

GERASUL - Novas perspectivas em Operação e Manutenção utilizando Sistema de Monitoramento On-line

1. INTRODUÇÃO

A GERASUL, uma empresa de capital aberto criada para produzir energia, atende hoje uma área de 25 milhões de habitantes, respondendo por 19% do PIB nacional.

A empresa foi constituída em Dezembro de 1997 a partir da privatização de parte da estatal Eletrosul, e ganhou ainda mais vigor quando em Setembro de 1998 o grupo belga Tractebel tornou-se seu acionista majoritário, adquirindo 68,63% de sua estrutura acionária. Trata-se do terceiro maior produtor independente de energia do mundo. É uma empresa multidoméstica com mais de um século no mercado de energia, que está presente em mais de 100 países gerando cerca de 55 mil empregos e investindo intensamente em desenvolvimento tecnológico.

A GERASUL tem como principal negócio o desenvolvimento. Ela aplica seus esforços na produtividade e qualidade, gerando energia para o País e royalties para os Estados.

Atualmente possui capacidade instalada de 5.249 MW e opera as seguintes usinas:

Hidrelétricas	Nº Máquinas	Potência (MW)
Itá (Rio Uruguai – Aratiba/RS)	5	1.450
Passo Fundo (Rio Passo Fundo – Entre Rios do Sul/RS)	2	226
Salto Santiago (Rio Iguaçu – Saudades do Iguaçu/PR)	4	1.420
Salto Osório (Rio Iguaçu – Quedas do Iguaçu/PR)	6	1.078
TOTAL	17	4.174
Termelétricas	Nº Máquinas	Potência (MW)
Jorge Lacerda A (Capivari de Baixo/SC)	4	232
Jorge Lacerda B (Capivari de Baixo/SC)	2	262
Jorge Lacerda C (Capivari de Baixo/SC)	1	363
Alegrete (Alegrete/RS)	2	66
Charqueadas (Charqueadas/RS)	4	72
William Arjona (Campo Grande/MS)	2	80
TOTAL	15	1.075

Estão em construção e/ou ampliação as seguintes usinas, o que aumentará sua capacidade instalada para 7.951 MW:

Hidrelétricas	Nº Máquinas	Potência (MW)
Machadinho (Rio Pelotas – Piratuba/SC)	3	1.140
Salto Santiago (Rio Iguaçu – Saudades do Iguaçu/PR)	2	722
Cana Brava (Rio Tocantins – Minaçú/GO)	3	450
William Arjona UG3 (Campo Grande/MS)	1	40
Jacuí I (Charqueadas/RS)	1	350
TOTAL	10	2.702

Como parte dessa nova empreitada no incremento da produção, a GERASUL decidiu que sua competitividade nesse novo mercado estaria diretamente ligada à qualidade da energia gerada. Em outras palavras, novas perspectivas foram criadas em se ter máquinas em boas condições de trabalho e com produtividade e rendimento elevados.

E uma das ferramentas mais importantes para se obter um pleno conhecimento das capacidades operacionais de cada máquina é o sistema de monitoramento on-line. Na nova UHE Itá, a GERASUL optou pela instalação do Sistema ZOOM de Monitoramento On-line da VibroSystM Inc., sediada em Longueuil (Montreal), Canadá, especialista na área desde 1985 e com sistemas instalados em mais de 500 máquinas em todo o mundo.

O monitoramento on-line fornece amplo conhecimento sobre as máquinas, na sua atividade total de operação e condições transitórias, da parada à sobrevelocidade, que permite às Concessionárias tomar decisões corretas sobre a condição dos equipamentos de geração e planejar manutenção baseada nas necessidades, enquanto aumenta a disponibilidade das máquinas pela redução das paradas forçadas para reparos.

Em resumo, o objetivo final de uma Manutenção Baseada nas Condições (CBM) através da utilização de sistemas de monitoramento on-line é "eliminar manutenções de rotina e permitir ao usuário trabalhar no equipamento somente quando o sistema de monitoramento indicar que tal serviço está sendo necessário".

2. PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO DA GERASUL ANTES DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO ON-LINE

2.1 Descargas Parciais – PDA

Com referência à técnica preditiva de manutenção no que diz respeito ao acompanhamento e análise de descargas parciais nos enrolamentos estáticos dos hidrogeradores, a GERASUL possui instalados os acopladores e terminais de leitura de dados.

Esta técnica já vem sendo utilizada na avaliação da integridade do isolamento dos enrolamentos estáticos nos geradores que já possuem os sensores instalados. Os dados são coletados no campo por meio de instrumento próprio e analisados posteriormente pela Engenharia de Manutenção que emite o diagnóstico.

A vantagem é a avaliação do estado do isolamento dos geradores sem o impedimento da máquina. O teste de descargas parciais permite:

- Determinar a condição da isolação do enrolamento do estator;
- Determinar a causa de problemas na isolação;
- Afrouxamento, sobre-aquecimento, contaminação, defeitos de fabricação, etc.;
- Identificar falhas em seu estágio inicial, que é o principal propósito da manutenção preditiva.

Até o final de 1998 todas as unidades hidrogeradoras possuíam o sistema de monitoramento já instalado, podendo, portanto, ser atendidos também de forma preditiva, reduzindo os tempos de intervenção de geração e aumentando simultaneamente a confiabilidade e a disponibilidade das unidades geradoras.

2.2 Acompanhamento e Análise de Vibração

Com referência à técnica preditiva de manutenção no que diz respeito ao acompanhamento e análise de vibração, a GERASUL possui instalado um sistema integrado e abrangente que contempla todas as áreas de geração de energia conforme abaixo:

- UHSS - Usina Hidrelétrica de Salto Santiago;
- UHSO - Usina Hidrelétrica de Salto Osório;
- UHPF - Usina Hidrelétrica de Passo Fundo;
- UTLA - Usina Termelétrica Jorge Lacerda A;
- UTLB - Usina Termelétrica Jorge Lacerda B;
- UTLC - Usina Termelétrica Jorge Lacerda C;
- UTCH - Usina Termelétrica de Charqueadas.

O sistema de informações é constituído de uma rede interna de computadores do tipo local / remota onde o servidor de comunicação e o servidor contendo as bases de dados das instalações ficam centralizadas na Central de Manutenção e Serviços (CMS) em Capivari de Baixo/SC, e uma estação de trabalho em cada área. Desta forma, a partir de cada planta (estação de trabalho) é possível acessar os dados de qualquer outra planta e, isto é feito através de comunicação por meio de rede do tipo discada com modems utilizando linhas internas de microondas. Em cada estação de trabalho está instalado um programa de análise e gerenciamento dos sinais de vibração referente às medidas feitas.

Os sinais de vibração são coletados no campo por meio de coletores de dados próprios para esta finalidade e então descarregados no banco de dados através do programa específico. Tanto o programa quanto os coletores de dados foram adquiridos da empresa Entek IRD.

Em cada área existe pessoal especializado na operação do sistema ficando a parte de Engenharia de Manutenção centralizada no Departamento de Geração Hidráulica, em Florianópolis/SC. Desta forma, a análise é centralizada e a operacionalização é descentralizada.

O sistema permite que se faça diagnóstico de problemas em máquinas com antecedência suficiente de forma a programar a intervenção com relativa margem de tempo. O programa possibilita análise em frequência, onda no tempo, análise de pulsos de choque para rolamentos, demodulação de sinais (envelope), ensaios de partida e parada de máquinas, levantamento da forma de vibrar de estruturas, balanceamento de máquinas rotativas no campo, análise de corrente elétrica de motores, grandezas de processo, etc.

Nas usinas UHSS, UHPF, UHSO e UPLC, estão instalados nos eixos das turbinas e geradores sensores de proximidade indutivos para monitoramento contínuo do tipo on-line. Os resultados são apresentados visualmente pela variação de um sinal gráfico (verde e vermelho) disponibilizado em painéis montados próximos as unidades. Caso seja necessário o registro dos valores e a forma de onda, deve-se instalar um oscilógrafo. O sistema instalado foi projetado, construído e instalado pelo Laboratório do Departamento de Geração Hidráulica, e é composto de:

Sensor: do tipo indutivo com compensação de temperatura;

Módulo de Processamento: calcula o valor da aproximação ou afastamento do eixo e lança a informação em corrente para o Módulo Central. Cada sensor tem um Módulo de Processamento;

Módulo Central: capta o sinal dos Módulos de Processamento (em corrente) e ajusta para obter saída em tensão (100 μ m corresponde 1V) e/ou saída em corrente (100 μ m corresponde 1 mA).

Para que se obtenha o máximo que o sistema pode oferecer, é necessário pessoal com qualificação adequada, uma vez que se trata de análise de sinais e não simplesmente comparação de valores lidos, com a finalidade clara de diagnóstico precoce de problemas.

A análise dos problemas diagnosticados, pela Engenharia de Manutenção, possibilita a eliminação e/ou minimização dos efeitos destes problemas, reduzindo assim as intervenções futuras (manutenção pró-ativa).

2.3 Medição de Entreferro

Com referência à medição do entreferro¹ do gerador, a GERASUL não possuía um sistema de monitoramento dos hidrogeradores. As medições sempre foram realizadas apenas nas grandes intervenções que exigiam a desmontagem do rotor do gerador ou quando da troca de pólos. O instrumento utilizado para este fim foi projetado e construído pela própria equipe de manutenção mecânica de cada usina hidrelétrica, que consiste de uma escala metálica cuja variação da medida é dada pelo deslocamento axial de duas cunhas.

Esta medição, apesar de precisa, requer a parada da unidade geradora e a desmontagem das tampas e defletores do gerador, influenciando diretamente na disponibilidade das unidades.

3. UHE ITÁ: DETALHES DO PROJETO

A UHE ITÁ – Usina Hidrelétrica Itá está localizada no Rio Uruguai, na divisa dos municípios de Itá/SC e Aratiba/RS, aproveitando um desnível de 105 m entre a foz do Rio Apuaê e a foz do Rio Uvã. A região, de relevo marcadamente dobrado, com o vale do rio encaixado e de alta declividade, é resultado de uma seqüência de derrames basálticos da formação geológica da Serra Geral.

A Usina Hidrelétrica Itá começou a ser construída há 15 anos e ficou parada por mais de 10 anos, até que a iniciativa privada assumisse a obra com um consórcio formado pela GERASUL, Companhia Siderúrgica Nacional, Odebrecht Química e Cimentos Itambé. A maior acionista da Usina hoje é a GERASUL, que detém 69% do consórcio, após a compra dos 39,5% da Odebrecht. A inauguração da Usina ocorreu no dia 24/10/2000, sendo que a Unidade Geradora 1 foi entregue para operação comercial no dia 01/07/2000 e a Unidade Geradora 5 foi entregue no dia 08/03/2001.

A Usina Hidrelétrica Itá possui 5 unidades geradoras com capacidade de produção instalada de 1.450 MW e energia assegurada correspondente a 741 MW médios. A produção de Itá representa 61% do consumo total de Santa Catarina ou 31% do consumo total do Rio Grande do Sul.

O lago do reservatório ocupa uma área de 141 km² e possui uma área alagada de 103 km² e volume total de 5,1 x 10⁹ m³. A antiga cidade de Itá/SC foi submersa pelo lago e o Consórcio construiu uma nova cidade 150 m acima do nível anterior. A barragem principal, do tipo enrocamento com face de concreto, possui altura de 125 m e comprimento de 880 m, e a queda líquida nominal é de 102 m.

¹ Entreferro: espaço livre entre as partes fixas (estator) e girante (rotor) de um gerador ou motor.

As Turbinas são tipo Francis Vertical de 290 MW cada, com rotação nominal de 128,6 RPM, fornecidas pela Alstom e Voith Hydro. Os Geradores de 305 MVA cada e equipamentos associados foram projetados e fornecidos pela Ansaldo Coemsa, com exceção do enrolamento estatórico e do sistema de excitação que é de fornecimento ABB. Os Transformadores Elevadores Trifásicos de 305 MVA 16/525 KV, são de fornecimento ABB (4 unidades) e Ansaldo Coemsa (2 unidades).

Por tratar-se de nova usina e já tendo em vista as perspectivas de qualidade e competitividade na produção de energia, o Consórcio decidiu pela instalação de um sistema completo de monitoramento on-line que pudesse monitorar os diversos parâmetros do conjunto gerador/turbina para efetivar manutenção baseada nas condições da máquina (CBM) já durante o comissionamento das unidades.

O monitoramento dos diversos parâmetros durante o comissionamento das unidades destina-se a formação de um banco de dados histórico da condição das unidades desde os primeiros ensaios dinâmicos, detecção de distúrbios que possam colocar em risco a integridade das partes girantes, além de propiciar um treinamento mais eficaz de seu corpo técnico na utilização desta ferramenta.



O Sistema AGMS usa sensores capacitivos montados no estator para medir o entreferro em qualquer condição de operação, desde parado até a sobrevelocidade. Dois benefícios principais dos sensores capacitivos são a sua imunidade ao ambiente severo encontrado no entreferro do gerador e o aumento da precisão enquanto a distância (entreferro) diminui. O sensor montado no estator é fator de segurança e confiabilidade, pois é menos complexo, mais fácil de ser instalado e de sofrer manutenção quando solicitado, não apresenta riscos e é transparente para a operação de máquina. Os sensores são conectados à unidades de aquisição de dados instaladas fora do gerador, as quais são ligadas ao computador controlador localizado na Sala de Controle Local 1. Estação de trabalho remota localizada na Sala de Engenharia permite acessar dados para análise e efetuar testes nas máquinas.

Com o AGMS, o foco é no valor de entreferro mínimo para cada pólo de rotor agindo como referências físicas de posição de rotação da máquina. A medição de Assinatura (Signature) registra dados de uma rotação da máquina, a medição de Transição (Pole) registra dados de um número de rotações especificado pelo Usuário, a medição de Tendência (Trending) segue a evolução dos parâmetros por dias, semanas e meses e a medição de Alarme (Alarm) dispara nos trips da máquina.

O Sistema ZOOM é um integrador de sistemas de arquitetura aberta e está configurado para monitorar e correlacionar os sinais vitais do conjunto gerador/turbina. Com o ZOOM, os parâmetros adicionais são sincronizados com o entreferro mínimo de cada pólo de rotor. Pela correlação dos parâmetros nos gráficos, pode-se ter uma visão completa da dinâmica da máquina, obter análise completa da condição e comportamento da máquina e realizar diagnósticos precisos.

5. OCORRÊNCIA DURANTE COMISSIONAMENTO DA UG4

Em Novembro/Dezembro de 2000, a VibroSystM, juntamente com GERASUL, estavam na usina executando as etapas do Cronograma de Ensaios da UG4. A bateria de testes, entre outros, incluía os seguintes procedimentos que exigiam um maior acompanhamento das condições da máquina através do sistema de monitoramento: primeiro giro mecânico, tomada de velocidade em passos de 25 - 50 - 75 - 100% RPM, sobrevelocidade, flutuação da coroa polar, levantamento da curva de partida automática de 0-100% RPM, levantamento da curva característica em curto-circuito a frio com o gerador excitado, levantamento da curva característica em vazio com o gerador excitado, sincronização, rejeição de carga em passos de 25 - 50 - 75 - 100% da carga e levantamento térmico com 100% da carga e temperatura estabilizada.

Em cada etapa dos testes, foram efetuadas as medições adequadas utilizando-se o sistema de monitoramento on-line, com especial atenção às condições transitórias, que exigem uma mudança repentina no comportamento da máquina, como a sobrevelocidade e as rejeições de carga. Após cada teste, os resultados das medições obtidas para todos os parâmetros eram analisados e discutidos para verificação de quaisquer anomalias.

A análise dos resultados obtidos no teste de levantamento da curva de partida automática de 0–100% RPM, após o ajuste do Regulador de Velocidade, apresentou resultados preocupantes. A **Figura 2** abaixo, mostra a tela do Sistema ZOOM com os resultados obtidos da medição dos entreferros superiores durante a partida da máquina da condição parada até estabilização em 100% (128,57 RPM), durante o período de 146 revoluções da máquina.

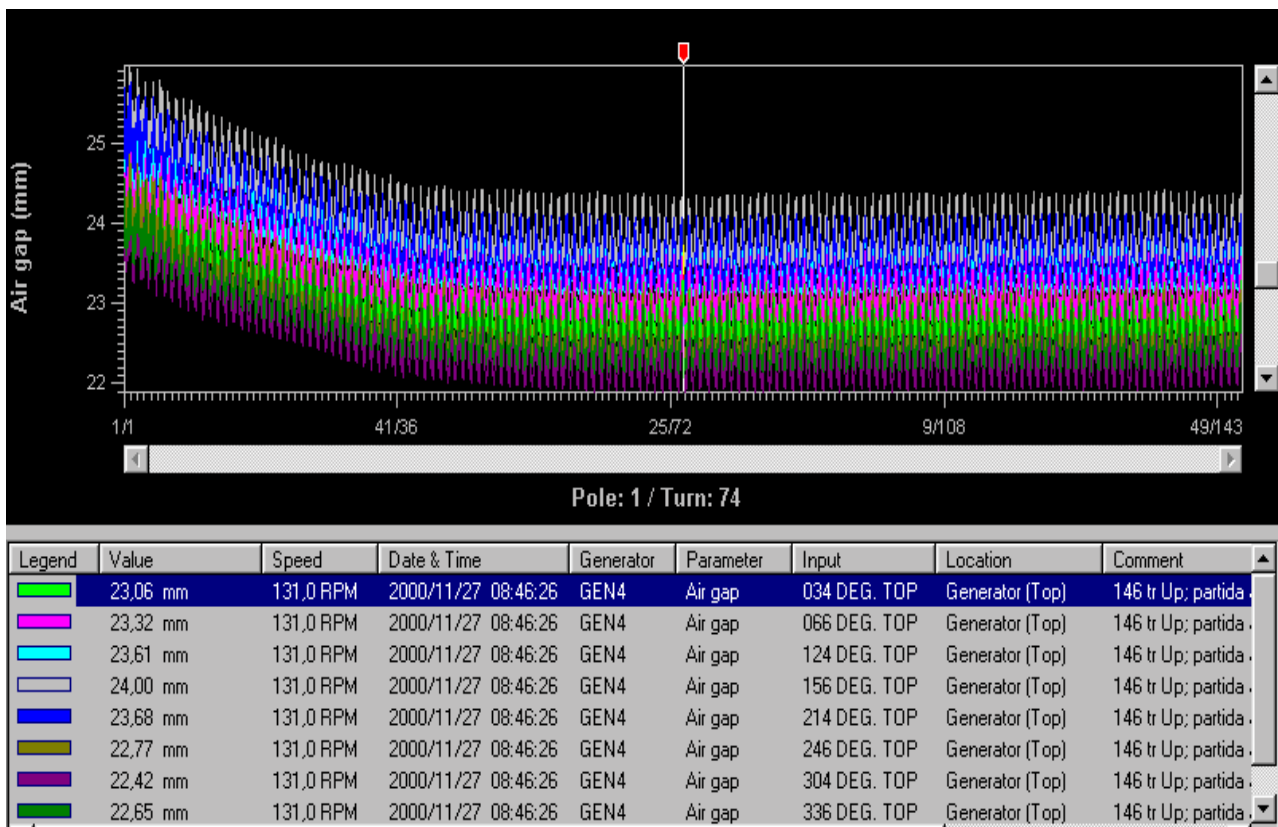


Figura 2: Tela ZOOM mostrando entreferros superiores durante partida 0-100% RPM

Na **Figura 2** nota-se que o entreferro diminui durante o processo de aumento da velocidade de rotação em função da força centrífuga, que expulsa os pólos em direção ao estator. Da legenda da tela, temos as informações básicas do teste, como dia e hora, máquina, parâmetro medido, localização angular de cada sensor, localização física de cada sensor, número de revoluções medidas nesse teste, definição de condição especial de teste (no caso, UP – medição de incremento de rotação) e comentários sobre o tipo do teste efetuado. Também aparecem as informações específicas referentes ao posicionamento do cursor (traço vertical no meio da curva), como o valor do entreferro em mm para o pólo e a revolução mostrados bem como a velocidade nesse momento.

De modo a facilitar a interpretação dos dados do entreferro, a VibroSystM referencia a medição do entreferro aos pólos do rotor ao invés do tempo. Simplificando, isto significa que um deslocamento de fase é mostrada em sete dos oito sensores de entreferro para alinhar os traços de entreferro de todos os oito sensores de acordo com seus pólos (para uma explanação detalhada, veja **Apêndice A**).

Como procedimento normal da análise, foi efetuada uma ampliação da mesma curva da **Figura 2** de modo a se obter detalhes do posicionamento de cada pólo medido pelos 8 sensores de entreferro ao longo de toda a curva, como mostra a **Figura 3** abaixo.

Nota-se que as 8 curvas apresentam-se disformes, com diversos pontos de interseção apenas no período mostrado, entre a metade da revolução 4 e o final da revolução 6, na faixa entre 30 e 70 RPM. As linhas não paralelas indicam que os pólos estão fluando na coroa.

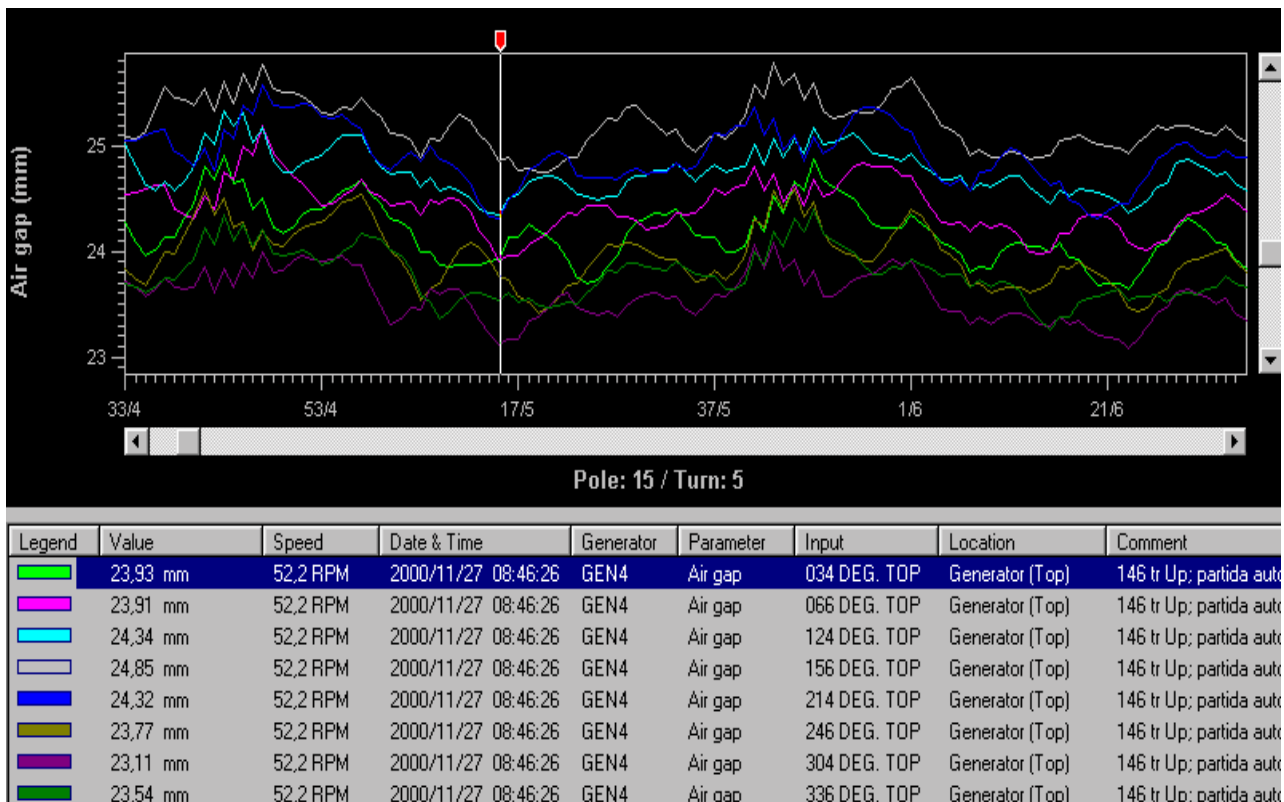


Figura 3 – Ampliação da curva XY do entreferro superior

Os resultados mostraram uma condição preocupante, pois a flutuação dos pólos na coroa pode causar estresse na fixação dos mesmos bem como na fixação e no contato de suas conexões elétricas. Considerando-se que a cada partida da unidade este fenômeno estaria presente, o problema estaria contribuindo para o envelhecimento prematuro da máquina.

Um fato bastante interessante é que a análise da oscilação no eixo, ou vibração relativa a 90° nos mancais de guia tanto do gerador (MGG) quanto da turbina (MGT) não apresentaram qualquer variação considerada anormal durante o mesmo período de medição.

De posse das informações, o Gerente de Manutenção convocou reunião com os Coordenadores do comissionamento da Turbina e do Regulador de Velocidade. O estudo do problema mostrou que a rampa de partida, que por filosofia deveria disponibilizar a unidade na rotação nominal no menor tempo possível, estava muito acentuada, com tempo de aceleração da unidade de 0 a 100% RPM de 27 s (com o ajuste da partida 1 do RV com 24% e partida 2 com 16% de abertura do distribuidor), causando forte torque de rotação na massa girante.

O ponto chave do processo foi a utilização do software ZOOM para identificar um problema nunca antes detectado pela GERASUL. Assim, o grupo de estudo decidiu alterar a rampa de partida do RV para aceleração da unidade de 0 a 100% RPM de 27 s para 42 s (partida 1 do RV com 18% e partida 2 com 16% de abertura do distribuidor) já em todas as 5 unidades geradoras. O resultado obtido é mostrado na **Figura 4** abaixo, onde vemos que o mesmo tipo de teste apresenta as curvas dos entreferros superiores em muito melhor condição que anteriormente.

Além dos resultados mostrados acima, somente visíveis através do sistema de monitoramento, outros resultados de ordem prática foram obtidos. O Coordenador do Comissionamento da Turbina comentou: **“Durante partida da máquina antes da alteração da rampa, a turbina e demais componentes associados emitiam um rangido muito forte. Após a alteração, a turbina parte silenciosa até a rotação nominal”**.

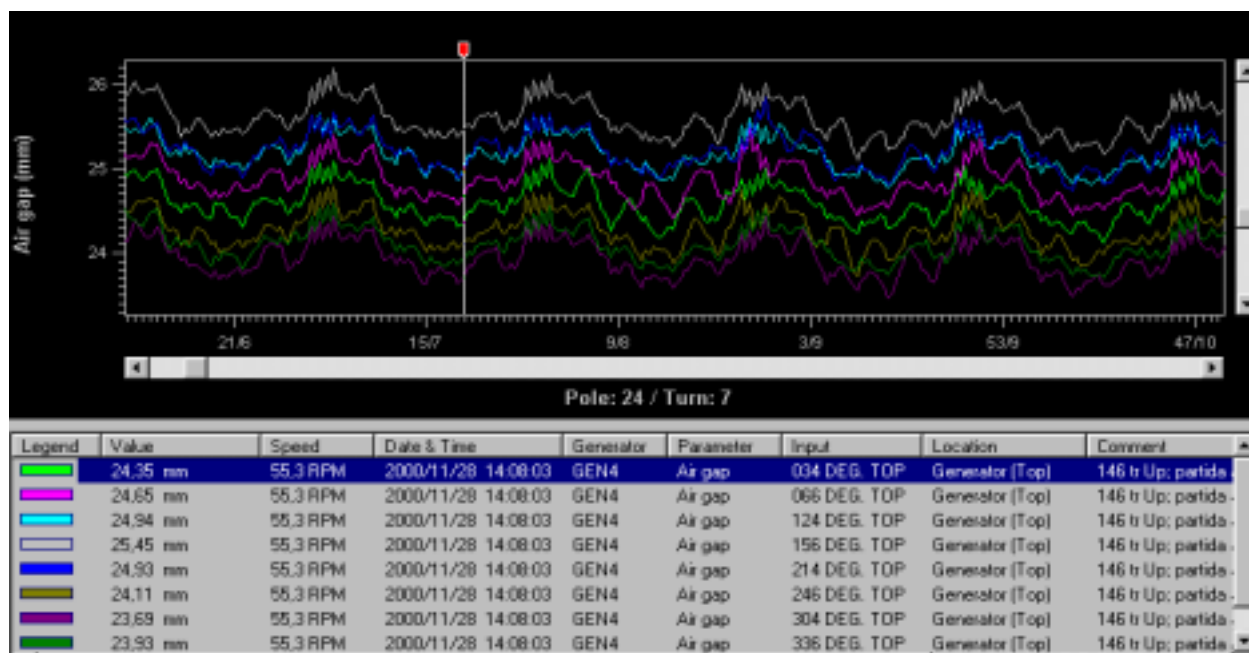


Figura 4 – Ampliação da curva XY do entreferro superior após alteração da rampa

Uma conclusão importante do processo é que a análise do entreferro é uma ferramenta muito poderosa, visto que o monitoramento somente da vibração nos mancais de guia não foi suficiente para mostrar o problema em curso. Também se deve levar em consideração que o próprio pessoal de Manutenção e Operação da GERASUL obteve um conhecimento ampliado das novas máquinas através do uso do software de monitoramento on-line.

6. NOVAS PERSPECTIVAS NA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Em função dos resultados obtidos pelo sistema on-line na UHE ITÁ, a GERASUL intensificou sistematicamente o monitoramento do desempenho das máquinas, obtendo continuamente resultados bastante positivos, como por exemplo, o auxílio no balanceamento da UG5 utilizando-se dados obtidos com o sistema ZOOM.

Outro resultado marcante foi que o sistema de monitoramento on-line evitou uma parada desnecessária da UG4, que aleatoriamente apresentava vibração excessiva e ruídos na turbina. A análise dos resultados das medições automáticas periódicas armazenadas no banco de dados do sistema ZOOM, aliado à capacidade de mostrar curvas da tendência dos diversos parâmetros, mostrou no presente caso que o problema era de natureza hidráulica. Ou seja, o sistema ZOOM evitou mais uma vez a perda de faturamento por tempo ocioso causado por uma parada desnecessária.

Durante as paradas para inspeção de 4000 horas de operação das UG's 2, 3 e 4 foi necessário reajustar a folga do Mancal de Guia da Turbina. Utilizou-se do sistema ZOOM para monitoramento das condições dinâmicas das unidades geradoras, liberando-as para a operação normal tão logo fosse concluído o aquecimento dos mancais. Este fato pode parecer insignificante, mas se considerarmos que para realizar o mesmo ensaio teríamos que deslocar um instrumentista da cidade de Tubarão/SC para a instalação da instrumentação e que após os ensaios a unidade geradora deveria parar por aproximadamente 1 hora para retirada desta instrumentação, verifica-se a agilidade do sistema instalado e mais uma vez a sua interferência na disponibilidade das unidades.

Outros procedimentos já vislumbrados pela GERASUL através da utilização do sistema de monitoramento on-line instalado na UHE ITÁ são a mudança na rotina do pessoal de manutenção, maior conhecimento do comportamento dinâmico das unidades geradoras pela Engenharia de Projetos, descoberta de novas ferramentas para se obter uma melhoria nos futuros projetos, etc.

7. CONCLUSÕES

Este é mais um caso típico no qual o monitoramento do entreferro através do sistema ZOOM foi capaz de mostrar um problema que nunca antes havia sido imaginado pela GERASUL, permitindo um diagnóstico exato do problema e dando condições para que ações preventivas pudessem ser tomadas. Outro resultado importante foi permitir ao pessoal de Operação e Manutenção um maior conhecimento das máquinas. A GERASUL pôde, nesse caso, concluir pela importância do investimento no sistema ZOOM, que lhe rendeu dividendos e plena satisfação.

Monitoramento on-line (ao contrário do monitoramento periódico, off-line) é particularmente útil como nesse caso. Mostrou que, para o problema de flutuação dos pólos no rotor quando da partida, a medição off-line é insuficiente para identificar e permitir correção de um problema antes que ele se transforme em uma parada forçada com custo muito elevado, seja por danos, seja por perda de faturamento devido tempo ocioso.

Outro fator de suma importância foi o auxílio que o sistema ZOOM prestou ao pessoal da GERASUL durante as etapas de comissionamento das unidades geradoras, mostrando excelente confiabilidade principalmente nos ensaios transitórios como flutuação da coroa polar, oscilação e vibração do conjunto Gerador/Turbina, sobrevelocidade, rejeições de carga, determinação da faixa operativa, etc., como também nas medições mecânicas de entreferro, excentricidade rotor-estator e circularidade do rotor e do estator.

A utilização do sistema ZOOM desde o comissionamento das unidades geradoras está proporcionando um conhecimento mais sedimentado das condições dinâmicas das máquinas. Acreditamos que em pouco tempo poderemos definir os níveis de alarme do sistema ZOOM levando-se em consideração além das Normas Técnicas e indicação dos Fabricantes, a real condição dinâmica de cada unidade geradora.

Agora GERASUL está monitorando continuamente o entreferro e todos os demais parâmetros da máquina em todos os cinco geradores de modo a garantir que o investimento do Consórcio ITASA esteja totalmente protegido.

Sistema similar já está encomendado para instalação na UHE Machadinho, com previsão de montagem até fins de 2001. Em consequência dos bons resultados obtidos na UHE ITÁ, a GERASUL está discutindo a instalação de sistema semelhante na nova UHE Cana Brava, em fase de construção.

Considerando-se a utilização conjunta do Sistema de Monitoramento e do Sistema de Controle e Supervisão Digital – SCSD, temos a certeza de que a capacitação técnica das equipes de manutenção elétrica e mecânica deverá ser reavaliada, pois a manutenção estará muito mais voltada à análise e acompanhamento da evolução de determinados fenômenos, reduzindo-se as intervenções para inspeção, paradas de máquinas e consequentemente aumentando-se a disponibilidade e confiabilidade na operação das unidades geradoras.

8. AUTORES:

➤ José Carlos Borgmann: formado Engenheiro Mecânico pela Universidade de Passo Fundo/RS (1984), atualmente trabalha na GERASUL – Centrais Geradoras do Sul do Brasil S.A. como Gerente de Manutenção das UHE ITÁ / PASSO FUNDO.

➤ Marcus Eugênio de Almeida: formado Engenheiro Industrial Elétrico pela Universidade Santa Cecília de Santos/SP (1986), atualmente trabalha como Engenheiro de Vendas e Aplicação da RTR – Rennó Tecnologia e Representações Ltda. na área de Sistemas de Monitoramento em Usinas Hidrelétricas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1) Bissonnette M. – “10 Estudos de Caso em Monitoramento & Diagnóstico On-line de Máquinas Hidrelétricas” – VibroSystM Inc., Canadá.

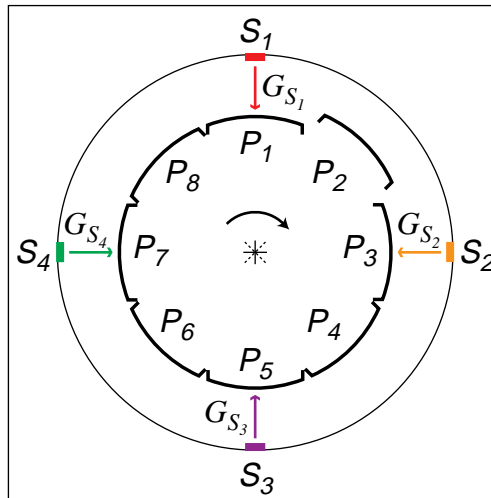
2) Metzker R., Bissonnette M., Tetreault A., Lin J. – “UHE Igarapava – Como o monitoramento do entreferro evitou danos de grande monta no gerador” – 15º Congresso Brasileiro de Manutenção – ABRAMAN – Vitória/ES – Set/2000.

3) Artigo Técnico “Justificativas para Instalação de Sistemas de Monitoramento On-line” – VibroSystM Inc., Canadá.

ENTREFERRO – INTRODUÇÃO À ANÁLISE DOS RESULTADOS

1. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE REFERÊNCIA

Em oposição aos métodos tradicionais de monitoramento referenciados ao tempo, o sistema AGMS da VibroSystM é baseado numa aproximação referenciada ao polo. Sendo o entreferro o menor passo eletromecânico da máquina, o polo serve como referência física por todo o eixo da máquina, permitindo análises rápidas e simples pelos Engenheiros de Manutenção.



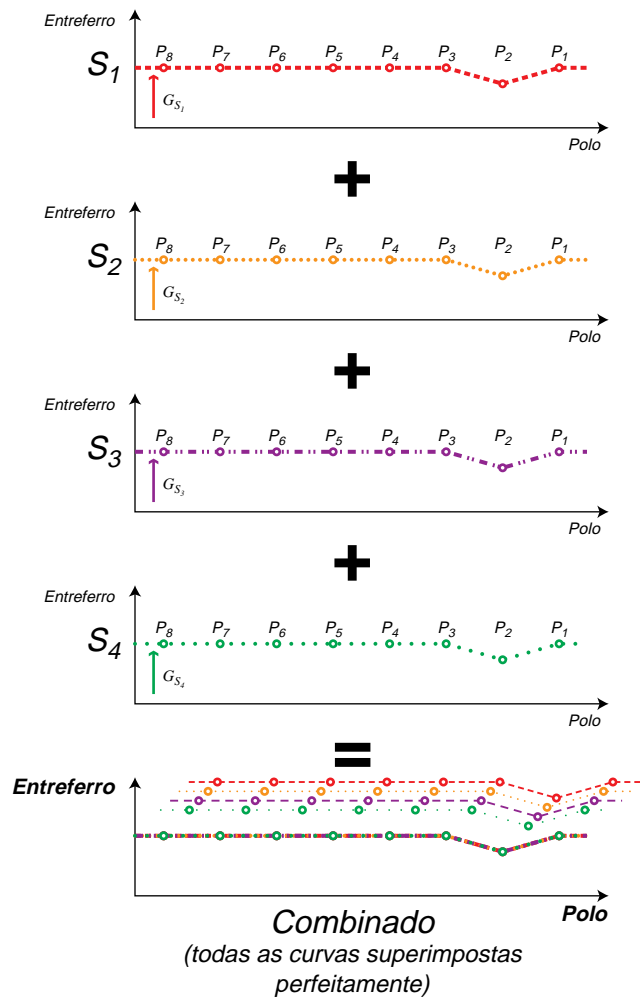
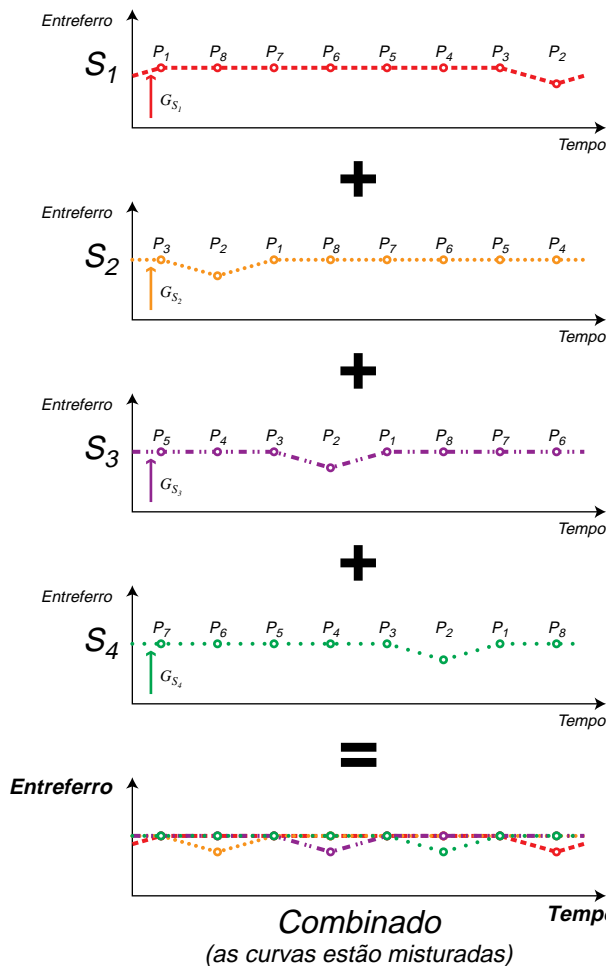
Exemplo:

Vista superior de um estator perfeito centralizado, com rotor quase perfeito

(um polo [P₂] está saliente para ajudar na comparação abaixo)

Tradicional
Gráfico Referenciado ao Tempo

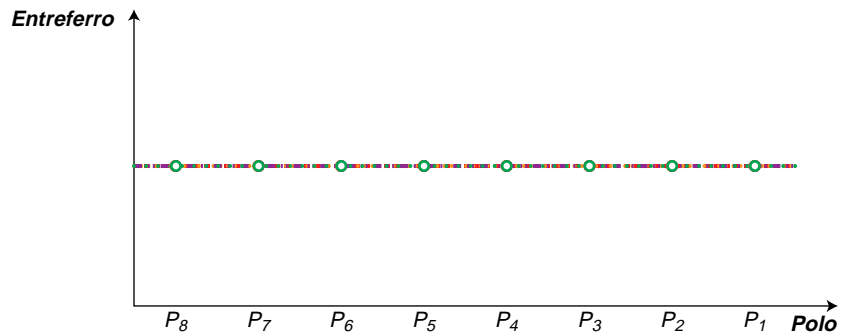
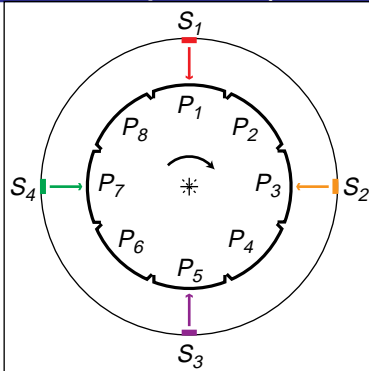
AGMS
Gráfico Referenciado ao Polo



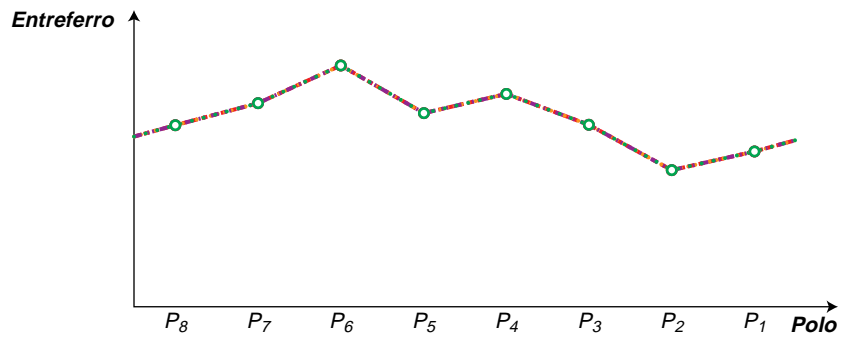
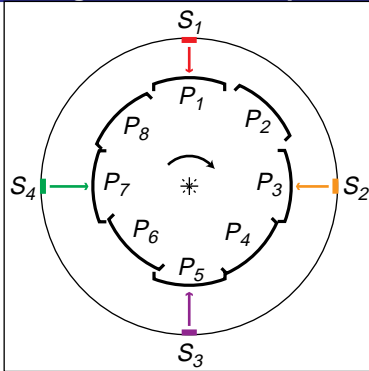
ENTREFERRO – INTRODUÇÃO À ANÁLISE DOS RESULTADOS

2. COMPARAÇÃO DAS FORMAS DO GERADOR

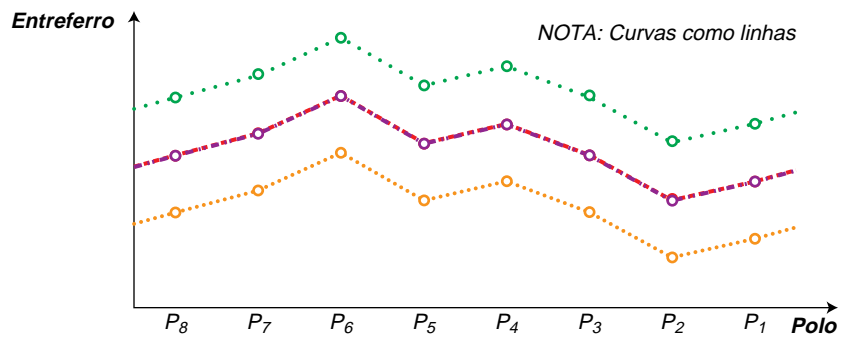
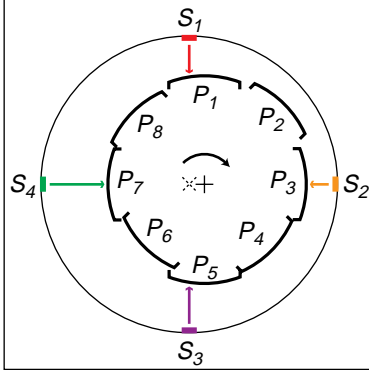
Rotor e estator perfeitos | Centralizado



Rotor irregular em estator perfeito | Centralizado



Rotor irregular em estator perfeito | Não centralizado



Rotor irregular em estator irregular | Não centralizado

