



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

GGH 23  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO I**

### **GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

#### **SISTEMA DE MONITORAMENTO ROBUSTO COM INTEGRAÇÃO OPERAÇÃO X MANUTENÇÃO**

**Carlo Giuseppe Filippin \*, Ary Cabral de Paula, Borys Wicktor Dagostim Horbatiuk, Walter Antonio Kapp**

**LACTEC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO  
COPEL – Companhia Paranaense de Energia**

## **RESUMO**

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de um sistema de monitoramento com melhor custo/benefício e com arquitetura totalmente sob controle do cliente (tanto software como hardware). O sistema de monitoramento deverá ser robusto, de baixo custo, com arquitetura aberta, utilizando as ferramentas básicas de medição, com cruzamento de dados operacionais e com integração operação x manutenção.

O sistema piloto em teste na UHE GPS funciona sobre plataforma Labview Real Time, e integra sistema operacional e software de monitoramento focado em manutenção. Este sistema de medição foi concebido para o acompanhamento da evolução de defeitos ou anomalias mecânicas.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Telemanutenção, monitoramento, hidrogeradores, manutenção, usina.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de um sistema de monitoramento com melhor relação custo/benefício e com arquitetura totalmente sob controle do cliente (tanto software como hardware). O sistema de monitoramento deverá ser robusto, de baixo custo, com arquitetura aberta, utilizando as ferramentas básicas de medição, com cruzamento de dados operacionais e com integração operação x manutenção.

O sistema piloto em teste na UHE de GPS e UHE de GBM funciona sobre plataforma Labview Real Time, e integra sistema operacional e software de monitoramento dirigido para a manutenção. Este sistema de medição foi concebido para o acompanhamento da evolução de defeitos ou anomalias mecânicas ou com reflexos na mecânica das Unidades Geradoras. O mesmo Sistema pode ser ampliado para quaisquer equipamentos auxiliares que seja avaliado como fundamental ao processo.

A visualização dos dados é feita através de software visualizador (escrito em Labview) e os dados podem ser acessados por qualquer máquina que tenha permissão de acesso. Ainda, podem-se adquirir os dados recolhidos através de FTP de qualquer máquina e usá-los em qualquer software que leia arquivos em formato ASCII (Microsoft Excel, por exemplo). Devido a esta facilidade e à rede integrada entre as usinas, pode-se a partir de um ponto na rede ter o acesso aos dados de qualquer usina conectada. A programação das ferramentas e do sistema, bem como a parametrização pode ser feita remotamente, a partir de outras estações que tenham o Labview (com módulo Real Time) instalado.

O principal diferencial agregado a este sistema é o de ser um sistema supervisor para controle das características identificadas e avaliadas através das técnicas preditivas, por propiciar a personalização do controle, em relação a outros sistemas mais generalistas. Isto quer dizer, o próprio usuário tem o poder de alterar o sistema assim como construir novas funções de análise ou ainda adicionar novos módulos à rede conforme for necessário. Com isso pretende-se chegar a um sistema poderoso, pelas técnicas e ferramentas empregadas, porém “enxuto” do ponto de vista de hardware e software, considerando a filosofia do monitoramento específico aos modos de falha e com banco de dados leve e mantendo o tráfego da rede em boa velocidade.

## 2.0 - O CONCEITO

Os sistemas de monitoramento comerciais disponíveis no mercado tem dois grandes inconvenientes. O primeiro é o alto custo e o segundo é a baixíssima flexibilidade para o comprador do sistema de alterá-lo com o decorrer do tempo conforme a sua necessidade. Mesmo o tratamento dos dados e sua visualização depende somente das ferramentas disponibilizadas pelo vendedor, muitas vezes não podendo ser exportada para outras plataformas utilizadas pelo comprador.

Outro aspecto é a facilidade de utilização. Cada vez que se compram novos softwares existe uma curva de aprendizagem para que realmente este novo produto se torne operacional, sendo, geralmente, este tempo muito longo.

Para contornar estes problemas foram adotados dois princípios:

- Adotar programas que tenham uma rápida curva de aprendizagem ;
- Adotar uma plataforma de hardware flexível e de fácil atualização além de baixo custo.

O primeiro item foi solucionado adotando-se como software o LabView da National Instruments (plataforma de programação líder na área de instrumentação). Este já é o software padrão de ensaios pela COPEL/LACTEC, de fácil programação e operação com o código de programação de forma gráfica (FIGURA 1), sendo que os responsáveis pelo projeto tem larga experiência com o mesmo.

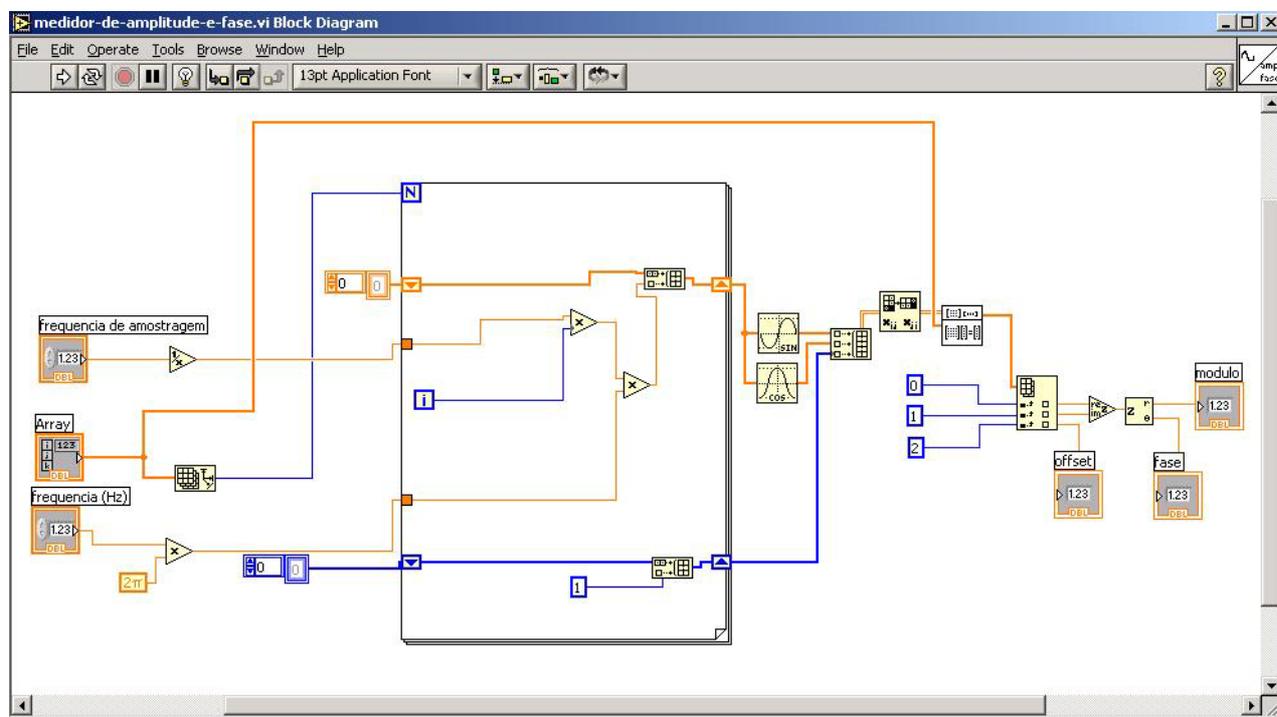


FIGURA 1 – Um dos códigos usado pelo sistema de telemonitoramento na UHE de GBM

Para o segundo item foi adotada a plataforma “PC” a mais flexível e de baixo custo disponível no mercado. O hardware de aquisição é composto de uma placa de aquisição da National Instruments sendo totalmente compatível com o LabView.

## 2.1 Primeiro Protótipo

O primeiro protótipo foi instalado na UHE de GPS. Ele era composto de uma placa de dezesseis canais AD (porém eram utilizados somente 8 devido ao sistema de condicionamento de sinal. O sistema de monitoramento era um "PC" Pentium 133 rodando Windows 98. Com este sistema monitorou-se somente a oscilação do eixo da máquina. Neste protótipo o usuário tinha acesso aos dados através de uma pasta compartilhada pelo sistema operacional na rede.

O grande inconveniente deste protótipo era a vulnerabilidade a vírus, e a programação que deveria ser feita localmente, tornando assim o desenvolvimento mais lento, pois gastava-se três horas em deslocamento (ida e vinda) da usina onde estava instalado o sistema.

## 2.2 Segundo Protótipo

O segundo protótipo nasceu da necessidade de se resolver os problemas do primeiro protótipo. Foi proposto o uso do LabView RT para a resolução dos problemas encontrados.

Com o LabView RT não existe mais a vulnerabilidade do Windows, pois ele usa um sistema dedicado evitando também o compartilhamento do processamento da máquina para outros processos que não sejam essenciais. Outra grande vantagem é a possibilidade de programação e desenvolvimento remoto. Isto quer dizer que a partir de qualquer estação de trabalho na rede (com as devidas permissões) pode-se acessar e programar o conteúdo da máquina que realiza o monitoramento.



FIGURA 2 - Sistema de monitoramento instalado junto ao sistema de medição de oscilação no eixo na UHE de GBM.

O sistema é composto de um computador com sistema operacional "real-time", com 32 canais diferenciais de entrada analógica ou 64 canais "single-ended" de entrada analógica, oito I/O digitais, um filtro Butterworth de terceira ordem de oito canais e um sistema de condicionamento de sinal específico para o sistema de medição de oscilação presente na usina. Este segundo protótipo está adquirindo valores de oscilação do eixo da unidade 2 da UHE de GBM, assim como grandezas de temperaturas, potências, níveis, velocidades e grandezas mecânicas disponibilizadas através de um CLP para o sistema (TABELA 1).

TABELA 1 - Grandezas medidas pelo sistema de monitoramento além da oscilação dos mancais.

Descrição	Máquina	Descrição	Máquina
Temperatura do metal guia superior P1	1	Temperatura do metal guia superior P3	4
Temperatura do metal guia superior P3	1	Temperatura do metal guia superior P6	4
Temperatura do metal guia superior P6	1	Temperatura do óleo guia superior	4
Temperatura do óleo guia superior	1	Temperatura metal mancal escora 1	4
Temperatura metal mancal escora 1	1	Temperatura metal mancal escora 2	4
Temperatura metal mancal escora 2	1	Temperatura metal mancal escora 3	4
Temperatura metal mancal escora 3	1	Temperatura óleo mancal guia inferior	4
Temperatura óleo mancal guia inferior	1	Temperatura do metal guia turbina P1	4
Temperatura do metal guia turbina P1	1	Temperatura do metal guia turbina P3	4
Temperatura do metal guia turbina P3	1	Temperatura do metal guia turbina P6	4
Temperatura do metal guia turbina P6	1	Temperatura óleo mancal guia turbina	4
Temperatura óleo mancal guia turbina	1	Potência ativa	1
Temperatura do metal guia superior P1	2	Potência ativa	2
Temperatura do metal guia superior P3	2	Potência ativa	3
Temperatura do metal guia superior P6	2	Potência ativa	4
Temperatura do óleo guia superior	2	Potência reativa	1
Temperatura metal mancal escora 1	2	Potência reativa	2
Temperatura metal mancal escora 2	2	Potência reativa	3
Temperatura metal mancal escora 3	2	Potência reativa	4
Temperatura óleo mancal guia inferior	2	Nível montante inferior (706-726)	1-2-3-4
Temperatura do metal guia turbina P1	2	Vazio	
Temperatura do metal guia turbina P3	2	Nível montante superior (725-745)	1-2-3-4
Temperatura do metal guia turbina P6	2	Vazio	
Temperatura óleo mancal guia turbina	2	Nível jusante (598 -618)	1-2-3-4
Temperatura do metal guia superior P1	3	Vazio	
Temperatura do metal guia superior P3	3	Vazão	1
Temperatura do metal guia superior P6	3	Vazão	2
Temperatura do óleo guia superior	3	Vazão	3
Temperatura metal mancal escora 1	3	Vazão	4
Temperatura metal mancal escora 2	3	Pressão caixa espiral	1
Temperatura metal mancal escora 3	3	Pressão caixa espiral	2
Temperatura óleo mancal guia inferior	3	Pressão caixa espiral	3
Temperatura do metal guia turbina P1	3	Pressão caixa espiral	4
Temperatura do metal guia turbina P3	3	velocidade	1
Temperatura do metal guia turbina P6	3	velocidade	2
Temperatura óleo mancal guia turbina	3	velocidade	3
Temperatura do metal guia superior P1	4	velocidade	4

### 3.0 - MEDIÇÕES

A partir de computadores localizados em Curitiba foi programado o sistema na UHE de GBM obtendo-se os sinais no tempo de oscilação do eixo e os dados referentes a TABELA 1. Os sinais no tempo do mancal superior do grupo gerador número dois da UHE de GBM podem ser vistos na FIGURA 3.

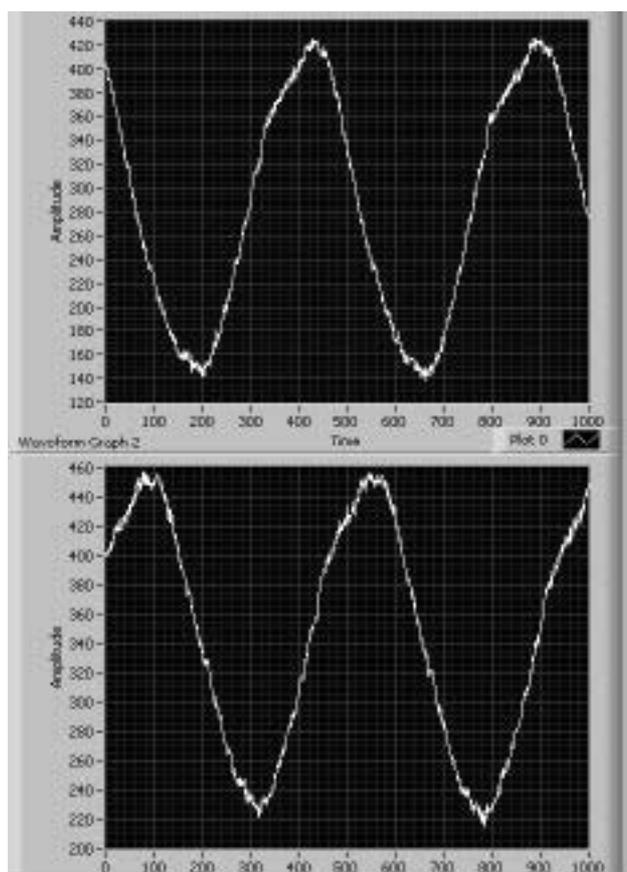


FIGURA 3 - Sinais de oscilação de um dos mancais da máquina 2 da UHE de GBM.

#### 4.0 - APOIO EM ENSAIOS

O sistema de monitoramento, em desenvolvimento, devido à sua flexibilidade não é só utilizado na observação do hidrogerador. Ele auxilia na medição de grandezas, tanto mecânicas quanto elétricas, em ensaios tanto do gerador quanto da turbina, que auxiliam a equipe técnica da concessionária a melhorar cada vez mais o grupo gerador.

Um exemplo é o monitoramento da deformação do estator do gerador da unidade de número dois da Usina Governador Bento Munhoz Netto (Figuras 4 e 5). Devido ao comportamento estranho de um dos mancais, necessitava-se monitorar a deformação do estator, tentando, então, descobrir algum desequilíbrio magnético no gerador que poderia estar criando este problema no mancal.

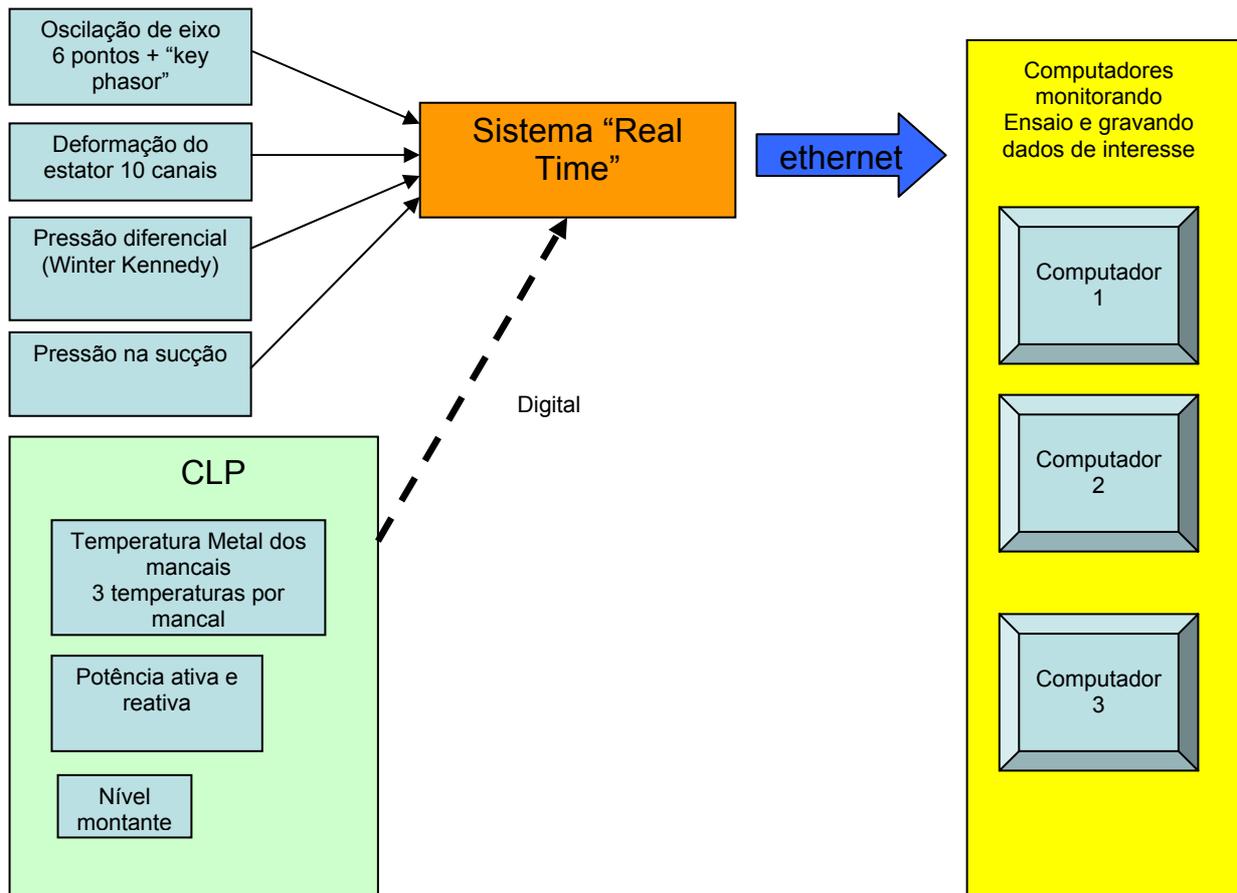


FIGURA 4 – Diagrama de blocos do sistema de telemonitoramento da #2 da UHE GBM.

Foram instalados dez relógios comparadores (com saída analógica) em torno do estator, ligados ao sistema de monitoramento. Obtiveram-se, então, os dados de deformação simultâneos aos dados de oscilação de eixo, potência ativa, potência reativa, nível montante, nível jusante e data. Todos os dados do ensaio estavam disponíveis em tempo real para a engenharia em Curitiba. Devido ao sistema de monitoramento já instalado, a preparação do ensaio foi de aproximadamente 8 horas anteriores ao ensaio.

## 5.0 - RESULTADOS

As melhorias e modernizações do sistema de monitoramento dos grupos hidrogeradores influenciam diretamente a qualidade do processo de produção de energia elétrica, refletindo na redução de custos de manutenção, na confiabilidade do parque gerador e na percepção de imagem da concessionária perante o mercado consumidor de energia. Apresentam, ainda, ferramentas que possibilitam aos técnicos ter maior percepção do real estado das máquinas e das variáveis que mais influenciam eventuais anomalias.

Além dos objetivos básicos do monitoramento, o Sistema pode ser empregado para estudo e identificação de faixas operativas ótimas e reais de seus grupos hidrogeradores, considerando diferentes cargas e quedas.

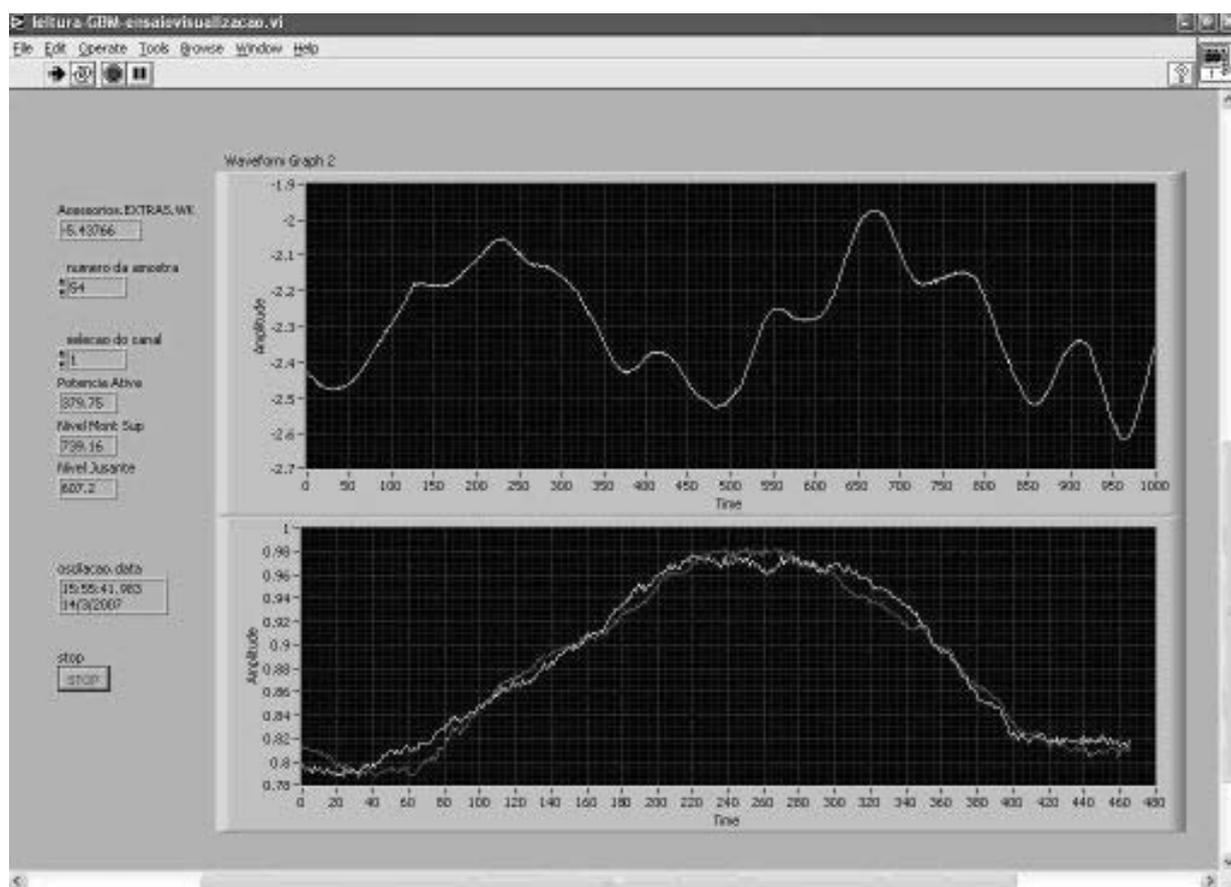


FIGURA 5 - Medição de deformação do estator e oscilação de eixo da #2 da UHE GBM.

Adicionalmente, o LACTEC, vem buscando desenvolver e fomentar no Estado do Paraná um centro de excelência, tornando-se referência nacionalmente, no plano técnico alusivo à operação e manutenção assistida de usinas hidrelétricas, auxiliando, desta forma, a formar uma massa crítica que possa avaliar novas tecnologias.

O sistema, inicialmente concebido para monitoramento com enfoque na manutenção, deverá evoluir para suprir a equipe de operação de maiores informações quanto à faixa ótima de trabalho dos hidrogeradores.

No presente momento, o telemonitoramento tem ajudado no acompanhamento dos impactos sobre as máquinas decorrentes da operação com nível do reservatório abaixo da cota mínima de projeto.

## 6.0 - CONCLUSÕES

É possível agregar conhecimento dos processos e da performance das máquinas com o telemonitoramento sendo instalado e ajustado de acordo com as necessidades imediatas dos usuários. O desenvolvimento metódico e progressivo do monitoramento auxilia as equipes a ganhar confiança e auxiliando nos questionamentos e desta forma promovendo novas implementações.

O emprego de uma ferramenta simples, porém poderosa, ajusta perfeitamente os padrões de exigência das equipes de manutenção à medida que elas avançam nos acertos de predição e diagnósticos.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Doebelin, E.O., Measurement Systems: Application and Design, McGraw-Hill, 1990.

- (2) Sinclair, I. R., Sensors and Transducers: A guide for technicians, Newnes, 1992
- (3) Beckwith, T.G., Marangoni, R.D., Lienhard, J. H., Mechanical Measurements, Addison-Wesley, 1993.
- (4) Micro Measurement Guide, Micromasurement, [www.measurementsgroup.com](http://www.measurementsgroup.com)
- (5) Hewlett-Packard, Effective Machinery Measurements Using Dynamic Signal Analyzers
- (6) INMETRO, Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, 1998.
- (7) Pinto, A.K., Nascif, J., Manutenção: Função Estratégica, Qualitymark, 2001.
- (8) Lafraia, J.R.B., Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Qualitymark, 2001.
- (9) Nepomuceno, L.X., Manutenção Preditiva em Instalações Industriais, Edgard Blücher, 1985.
- (10) Goldman, S., Vibration Spectrum Analysis, Industrial Press, 1991.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Carlo Giuseppe Filippin

Nascido em São José dos Pinhais, PR em 05 de janeiro de 1966.

Mestrado (1992) em Engenharia Mecânica na UFSC e Graduação (1990) em Engenharia Mecânica na UFPR

Empresa: LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, desde 1999  
 COPEL – Companhia Paranaense de Energia, de 1994 a 1999  
 Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR desde 1993

Ary Cabral de Paula

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 20 de abril de 1958.

Graduação (1980) em Engenharia Mecânica na Universidade da Fundação Técnico-educacional Souza Marques

Mestrando da UTFPR

Especialista em Engenharia de Manutenção pela UTFPR

Empresa: Corena Metalurgia e Construção Naval S.A., de 1981 a 1985  
 Weg Motores, de 1985 a 1988  
 COPEL – Companhia Paranaense de Energia desde 1989

Borys Wicktor Dagostim Horbatiuk

Nascido em Curitiba, PR, em 07 de fevereiro de 1977.

Graduação (2002) em Engenharia Mecânica na UFPR

Empresa: LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, desde 1999

Walter Antonio Kapp

Nascido em Curitiba, PR em 28 de abril de 1967.

Mestrado (1993) em Engenharia Mecânica na UFSC e Graduação (1991) em Engenharia Mecânica na UFSC

Empresa: LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, desde 1999