



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

FI/GGH/10
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

RETORNO À OPERAÇÃO DA TURBINA DA KAPLAN DA UG05, UHE CACHOEIRA DOURADA, APÓS ROMPIMENTO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DE UMA PÁ Nº 2, ATRAVÉS DO TRAVAMENTO DAS PÁS AO CUBO POR SOLDAGEM.

**Ricardo Vechin de Macedo (*)
ENDESA CACHOEIRA**

**Aparicio Cesar Camargo
ENDESA CACHOEIRA**

RESUMO

No ano de 2013 a unidade geradora 05 da UHE Cachoeira Dourada sofreu um dano no sistema de acionamento das pás motrizes, sendo necessária sua desmontagem completa e envio à fábrica para recuperação do dano. Como tal solução demandava um grande volume de tempo e investimento, a equipe de manutenção propôs e implementou o travamento das pás motrizes, transformando a turbina Kaplan em tipo Propeller. A implementação exigiu um estudo das condições dinâmicas da máquina, apoio de engenharia para os cálculos estruturais e definição de procedimentos, modificações nos elementos de comando da roda Kaplan, alterações no regulador de velocidade e a implementação de novas condições operativas. Entretanto, pode-se dizer que o objetivo foi atingido e que a solução pode ser implementada em casos semelhantes, uma vez que a unidade geradora 05 encontra-se em operação por mais de 5.000 horas.

PALAVRAS-CHAVE

Turbina Kaplan, Travamento, Pás Motrizes, Soldagem

1.0 - INTRODUÇÃO

As principais usinas do parque hidrelétrico brasileiro, apresentam uma idade superior a 30 anos de funcionamento. Dessa forma, muitas das Unidades Geradoras em operação já apresentam a necessidade de reformas maiores para a extensão da vida útil e da confiabilidade das mesmas. Dada a crescente demanda por energia elétrica e o fato de nossa matriz ser essencialmente hidráulica, é clara uma necessidade de reforma e modernização das unidades como forma de garantir a eficiência e evitar o comprometimento do abastecimento [1].

A Endesa Cachoeira é uma Usina Hidrelétrica construída em 04 etapas, sendo sua primeira etapa construída na década de 1950, a segunda etapa na década de 1960, a terceira etapa na década de 1970 e a quarta etapa na década de 1990, tendo assim, Unidades Geradoras com mais de 50 anos. A Unidade Geradora Nº 5 (UG05) é uma turbina tipo Kaplan, instalada na II etapa, em operação desde 1972 com quase 300.000 horas de trabalho.

No ano de 2013 essa unidade geradora sofreu um dano no sistema de acionamento das pás motrizes da Turbina onde a desmontagem total para realização do reparo seria inevitável. Buscando soluções alternativas para evitar uma parada não programada e que seria danosa para a empresa, o corpo de manutenção da UHE de Cachoeira Dourada optou em realizar o travamento das pás motrizes e recolocar a unidade geradora em serviço até que se contratasse os serviços para sua reforma. Para que isso se tornasse possível foram necessários estudos e adequações para tal aplicação, buscando solução ainda não adotadas em nossas plantas e também com aplicação desconhecida em qualquer outra. Esse informe técnico tem a intenção de apresentar a solução adotada e não estudar as causas raízes do dano ocorrido.

(*) Rodovia GO 206, km 0 – s/nº – Zona Rural – CEP 75.560-000 – Cachoeira Dourada, GO – Brasil
Tel: (+55 64) 3434-9032 – Fax: (+55 64) 3434-9013 – Email: rmacedo@endesabr.com.br

2.0 - O PROBLEMA

Em novembro de 2013 a UG05 apresentou elevações de temperatura no Mancal de Guia do Gerador (MGG), no Mancal de Guia da Turbina (MGT), no Mancal de Escora (ME), sendo bloqueada por proteção de temperatura alta do Mancal de Escora aos 87°C. No ocorrido a UG05 estava com 285.474 horas de funcionamento.

Após parada da Unidade e preparativos de segurança, foi realizada inspeção no MGG, internamente ao Gerador, sendo observado um desgaste do Anel Labirinto do MGG por atrito com o eixo, também pode-se notar o desprendimento de parafusos de fixação da cruzeta inferior do MGG, caracterizando elevada oscilação do conjunto rodante, que pode ser verificado também devido ao contato do eixo com os labirintos do Mancal de Escora e Mancal Guia da Turbina.

Durante as inspeções na Roda Kaplan, foi realizada uma movimentação do conjunto de Pás Motrizes e verificado que uma delas não movimentava, fato que levou à conclusão de rompimento de alguma parte do sistema interno de acionamento da Pá: pino, biela ou parafuso olhal.

Como meio para dimensionar o tamanho dos danos internos, foram abertas as escotilhas de acesso e inspecionado internamente o Cubo da Roda Kaplan, onde foi verificado que um pino do bielismo da alavanca da pá motriz nº 2, figura 01, havia se rompido impossibilitando a movimentação da mesma através do sistema de acionamento. Além do pino, pode-se observar na figura 02 que biela também encontrava-se danificada.

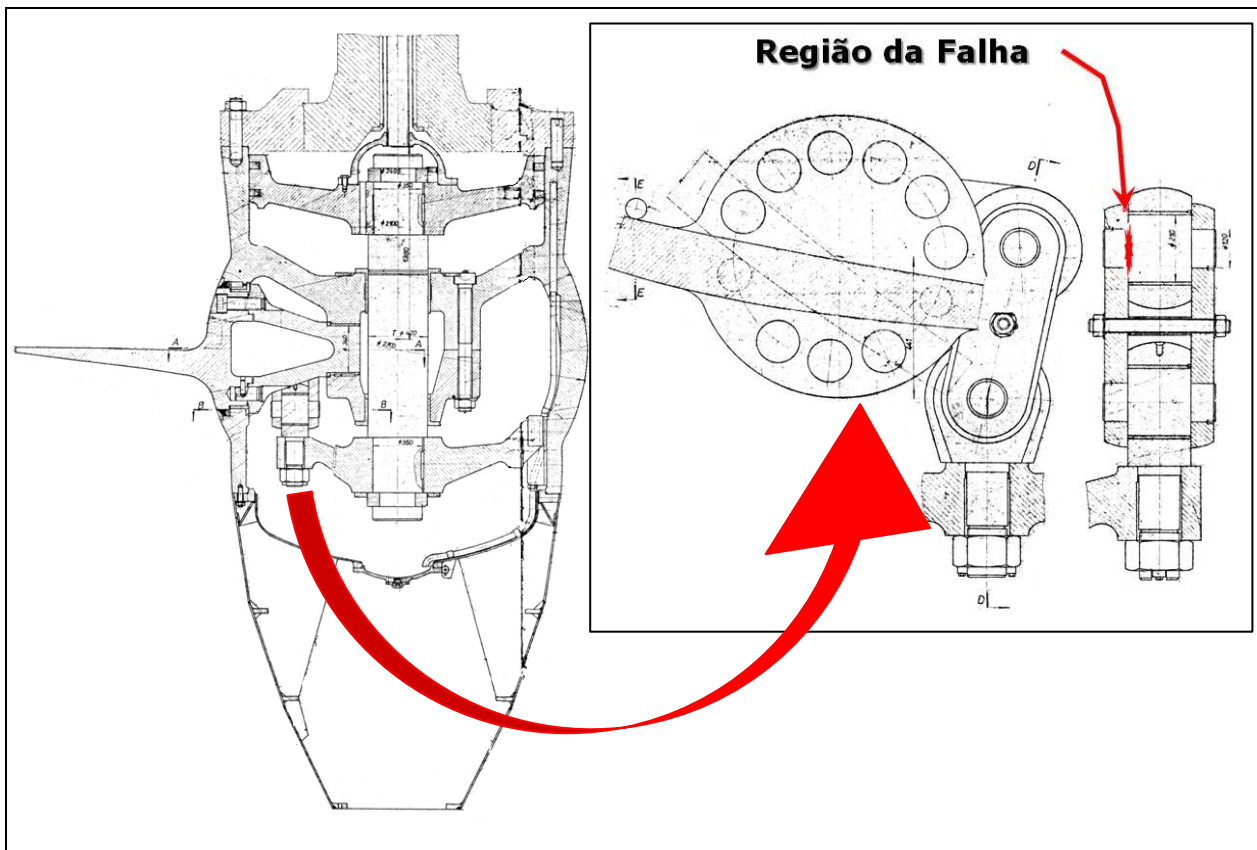


FIGURA 1 – Desenho do Bielismo Kaplan com indicação da região da Falha

Houve também alguns danos secundários, como o empenamento da boda de saída da pá motriz nº02 devido ao roçamento com a envolvente, na figura 03 um croqui com a indicação da região afetada. Essa região foi recuperada antes do retorno da unidade geradora à operação.

Em função dos espaços reduzidos no interior do cubo, com limitações de espaço, elevado peso dos componentes gerando riscos às pessoas através do trabalho em ambiente confinado, além dos torques elevados dos componentes de fixação que deveriam ser sacados para desmontagem do conjunto de movimentação, verificou-se a impossibilidade de realizar a substituição do conjunto danificado em campo.



FIGURA 2 – Biela danificada da pá motriz nº 02.

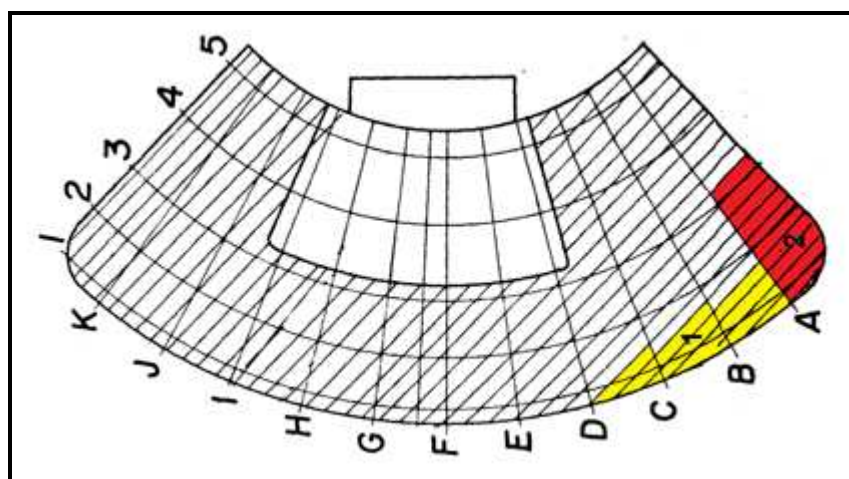


FIGURA 3 – Croqui da pá motriz nº 02 danificada.

A alternativa possível para solução definitiva do problema, seria a desmontagem total da máquina e envio à fábrica para reparo das partes afetadas da Turbina. A contratação de uma empresa qualificada para tal obra demandaria prazos não disponíveis e nem planejados, além disso, apenas o reparo das partes afetadas da turbina não seria uma solução ideal, já que a unidade geradora em questão, já está em operação a 43 anos com quase 300.000 horas.

Uma parada para reparo de tal magnitude, com desmontagem total, deve prever uma recuperação com melhorias e revitalizações de todos os componentes necessários para dar uma nova vida à máquina e transformá-la em uma máquina com elevada confiabilidade, que possa trabalhar por pelo menos mais 200.000 horas sem falhas de tal natureza ou magnitude.

Pensando nisso foram buscadas outras alternativas para que a Unidade Geradora pudesse continuar a produzir energia até que os estudos para a reforma, processo de licitação, projetos de fabricação e reforma de peças, programações do fabricante, dentre outros, estivessem prontos para que o período de parada fosse o menor possível.

A solução estudada e adotada foi o travamento das Pás da Roda Kaplan em uma determinada posição de abertura para que a Unidade continuasse a trabalhar sem que houvesse riscos ou danos maiores à máquina. Os estudos e a forma, como foi realizada esta solução, é o principal conteúdo deste trabalho e será tratado a seguir.

2.1 Solução Adotada

A partir de então iniciou-se os estudos para realizar o travamento das Pás Kaplan, transformado-a em uma Turbina Propeller, para retorná-la à operação, devido ao tempo necessário para contratação dos serviços, desmontagem total da máquina e reforma do conjunto, evitando assim a indisponibilidade não programada por todo esse período. Em consulta a três fabricantes, os mesmos informaram que no Brasil não haviam feito esse tipo de serviço.

Foi contratada uma grande fabricante para realizar os cálculos estruturais para o travamento utilizando travas de aço, em contato com as Pás e soldadas externamente no cubo, em quatro ponto de cada pá: Entrada/pressão, Saída/pressão, Entrada/sucção e Saída/sucção, na figura 04 é possível visualizar um croqui do travamento das pás.

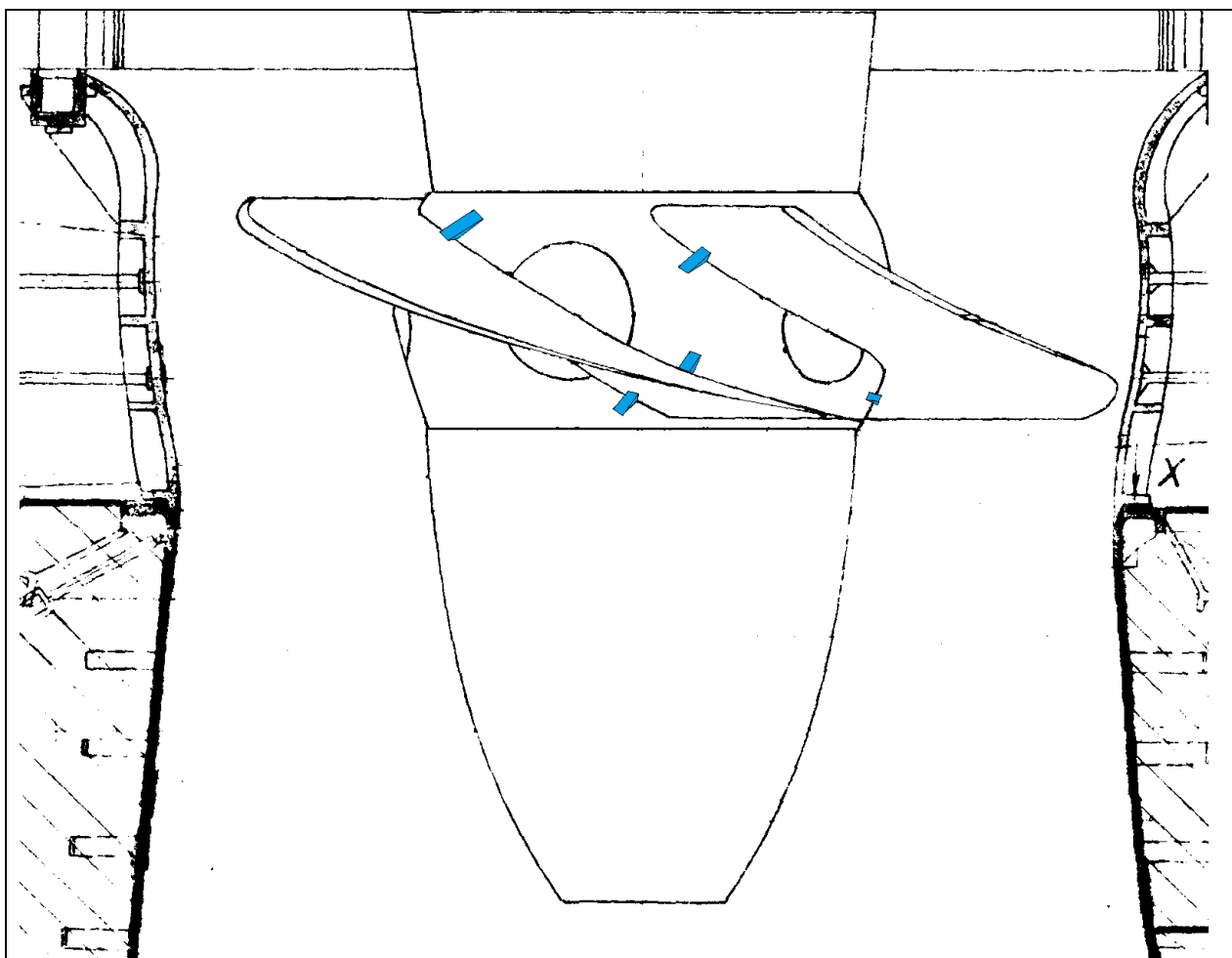


FIGURA 4 – Croqui do travamento das pás motrizes..

Foram definidos os procedimentos para a execução considerando as características da máquina e os elementos que deveriam ser modificados ou suprimidos para que a máquina pudesse produzir, mantendo as condições de segurança, oscilações aceitáveis e um rendimento favorável.

Sendo assim foram determinados os seguintes passos:

2.1.1 Definição da abertura das Pás

Antes do travamento das Pás foi realizado um estudo baseado nos Ensaio de Index Test da máquina para determinar a posição de abertura das pás motrizes para realizar o travamento. Foram considerados os melhores pontos de Rendimento, Oscilação e Vibração, buscando a maior potência possível, já que a unidade iria trabalhar sempre naquela condição. O valor de referencia escolhido foi o de 92% de abertura. Definido o ponto de abertura das Pás Motrizes, definiu-se também a abertura do distribuidor levando em conta a curva de conjugação da máquina.

2.1.2 Estudo do travamento das pás motrizes

Para realizar o travamento das Pás foi necessário a realização de um estudo para definir a melhor posição de fixação das travas levando-se em conta os esforços sobre as Pás e sobre a solda das travas no Cubo da Roda. Também foi definido o número de travas, o seu formato (figura 5) e o procedimento de soldagem a ser adotado. Uma condição que também foi considerada é a interferência das travas para formação de zonas de cavitação, devido ao perfil disforme no local de sua inserção.

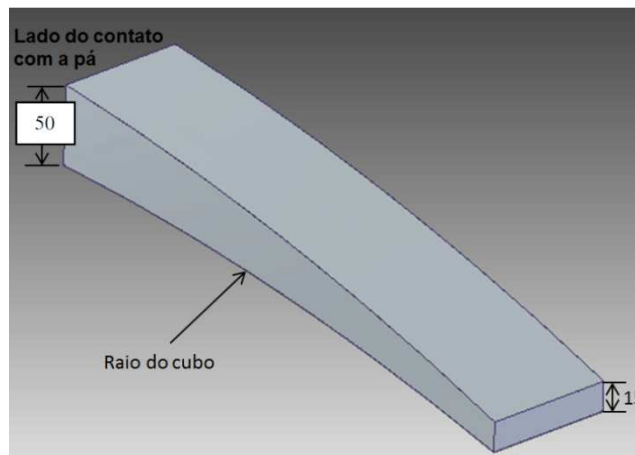


FIGURA 5 – Detalhe do calço utilizado para travamento das pás.

2.1.3 Realização do travamento das pás motrizes

Para a realização da movimentação das pás motrizes, foi necessária a desmontagem da ogiva para retirada dos pinos e das bielas danificadas que bloqueavam a mesma. Após a definição do ponto de abertura das pás motrizes foi feita a abertura através do regulador de velocidade das 04 pás motrizes que não estavam danificadas e a abertura manual, com utilização de macacos hidráulicos na pá motriz danificada. Após o posicionamento das pás motrizes foi feito o travamento, com a peça da figura 5, através de soldagem conforme procedimento definido pela engenharia.



FIGURA 6 – Detalhe das travas soldadas.

2.1.4 Eliminação do acionamento hidráulico das Pás Kaplan

Como as Pás Kaplan foram travadas em determinada posição, não era mais necessário, nem possível, manter o sistema hidráulico de acionamento das Pás. As tubulações hidráulicas foram seccionadas e tamponadas.

2.1.5 Retirada do Cabeçote Kaplan;

Não havendo movimentação hidráulica, o cabeçote Kaplan perdeu sua função, dessa forma, foi feita a desmontagem do mesmo, visto que, ele estaria sem lubrificação e haveria aquecimento e desgastes.

Com a desmontagem do cabeçote Kaplan, sendo que o acionamento hidráulico das pás é realizado por 02 Tubos, um de abertura e outro de fechamento com um passando dentro do outro, foi necessária a confecção de uma bucha para montagem entre as bordas dos tubos para evitar que batam suas extremidades. Também foi confeccionado um mancal, com material autolubrificante, para que o tubo externo girasse dentro dele, mantendo o centro de giro, na figura 7 uma foto do conjunto montado.



FIGURA 7 – Travamento dos tubos de comando.

2.1.6 Definição da forma de partida, parada e regulação da Unidade após travamento

Com as novas condições da máquina, foi necessário reajustar o regulador para diminuir as influências de oscilações na partida e parada, pelo fato de que a mesma iria partir com as pás motrizes totalmente abertas, havendo abertura gradual do distribuidor. Para informação ao Regulador de Velocidade da posição das pás motrizes, o transdutor de posição de abertura da Roda Kaplan foi travado na posição previamente definida. Também foram ajustados parâmetros do regulador de velocidade para que o mesmo “entendesse” que em qualquer condição de partida, parada ou variação de carga, a curva de conjugação teria o posicionamento da pás motrizes da roda na posição de aberturas de 92%.

2.1.7 Definição dos ensaios dinâmicos após travamento

Antes de colocar a Unidade Geradora em serviço foram realizados os ensaios dinâmicos para verificar as condições e comportamento da mesma em serviço após as modificações. As medidas foram tomadas para a faixa operativa da Unidade entre 40 e 54MW em degraus de 1MW. Os pontos monitorados foram:

- Oscilações de Eixo
 - Mancal Guia Gerador sentido radial posição Montante
 - Mancal Guia Gerador sentido radial posição Margem Direita
 - Mancal Guia Turbina sentido radial posição Montante
 - Mancal Guia Turbina sentido radial posição Margem Direita
- Referência de Balanceamento do Conjunto
 - Mancal Guia Gerador sentido radial posição Montante
- Vibrações das Caixas de Mancais

- Mancal Guia Gerador sentido radial posição Montante
 - Mancal Guia Superior sentido radial posição Margem Direita
 - Mancal Guia Turbina sentido radial posição Montante
 - Mancal Guia Turbina sentido radial posição Margem Direita
 - Mancal de Escora sentido axial
- Vibrações em Partes Fixas
 - Tampa da Turbina
 - Tubo de Sucção
- Pressões em Tomadas de Água
 - Caixa Espiral
 - Tampa da Turbina
 - Tubo de Sucção
- Outros parâmetros monitorados
 - Potência Ativa
 - Rotação da Unidade Geradora
 - Posição de Abertura do Distribuidor
 - Pressão de Abertura do Servomotor Toroidal do Distribuidor
 - Pressão de Fechamento do Servomotor Toroidal do Distribuidor
 - Pêndulo Mecânico de Sobrevelocidade

Durante os ensaios foi verificado que a variação do desnível de Montante/Jusante apresentou influencia no comportamento dinâmico da máquina, mesmo mantendo a mesma faixa de carga. Como as pás motrizes estão fixas, pode-se observar a formação de vórtices na saída da turbina nas faixas de carga de trabalho da máquina, fato que influenciou na oscilação excessiva do eixo.

As temperaturas de óleo e patins dos mancais de guia gerador e turbina e escora foram acompanhadas durante os ensaios, sendo que os mesmos se comportaram de forma satisfatória, próximos aos valores encontrados antes da falha na unidade geradora.

2.1.8 Definição do plano operativo após travamento

Após os ensaios dinâmicos, pode-se definir que a melhor faixa operativa para a unidade geradora seria acima de 48 MW. Para as novas condições também foi definido um Plano Operativo que colocasse a máquina sob o menor sacrifício possível. Considerando que as partidas e paradas seriam mais turbulentas que antes, definiu-se que a Unidade Geradora seria sempre a última a entrar em serviço e a última a sair. Desta forma o número de partidas e paradas da máquina seriam menores.

3.0 - CONCLUSÕES.

Após todas as modificações, ajustes e ensaios necessários a UG05 foi disponibilizada para a operação em 11/01/14. Em 13/03/2015, a mesma encontra-se com 5.840 horas trabalhadas após o travamento das pás.

A reforma completa da UG05 já está contratada e seu início previsto para novembro de 2015. Sendo assim há uma previsão de que a mesma irá trabalhar mais 3.000 horas antes de sua parada para a reforma totalizando quase 9.000 horas e 20 meses de operação.

Nos ensaios dinâmicos aos quais a UG05 foi submetida após o travamento das pás, pôde-se notar que em todos os parâmetros a máquina apresentou bom comportamento quando comparados aos padrões das Normas adotadas nos ensaios. Apenas a Oscilação do Eixo teve valores acima do aceitável. No entanto, tais valores não foram decorrentes do atual estado da máquina, mas sim por uma falha de projeto no Mancal de Escora. Tal situação já era conhecida antes das modificações efetuadas e a alteração do projeto faz parte do escopo de reforma desta Unidade.

Considerando o exposto neste informe técnico, pode-se concluir que a solução adotada e a forma como foi implantada se tornou um sucesso para a UHE de Cachoeira Dourada por deixar a UG05 gerando por esse período gerando dividendos até a contratação e início de sua reforma.

É importante ressaltar que a solução adotada se mostrou viável por ser possível retornar a Unidade com Turbina Kaplan, de modo provisório, à operação mesmo com danos que impeçam a movimentação de suas, sendo esta alternativa um ganho tanto para a empresa geradora como para o sistema nacional de geração de energia.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Considerações sobre Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas; Nota técnica DEN 03/08; Rio de Janeiro, JUN/ 2008
- (2) ANDRITIZ HYDRO INEPAR. Procedimento de Reparo da UG5 – SR 12 083; Documento Interno; Araraquara, 05/12/2013.
- (3) ANDRITIZ HYDRO INEPAR. Relatório de Reparo das Pás; Documento Interno; Cachoeira Dourada, 16/12/2013.
- (4) LEEM ENGENHARIA. Ensaios Dinâmicos Unidade Geradora 05; Relatório Técnico 140117-UHECD-EDUG05; Documento Interno; JAN/ 2014

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Ricardo Vechin de Macedo;

- Nascido na cidade de Araras/SP em 27 de Abril de 1977
- Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista no Campus da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira em Ilha Solteira/SP no ano de 2004.
- Especialização MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Uberaba no Campus de Uberlândia/MG no ano de 2011.
- Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista no Campus da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira em Ilha Solteira/SP no ano de 2014.
- Trabalhou como Professor da Escola Técnica Estadual de Ilha Solteira no período de 2003 a 2007, sendo coordenador de curso nos anos de 2004 e 2005. Trabalhou na empresa Servtec Serviços Técnicos de 2005 a 2007,

atuando na área de manutenção, reforma e montagem de empreendimentos hidrelétricos. Desde 2008 trabalha na U.H.E. Cachoeira Dourada como Especialista Engenheiro Mecânico no setor de manutenção mecânica da central.



Aparício Cesar Camargo;

- Nascido na cidade de Araguari/MG em 12 de Setembro de 1965.
- Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia no ano de 1991 e Pós-Graduado em Engenharia de Segurança no Trabalho pela Universidade Federal de Uberlândia em no ano de 2001.
- Trabalhou como Professor da Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais e como Professor do Colégio Universitário de Uberlândia. Trabalhou na empresa Zincom, na área de projeto, fabricação e montagem de sistemas de refrigeração industrial do ano 2000 a 2003. Trabalhou com manutenção de máquinas de terraplanagem e produção agrícola até 2005. Trabalhou como Chefe da Área de Manutenção da Usina Hidrelétrica de Juba até 1998. Desde então trabalha na U.H.E. de Cachoeira Dourada, sendo hoje o Responsável de Manutenção da Central.