



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

FI/GGH/23  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - I**

**GRUPO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**DIAGNÓSTICO PARA AVALIAÇÃO DA VIDA REMANESCENTE DO ENROLAMENTO DE UM HIDROGERADOR CLASSE B DE 40 ANOS**

**Carlos Alberto de Miranda Aviz(\*)**  
**ELETROBRAS ELETRONORTE**

**Sergio Aparecido Fagundes**  
**INSIGHT ENERGY**

**RESUMO**

Este Trabalho tem por objetivo apresentar as principais constatações do envelhecimento lento e precoce dos enrolamentos dos estatores dos geradores 1 e 2 da UHE Curua Una e principalmente aos constantes sobrefluxos impostos nas máquinas para suprir a necessidade de reativo do sistema Tramo Oeste do SIN que ocorrem pelos desligamentos forçados das linhas de transmissão que interligam esta usina hidroelétrica ao SIN. Estes sobrefluxos provocaram esforços e vibrações nas cabeças das bobinas do estator. Estas vibrações e esforços associados a condições mecânicas e aspectos construtivos levaram ao sinistro a máquina 2. Com este trabalho vamos propor um diagnóstico para avaliação da vida remanescente do enrolamento da máquina 1 de classe B com 40 anos através de um Plano de Defesa, Testes de Ciclo de Vida e Medidas Adicionais.

**PALAVRAS-CHAVE**

Análise de Falha, Atuação da Proteção de Sobrefluxo e Sobrecarga, Levantamento das Avarias no Hidrogerador, Identificação da origem da causa da falha, Monitoramento por meio de acelerômetro da vibração da Cabeça da bobina do Estator.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

No dia 29/04/2014 às 15h14min ocorreu um desligamento com atuações das proteções no Gerador nº 02 da UHE CURUA-UNA. Analisando as proteções atuadas verificou-se a necessidade de se fazer inspeção interna no Gerador.

Na inspeção visual identificou-se que havia vestígios de curto circuito nos terminais de saída do estator do gerador e, portanto a necessidade de inspeções mais detalhadas.

Baseada na inspeção visual detalhada, com parte das tampas do gerador removida e janela de inspeção inferior aberta, foi constatado o sinistro com as seguintes avarias: no enrolamento do estator, nos pólos, nos pacotes de chapas, no sistema de fixação dos dedos de aperto do pacote magnético.

A causa raiz dos danos, além do envelhecimento lento e precoce esta relacionada às vibrações constantes provocadas pela sobrecarga e principalmente sobrefluxo identificado e provocando a vibração das cabeças das bobinas do estator e a consequente ocorrência de soltura de um parafuso da estrutura de fixação da tampa do gerador, vindo a cair no espaço entre o estator e rotor. Com o rotor em rotação houve o dano de grande monta.

(\*) SCN Quadra 06 Conjunto A Bloco C Sala 912 – CEP 70716-901 Brasília DF – Brasil  
Tel: (+55 61) 3429-5405 – Email: carlos.aviz@eletronorte.gov.br

## 2.0 - MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO, SUPERVISÃO E CONTROLE.

Com a recente modernização do sistema de proteção, supervisão e controle das máquinas 1 e 2 da Usina foi possível verificar pelos registros analógicos e digitais uma constante sobrecarga e sobrefluxo (V/Hz) impostos nas bobinas do Rotor e Estator, ocasionados pelos desligamentos forçados das linhas de 230 e 138 kV do Tramo Oeste que vem ocorrendo desde 2009 e ilustrado pelo Diagrama Unifilar na Figura 1.

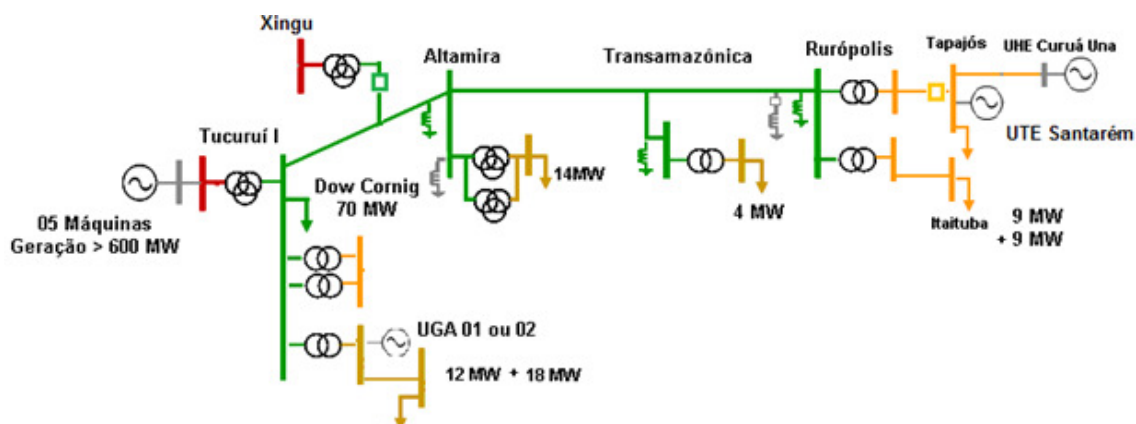


FIGURA 1 – Diagrama Unifilar do Tramo Oeste do Para

### 2.1 Características Técnicas do Gerador

A Usina Hidrelétrica de Curuá-Una possui uma Potencia instalada de 30,90 MW e está localizada na Rod PA 370 Km 75, no Município de Santarém, no Estado do Pará. As Maquinas 1 e 2 tem as seguintes características:

<b>Fabricante</b>	GE
<b>Potencia nominal</b>	10,30 MW
<b>Tensão nominal</b>	6,9 kV
<b>Frequência</b>	60 Hz
<b>Velocidade de rotação</b>	200 RPM

### 2.2 Levantamento das Avarias no Hidrogerador

Através de serviços especializados de inspeção completa do estator e rotor, foi caracterizado curto circuito na isolação contra massa do estator e rotor do Gerador da Unidade 02 e registramos os seguintes os itens abaixo conforme na Figura 2:

- Inspeção visual detalhada do estator, núcleo e rotor com registro fotográfico;
- Ensaio iniciais no bobinado do estator, núcleo e rotor;
- Mapeamento das condições de aperto das cunhas;
- Inspeção visual das barras e anéis do rotor e ensaio de liquido penetrante;

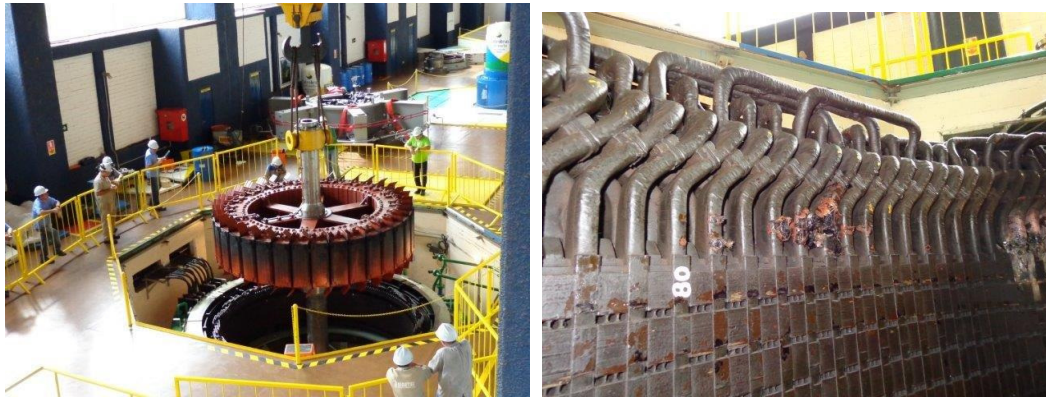


FIGURA 2 – Avarias no Rotor e Estator Máquina 2



FIGURA 3 – Avarias nas Cabeças Bobinas do Estator Máquina 2

#### 2.2.1..Plano de Defesa para Preservação da Unidade 1

Apresentação do Plano de Defesa para preservar o Estator da máquina 1 até a sua substituição por um enrolamento Classe F e que está consistido de:

- a. Instalar rele de subfrequência e corte de carga como planos de defesa, mas o volume esperado de corte de carga, muitas vezes não é cumprido no caso de um verdadeiro acontecimento que causou mais etapas do ERAC para ser ativado.
- b. Instalar um Esquema de Taxa de variação de frequência (*RoCoF – Rate of Change of Frequency*) usando o relé SEL 311C nas Linhas de Transmissão de 138kV e ajustado com base nas análises dos oscilogramas em 4 Hz/seg.
- c. Implantação de um Registrador Digital de Perturbação na UHE Curua Una e um outro portátil na SE Tapajós para análise das ocorrências tanto na SE Tapajós como visando esclarecimentos de futuras ocorrências na UHE Curua Una .
- d. Implantação do Monitoramento por meio de um acelerômetro para a Vibração da cabeça da bobina do Estator da máquina 1 baseado na tecnologia *End Vibration Monitoring*.
- e. Testes *Endurance Life Cycle* do Enrolamento da Cabeça de uma boa Bobina da máquina sinistrada para avaliar a vida útil do enrolamento da máquina 1. Os ensaios de *Voltage Endurance* foram realizadas em 1 (uma) amostra da barra da máquina 2 a tensão de  $4U_n/\sqrt{3}$  Volts – 60Hz a temperatura de 100 °C, sendo  $U_n$  a tensão entre fases e o critério de aceitação foi feita para suportar 400 horas sem indicação de indícios de deterioração.

e. Diagnóstico do sistema isolante de uma bobina retirado do jogo de bobinas originais que operou por 40 anos na máquina 2. Este diagnóstico tem como base os ensaios relacionados abaixo que servirão como base para avaliar a vida remanescente e confiabilidade da máquina 1 em operação.

- Resistência de Isolamento com IA e IP.
- Ensaio de Fator de dissipação dielétrica ou tangente delta.
- Ensaio de vida acelerada (*Voltage Endurance Test – VET*) conforme IEEE 1043.  $4U_n/\sqrt{3}$  Volts – 60Hz a temperatura de 100°C por 400 horas.
- Ensaio de tensão aplicada até o rompimento da isolação.
- Analise por dissecação da isolação da parte reta e cabeça de bobina.

f. Fabricação e fornecimento de 240 bobinas com isolação classe F 155°C. Com base nos estudos realizados nas bobinas da máquina 2, pode ser planejado a fabricação de um novo jogo de bobinas já com as características desejadas a fim de obter rendimento e confiabilidade técnica. Ou seja, não será necessário esperar ocorrer o sinistro para contratar a fabricação de bobinas. A fabricação de bobinas demanda no mínimo 90 dias que somados ao tempo de substituição pode chegar a um período de mais de 150 dias de máquina parada. Com a antecipação da fabricação das bobinas baseado na vida remanescente do enrolamento original teremos no máximo o período de 60 dias de máquina parada o que pode ser planejado para ser executado conforme melhor época do ano ou em conjunto com outras melhorias no sistema.

g. Sistema de Monitoramento de Descargas parciais entre os sistemas de monitoramento existentes, a medição de Descargas Parciais é a única capaz de dar algum indicativo sobre o isolamento elétrico das barras estatóricas sem a necessidade de intervir na máquina, quando esta estiver em operação, ou seja, uma medição on-line. Mesmo sabendo da inexistência de critérios consensuais mundiais para a execução deste tipo de monitoramento, isto não constitui razão suficiente para não se realizar tal procedimento. A favor da medição de Descargas Parciais está a sua característica de poder fornecer informações sobre estado de deterioração elétrica em condições muito iniciais propiciando o planejamento de intervenções bem antes de chegar a uma condição de falha operacional das máquinas.

Tabela 1 – Resultados do Plano de Defesa da Máquina 1 da UHE Curua Una

Item	Descrição	Local	Situação
a	Rele de Subfrequencia – 81 U	Tramo Oeste	Concluído
b	RoCoF – Rate of Change Frequency	UHE Curua Una	Concluído
c	Instalação de RDP Portátil	SE Tapajós	Concluído
d	<i>End Vibration Monitoring</i>	Máquina 1	Em Estudo
e	<i>Endurance Life Cycle</i>	Máquina 1	Em Estudo
f	Instalação de 240 Bobinas Classe F	Máquina 1	Em Estudo
g	Sistema de Monitoramento de Descargas Parciais	Máquina 1	Em Estudo

### 3.0 - CONCLUSÃO

A pesquisa de diferentes fontes de literatura destaca-se que não existe hoje um padrão específica que integra todos os fatores que influenciam a deterioração do sistema de isolamento. Deve-se ressaltar que o sucesso de um processo é maximizado quando as medições são feitas na forma periodicamente de acordo com o estado do isolamento. Para máquina 1 a periodicidade saudável seria de 2 a 3 anos, entretanto devido a suspeita de risco de recorrência, recomendou-se ser 3 a 6 meses. Assim é obtido uma melhor avaliação da evolução do envelhecimento.

O trabalho também permitiu avaliar e diagnosticar a vida remanescente do estator da máquina 1 baseado nos ensaios de *Endurance Life Cycle* do Enrolamento da Cabeça de uma boa Bobina da máquina 2.

Para avaliar a vida útil do enrolamento da máquina 1, os ensaios de *Voltage Endurance* estão sendo realizadas em laboratório em 1 (uma) amostra da barra da máquina 2 a tensão de  $4U_n/\sqrt{3}$  Volts – 60Hz a temperatura de 100°C, sendo  $U_n$  a tensão entre fases e o critério de aceitação foi feita para suportar 400 horas sem indicação de indícios de deterioração.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Relatório de Análise de Falha do Enrolamento - RAF-0006/2014 UHE Curua Una – ONS
- (2) Relatório de Análise de Perturbação da Ocorrência de 29/04/2014 - RAP RE 3-0086-14 Tramo Oeste.

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

##### **Carlos Alberto de Miranda Aviz**

Natural de São Paulo – São Paulo (1951). Engenheiro Eletricista formado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1970), Curso de Engenharia de Sistemas Elétricos CESE em nível de pós-graduação pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI (1984) e cursos de Especialização em Sistema Elétricos de Potência. Instrutor no Curso de Proteção de Subestações, de Proteção de Usinas Térmicas e de Usinas Hidroelétricas na Eletrobras Eletronorte. Desde 1979 na Eletronorte, atuando nas áreas de operação e manutenção de sistemas de controle e proteção de subestações, usinas térmicas e hidroelétricas. Autor de vários trabalhos na área de proteção, controle e supervisão publicados em seminários como SNTPEE, ERIAC e STPC e na 45ª Bienal CIGRÉ em 2014.

##### **Sergio Aparecido Fagundes**

Natural de Londrina – Paraná (1971). Engenheiro Eletricista formado na Universidade Norte do Paraná – UNOPAR (2006). Pós-graduação em Gestão de Projetos pela Faculdade tecnológica do Senai Londrina (2011) e cursos de especialização em sistema isolante de máquinas elétricas girantes de usinas Hidroelétricas e tubo gerador de usinas termoelétricas. Experiência de mais de 20 anos atuando na execução e projeto de recuperação de máquinas elétricas de grande porte.