

## **EXPERIÊNCIA DE ITAIPU NA TRANSIÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE CONVENCIONAL PARA O DIGITAL UTILIZADO PARA SUPERVISÃO E CONTROLE DO SISTEMA DE ÁGUA PURA DAS UNIDADES GERADORAS**

**Marco Aurélio Siqueira Mauro**

**Itaipu Binacional**

**BRASIL**

### **RESUMO**

O objetivo deste artigo é apresentar a experiência da ITAIPU no processo transição do sistema de controle convencional para o digital utilizado para supervisão e controle do sistema de água pura das unidades geradoras de 1 a 18 (primeira etapa), tendo por base as novas unidades, 9A e 18A, recém inauguradas (segunda etapa). Este sistema é de grande importância na capacidade de geração da central, pois caso as mesmas máquinas de Itaipu não o possuíssem teriam sua potência unitária reduzida a 25%, perfazendo um total de 175 MW, o que seria uma redução considerável e poderia até mesmo inviabilizar o projeto. Com a implantação das duas novas unidades geradoras pode-se ter uma boa experiência na transição da tecnologia convencional, utilização de controle analógico baseado na lógica de relés aplicada na primeira etapa, para a tecnologia digital, baseada em controlador lógico programável (CLP) aplicada na segunda etapa. Podemos observar durante o processo de implantação das duas novas unidades que para a utilização do sistema digital teríamos que quebrar alguns paradigmas, tais como: “Em time que esta vencendo não se mexe”, “Eu não tenho mais cabeça para esta nova tecnologia”, “Vai ser difícil de solucionar problemas emergenciais pois o sistema é uma caixa preta”, “Como vamos implementar melhorias neste sistema?”, “Esta linguagem de programação é muito complicada”, etc. Com a experiência adquirida com os novos sistemas de controle de água pura foi possível desenvolver uma política de modernização dos sistemas antigos visando uma padronização de sistemas e facilidade de manutenção, fato que torna as possíveis intervenções mais ágeis. Tal política contempla duas fases distintas, onde a primeira consiste na modernização dos sensores primários para medição de fluxo e pressão; e a segunda a modernização dos sensores de temperatura, do quadro de controle e do sistema de alimentação para os motores.

### **PALAVRAS CHAVES**

Transição, Unidade Geradora, Controlador Lógico Programável (CLP), Gerador, Sistema de Água Pura, Modernização.

## 1 INTRODUÇÃO

A Central Hidrelétrica de Itaipu é composta por 18 unidades geradoras implementadas na primeira etapa e 2 unidades geradoras implementadas na segunda etapa. Cada unidade tem a capacidade de 700 MW, o que totaliza 14.000 MW de potência instalada. A disponibilidade dos equipamentos é elevada, o que contribui para que Itaipu seja responsável por gerar 19% do consumo de energia elétrica do Brasil e abastecer 91% do consumo paraguaio, fato que reforça a responsabilidade social da instituição para com a população consumidora.

A usina Hidrelétrica de ITAIPU tem seus sistemas projetados na década de 1970 e encontram-se em funcionamento com indicadores de desempenho plenamente satisfatórios, porém começam a apresentar dificuldades de manutenção e reposição de componentes, muitas vezes por desativação da produção dos mesmos. Em virtude deste fato iniciaram-se, há algum tempo, estudos de modernização visando a conservação da confiabilidade dos sistemas.

Para se obter um controle efetivo da temperatura no enrolamento estatórico das Unidades Geradoras de ITAIPU durante sua operação, foi projetado e instalado um sistema auxiliar, conhecido por sistema de água pura, que consiste da circulação forçada de fluido refrigerante pelas barras estatóricas. Este fluido consiste em água desmineralizada, com maior grau de pureza possível, pH básico e baixos valores de condutividade.

Este sistema é de grande importância na capacidade de geração da central, pois caso as mesmas máquinas de Itaipu não possuíssem este sistema sua potência unitária ficaria reduzida a 25 %, perfazendo um total de 175 MW, o que seria uma redução considerável e poderia até mesmo inviabilizar o projeto. Esta redução dever-se-ia ao fato da temperatura de operação influenciar na potência máxima das unidades geradoras sendo que, em máquinas de grande porte, a magnitude dos fluxos térmicos relativos é o fator limitativo predominante. Por esta razão e levando-se em conta a classe de isolamento dos enrolamentos (classe F), foi considerado que deveria ser especificada uma temperatura máxima operativa para cada parte, a qual não poderia ser excedida em nenhuma condição de carga.

Com a implantação das duas novas unidades geradoras pode-se ter uma boa experiência na transição da tecnologia convencional, utilização de controle analógico baseado na lógica de relés aplicada na primeira etapa, para a tecnologia digital, baseada em controlador lógico programável (CLP) aplicada na segunda etapa.

Podemos observar durante o processo de implantação das duas novas unidades que para a utilização do sistema digital teríamos que quebrar alguns paradigmas, tais como: “Em time que esta vencendo não se mexe”, “Eu não tenho mais cabeça para esta nova tecnologia”, “Vai ser difícil de solucionar problemas emergenciais pois o sistema é uma caixa preta”, “Como vamos implementar melhorias neste sistema?”, “Esta linguagem de programação é muito complicada”, etc.

Com a experiência adquirida com os novos sistemas de controle de água pura foi possível desenvolver uma política de modernização dos sistemas antigos visando uma padronização de sistemas e facilidade de manutenção, fato que torna as possíveis intervenções mais ágeis. A política contempla duas fases distintas, onde a primeira contempla a modernização dos sensores primários para medição de fluxo, pressão e temperatura; e a segunda a modernização do quadro de controle e sistema de alimentação para os motores.

Os problemas oriundos da utilização de tecnologia de controle via sistemas de relés foram estudados e minimizados ao longo dos anos de operação e manutenção para que se chegasse a altíssimos índices de confiabilidade. O que se espera com a tecnologia digital é que uma vez depurado o programa residente no CLP, durante o período de confiabilidade e garantia das novas unidades geradoras, os problemas de corrida de contato e dependência de dispositivo eletromecânico para multiplicação de contatos presenciados no passado não sejam mais tão penosos de solucionar.

## 2 O SISTEMA DE ÁGUA PURA

A finalidade do sistema de água pura é aumentar a eficiência do gerador retirando o calor do enrolamento estatórico, para isto efetua a regulação através variação da vazão de água bruta nos trocadores de calor. Nas unidades de 1 a 18 os valores de temperatura da água pura na saída do estator e de corrente no enrolamento estatórico são utilizados para regular a abertura ou fechamento da válvula na entrada do circuito de água bruta(20WI), enquanto que nas duas novas unidades (9A e 18A) utilizamos a temperatura de água pura na entrada do estator e a corrente no enrolamento estatórico para regular a válvula na entrada do circuito de água bruta(20RWI), isto aumenta ou diminui a vazão de água bruta, variando consequentemente a eficiência da transferência de calor dos trocadores de calor. A Figura 1 - ilustra como se realiza o controle de temperatura.

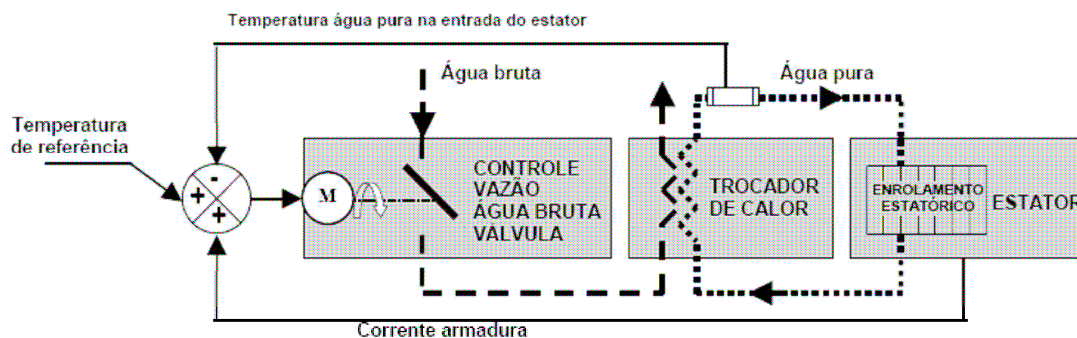


Figura 1 - Controle da válvula de água bruta

### 2.1 Circuito Elétrico

O enrolamento estatórico das unidades geradoras de Itaipu são do tipo ondulado, composto de 1008 barras dispostas em 504 ranhuras. Estas barras, por sua vez, são constituídas internamente por 30 condutores elementares isolados entre si, sendo seis destes

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

condutores ocos, permitindo a circulação de água pura. A Figura 2 - abaixo mostra a seção das barras.

As barras têm formato especial que facilita a construção do enrolamento. Nos terminais de cada barra pode-se distinguir as conexões elétricas e hidráulicas, como mostra a Figura 3.



Figura 2 - Seção da barra estática

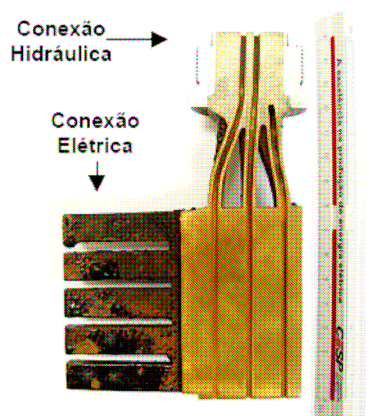


Figura 3 - Corte da cabeça da barra estática

O enrolamento é dividido em três fases, e cada fase em seis ramos distintos, conectados em paralelo. Um ramo é constituído pela interligação de 56 barras em série. A Figura 4 - ilustra a configuração de uma fase. A ligação das barras é feita através da solda dos pentes de cobre existentes nos terminais das barras, formando o enrolamento do tipo ondulado.

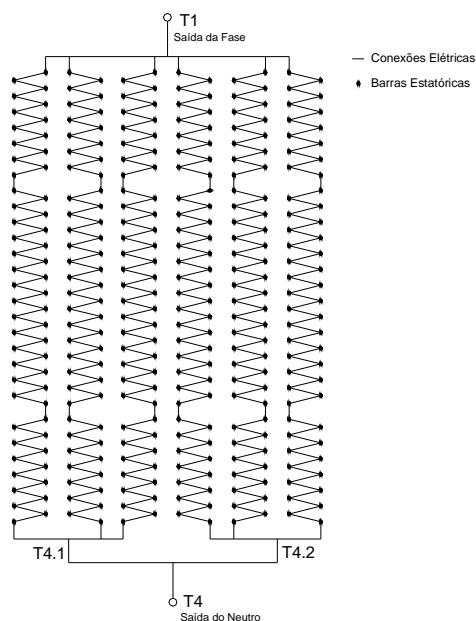
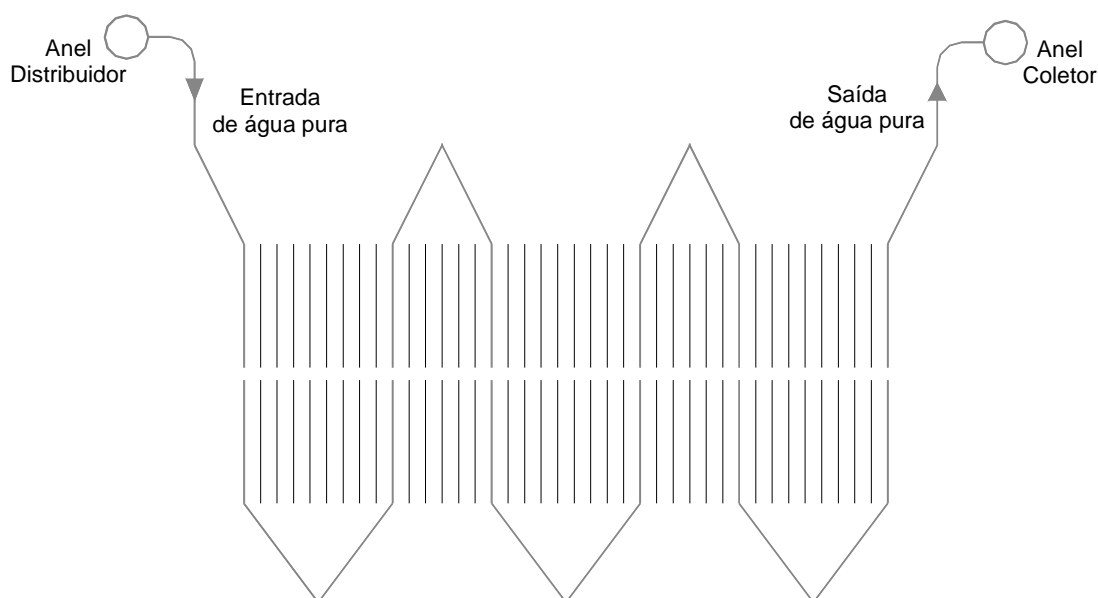


Figura 4 - Esquema de uma fase do enrolamento estático

## 2.2 Circuito Hidráulico

Como vimos o enrolamento estatórico é composto de 1008 barras, e para possibilitar a circulação de água pura nos condutores ocios de cada barras foi necessário a montagem de circuitos hidráulicos distintos. São ao todo 168 circuitos, composto pela interligação de seis barras. Dentro do gerador os circuitos hidráulicos assumem várias configurações, entre elas a mais utilizada está representada na Figura 5.



**Figura 5 - Circuito hidráulico mais utilizado**

A alimentação destes circuitos é realizada pelo anel distribuidor, que fica disposto sobre o estator e fornece água pura com temperatura de aproximadamente 40° C. Em paralelo está instalado o anel coletor, que por sua vez interliga todas as saídas dos circuitos hidráulicos. Este anel recolhe a água aquecida que circulou ao longo das barras de cada circuito hidráulico.

Para que o objetivo do sistema de água pura seja atendido existem duas bombas centrífugas conectadas em paralelo, onde apenas uma opera de cada vez. A bomba em funcionamento é responsável por manter o fluxo de água pura no circuito hidráulico principal, caso ocorra alguma falha na bomba principal a outra é ligada imediatamente para manter a configuração do sistema. Toda a água pressurizada pela bomba é dividida entre dois trocadores de calor, onde sai resfriada e entra no anel distribuidor alimentando os 168 circuitos hidráulicos do enrolamento estatórico, efetuando, desta maneira o resfriamento dos condutores. Em cada circuito hidráulico a água completa seu caminho passando por seis barras estatóricas, e chegando ao anel coletor.

Neste ponto a água pura tem sua temperatura elevada devido a troca de calor efetuada no enrolamento estatórico. Ela volta ao circuito hidráulico principal passando pela bomba, pelos

trocadores de calor, pelo filtro mecânico e retorna ao estator, formando um circuito fechado, conforme ilustra a Figura 6.

Existe uma derivação após os trocadores de calor, pela qual circula uma pequena proporção de água para efetuar o controle de condutividade e manter as condições químicas da água.

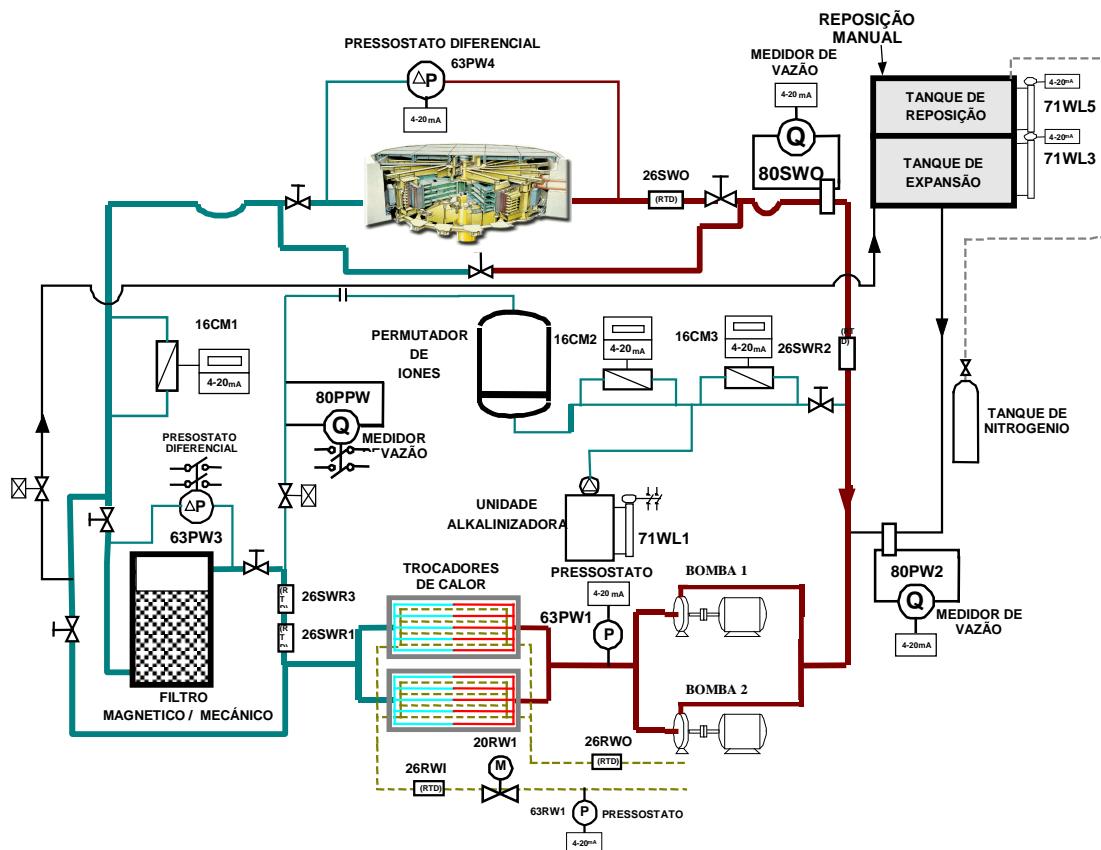


Figura 6 - Diagrama Hidráulico

### 3 TRANSIÇÃO/MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE

#### 3.1 Estratégia de Modernização

Durante a implantação das duas novas unidades, fase de comissionamento, o corpo técnico teve os primeiros contatos com a nova tecnologia digital para supervisão e controle de sistemas industriais. Apesar da equipe já ter passado por treinamentos específicos de sistemas digitais e controladores lógicos (CLP's) ainda não tinham vivenciado em campo tal tecnologia, e quando se depararam com a mesma durante o comissionamento e pré-operação as dúvidas e indagações começaram a aparecer, tais como, "Vai ser difícil de solucionar problemas emergências pois o sistema é uma caixa preta", "Como vamos implementar melhorias neste sistema?", etc ...

Com base na experiência adquirida durante comissionamento e pré-operação do sistema de água pura das novas unidades geradoras foi possível desenvolver uma política de modernização para o sistema instalado nas demais unidades visando uma padronização a fim de facilitar as manutenções e possíveis intervenções futuras.

A política contempla duas fases distintas, onde a primeira consiste da modernização dos sensores primários para medição de fluxo e pressão; e a segunda a modernização dos sensores de temperatura, quadro de controle e sistema de alimentação para os motores.

### 3.2 Modernización dos Sensores

A supervisão de fluxo e pressão das unidades instaladas na primeira fase de Itaipu são realizadas por instrumentos convencionais, ou seja, os mesmos possuem contatos mecânicos que mudam de estado ao atingirem os valores ajustados (Figura 7).



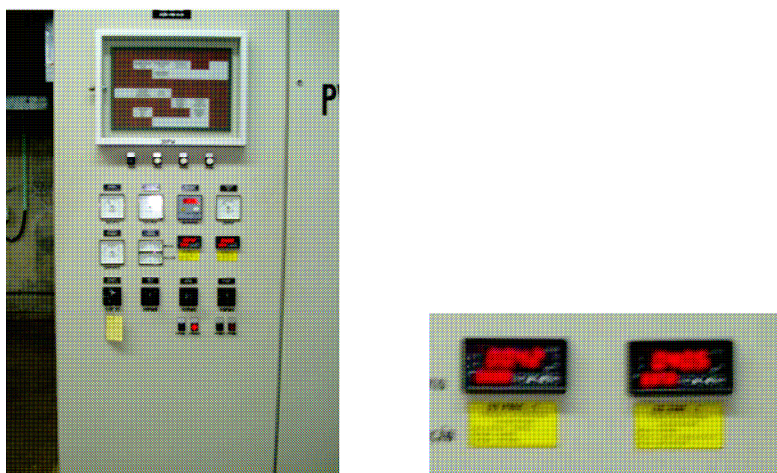
**Figura 7 – Instrumentos de Fluxo e Pressão (originais)**

Tais instrumentos apresentam um bom desempenho, porem comessamos a ter problemas de sobressalentes, o que é fator crucial para manter os altos índices de confiabilidade e disponibilidade operativos da central hidrelétrica de Itaipu.

Para isto estamos substituindo, em uma primeira fase, o sensor de fluxo principal do sistema e o sensor de pressão diferencial do estator por sensores eletrônicos que supervisionam a grandesa desejada e disponibilizam um sinal proporcional de 4 a 20mA (Figura 8). Como nesta primeira fase estamos operando com o sistema convencional de controle necessitamos de uma interface intermediária para processar o sinal de 4 a 20mA e disponibilizar contatos de relés que podem ser ajustados conforme nossa necessidade(Figura 9).



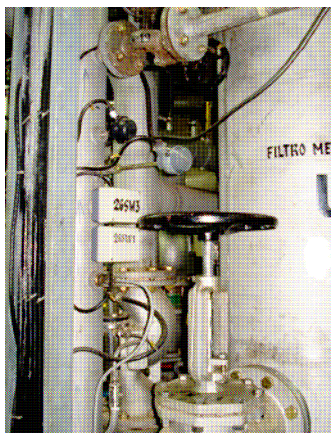
**Figura 8 – Instrumentos de Fluxo e Pressão (modernizados)**



**Figura 9 – Interface Intermediária para processar o sinal de 4 a 20mA (modernizados)**

Já os sensores de temperatura que disponibilizam contatos secos ajustáveis (Figura 10) serão substituídos por sensores tipo RTD (Figura 11). Para facilitar o processo de modernização estes sensores serão substituídos na segunda fase, ou seja, junto com o sistema de supervisão e controle.





**Figura 10 – Instrumentos de Temperatura (originais)**



**Figura 11 – Instrumentos de Temperatura (modernizados)**

### 3.3 Modernização do Controle e do Sistema de Alimentação para os Motores

Como é possível perceber, nas últimas décadas o processo de evolução tecnológica na área de processos automatizados sofreu um enorme avanço e com isso sistemas projetados na década de 60 e 70 e instalados na indústria começam a encontrar dificuldades de reposição de componentes, muitas vezes por desativação da produção dos mesmos. Como a Usina Hidrelétrica de Itaipu teve seu projeto concebido na década de 70, utiliza para controle e supervisão dos processos integrados a geração de energia a tecnologia de relés (Figura 12).



**Figura 12 – Sistema de Supervisão e Controle (originais)**

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Visando minimizar os problemas que enfrentamos e os que ainda possam vir a acontecer estamos propondo uma modernização para o sistema de supervisão e controle do sistema de água pura utilizando equipamentos eletrônicos microprocessados, de alta confiabilidade e disponibilidade no mercado, tais como os utilizados nas novas unidades geradoras (Figura 13), ou seja, utilização de sistema de controle com CLP's. Visamos obter desta maneira um padrão único de supervisão e controle para o sistema de água pura, padronizando, inclusive, os sobressalentes.



**Figura 13 – Sistema de Supervisão e Controle (novas unidades)**

Outro problema encontrado durante manutenções no sistema de água pura é a substituição dos motores, atividade extremamente penosa devido a não padronização do fabricante dos motores utilizados, o que implica em posicionamento das caixas dos terminais em locais diferenciados (Figura 14). O que agrava ainda mais a atividade é o fato dos condutores de alimentação dos motores serem rígidos e de difícil manuseio (Figura 15).



**Figura 14 – Caixa de Conexão dos Motores**



**Figura 15 – Condutores para Alimentação dos Motores**

Aproveitando a experiência das novas instalações estamos propondo a substituição dos condutores de alimentação por novos, com características bem mais flexíveis o que facilitaria e agilizaria as prováveis intervenções. O solução proposta contempla alimentação para cada motor composta por dois condutores de cobre tripolar, isolamento 1kV, com classe 5 de flexibilidade conforme Norma NBR 6880 (Figura 16).



**Figura 16 – Condutores Flexíveis para Alimentação dos Motores**

#### 4 CONCLUSÕES

As instalações da Usina Hidrelétrica de Itaipu devem possuir uma disponibilidade altíssima dos equipamentos, pois a ela é responsável por gerar 19% do consumo de energia elétrica do Brasil e abastecer 91% do consumo paraguaio, fato que delega uma responsabilidade social muito alta. Por isso a preocupação em estudar e desenvolver um sistema de alta confiabilidade e disponibilidade para o controle e supervisão do sistema de água pura das unidades geradoras da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Os problemas oriundos da utilização de tecnologia de controle via sistemas de relés foram estudados e minimizados ao longo dos anos de operação e manutenção para que se chegasse a altíssimos índices de confiabilidade. O que se espera com a tecnologia digital é que uma vez depurado o programa residente no CLP, durante o período de confiabilidade e garantia das novas unidades geradoras, os problemas de corrida de contato e dependência de dispositivo eletromecânico para multiplicação de contatos presenciados no passado não sejam mais tão penosos de solucionar.

Podemos observar durante o processo de implantação das duas novas unidades que para a utilização do sistema digital teríamos que quebrar alguns paradigmas, tais como: “Em time que esta vencendo não se mexe”, “Eu não tenho mais cabeça para esta nova tecnologia”, “Vai ser difícil de solucionar problemas emergenciais pois o sistema é uma caixa preta”, “Como vamos implementar melhorias neste sistema?”, “Esta linguagem de programação é muito complicada”, etc.

Para vencermos esta barreira de tecnologia apresentada ao corpo técnico da usina, o qual é formado sob a tecnologia de relés, estamos propondo também a construção de um simulador onde será possível treinar a equipe técnica e também estudar, testar e depurar as futuras modificação de software que sejam necessárias antes de efetivamente atualizar no campo, fato que reduziria consideravelmente o tempo de indisponibilidade da unidade geradora.

## BIBLIOGRAFIA

Consórcio Itaipu Eletromecânico. Pure Water System: Circuit diagram. 2003. IB n.º 6210-DF-74101-I-R9.

Voith Siemens, Hidro Power Generation & CEITAIPU. Manual de montagem do gerador. 2002. IB n.º 6210-77-B3352-P.

Voith Siemens, Hidro Power Generation & CEITAIPU. Pure Water Equipament Piping Schematic . 2003. IB n.º 6210-df-b3277-1.

FONSECA, Henrique Moraes. Supervisão e Controle do Sistema de Água Pura. [Foz do Iguaçu]. 199?.

Voith Siemens, Hidro Power Generation & CEITAIPU. Sistema de Água Pura – ITAIPU Diagrama Lógico. 2004. IB n.º 6210-DF-B3451-P.

Voith Siemens, Hidro Power Generation & CEITAIPU. Sistema de Água Pura: Diagrama Lógico. 2004. IB n.º 6210-DF-B3451-P.