



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

GGH-11
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

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

**MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO CONTROLE E PROTEÇÃO DA
USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ**

**Antônio José Santos da Silva*
Nilson Pantoja Faria
ELETRONORTE – UHE TUCURUÍ**

RESUMO

O Sistema de Supervisão Controle e proteção da **UHE Tucuruí** tem por objetivo supervisionar, controlar e proteger as nossas 12 Unidades Geradoras em operação (4200MW), 11 Unidades Geradoras em processo de montagem (4125MW), 02 Unidades Geradoras Auxiliares (45MW) e um Vertedouro composto por 23 comportas; bem como prover a ligação com o Centro de Operação Regional de Belém (COLBE) e também com o Centro de Operação do Sistema da Região Norte (COSRN). Baseado nestas características, nosso trabalho tem como objetivo apresentar a experiência adquirida no processo de modernização deste sistema concebido na década de 70, para um sistema com tecnologia digital de última geração.

PALAVRAS-CHAVE

Supervisão. Controle. Proteção. Unidades geradoras hidráulicas. Modernização.

1.0- INTRODUÇÃO

A Unidade Regional de Produção e Comercialização de Tucuruí (Usina Hidroelétrica Tucuruí) é uma Superintendência Regional da Diretoria de Produção e Comercialização das Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – Eletronorte, localizada no rio Tocantins, a 350 km de Belém, no município de Tucuruí/PA. Com a operação iniciada em 1984 a energia elétrica gerada na UHE Tucuruí passou a atender à demanda dos Estados do Pará, do Maranhão e do Tocantins e parte da Região Nordeste através do sistema interligado Norte-Nordeste. Com a interligação dos sistemas

Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste, através da linha Norte-Sul, a UHE Tucuruí passou a assumir um papel importante no suprimento de energia elétrica aos sistemas interligados do país, através da Rede Básica, aumentando consideravelmente a confiabilidade operacional do Sistema Elétrico Brasileiro.

A UHE Tucuruí possui hoje instaladas, na primeira casa de força, 12 unidades geradoras hidráulicas principais com capacidade de 350 MW cada e duas unidades geradoras auxiliares de 22,5 MW cada, sendo nesta primeira etapa a sua capacidade total de geração instalada de 4.245 MW.

Com a expansão da obra, através da construção da segunda casa de força, que se encontra em andamento com a instalação de mais 11 unidades geradoras hidráulicas de 375 MW cada, esta capacidade será duplicada para 8.370 MW, até 2006.

Toda Demanda de Energia, da primeira casa de força, solicitada através do centro de despacho de carga, necessária para o sistema, é processada pelo computador central, que está operando como MESTRE, e através do programa de controle conjunto, distribui o comando necessário para cada UTR processar e distribuir o comando para cada unidade geradora que está sob seu controle.

Ao longo do tempo o sistema vem apresentando vários problemas, tais como:

- Constantes paradas dos computadores impossibilitando o controle conjunto de geração de todas as unidades geradoras podendo causar instabilidade e colapso no sistema interligado;
- Constantes paradas de unidades terminais remotas, impossibilitando o controle conjunto de duas unidades geradoras;

* Rodovia BR 422 KM 13 - CEP 68464-000 - Tucuruí - PA - BRASIL
Tel.: (094) 37877222 - E-MAIL: aj@eln.gov.br
E-mail: npfaria@eln.gov.br

- Atuação intempestiva de relé de proteção por deterioração de componentes dos mesmos;
- Falta de componentes sobressalentes para reposição imediata.
- Perda da funcionalidade MESTRE x ESCRAVO

Através da avaliação da situação em que se encontrava o sistema, em conjunto com a área de engenharia da ELETRONORTE, partimos em busca de sistemas modernos, confiáveis, que executassem no mínimo às funções desempenhadas pelo sistema em operação.

Durante o processo de estudos, pesquisa de mercado e projeto para um novo sistema, ocorreu início do projeto para a construção da segunda casa de força. Este fato nos levou a incorporar o projeto de modernização do Sistema de Proteção Controle e Supervisão da primeira casa de força, com o projeto do Sistema de Proteção Controle e Supervisão da segunda casa de força onde teremos ganhos significativos nos seguintes aspectos:

- Teremos um único Sistema de Supervisão e Controle remoto para a primeira e segunda casa de força garantindo uma maior confiabilidade operacional do sistema.
- Todo o Sistema de Proteção, Supervisão e Controle local da primeira e segunda casa de força utilizando mesma tecnologia digital facilitando a manutenção e operação do sistema.

2.0- DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS A SEREM MODERNIZADOS

2.1- Sistema de Proteção

O Sistema de proteção das unidades geradoras é composto por 35 funções de proteção realizadas por relés eletromecânicos e estáticos onde cada função de proteção depende de um hardware específico não existindo redundância.

O sistema de proteção das unidades geradoras principais, esta dividido em:

2.1.1- Proteção contra defeitos elétricos

O esquema de proteção é composto por sensores capazes de identificar uma variação irregular nas grandezas elétricas próprias da máquina, atuando rapidamente no sentido de modificar a condição operacional, até que esta se encontre numa situação segura.

É importante notar que, apesar de fenômenos tais como: sobretemperaturas, sobre e sub pressões, não serem propriamente elétricos, estes estão incluídos na classe de sensores que caracterizam tal tipo de defeito. Esta linha de critérios se baseia no fato de que a grandeza esteja associada a uma falha elétrica ou possa vir a ser a causa de uma falha desse tipo. Podemos observar na Tabela 1 alguns exemplos de proteções elétricas de nossas unidades.

TABELA 1 – EXEMPLOS DE ALGUMAS PROTEÇÕES ELÉTRICAS MODERNIZADAS

TIPO DA PROTEÇÃO	CARACTERÍSTICA DA PROTEÇÃO
Sobrecorrente Tempo Inverso 51TE	Estático – RSAS 1330
Sobretensão homopolar 59TE	Analógico – B801B – Delle Alstom
Diferencial terra residual 87NT	Estático – RADHO – ASEA
Diferencial da unidade 87U	Estático – RADSE – ASEA

2.1.2- Proteção contra defeitos mecânicos

O esquema de proteção é composto por sensores capazes de identificar uma variação irregular nas condições mecânicas próprias, especificamente para o funcionamento da máquina e da turbina atuando rapidamente no sentido de modificar a condição operacional até que esta se encontre numa situação segura.

O Relé Biestável RXMVB4 – ASEA é o ponto de convergência para todos os sensores mecânicos.

Alguns exemplos de sensores que captam anormalidades de origem mecânica são apresentados na Tabela 2:

TABELA 2 – EXEMPLOS DE SENSORES MECÂNICOS

SENSOR	CARACTERÍSTICA
Falta de fluxo da água de resfriamento do óleo do Mancal de Guia do Gerador	Fluxômetro 80EPA - Supervisiona o fluxo de resfriamento do óleo do Mancal de Guia superior do gerador, caracteriza alguma anormalidade de fluxo na água de resfriamento do óleo do Mancal.
Falta fluxo de água de resfriamento do óleo do Mancal de Guia da Turbina	Fluxômetro 80MT - Supervisiona o fluxo de água de resfriamento do óleo do Mancal de Guia da Turbina, caracteriza alguma anormalidade de fluxo na água de resfriamento do óleo do Mancal.
Falta de fluxo da água de resfriamento do óleo do Mancal de Escora	Fluxômetro 80MR - Supervisiona o fluxo de água de resfriamento do óleo do Mancal de Guia da Turbina

2.1.3- Proteção contra defeitos hidráulicos

O esquema de proteção é composto por sensores capazes de identificar uma variação irregular nas condições hidráulicas próprias, especificadas para o funcionamento da máquina, atuando rapidamente no

sentido de modificar a condição operacional até que esta se encontre numa situação segura. O relé Biestável RXMVB4 – ASEA é o ponto de convergência para os sensores hidráulicos. Na Tabela 3 temos exemplos sensor hidráulico:

TABELA 3 – SENSOR HIDRÁULICO

SENSOR	CARACTERÍSTICA
Sobre-velocidade – 2º estágio	Sensor 12LA detecta que a máquina se encontra num regime de velocidade acima do 1º estágio.

2.1.4- Proteção de parada parcial

A parada parcial ocorre sempre que não houver necessidade de se parar mecanicamente a máquina, havendo a necessidade apenas de se manter os disjuntores principal e de excitação abertos.

TABELA 4 – EXEMPLO DE PROTEÇÃO DE PARADA PARCIAL

SENSOR	CARACTERÍSTICA
Carga desequilibrada do Gerador (tempo inverso)	Estático RJAN – 110 – Schlumberger

O novo sistema de proteção está fundamentado em 02 conjuntos de proteção (Primário e Secundário) interligados ao sistema de controle e supervisão através de um concentrador.

Esse sistema é formado por 02 relés digitais REG216 onde estão as principais funções de proteção do gerador e transformador, 01 conjunto REX10/REX11 cuja função é detectar fugas a terra, através de um processo de injeção de sinal no rotor/estator e 01 relé SACO16A3 para monitoração de sobretemperaturas nos enrolamentos do gerador.

A proteção de barras é feita por um sistema constituído por uma unidade central e por unidades terminais de bay distribuídas (REB500).

A proteção de linha é executada por relés REL316 utilizando a função diferencial por fio piloto entre a Usina e a S/E.

Também compõe o novo sistema de proteção uma central de análise de proteção (UAP) que tem por objetivo centralizar os registros de eventos e oscilografias referentes aos relés de proteção e aos oscilopertubógrafos INDACTIC I650.

2.2- Sistema de supervisão e controle

A operação da Usina é realizada a partir do Edifício de Comando e Controle no local denominado Centro de Operação da Usina (COU), onde a vantagem principal é a centralização das informações, de modo que a qualquer momento o operador tenha uma visão global da Usina e do Vertedouro, com a possibilidade de intervenção nesses setores.

Do centro de Operação o Operador possui as seguintes funcionalidades:

- Supervisão em tempo real da usina
- Acesso a relatórios e acompanhamentos do processo
- Comandos remotos em qualquer unidade geradora e comportas do vertedouro

- Possibilidade de usar algoritmos de funções especiais para controle automático de tensão e potência globais da usina
- Programação da geração global da usina

O sistema a ser modernizado consiste de dois computadores SOLAR 16.70 de fabricação SEMS, com clock de 8Mhz e memória RAM semicondutora de 256K palavras de 17 bits. Este sistema é constituído por equipamentos construídos com componentes discretos, os quais já se encontram em final de vida útil e com a agravante de não existirem mais peças de reposição.

O sistema possui também, nove unidades terminais remotas que enviam os dados do processo para os computadores centrais através de modem de comunicação, sendo que cada unidade terminal remota (UTR) recebe informação de duas unidades geradoras, existindo uma específica para o vertedouro e outra para a Subestação.

O gerenciamento em tempo real, da Usina, do Vertedouro e da Subestação é realizado por um dos computadores denominado MESTRE, naquele instante, sendo que o outro computador, denominado ESCRAVO, é constantemente atualizado pelo MESTRE, de forma a poder assumir as funções em tempo real no caso de pane da estrutura MESTRE. Ambos computadores possuem hardware e software idênticos, portanto, o papel desempenhado pelos dois é reversível.

O sistema novo, em processo de implantação, consiste de: 03 servidores centrais (Estações SUN), 02 pontos de operação independentes, 17 unidades de aquisição de dados, 17 interfaces homem-máquina locais, 14 unidades de proteção digital. Este novo sistema é baseado em comunicação via rede óptica, favorecendo a velocidade e confiabilidade das informações obtidas, em contrapartida a tecnologia anterior que usava ainda comunicação via modem.

3.0- SITUAÇÃO ATUAL DA MODERNIZAÇÃO

Nossa situação atual neste processo de modernização de nossos sistemas é o de 04 unidades já modernizadas e totalmente interligadas ao sistema de supervisão digital. Com isso conseguimos as seguintes melhorias para a instalação:

- Melhoria na confiabilidade das informações para o operador.
- Melhoria na velocidade de comunicação de dados.
- Redução nas necessidades de manutenção ao sistema.
- Acréscimo de um novo posto de operação localizado nas proximidades dos geradores.
- Disponibilidade de uma interface homem-máquina (IHM) local para cada unidade.
- Melhores opções de diagnóstico e acompanhamento dos nossos processos.
- Postos de operação mais amigáveis para o operador.
- Possibilidade de acesso remoto aos sistemas tanto de proteção como de controle.
- Melhores opções de armazenamento das informações dos sistemas, para posterior consulta.
- Proteções mais confiáveis, rápidas e seletivas.
- Proteção mais acessível à manutenção, pois possui redundância de relés.

- Interligação entre os sistemas de controle e proteção, possibilitando troca de dados.
- Possibilidade de acesso remoto aos dados de eventos da proteção.
- Revitalização dos componentes e acessórios dos quadros de comando convencional.
- Comando de aumentar/diminuir velocidade para efeito de sincronismo automático.
- Oscilografias através dos relés e oscilopertubógrafos.

4.0- ESTRATÉGIA ADOTADA NA MODERNIZAÇÃO

Durante o processo de elaboração da estratégia para execução da implantação do sistema, o fornecedor apresentou uma proposta de cronograma de execução onde seria necessária a parada de duas unidades geradoras por 90 dias, considerando que o mesmo estaria atuando em um sistema em operação. Esta opção acarretaria um alto custo por perda de geração de energia para a empresa (Ver Tabela 5).

Com a experiência das áreas de engenharia, manutenção e operação da ELETRONORTE, em conjunto com o fornecedor foram feitos estudos de opções de implantação onde chegou-se à seguinte estratégia que resultaria em um menor custo de perda por geração e maior confiabilidade na execução: dividimos os trabalhos em duas etapas - a primeira com a unidade geradora em funcionamento (aprox. 60 dias) e uma segunda etapa com a unidade geradora fora de serviço (aprox. 22 dias).

TABELA 5 – DEMONSTRATIVO DEPREJUIZO COM A PARADA DE UNIDADES GERADORAS

DIAS	MILHÕES DE REAIS
20	4,728
30	7,093
40	9,457
50	11,821
60	14,186
70	16,550
80	18,914
90	21,279

4.1- Procedimentos para modernização com unidade geradora em funcionamento

- Durante a fase de preparação para montagem as equipes de manutenção e engenharia estiveram em fábrica realizando ensaios funcionais dos equipamentos.
- Ampliar a Sala de Controle Local e instalar nesse espaço as novas UCD's (Unidade de controle digital) e as novas UPD's (Unidade de proteção digital).
- Instalar bandejamento aéreo na sala de controle local.
- Lançamento de novos cabos de interligação entre UCD's, UPD's e chassis de relés auxiliares.

- Preparar e conectar cabos nas UCD's e UPD's. (Nos chassis de relés auxiliares estes cabos permaneceram desconectados).
- Lançamento de cabos blindados para interligação entre TP's, TC's e UPD's em substituição aos existentes não blindados.
- Instalar UPS's para o sistema de supervisão.
- Instalar os equipamentos do centro de operação da usina (COU), incluindo a UAP e as redes de comunicação
- Testes de entrada/saída das UPD's e UCD's.
- Testar a comunicação entre os sistemas (inclusive comandos, automatismos, ativação de telas, alarmes, eventos, oscilografia, etc.).

4.2- Procedimentos para modernização com unidade geradora fora de serviço

- Retirar os cabos de interligação entre a unidade terminal remota e os chassis de relés e painéis de proteção.
- Conectar os novos cabos de interligação entre TC's e TP's e as UPD's.
- Conectar os novos cabos nos chassis de relés auxiliares.
- Executar as adequações necessárias nos painéis de controle convencional existentes
- Executar testes reais do novo Sistema com o processo
- Simultaneamente, desmontar e retirar a antiga UTR e os painéis de proteção da linha, QC, QP, oscilógrafo, etc.
- Com o gerador rodando em curto, testar as funções de proteção alimentadas com corrente
- Com o gerador rodando e com excitação gradualmente elevada, testar as funções de proteção alimentadas por potencial
- Executar testes completos no sistema de sincronização da unidade
- Liberar a unidade geradora para operar a partir das estações de operação do novo Sistema, enquanto as demais unidades continuam a operar pelo sistema antigo.

5.0- CONCLUSÕES

Os Sistemas digitais de Supervisão, Proteção e Controle já instalados e em operação em 04 unidades geradoras vem operando desde 14/05/2002 onde já podemos destacar alguns benefícios com relação à manutenção e operação do sistema:

- O ambiente amigável, de interface com o operador, garante a operação confiável do sistema através de janela de comando e não mais através de digitação de linhas de comando.
- As análises de ocorrências no sistema, pela operação e manutenção, tem sido ágeis devido à flexibilidade de manuseio das listas de eventos e

alarmes, bem como, através dos registros gráficos de grandezas elétricas e mecânicas.

- As etapas de partidas e paradas das unidades geradoras são acompanhadas remotamente através de seqüencial de transição de estados, agilizando a identificação de defeitos em qualquer uma destas etapas.

Todo o sucesso da implantação do sistema deve-se a forte integração entre as áreas de Engenharia, Operação e Manutenção com os Fornecedores, bem como a participação ativa das áreas de operação e manutenção nas diversas fases do processo:

- No projeto, atuando com a experiência de manutenção e operação do sistema antigo para a definição da melhor filosofia de funcionamento e da estratégia de implantação.
- Nas inspeções em fábrica, atuando na identificação e solicitação de correção das não conformidades, evitando que estas não conformidades ocorressem durante a fase de implantação na planta.
- Na implantação em campo, trabalhando junto com as equipes dos fornecedores a fim de garantir a confiabilidade operacional do sistema, considerando-se que se estava trabalhando com equipamentos energizados e em operação.

6.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ALSTHOM. Manual de manutenção computador SOLAR 16.70
- (2) ALSTOM. Manual de manutenção
- (3) ALSTOM. User's documents ALSPA P320 Volumes I a XV
- (4) ALSTOM. Usina Hidrelétrica de Tucuruí Etapa II – Sistema de Proteção, Comando e Supervisão, Funções Especiais.
- (5) ABB. Manual software FUPLA 216/316 – 1MRB520059
- (6) ABB. Manual de Instalação oscilopertubógrafo INDACTIC – Doc 3BHS 104 885
- (7) ABB. Catálogo Relé REB 500 – Proteção numérica de barra - 1MRB520256
- (8) ABB. Catálogo Relé REG 216 / REG 216 compacto – proteção numérica de gerador - 1MRB520004
- (9) ABB. Catálogo Relé REL 216*4 – Proteção numérica de linha - 1MRK506013.
- (10) ABB. Catálogo Relé SACO 16A3 – 1MRS751015-MUM-EN