1: Arquitetura do Sistema

Como pode ser deduzido a partir da figura 1, vários servidores de monitoramento (fabricantes diferentes) podem estar conectados a rede de monitoramento.

Basicamente, o sistema de monitoramento é dividido nos seguintes sub-sistemas:

- Aquisição de dados: sensores;
- Tratamento de dados: diagnósticos e prognósticos;
- Transmissão dos dados: intranet;
- Visualização dos dados: páginas WEB.

### 3.0- INOVAÇÃO TECNOLÓGICA X FUNCIONALIDADES

Apresentado inicialmente pelos fabricantes de equipamentos como um sistema computacional isolado e fechado com acesso somente local (limites da subestação ou usina), várias alternativas foram estudadas objetivando-se conseguir uma solução mais aberta e com a possibilidade de difusão dos dados adquiridos por todos os engenheiros da empresa através da rede corporativa. Destes estudos resultou a idéia da utilização da tecnologia WEB onde os dados do equipamento monitorados podem ser acessados de qualquer local da empresa através da rede intranet.

Uma vez solucionado o problema de acesso ao sistema, sua funcionalidade foi exaustivamente discutida: ao invés de funcionar somente como um sistema de supervisão de um conjunto de grandezas/estados do equipamento monitorado, o sistema de monitoramento deveria ser responsável pela manipulação dos dados adquiridos de modo a permitir a exteriorização de diagnósticos (condição atual do equipamento) e prognósticos (tendência de funcionamento do equipamento levando-se em consideração a evolução do seu funcionamento).

A partir desse ponto, FURNAS e os fabricantes enfrentaram um outro problema: a definição dos modelos e equações que deveriam ser processados internamente ao sistema de modo a ser realizada esta facilidade. Para cada tipo de equipamento foi elaborado um conjunto de fluxogramas que foram utilizados para gerar os modelos e equações utilizados para o processamento dos diagnósticos/prognósticos do funcionamento do equipamento

monitorado. Todo esse processo foi extremamente trabalhoso o que implicou em atrasos e prazos de fornecimento estendidos. Somente em 2005, após a aprovação final da documentação relacionada ao módulo diagnóstico/prognóstico para banco de transformadores, os fabricantes começaram a submeter os resultados de seus respectivos desenvolvimentos para serem testados por FURNAS.

Vale a pena ressaltar que alguns fabricantes ainda não finalizaram o desenvolvimento desse módulo para seccionadores, disjuntores e banco de reatores.

#### 4.0- BENEFÍCIOS ESPERADOS X BENEFÍCIOS ALCANÇADOS

Uma vez operando dentro de sua total funcionalidade, foi iniciada uma avaliação real dos sistemas em termos de custo-benefício. A tabela 1 apresenta a quantidade de sistemas, por subestação/usina, que foram adquiridos/instalados nos novos empreendimentos/ampliações de FURNAS (dos principais fabricantes do mercado).

Tabela 1: Sistemas Instalados por Fabricante

Equipamento	Areva	Siemens	ABB	Toshiba	Vatech	GE Inepar	Camargo Correa	Altus	Treetech
Banco de Auto-Transformadores	8 2R * <sub>1</sub>	2	4 * <sub>2</sub>	2 * <sub>3</sub>	0	2	-	-	2 * <sub>4</sub>
Banco de Capacitores Série	-	2	-	-	2 * <sub>5</sub>	2	-	-	-
Compensadores Estáticos	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Banco de Reatores	2	1	-	-	-	-	-	-	-
Disjuntores	7	3	1	-	10	-	-	-	-
Seccionadores	2	3	4	-	9	-	2	1 * <sub>7</sub>	1 * <sub>8</sub>

\*<sub>1</sub> – R : Sistemas de Monitoramento para os bancos existentes;

\*<sub>2</sub> - Subcontratado Vatech (para 1 banco);

\*<sub>3</sub> – Subcontratado Vatech(2 bancos);

\*<sub>4</sub> - Subcontratado Vatech (2 bancos);

\*<sub>5</sub> - Subcontratado Siemens (2 bancos);

\*<sub>7</sub> - Subcontratado Alstom;

\*<sub>8</sub> – Subcontratado ABB (1).

À exceção do sistema de monitoramento para bancos de capacitores série, todos os outros foram instalados em uma versão intermediária onde ainda não estava incluído o módulo de diagnósticos/prognósticos. A proposta apresentada foi a instalação do sistema e uma posterior atualização. Simultaneamente à instalação, partiu-se para a definição de todas as regras e equações que deveriam ser utilizadas para a elaboração dos diagnósticos e prognósticos. Após um período de aproximadamente 1 ano, a maioria dos fabricantes possuía o documento com todas as definições porém ainda restava o desenvolvimento. Paralelamente Furnas se deparou com um problema de suporte dos fabricantes pois diversos sistemas começaram a apresentar problemas de hardware/software comprometendo o seu funcionamento.

Considerando que a função principal do sistema de monitoramento é de transformar manutenções preventivas em manutenções preditivas com o conseqüente aumento da disponibilidade dos equipamentos elétricos e geração indireta de receita para a empresa, pode-se, com certeza afirmar que nesse 7 anos de funcionamento tal sistema não tem cumprido com esse objetivo. Na realidade houve algumas ocorrências/anormalidades em alguns equipamentos monitorados que foram detectadas antes da ocorrência da falha no equipamento mas, devido ao funcionamento intermitente desses sistemas ainda não foi possível a coleta de dados que pudessem auxiliar o agendamento dos serviços de manutenções. A tabela 2 apresenta os equipamentos para os quais o sistema de monitoramento foi efetivo na detecção de falhas e/ou anormalidades.

Tabela 2: Acorrências e Anormalidades Detectadas pelo Sistema de Monitoramento

Equipamento	Fabricante	Subestação
Banco de Transformadores	Siemens	SE São José
Banco de Transformadores	ABB	SE Angra dos Reis
Banco de Transformadores	Vatech (sistema ABB)	SE São José
Banco de Transformadores	Siemens	SE Vitória

Como pode-se observar, a escassez de dados significativos serve para confirmar que até o presente momento, no período de desenvolvimento, houve um retorno operacional muito pequeno quando confrontado com todo investimento efetuado. Neste período os sistemas de monitoramento ainda não atingiram a finalidade para a qual eles foram projetados. Espera-se, com um esforço conjunto FURNAS-Fabricantes, que nos próximos anos serão obtidos resultados mais significativos.

#### 5.0- SITUAÇÃO ATUAL X TENDÊNCIA FUTURA

A partir dos resultados dos estudos de viabilidade, FURNAS passou a incluir sistemas de monitoramento nas especificações técnicas de todos os equipamentos adquiridos para os novos empreendimentos/modernizações/ampliações. Como acontece com todo e qualquer novo sistema computacional, a sua utilização envolvia uma mudança nos padrões de trabalho: os usuários deveriam sentir curiosidade/necessidade para essa utilização (que deve se mostrar confiável), assim, um grande processo de adaptação foi iniciado dentro da empresa.

Observando-se o andamento dos fornecimentos e os resultados práticos, chegou-se à conclusão que seria conveniente que o item monitoramento fosse previamente re-discutido antes de ser incluído nos editais. Dessa maneira, somente equipamentos considerados críticos (principalmente banco de transformadores) foram especificados e comprados com esses sistemas.

Enquanto isso, FURNAS praticava a aceitação final dos sistemas para, a partir daí, prosseguir a uma avaliação mais criteriosa dos mesmos. O grande diferencial em todo esse longo processo foi a opinião dos usuários finais (equipes de operação e manutenções eletro-eletrônica/eletro-mecânica): como os sistemas apresentaram muitas falhas e se mostraram pouco confiáveis funcionalmente, diversos usuários começaram a mostrar uma certa relutância na sua utilização e desconfiança em relação aos dados por eles apresentados.

Mesmo depois da aprovação do módulo mais crítico do sistema (diagnóstico/prognóstico), a atualização dos sistemas não se mostrou tão simples como era esperado. A tabela 3 apresenta a situação atual dos sistemas de monitoramento (por fabricante): 7 anos após a aquisição do primeiro sistema de monitoramento e 2 anos após a consolidação das regras/modelos para o módulo diagnósticos/prognósticos.

Tabela 3: Situações (desenvolvimento/funcionamento) dos Sistemas por Fabricante

Equipamento	Transformador			Capacitor Série			Reator			Disjuntor			Seccionador		
	Inic	Atual		Inic	Atual		Inic	Atual		Inic	Atual		Inic	Atual	
ABB	4	3	1										1 * <sub>3</sub>	0	1
Areva	8 + 2R * <sub>4</sub>	3 + 1R	5 + 1R				2	1	1	7	4	3	2	1	1
ALSTOM (Altus)													1	0	1
Camargo Correa													1	0	1
GE/Inepar				2	2	0									
Siemens	2	1	1	4	2	2	1	0	1	3	1	2	1	0	1
Toshiba	2	1	1												
Treetech	2	1	1										1	0	1
Vatech (Siemens)	* <sub>1</sub>	* <sub>1</sub>	* <sub>1</sub>	* <sub>2</sub>	* <sub>2</sub>	* <sub>2</sub>				10	5	5	9	5	4

\*<sub>1</sub> – Subcontratados ABB (1), Toshiba (2), Treetech (2);

\*<sub>2</sub> – Subcontratado Siemens (2);

\*<sub>3</sub> – Subcontratado Treetech (1);

\*<sub>4</sub> – R : Sistemas de Monitoramento que foram comprados para os bancos existentes;

– Sistema Funcionando e Módulo Diagnóstico/Prognóstico não aprovado por Furnas;

– Sistema Funcionando e Módulo Diagnóstico/Prognóstico aprovado/desenvolvido;

– Sistema de monitoramento “off-line”.

Atualmente, devido a todos os problemas apresentados por esses sistemas, Furnas optou pela não-aquisição temporária de todo e qualquer sistema de monitoramento para os fornecimentos atuais porém, os equipamentos estão sendo adquiridos com todos os sensores responsáveis pela detecção das grandezas/estados que poderão ser utilizados em uma instalação futura desses sistemas: a instalação dos sensores, em geral, é delicada e envolve desligamentos. Após a aprovação do software de monitoramento para a maior parte dos equipamentos/fabricantes, FURNAS aguarda a instalação/suporte de todos os sistemas de acordo com um cronograma de 1 ano.

A tabela 4 apresenta o custo percentual aproximado de cada sistema por equipamento de acordo com os últimos fornecimentos dentro da empresa.

Tabela 4: Valor Percentual do Sistema por Equipamento (em Relação do Equipamento)

Equipamento	Valor Percentual do Monitoramento
Transformador	3 a 5%
Capacitor Série	3 a 5%
Reator	5%
Disjuntor	3 a 5%
Seccionador	3 a 5%

## 6.0- CONCLUSÃO

A função diretiva e básica do sistema de monitoramento de equipamentos elétricos é a mudança no padrão de manutenção de equipamentos: as manutenções preventivas deveriam ser transformadas em manutenções preditivas, gerando maior confiabilidade ao sistema elétrico e maior receita uma vez que os períodos de manutenção seriam otimizados e possíveis desligamentos não-programados (geradores de multas) seriam mitigados.

Após esses 7 anos iniciais o que se obteve de concreto foi algumas ocorrências pontuais, principalmente em relação a banco de transformadores, que foram detectadas pelo sistema de monitoramento antes da ocorrência de falha no equipamento. Pode-se afirmar certamente que esses resultados são muito pequenos quando comparados com o montante de recursos (humanos e financeiros) empregados em tal sistema. Atualmente Furnas

está empregando um grande esforço para consolidar a instalação e finalização de todos os sistemas adquiridos visando melhorar os ganhos associados ao sistema. Após um grande período de espera os usuários finais de manutenção estão exitantes em relação a real necessidade desse sistema e aguarda-se a consolidação dessa nova tecnologia para voltar a investir nessa idéia.

No sentido de aprimorar os resultados, foram detectados os seguintes pontos que devem receber uma atenção especial (de Furnas e de todos os fornecedores desses sistemas) visando reverter essa situação:

- a- Conclusão final do sistema: os fabricantes devem finalizar seus sistemas de maneira que os mesmos funcionem integralmente;
- b- Conclusão e teste final do módulo diagnóstico/prognóstico: Furnas deverá empregar um último esforço no sentido de concluir esse módulo definitivamente;
- c- Robustez do hardware: os fabricantes devem empregar um maior esforço no sentido de tornar o hardware utilizado pelo sistema (servidor, firewall e componentes) mais robusto e resistente pois os servidores de monitoramento têm apresentado problemas frequentes em seu componentes internos (disco rígido);
- d- Sensores: alguns sensores utilizados estão apresentando problemas frequentes que impossibilitam o monitoramento das grandezas por eles supervisionadas (principalmente em relação a monitoramento de disjuntores);
- e- Padronização de interfaces: atualmente Furnas começa a pensar na possibilidade de padronizar interfaces e protocolos de maneira a permitir uma maior intercambiabilidade entre sistemas diferentes.

Após a observação atenta e cuidadosa de todos os itens levantados acima e com o sistema funcionando de maneira regular, Furnas pretende efetuar uma nova avaliação sobre os benefícios de sua utilização de maneira que possam, entre outras coisas:

- ser efetuadas simplificações/ajustes das funcionalidades do mesmo;
- ser definidos critérios para a sua utilização/aquisição em função da criticidade do projeto/instalação.

## **7.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] S.Tenbohlen, T.Stirl, G.Bastos: Experienced-based Evaluation of Economic Benefits of On-line Monitoring Systems for Power Transformers – CIGRE (Paris)

[2] Michel,O;Kotlarewski,J: Arquitetura para a Integração de Sistemas de Monitoramento de Equipamentos de Subestações utilizados por FURNAS – SIMPASE (2000)

[3] Michel,O;Kotlarewsko,J;Neder Ronaldo; Bastos,G;Simão,E: Sistemas de Monitoramento para Equipamentos de Subestações de Energia Elétrica