



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

GGH-04
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO I
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRAULICA - GGH**

**A MONITORAÇÃO E O DIAGNÓSTICO DE HIDROGERADORES:
PROJETO MONITHIDRO**

**Glória Suzana CEPEL
Alain Levy CEPEL
Renato Rocha UERJ**

**Jorge Rebelo
Wilson G. Nascimento
Eletronorte - Tucuruí**

**Pedro Wenilton Duarte
Eletronorte - Amapá**

**Jacques Sanz*
Lídio Nascimento
Wellington Lima
Eletronorte - LACEN**

RESUMO

Apresentam-se os resultados do desenvolvimento de pesquisa na área de monitoração e diagnóstico da condição operacional de hidrogeradores feita pelo CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), em conjunto com a Eletronorte (Centrais Elétricas do Norte do Brasil) e da experiência adquirida da aplicação prática destes resultados em algumas instalações desta empresa.

Primeiramente, são apresentados de forma resumida alguns conceitos importantes no cenário da manutenção moderna com foco em unidades hidrogeradoras, seguida da apresentação das atividades concernentes à pesquisa e ao desenvolvimento entre as duas empresas relativas à área de monitoração de máquinas hidrogeradoras. Finaliza-se com a apresentação do estágio atual do produto dessa pesquisa e de suas aplicações práticas.

PALAVRAS-CHAVE

Hidrogeradores. Manutenção. Monitoração. Diagnóstico. Condição operacional. Oscilações de eixo. Vibrações. Temperatura.

1.0 - INTRODUÇÃO

O novo século será marcado com o uso racional da água, o qual, naturalmente deverá ser compatibilizado com a busca da maior rentabilidade por parte das empresas de geração de eletricidade que procurarão operar com máquinas disponíveis e ajustadas.

Dentre as diversas ferramentas que podem ser usadas com o objetivo de se aumentar a disponibilidade e a otimização operacional do equipamento, a monitoração contínua de grandezas físicas das unidades para

acompanhamento de seu comportamento, tem sido cada vez mais usada pelas empresas geradoras.

Cumprindo seu papel de pesquisar e apontar alternativas tecnologicamente modernas e economicamente viáveis para as empresas do Setor Elétrico Nacional, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, baseado na sua longa experiência na área de dinâmica de máquinas rotativas, vem, há alguns anos, direcionando esforços no sentido de pesquisar metodologias e desenvolver ferramentas apropriadas e economicamente viáveis para o acompanhamento preditivo de unidades hidrogeradoras. Como produto principal desse trabalho destaca-se o Sistema DiaHGer, cuja função é a de prover a monitoração contínua e o diagnóstico da condição operacional dessas máquinas.

Ao longo desse processo, consolidou-se uma relação de parceria com a Eletronorte para a continuação desse desenvolvimento, primeiramente através de instalações piloto desse sistema em algumas de suas unidades geradoras, e na sequência, através de um projeto de P&D ANEEL, para o biênio 2002-2003, e de um projeto P&D institucional para o quadriênio 2003-2006.

2. MOTIVAÇÃO E CONCEITOS

Atualmente, apesar da expansão da geração de origem térmica, principalmente devido à disponibilidade de gás natural para os próximos anos, ainda é a de origem hidráulica a maior responsável pela geração elétrica do país, a qual deverá ser ampliada para consolidar a base da matriz energética. Dessa forma, pode-se afirmar que, a necessidade do aumento de produtividade, somada ao desgaste sofrido pelos hidrogeradores e equipamentos auxiliares instalados, após décadas de operação contínua, justifica o

aprimoramento da metodologia de manutenção deste tipo de equipamento. Ressalta-se ainda como outro fator fundamental, a evolução das tecnologias de instrumentação eletrônica e da ciência da computação, que têm viabilizado economicamente a aplicação de técnicas e sistemas modernos de monitoração da condição de operação de equipamentos mecânicos.

2.1. MANUTENÇÃO - ESTRATÉGIAS

Praticam-se atualmente três estratégias básicas de procedimentos operacionais para a realização da manutenção, de forma que a escolha do tipo de estratégia está intimamente relacionada com as conseqüências da falha do hidrogerador para o sistema elétrico ou de um dos seus componentes para ele próprio. Contudo, de forma independente da estratégia adotada, a intervenção sempre ocorrerá com o equipamento parado. A grande diferença entre as estratégias, é o tempo de operação sugerido até a realização da intervenção e principalmente a extensão do dano que será encontrado, devido a conjunção dos fatores tempo de uso e severidade da condição operacional. Estes dois fatores determinam se a unidade hidrogeradora necessitará de pequenos ajustes ou de uma intervenção mais extensa, que o deixará indisponível por um período de tempo maior.

Das três estratégias comunamente usadas, manutenção corretiva, preventiva ou preditiva, esta última, mais moderna e econômica, para uma máquina da importância e do porte de um hidrogerador, possibilita o acompanhamento contínuo de sua condição, em tempo real ou não, de forma que paradas para manutenção só sejam realizadas em caso de real necessidade. Esta estratégia, por impor a necessidade de instrumentação sofisticada, pode apresentar um custo de implantação relativamente elevado em comparação com as demais. Porém, no caso de hidrogeradores, o retorno do investimento desse tipo de sistema pode ser obtido em curto prazo, basicamente através do aumento de disponibilidade dos equipamentos para produção.

Dessa forma, observa-se uma tendência crescente a nível mundial na adoção desta estratégia, podendo esta ser verificada atualmente, de forma significativa, também no setor de geração elétrica brasileiro.

2.2. A MONITORAÇÃO DA CONDIÇÃO

Conforme mencionado na seção anterior, as técnicas de manutenção preditiva são ferramentas fundamentais para a avaliação do estado do equipamento por meios não invasivos, minimizando assim o custo relacionado ao tempo de indisponibilidade do mesmo.

O ramo específico dentro da manutenção preditiva que trata deste problema é conhecido como "**Monitoração da Condição**", cujos objetivos principais são:

- *Avaliar a condição atual do equipamento por meios não invasivos*, de modo a detectar e localizar possíveis falhas;
- *Estimar o tempo ideal entre intervenções de manutenção preventiva*, reduzindo gastos em manutenção e maximizando, assim, o tempo de disponibilidade global na linha de produção.

Atualmente, várias ferramentas vêm sendo desenvolvidas e empregadas no campo da Monitoração da condição de equipamentos mecânicos rotativos, sendo estas baseadas em análises de

natureza vibratória, térmica, acústica, elétrica e físico-química (óleo lubrificante), ou seja, qualquer grandeza que possa ser medida e que sofra alteração devido à falha que está se desenvolvendo.

Porém, vale ressaltar que estas análises, mesmo quando empregadas em conjunto, podem ser subutilizadas e simplesmente indicar uma alteração de funcionamento de um sistema mecânico, através da detecção de uma mudança na sua resposta.

Entretanto, quando utilizadas de maneira mais eficiente e inteligente, associam esta variação da resposta com a origem do problema, de forma a qualificar as causas e localizar as falhas, podendo até quantificar a extensão das mesmas.

No que diz respeito à implementação de um programa eficiente e inteligente de Monitoração da Condição de equipamentos rotativos verifica-se que estes procedimentos estão intimamente relacionados com técnicas de processamento de sinais digitais, devido à capacidade que estas apresentam em evidenciar variações nos sinais medidos, causadas pelas falhas do equipamento sob análise.

2.3. MONITORAR x DIAGNOSTICAR

A evolução das técnicas de Inteligência Computacional, em conjunto com a atual capacidade de processamento dos computadores, tornaram possível a criação de sistemas capazes de inferir sobre um conjunto de informações específicas, gerando o conceito de automação do diagnóstico. Deve-se observar que para as aplicações de diagnóstico de máquinas, este conceito é recente, criando algumas vezes confusão com o conceito de monitoração.

A monitoração consiste no simples acompanhamento dos sinais medidos, para fins de observação do comportamento do equipamento, cabendo ao especialista a análise das informações e o posterior diagnóstico do estado operativo do mesmo. No caso da automação do diagnóstico, quando alguma alteração é detectada, informações específicas são transferidas para o sistema, permitindo que as prováveis causas sejam identificadas, através de um processo conhecido como inferência. É importante ressaltar, que essa tarefa pode e deve envolver informações das várias grandezas físicas da operação do hidrogerador, como: vibração, temperatura e pressão hidráulica, e das grandezas de processo, como: parâmetros elétricos e hidráulicos.

A ação de diagnosticar pode ser resumida como o processo de transformação de dados em informação, o que deve ser realizado com auxílio computacional, visto ser praticamente impossível ao especialista humano, responsável pela operação e uso de um sistema de monitoração, a análise e síntese da grande massa de dados coletados pelos sistemas atuais de monitoração.

3. A EXPERIÊNCIA CEPEL/ELETRONORTE

As atividades de pesquisa na área de monitoração e diagnóstico da condição operacional de hidrogeradores, visando o desenvolvimento de metodologias de aquisição, processamento, análise de sinais e diagnóstico de falhas nestas máquinas tiveram início no CEPEL há alguns anos, com aval do GCOI/SCM e a participação das empresas do Sistema Eletrobrás. Esta iniciativa se deu em decorrência do

conhecimento e da experiência acumulada do CEPEL obtidos de trabalhos nesta área com as principais empresas geradoras do País.

Consolidada a fase inicial da pesquisa, os esforços se direcionaram no sentido de agregar os resultados obtidos em uma ferramenta que pudesse vir a ser disponibilizada para as empresas geradoras que participaram como patrocinadoras desse trabalho. Esta ferramenta foi concebida e desenvolvida como um sistema constituído de hardware e software dedicados, que permitisse a monitoração das grandezas físicas mais representativas de uma unidade hidrogeradora no que diz respeito ao acompanhamento da sua condição operacional com fins preditivos. Adicionalmente pode-se mencionar que sempre foi foco desse desenvolvimento a incorporação de técnicas de diagnóstico computacional, com o objetivo de dar subsídios à engenharia de manutenção em termos de informações úteis quanto à condição da máquina.

Uma versão inicial de software foi desenvolvida centrada numa plataforma de hardware baseada em PC industrial. Esta versão foi importante, pois forneceu parâmetros que balizaram o redirecionamento de esforços para o desenvolvimento da versão atual. Durante a fase inicial do desenvolvimento, uma instalação piloto foi feita na UG08 da Usina de Furnas (MG) e outra na Usina de Sta. Branca (SP) sob controle da Light S.A, tendo a Eletronorte participado apenas como observadora nestas oportunidades.

3.1 – INSTALAÇÕES-PILOTO DO SISTEMA.

A partir destas instalações houve o interesse da Eletronorte em fazer instalações-piloto em duas de suas usinas (Tucuruí – PA e Coaracy Nunes – AP), quando um contrato foi fechado com o CEPEL com este intuito. Com esta iniciativa, configurou-se uma primeira relação de parceria entre o CEPEL e a Eletronorte para continuação do desenvolvimento do sistema, relação esta que vem se fortalecendo ao longo do tempo. O estabelecimento desta relação, agregado à experiência adquirida dos resultados da versão anterior, nortearam a definição da nova arquitetura do sistema em termos de sensores, de plataforma de hardware e de software; foi privilegiada a característica de robustez, adotando sensores com eletrônica embutida, evitando a disseminação de componentes intermediários ao longo da malha de medição, e um hardware baseado em plataforma PXI (PCI Extensions for Industry), que possui as características fundamentais de modularidade e tamanho reduzido, além de ótima relação custo/benefício; esta plataforma é composta de módulos de aquisição SCXI e Field Point, e de módulos de digitalização e comunicação PXI. Quanto ao software, foi feito um novo projeto no CEPEL contemplando o estado da arte das metodologias de engenharia de software direcionadas ao desenvolvimento das funcionalidades particulares dessa aplicação. Após a fase de avaliação das particularidades das máquinas de cada usina, e a consequente especificação dos pontos de medição em cada uma, foi feita a aquisição, por parte da Eletronorte, do hardware e dos componentes das diversas cadeias de medição.

As instalações físicas se iniciaram após a chegada e o comissionamento dos equipamentos, e foram realizadas em função da disponibilidade de retirada

das unidades do sistema elétrico. Paralelamente, a nova versão do software foi sendo desenvolvida. As instalações se consolidaram ao longo do ano de 2002, havendo ainda ajustes de software para finalização da fase inicial de instalação, a qual será seguida da fase de acompanhamento, fundamental para o conhecimento do comportamento das máquinas.

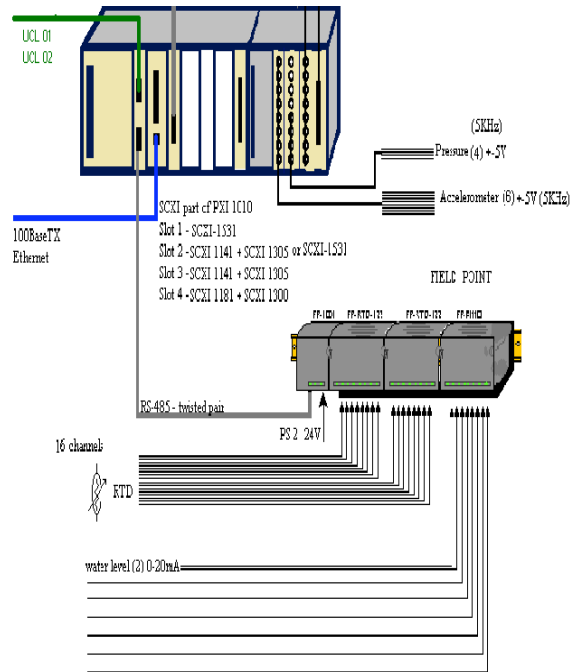


FIGURA 01: sinótico da instalação por máquina em Coaracy Nunes

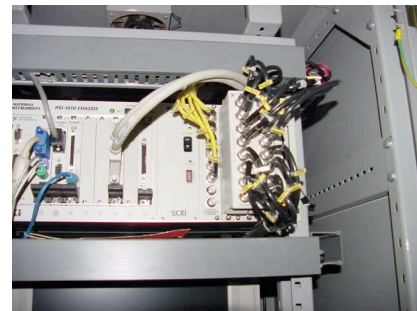


FOTO 02: PXI – SCXI em Tucuruí

3.2 – PROJETO P&D ANEEL (biênio 2002-2003)

A parceria entre as duas empresas se consolidou a partir do estabelecimento de um projeto de P&D ANEEL tendo como objetivo a continuação das atividades de pesquisa em técnicas de processamento de sinais e diagnóstico de falhas em hidrogeradores, por se entender serem estas fundamentais a melhoria contínua das funções principais do Sistema DiaHGer. Visando o aprimoramento do Sistema, a pesquisa foi focada nos seguintes pontos:

- **Cálculo da curva de rendimento da turbina,**
- **Controle do desgaste da junta carbônica,**
- **Incorporação dos resultados das análises de óleos lubrificante e hidráulico ao diagnóstico,**

- **Medição da temperatura dos anéis coletores do sistema de excitação da máquina.**

- **Medição e análise das Descargas Parciais** em geradores, com a intenção de incluí-las futuramente ao Sistema. Esta pesquisa é desenvolvida em parceria com especialistas da Usina de Tucuruí, visto esta possuir equipamento de medição de descargas parciais instalado em todas as unidades geradoras, juntamente com especialistas do Laboratório Central da Eletronorte (LACEN) em Belém.

Procurou-se incorporar esta medição, de tal forma que as seguintes condições de contorno fossem atendidas:

- A possibilidade de se obter uma aquisição estatística de sinais que possa servir para análises do desempenho do isolamento estático e para tentativas de identificação de possíveis defeitos na máquina e sua potencial gravidade;

- O aproveitamento da estrutura atual do sistema DiaHGer em termos de hardware e software, para que se tenha uma melhor otimização em termos de hardware e um potencial de análise integrada do desempenho das máquinas;

- A implantação de um sistema de medição que tenha custos bem inferiores aos dos sistemas comerciais atualmente disponíveis no mercado, aproveitando as instalações já existentes nos diversos geradores;

- Geração e disponibilização de bancos de dados, criando conhecimento e visão crítica que propiciem realizar localmente uma análise adequada do estado operativo das máquinas.

Foram desenvolvidos ensaios de validação do hardware a partir do desenvolvimento de software experimental com esta finalidade, conforme apresentado nas fotos 3.

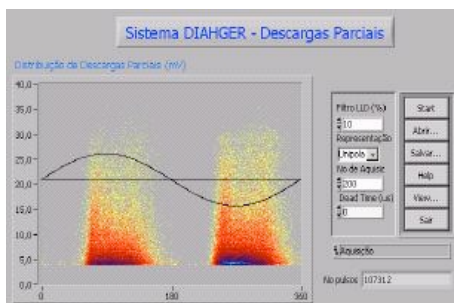


FOTO 3: registro de descargas parciais

3.3 O PROJETO INSTITUCIONAL ELETRONORTE – CEPTEL (quadriênio 2006-2005)

A partir das instalações, contempla-se um período de aquisição de sinais de todas as máquinas monitoradas, o registro das experiências de manutenção, a fim de se formar a base de conhecimento de cada uma e de se avaliar o desempenho do Sistema. Com estes sinais disponíveis, ou utilizando bancos de dados já existentes, pretende-se ampliar o horizonte dos assuntos contemplados, visando atender a necessidades apontadas pelas equipes de produção, em conformidade com o escopo deste projeto.

Os estudos serão focados nos componentes principais da máquina, visando diagnosticar a evolução dos seus

respectivos estados, e prevenir a formação de falhas; o estudo relativo a cada componente será efetuado por um determinado grupo de pesquisadores, elaborando os modelos matemáticos de intercorrelação das diversas variáveis concernidas, aferindo em seguida com as variáveis registradas disponíveis no banco de dados, até chegar ao modelo retratando a expectativa de vida real do referido componente; o projeto pretende desenvolver algoritmos em torno dos seguintes temas:

- **Análise harmônica da corrente estator**, visando detectar deformações das bobinas estator e deslocamentos dos pólos rotor.

- **Avaliação do envelhecimento do isolamento do estator** baseada nas seguintes variáveis: descargas parciais, temperaturas e vibrações da carcaça.

- **Avaliação do desgaste dos mancais**, baseada nas seguintes variáveis: análises físico-químicas e pesquisa de metais por absorção atômica em óleos lubrificantes, temperaturas e oscilações de eixo.

- **Avaliação do desempenho do sistema de excitação** através da temperatura dos anéis coletores e da imagem térmica do rotor.

- **Avaliação do desempenho dos sistemas auxiliares** pela incorporação ao programa de diagnóstico DiaHGer dos dados provenientes das preditivas periódicas efetuadas nestes equipamentos.

4. O SISTEMA DiaHGer

Seu principal objetivo está na implementação computacional de métodos e ferramentas de medição, aquisição e processamento de informações adquiridas continuamente em unidades hidrogeradoras, visando a monitoração da condição operativa e a detecção e o diagnóstico precoce de falhas. O Sistema está baseado em técnicas modernas de aquisição e processamento de sinais, e em metodologias de Inteligência Artificial como Sistemas Especialistas, Lógica Fuzzy e Redes Neurais.

Conforme esclarecido anteriormente, o Sistema foi concebido tendo como foco o atendimento das necessidades do Setor Elétrico, relacionadas à redução de custos de manutenção e aumento da disponibilidade de unidades hidrogeradoras, através da monitoração contínua da condição operativa e do diagnóstico automático de falhas.

Ocorre que, apesar da relativa estabilidade de comportamento dinâmica observada nestas máquinas, quando comparadas com outros tipos de equipamentos rotativos, e da semelhança de comportamento entre unidades do mesmo tipo, existem particularidades específicas de cada unidade e de cada usina, que devem ser consideradas na customização do Sistema para cada instalação.

4.1 Etapa de Customização

A customização do Sistema para uma determinada usina consiste na primeira etapa de um projeto de instalação, envolvendo um levantamento das características técnicas da usina para definição dos seguintes parâmetros:

- as grandezas a serem medidas, os sensores e os pontos de medição apropriados;
- o condicionamento de sinais, incluindo aí a filtragem e a amplificação;

- a conversão analógico/digital;
- o processamento dos sinais (aplicação de algoritmos matemáticos);
- a visualização (interface gráfica) de sinais mecânicos.

Estes procedimentos são realizados a fim de se configurar o Sistema de acordo com a necessidade específica da usina, contando, assim, com a participação de profissionais da empresa, envolvidos diretamente com a operação e a manutenção das unidades geradoras.

Neste aspecto, o Sistema DiaHGer se destaca por promover a interação entre o CEPEL e o cliente, já na fase inicial da instalação, o que permite um atendimento mais efetivo às necessidades deste.

4.2 Etapa de Instalação

Após a customização do software e do hardware às necessidades da usina, é feita a instalação física do Sistema, ocorrendo nesta etapa a calibração dos diversos sensores e de suas malhas de medição, bem como os ajustes finais dos sinais coletados.

Um ponto importante nesta etapa está na interligação do Sistema DiaHGer ao Sistema de Supervisão, Proteção e Controle da usina. Esta interligação é fundamental para obtenção dos sinais das grandezas de processo, que irão complementar o conjunto total de sinais que o Sistema irá checar a cada aquisição e utilizar no diagnóstico de falhas.

Vale lembrar, que tanto a detecção de comportamento anormal quanto o diagnóstico, são feitos através da comparação de valores medidos de cada grandeza com valores considerados padrão em cada ponto de operação da unidade.

Para definição de um ponto de operação da unidade, o Sistema utiliza as informações de potência ativa e queda de reservatório, que são passadas pelo Sistema Supervisório. Neste aspecto, existem duas possibilidades de se ter as informações do Sistema Supervisório. Em uma usina em que este ainda não é digital, os dados são adquiridos analogicamente e transmitidos ao Sistema DiaHGer após digitalização. Já em uma usina que possua esta informação na forma digital, esta é passada através do protocolo de comunicação disponível.

Também nesta etapa, é dado o treinamento necessário aos profissionais da empresa que estarão envolvidos na operação e manutenção do Sistema.

4.3 Etapa de Acompanhamento Preliminar

Após a instalação, deve ser cumprida uma etapa preliminar de acompanhamento visando a aquisição de sinais para estabelecimento de padrões de comportamento da máquina. Esta etapa é fundamental, visto fornecer um conhecimento básico sobre a "personalidade" dinâmica da unidade, que servirá como parâmetro para o ajuste da base de conhecimento do Sistema Especialista do módulo de diagnóstico automático. Deve ser ressaltado, porém, que o amadurecimento da base de conhecimento será realizado ao longo da operação da unidade, e que somente com o tempo, o módulo de diagnóstico automático será capaz de "aprender" sobre o comportamento da máquina e refinar, pela complementação dos algoritmos existentes, o diagnóstico.

4.4 Descrição do Sistema

O funcionamento básico do sistema é simples: diversas grandezas físicas são monitoradas continuamente, sendo os sinais medidos, processados e comparados com valores padrão, que representam a máquina em "bom estado". Quando um desses valores ultrapassa seu padrão, acima de um determinado limite, é detectada uma mudança no comportamento da unidade geradora.

Caso esta detecção seja confirmada, através de uma rotina específica para essa função, ocorre a situação de "evento confirmado", e o conjunto de sinais é automaticamente gravado em disco para posterior análise. Com os sinais gravados, além da análise via técnicas de processamento de sinais, pode ser feito também o diagnóstico do problema causador daquele evento. O registro de dados é feito, portanto, de forma otimizada, evitando o acúmulo de dados desnecessários e sobrecarga do banco de dados do Sistema.

Apesar dessa forma de registro, o Sistema disponibiliza também ao usuário a gravação "forçada" de sinais, independentemente de haver ou não problema na unidade.

Além desses registros, o Sistema registra também, periodicamente, conforme configuração do usuário, os níveis de todos os sinais adquiridos, para fins de avaliação de tendência.

O acompanhamento da condição operativa da máquina é realizado a partir de grandezas cuja relevância é comprovada para cada instalação, podendo ser monitoradas grandezas típicas como:

- oscilação radial do eixo em diversos planos;
- vibração no estator do gerador;
- oscilação axial do eixo;
- pressão dinâmica em diferentes pontos da turbina;
- cavitação;
- temperaturas;
- descargas parciais;

• parâmetros de processo como: potência, queda, vazão, tensão, corrente, rendimento da turbina etc.

Em adição ao que já foi exposto anteriormente, pode-se afirmar resumidamente que, além de aberto, modular e distribuído, o Sistema DiaHGer possui as seguintes características:

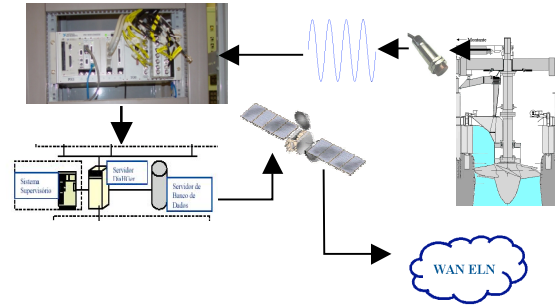
- baseado em plataforma Compact PCI (PC padrão industrial), operando em ambiente Windows NT/2000/XP;
- aquisição distribuída de sinais com visualização em tempo real;
- customização dos sinais adquiridos de acordo com a necessidade da instalação;
- detecção de evento adaptável ao ponto de operação da máquina;
- acesso remoto possibilitando aos especialistas gravar os sinais em momento apropriado, utilizar as ferramentas de auxílio ao diagnóstico (módulo de análise) e visualizar os sinais on-line (módulo de operação), a figura 15 mostra o esquema completo;
- banco de dados relacional padrão SQL;
- controle de acesso por senha;
- auto-check de sensores;
- gráficos de tendência para as diversas grandezas;
- plataforma aberta de hardware;
- ferramentas numérico-gráficas para processamento e análise de sinais nos domínios do tempo, frequência e tempo-frequência;
- diagnóstico automático de falhas incipientes;

•conectividade a Sistemas de Supervisão, Proteção e Controle do Sistema.

4.5 Arquitetura do Sistema A figura 4 apresenta a arquitetura e os componentes. A estrutura básica do sistema consiste de cinco módulos principais, que fazem as funções de:

•aquisição e processamento de sinais e detecção de eventos;

FIGURA 4



•gerenciamento de banco de dados;
 •monitoração on-line do equipamento;
 •análise, visualização gráfica e diagnóstico de sinais gravados;
 •administração e segurança do sistema.

4.5.1 Módulo de Aquisição de dados e Detecção de Eventos

Principais características:

- aquisição dos sinais
- detecção de ocorrências;
- geração de alarmes;
- gravação dos sinais;
- geração de histórico.

4.5.2 Módulo Gerenciador de Banco de Dados

Principais características:

- armazenamento de sinais;
- consultas.

4.5.3 Módulo de Monitoração on-line dos Sinais

Principais características:

- visualização e processamento de sinais em tempo real
- informação e tratamento de alarmes
- agendamento de gravações;
- acompanhamento do rendimento hidráulico da unidade.

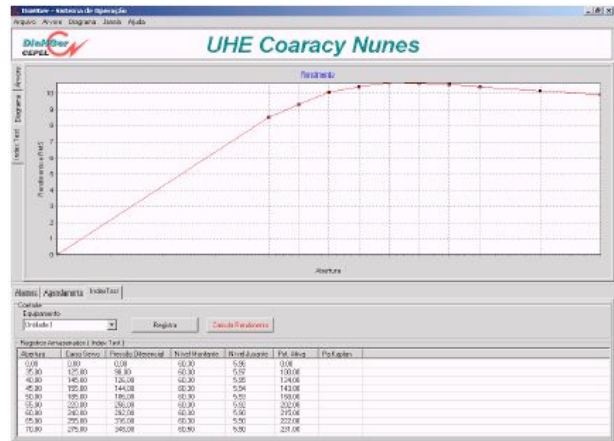


FIGURA 5: curva de rendimento hidráulico

4.5.4 Módulo de Processamento e Visualização Gráfica de Sinais gravados

Principais características:

- permite a comparação entre múltiplos sinais simultaneamente;
- verificação imediata das condições de aquisição;
- análise em detalhe, com ferramentas gráficas diversas;
- acesso imediato a ferramentas matemáticas para processamento e análise do sinal gravado;
- diagnóstico da condição operacional da unidade, com os seguintes recursos:
 - apresentação de todas as possíveis falhas que podem justificar o comportamento do hidrogerador, com uma severidade associada;
 - lista de recomendações de ações individuais para cada falha;
 - explicação da conclusão obtida, permitindo que o usuário confira o caminho (regras) usado pelo Sistema Especialista;
 - alteração, inclusão e exclusão dos parâmetros físicos do sistema como: usinas, máquinas, sensores e processamentos de sinal empregados;
 - edição de falhas, regras e recomendações, com possibilidade de associação de várias regras a uma mesma falha.

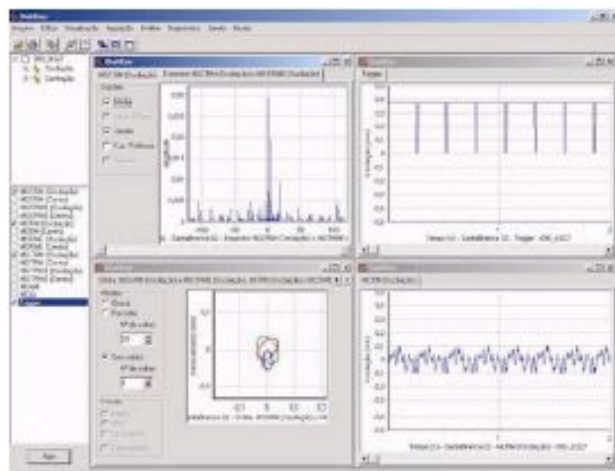


FIGURA 6: visualização da oscilação do eixo e do fasor

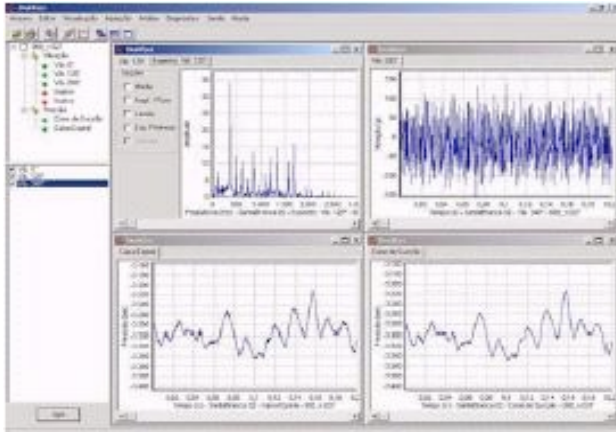


FIGURA 7: visualização da vibração da carcaça do gerador e da pressão da caixa espiral

4.5.5 Módulo de Administração e Segurança

Principais características:

- inicialização e parada do sistema;
- autenticação e permissão de acesso e uso.

5. CONCLUSÕES

Apresentou-se uma descrição resumida do trabalho desenvolvido nos últimos anos pelo CEPEL em parceria com a Eletronorte na área de monitoração e diagnóstico da condição operacional de unidades hidrogeradoras.

Este trabalho representou uma evolução em relação à iniciativa inicial do CEPEL nesta área, trazendo como resultado principal o desenvolvimento de uma versão do Sistema DiaHGer robusta e adequada, em termos de hardware e software, às necessidades específicas de monitoração desse tipo de máquina.

Consolidando este desenvolvimento, foram concretizadas quatro instalações em usinas da Eletronorte, onde já se tem a oportunidade de acompanhar o comportamento das máquinas a partir dos recursos do sistema. Suas características de desempenho, modularidade e baixo custo são bastante satisfatórios, caracterizando-o como um produto de grande interesse potencial para as empresas de geração hidrelétrica.

Para o ano de 2003, objetiva-se o término do projeto de P&D descrito, que trará como avanço a incorporação da medição de descargas parciais do gerador, agregada à monitoração das grandezas mecânicas, de forma a se ter um acompanhamento integrado da unidade. O cálculo da curva de rendimento hidráulico já é disponível no sistema.

Pode-se afirmar ainda, a título de complementação, que a cultura da monitoração da condição como componente principal da manutenção preditiva de hidrogeradores se encontra estabelecida e aceita na grande maioria das empresas geradoras, e que as atividades relativas a mesma, como termovisão, análise de óleo e análise de vibração são praticadas de forma intensiva.

Em relação a sistemas de monitoração automatizados, pode-se dizer que estes ainda são empregados de forma bastante discreta nas usinas hidrelétricas do país, visto que apenas algumas empresas investiram

nesta solução, apesar da relação custo/benefício estar cada vez mais atraente e do retorno do investimento ser garantido, o que leva a crer que esta será uma solução adotada gradativamente pelas empresas em médio prazo.

Um ponto fundamental relativo à utilização de sistemas de monitoração da condição automatizados diz respeito ao preparo dos profissionais que operam o sistema, no que tange ao conhecimento de técnicas de tratamento de sinais e das funcionalidades oferecidas por estes sistemas, estando este preparo diretamente relacionado à capacitação para interpretação dos dados coletados.

Além desse ponto, deve ser ressaltado que a quantidade de informação disponibilizada por sistemas desse tipo é, geralmente muito grande, ficando claro, portanto, que a automatização do diagnóstico se torna fundamental, de forma a auxiliar o profissional na análise desses dados. Neste aspecto, a cultura do diagnóstico auxiliado por computador, está em estado ainda muito incipiente na área de monitoração da condição de hidrogeradores, embora seja atualmente uma realidade nas diversas áreas da tecnologia.

Portanto, através do programa adicional de P&D negociado entre o CEPEL e a ELETRONORTE com os recursos da carteira institucional, pretende-se aumentar a capacidade de diagnóstico do sistema DiaHGer, focando-lo nos componentes principais dos grupos hidrogeradores, dispondo assim, além de uma poderosa ferramenta de análise preditiva, de um registro sistemático das experiências operacionais.

6. BIBLIOGRAFIA

- (1) Doyle, D.: "Monitoring Machines for Maintenance Performance", Hydro Review, June 1994
- (2) Fruth, B. A., Gross, D. W.: "Partial Discharge Signal Generation, Transmission and Acquisition", IEEE Proceedings - Scientific Measurement Technology, January, 1995
- (3) Griffith, G.L., Edmonds, J.S.: "The Economic Justification for Advance Hydrogenerator Monitoring and Diagnostics - A Generic Model", International Joint Power Generation Conference, 1999
- (4) Kurtz, M., Lyles, J. F., Stone, G. C., "Application of Partial Discharge Testing to Hydrogenerator Maintenance", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-103, 1984
- (5) Lloyd, B. "Advanced Condition Monitoring for Hydrogenerator Plants", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, February, 1995
- (6) Tempelaar, H. G., Goosens, R. F.: "Dielectric Tests on Turbo-Generator Insulation", Cigré, paper 133, 1966
- (7) Binder, E., Egger, Hummer, H.: "Experience with Supervision Measurements on Synchronous Machines", International Conference on the Evolution and Modern Aspects of Synchronous Machines, 1991.