

BRASIL



BRASIL

## CENTRAL HIDRELÉTRICA DE ITAIPU

### ASPECTOS RELACIONADOS COM A SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS

|                                                          |                                                         |                          |                                  |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 6                                                        | Atualizado para retratar a situação em janeiro de 2019  | Julio Cesar Romero Ayala | 22/01/19                         |
| 5                                                        | Atualizado para retratar a situação em março de 2017    | miltonga/elifinco        | 03/04/17                         |
| 4                                                        | Atualizado para retratar a situação em março de 2015    | pedrovil/afonseca        | 09/03/15                         |
| 3                                                        | Atualizado para retratar a situação em julho de 2008    | MLP / CPN / SMA          | 01/08/08                         |
| 2                                                        | Atualizado para retratar a situação em dezembro de 2007 | ASF / SMA                | 03/12/07                         |
| 1                                                        | Atualizado para retratar a situação em Janeiro de 2004  | ASF / SMA                | 09/01/04                         |
| Nº                                                       | DESCRIÇÕES                                              | APROV.                   | DATA                             |
| <b>REVISÕES</b>                                          |                                                         |                          |                                  |
| Elab.: ASF / PRB..... <u>19</u> / <u>2</u> / <u>99</u>   |                                                         | Visto: IB                | <u>19</u> / <u>2</u> / <u>99</u> |
| Verif.: ASF / PRB ..... <u>19</u> / <u>2</u> / <u>99</u> |                                                         | Aprov.: OV / RCPS        | <u>19</u> / <u>2</u> / <u>99</u> |

|                          |                                                          |                              |
|--------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
| EN.DT                    | - Superintendência de Engenharia                         |                              |
| ENC.DT                   | - Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura         |                              |
| ENE.DT                   | - Departamento de Engenharia Eletrônica e Eletromecânica |                              |
| <b>DIRETORIA TÉCNICA</b> |                                                          | <b>2290 . 50 . 15218 – P</b> |
|                          |                                                          | <b>R6</b>                    |

**ASPECTOS RELACIONADOS COM A  
SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS**

**Quantidade de Páginas deste Documento**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Folha de Rosto e Contra Capa ..... | 02 |
| Índice .....                       | 02 |
| Relatório.....                     | 19 |
| Anexos .....                       | 01 |
| Total de Folhas .....              | 24 |

## ASPECTOS RELACIONADOS COM A SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS

### ÍNDICE

|        |                                                                           |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| EN.DT  | - Superintendência de Engenharia.....                                     | 2  |
| 1.     | OBJETIVO.....                                                             | 1  |
| 2.     | GENERALIDADES.....                                                        | 1  |
| 3.     | SISTEMAS DE SEGURANÇA DE ITAIPU.....                                      | 1  |
| 4.     | AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS CIVIS.....                          | 2  |
| 4.1.   | Introdução.....                                                           | 2  |
| 4.2.   | Condições Excepcionais ou Limites.....                                    | 3  |
|        | a) Enchente Máxima de Projeto.....                                        | 3  |
|        | b) Efeito de Sismos.....                                                  | 3  |
| 4.3.   | Estruturas da Empresa Envolvidas na Avaliação da Segurança Estrutural.... | 3  |
| 4.4.   | Instrumentação Instalada.....                                             | 4  |
|        | a) Deslocamentos das Estruturas.....                                      | 7  |
|        | b) Deformações do Maciço Rochoso de Fundação.....                         | 7  |
|        | c) Observações de Tensões.....                                            | 7  |
|        | d) Observações de Temperaturas.....                                       | 8  |
|        | e) Observações do Deslocamento das Juntas.....                            | 8  |
|        | f) Observações de Subpressão.....                                         | 8  |
|        | g) Observações de Infiltrações.....                                       | 8  |
|        | h) Outros Instrumentos.....                                               | 9  |
| 4.5.   | Sistema de Aquisição Automática de Dados da Instrumentação - ADAS.....    | 11 |
| 4.6.   | Estabelecimento de Valores Limites para a Instrumentação.....             | 11 |
| 4.7.   | Frequência de Leitura.....                                                | 11 |
| 4.8.   | Sistema de Otimização da Análise da Auscultação - SOAA.....               | 12 |
| 5.     | SISTEMAS DE PROTEÇÕES ELETROMECAÑICAS.....                                | 14 |
| 5.1.   | Sistema de Proteção dos Equipamentos.....                                 | 14 |
| 5.2.   | Sistemas de Proteção contra Incêndio.....                                 | 14 |
| 5.2.1. | Casa de Força e Barragem Principal – Galerias.....                        | 14 |

|         |                                                                                                                                         |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.2.  | Casa de Força – Sala dos Geradores Diesel de Emergência.....                                                                            | 14 |
| 5.2.3.  | Casa de Força – Transformadores Elevadores .....                                                                                        | 14 |
| 5.2.4.  | Transformadores Principais, Transformadores Reguladores e<br>Transformadores de Apoio – Serviços Auxiliares da Usina .....              | 15 |
| 5.2.5.  | Casa de Força – Salas de Tratamento e Transferência de Óleo Lubrificante e<br>Óleo Isolante e Salas de Estocagem de Óleo Isolante ..... | 15 |
| 5.2.6.  | Casa de Força – Geradores de 50 / 60Hz .....                                                                                            | 15 |
| 5.2.7.  | Casa de Força – Salas de Controle Local, Sala de Controle Centralizado e<br>Sala de Despacho de Carga .....                             | 15 |
| 5.2.8.  | Casa de Força – Galerias e Áreas Diversas .....                                                                                         | 15 |
| 5.2.9.  | Edifício da Produção .....                                                                                                              | 16 |
| 5.2.10. | Vertedouro.....                                                                                                                         | 16 |
| 5.2.11. | Subestação da Margem Direita – Casa de Relés.....                                                                                       | 16 |
| 5.2.12. | Subestação da Margem Direita – Transformadores .....                                                                                    | 16 |
| 5.2.13. | Extintores .....                                                                                                                        | 16 |
| 5.2.14. | Sistema de Combate a Incêndios por Hidrantes.....                                                                                       | 16 |
| 6.      | PLANOS DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA - PAE's.....                                                                                               | 16 |
| 6.1.    | Introdução .....                                                                                                                        | 16 |
| 6.2.    | Objetivos e Alcances.....                                                                                                               | 17 |
| 6.3.    | PAE's já Estudados (Até Dezembro/2016).....                                                                                             | 18 |
| 6.4.    | PAE's a serem Estudados.....                                                                                                            | 18 |
| 7.      | Sistema ESAI.....                                                                                                                       | 18 |
| 8.      | REFERÊNCIAS .....                                                                                                                       | 19 |

## **ASPECTOS RELACIONADOS COM A SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS**

### **1. OBJETIVO**

Este documento tem por objetivo consolidar as informações referentes a sistemas e/ou procedimentos adotados pela ITAIPU no controle do desempenho das estruturas e/ou equipamentos da Central Hidrelétrica, visando seu funcionamento e operação em condições de segurança.

### **2. GENERALIDADES**

A segurança do empreendimento está intimamente relacionada aos seus aspectos de projeto, construção, instrumentação, operação e manutenção.

O projeto de ITAIPU foi elaborado em conformidade com os melhores padrões de segurança vigentes na época, tendo-se elaborado critérios de projeto, especificações e diretrizes básicas tanto para o projeto e construção quanto para operação e manutenção, os quais continuam sendo obedecidos e atualizados quando necessário, visando garantir o desempenho seguro tanto da barragem (estruturas e fundações), quanto das instalações e equipamentos.

A energia elétrica que a ITAIPU produz representa um complexo econômico de elevado valor estratégico para o Brasil e o Paraguai.

Assim, a ITAIPU influi e incide na estrutura geofísica de uma considerável parte de ambos países, podendo diante de uma possibilidade de falhas comprometer sua capacidade operativa e, conseqüentemente, a segurança da população, infra-estruturas físicas e o meio-ambiente.

### **3. SISTEMAS DE SEGURANÇA DE ITAIPU**

Na Central Hidrelétrica de ITAIPU (CHI) as Diretrizes Gerais e Sistemas de Segurança das estruturas e equipamentos estão apresentados em documentos específicos, elaborados pela Superintendência de Engenharia ao longo da execução do projeto, e são acompanhados por diferentes equipes de trabalho, conforme a especialização, ou seja, a segurança das estruturas civis é avaliada pela Engenharia Civil, a Segurança dos equipamentos é avaliada pela Engenharia Eletro-mecânica, e estudos especiais de análise de contingências são efetuados por equipes multidisciplinares, envolvendo profissionais de todas as áreas da empresa.

No Capítulo 4, a seguir, são apresentadas as Diretrizes Gerais e Sistema de Supervisão e Acompanhamento do desempenho das estruturas civis e suas fundações.

No Capítulo 5 apresenta-se os sistemas de proteção eletro-mecânicos tanto para as edificações quanto para os equipamentos e instalações.

No Capítulo 6, apresenta-se os Planos de Ação de Emergência (PAE), estudados por grupos de trabalho multidisciplinares, visando analisar todas eventuais contingências possíveis de ocorrer dentro ou fora das instalações da Usina, e que poderiam trazer implicações tanto para a segurança das instalações e equipamentos quanto para a equipe técnica envolvida na operação e manutenção da Usina.

No item 7 é apresentado o sistema de segurança eletrônica da Área Industrial de ITAIPU, ESAI.

## **4. AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS CIVIS**

### **4.1. Introdução**

A garantia da segurança das estruturas civis do projeto ITAIPU teve início na fase do projeto básico, com a definição detalhada de critérios gerais e específicos de projeto, quando foram estabelecidos, entre outros, os seguintes parâmetros:

- Fatores de segurança a serem atendidos no dimensionamento, e critérios para coeficientes de segurança;
- Propriedades dos materiais de fundação, do concreto e do aço a ser utilizado;
- Cargas de projeto e condições de carregamento a serem consideradas nos estudos de estabilidade:
  - Condição de carregamento normal (CCN);
  - Condição de carregamento excepcional (CCE);
  - Condição de carregamento limite (CCL);
  - Condição de carregamento de construção (CCC).

Durante a fase de construção, foi exigido pela ITAIPU um rigoroso controle de qualidade dos materiais e da execução das obras, visando atender todas as restrições de projeto e as especificações de materiais. Nessa fase, foi criado pela ITAIPU o Laboratório de Concreto e Solos, onde eram efetuados estudos e ensaios de todos os materiais de construção a serem aplicados nas obras.

Visando acompanhar o desempenho das estruturas e fundações, não somente durante a fase de construção mas, e principalmente, durante a fase de enchimento e ao longo de toda a vida útil do empreendimento, um criterioso projeto de instrumentação foi instalado nas estruturas civis e em suas fundações, conforme será descrito na sub-seção 4.4.

## **4.2. Condições Excepcionais ou Limites**

### **a) Enchente Máxima de Projeto**

As estruturas foram dimensionadas para resistir à Enchente Máxima de Projeto, calculada com base na combinação das maiores precipitações pluviométricas mensais registradas na bacia hidrográfica durante o período de observações (originalmente de 1931 a 1974 e posteriormente revisada até 1987), estimando-se em 10.000 anos o tempo de retorno para a chuva de projeto assim adotada.

Como resultado deste estudo, a máxima cheia afluente ao reservatório de ITAIPU foi estimada em  $72.020 \text{ m}^3/\text{s}$ , sendo o Vertedouro dimensionado para uma vazão máxima efluente de  $62.200 \text{ m}^3/\text{s}$ , e, nestas condições, o nível d'água máximo do reservatório chegaria até a El. 223,10.

### **b) Efeito de Sismos**

A região de ITAIPU é considerada como de baixa sismicidade. Apesar disto, a possibilidade de atividade sísmica (natural ou induzida pelo reservatório) foi considerada nos critérios de projeto, nas condições de carregamento excepcionais e limite (CCE e CCL), onde foram previstos carregamentos equivalentes a aceleração sísmica de 0,05g e 0,08g respectivamente.

## **4.3. Estruturas da Empresa Envolvidas na Avaliação da Segurança Estrutural**

Considerando a importância em se garantir o desempenho seguro das estruturas, as atividades relativas ao projeto de instrumentação, instalação, aquisição dos dados, manutenção dos instrumentos e a interpretação dos resultados, foram decididas e colocadas sob a responsabilidade das várias áreas técnicas afins, conforme está resumido no diagrama do Anexo 1.

Essa separação de responsabilidades teve como finalidade precípua permitir que eventuais lacunas ou inobservâncias em uma determinada Área pudesse ser identificada por outra Área, impedindo que a análise do desempenho das estruturas caísse num processo de rotina, de maneira que qualquer comportamento anômalo pudesse ser prontamente detectado e que fossem tomadas as devidas providências em tempo hábil.

O diagrama do Anexo 1 mostra a seguinte divisão de responsabilidades:

- a) A definição de critérios e diretrizes de projeto foram estabelecidas pela Superintendência de Engenharia, a qual continua sendo responsável pela contínua atualização tecnológica quando considerada necessária;
- b) A Superintendência de Obras é responsável pela aquisição dos dados, pela análise de consistência dos registros, e pela manutenção dos instrumentos. Durante a realização destes trabalhos, a equipe de leituristas atua como os primeiros inspetores visuais, identificando qualquer comportamento anômalo com posterior repasse da informação à Superintendência de Engenharia. A Superintendência de Manutenção também atua nesta fase, por meio das planilhas de inspeção e controle e na recuperação e/ou manutenção das estruturas civis.
- c) Com base nos resultados da instrumentação fornecidos, a Engenharia efetua a interpretação dos resultados e, inspeciona as estruturas, visando a emissão de Relatórios de Análise do Desempenho. Nesses relatórios comparam-se os valores medidos com valores limites estabelecidos no projeto, analisam-se eventuais tendências que possam estar mostrando algum indício de comportamento anômalo, correlacionam-se os resultados de um tipo de instrumento com outro instalado em posição análoga, efetuam-se comparações com medições observadas em outras barragens, etc. Nesses Relatórios periódicos, a Engenharia efetua recomendações que julga importante serem implementadas pelas outras duas Superintendências, visando manter as estruturas e suas fundações dentro dos padrões de segurança desejados.
- d) Os relatórios de interpretação do comportamento das estruturas são analisados e discutidos por consultores independentes, nacionais e internacionais, os quais referendam ou não as recomendações formuladas, ou até sugerem novas recomendações, baseadas em observações de ocorrências em outras barragens, ou em diretrizes de segurança estabelecidas por Organismos Internacionais.

#### **4.4. Instrumentação Instalada**

O principal objetivo do projeto da instrumentação para a CHI consistiu em proporcionar a observação do comportamento da obra no que se refere fundamentalmente a sua segurança. Sob esse aspecto, a instrumentação proposta visou o acompanhamento dos seguintes itens:

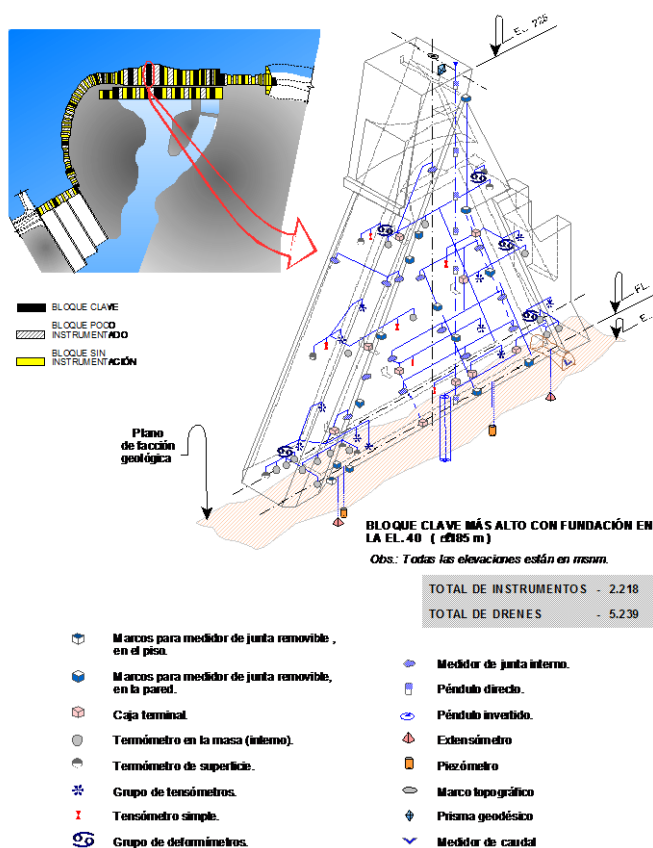
- l) Controle de vazões e subpressões na fundação, tendo em vista a influência significativa das mesmas nas condições de estabilidade ao deslizamento das estruturas, ao longo do contato Concreto/Rocha e dos possíveis níveis fraturados do maciço rochoso;

- II) Controle de deslocamentos das estruturas e suas fundações, tendo em vista principalmente os aspectos referentes à deformabilidade tangencial elevada nos níveis fraturados da fundação, aos deslocamentos diferenciais entre os blocos, e ao tipo de deformação (permanente, elástica, cíclica, etc.);
- III) Controle das tensões e deformações das estruturas e fundações, visando essencialmente os problemas referentes à distribuição de tensões ligada à deformabilidade da fundação, e as características gerais das estruturas;
- IV) Controle da temperatura nas estruturas, para acompanhamento das deformações de origem térmica do concreto.

A fim de possibilitar a detecção de problemas relacionados com a segurança das estruturas em qualquer fase da obra, efetuaram-se medições durante os períodos construtivo e de enchimento e programou-se sua continuidade para todo o período de operação do reservatório.

Deste modo, o conjunto dos registros fornecidos pela instrumentação de auscultação da CHI possibilita um importante acervo de informações sobre o seu comportamento estrutural e do maciço rochoso de suas fundações.

Na localização dos instrumentos de auscultação das estruturas de concreto, procurou-se selecionar determinados "blocos-chave", os quais foram dotados de um sistema completo de instrumentação, de modo a possibilitar um controle racional e efetivo do comportamento de pelo menos um bloco de cada trecho da barragem. Nas Barragens de Terra e Enrocamento, foram adotadas "seções-chave" instrumentadas.



Trechos que se caracterizam por apresentar um elevado número de blocos, blocos de grande altura e dimensões e/ou condições geológico-geotécnicas desfavoráveis, acabaram recebendo especial destaque e, geralmente, justificaram a instrumentação de mais de um bloco como, por exemplo, os blocos centrais da Tomada D'água, os quais mereceram, tanto pelas suas elevadas dimensões, quanto pela particular característica do maciço basáltico das suas fundações (presença de espessas camadas de brecha e de contatos, descontinuidades e feições bem fraturados) a seleção de mais de um bloco-chave instrumentado.

Abaixo são apresentados os blocos-chave/seções-chave da CHI criteriosamente assim selecionados:

#### •Blocos-Chave (estruturas de concreto)

- ☐ A07 e A15 (Trecho A) ..... Vertedouro
- ☐ D08, D20, D38, D54 e D57 (Trecho D)..... Barragem Lateral Direita
- ☐ E06 (Trecho E) .....Barragem de Ligação Direita
- ☐ F05/06, F13/14, F19/20 e F35/36 (Trecho F) .....Barragem Principal
- ☐ H08 (Trecho H) .....Estrutura de Desvio
- ☐ I10 e I23 (Trecho I) .....Barragem de Ligação Esquerda
- ☐ U3, U9A, U18 (trecho U).....Casa de Força

#### • Seções-Chave (barragens de terra / enrocamento)

- ☐ BTME - Est. 123+50, 124+50, 125+50, 127+30, 129+50, 135+50 e 138+50;
- ☐ BTMD - Est. 15+00, 17+10, 18+00, 18+75 e interface com Vertedouro;
- ☐ Enrocamento: contato núcleo-rocha, fundação rasa, junta D, e interface com Trecho I.

A seguir são relacionados os vários tipos de observação efetuada e a instrumentação correspondente:

#### **a) Deslocamentos das Estruturas**

Estas observações são efetuadas através de pêndulos diretos que, às vezes, são associados a pêndulos invertidos. Os primeiros detectam o deslocamento da crista da barragem em relação a sua base e, os pêndulos invertidos, o deslocamento desta em relação à pontos mais profundos do maciço rochoso de fundação ou em alguns casos de pontos do maciço de fundação em relação à crista da estrutura. Os pêndulos encontram-se instalados em todos os "blocos-chave". Os deslocamentos dos demais blocos são então determinados em relação a eles, utilizando-se para tal medidores de junta entre blocos do tipo base de alongâmetro.

#### **b) Deformações do Maciço Rochoso de Fundação**

A observação do comportamento estrutural do maciço rochoso de fundação objetiva essencialmente o confronto entre os parâmetros geomecânicos adotados em projeto com aqueles medidos "in situ". Constituem dentre as observações em barragens, uma das mais importantes, face aos problemas e complexidades inerentes aos substratos geológicos da fundação.

As medições de deformações da fundação da ITAIPU são feitas por extensômetros múltiplos de hastes, e puderam ser iniciadas juntamente com a concretagem das primeiras camadas dos blocos e em vários casos antes dos trabalhos de tratamento e injeção da fundação. Instalados a partir das galerias e túneis de drenagem da fundação, visam a observação do comportamento das camadas mais deformáveis do maciço rochoso (entre elas descontinuidades, brechas, etc.) e a detecção de possíveis aberturas de juntas em zonas de tensões de tração da fundação, principalmente aquelas localizadas junto ao pé de montante das estruturas.

#### **c) Observações de Tensões**

Observações de tensões nas estruturas de concreto visam basicamente a análise do comportamento estrutural da barragem. Assim, tensômetros e deformímetros foram espalhados pela massa de concreto em disposição tal que permitissem acompanhar as tensões atuantes em diversas cotas, tanto num plano vertical (orientado no sentido montante-jusante) como em sentido horizontal (orientado na direção margem direita-margem esquerda). Através de deformímetros corretores (non stress strain-meter) colocados junto das rosetas de deformímetros, procurou-se avaliar, também, a expansão autógena do concreto.

Algumas rosetas de deformímetros também foram instaladas nas fundações, no interior das chavetas de concreto, de modo a possibilitar o acompanhamento das variações de tensões nestas regiões durante a concretagem dos blocos, enchimento do reservatório e operação subsequente.

#### **d) Observações de Temperaturas**

O acompanhamento da temperatura do concreto visa associá-la a deformações das estruturas causadas por variações térmicas, principalmente decorrentes da diferença de temperatura entre os paramentos de montante e jusante. Assim, além de termômetros instalados no interior do concreto, faz-se necessário, também, a observação das temperaturas da água do reservatório, próximo ao paramento de montante, e do ar, localizado entre os contrafortes da barragem e a jusante.

#### **e) Observações do Deslocamento das Juntas**

A observação do deslocamento das juntas de dilatação e de contração das estruturas de concreto é realizada por medidores elétricos de junta, instalados no interior das juntas dos blocos de concreto, e por bases de alongômetros, instaladas no exterior das juntas nas paredes das galerias e nas superfícies laterais dos contrafortes. Esses instrumentos permitem a observação dos deslocamentos relativos entre os blocos das estruturas de concreto.

#### **f) Observações de Subpressão**

As observações de subpressão são realizadas por piezômetros instalados nos níveis mais permeáveis da fundação e no contato concreto-rocha. Em determinadas seções transversais foram instalados piezômetros a montante e a jusante das cortinas de injeção e drenagem, possibilitando assim verificar a eficiência destas na redução das subpressões na fundação.

Além dos "blocos-chave", piezômetros foram instalados em outros locais sempre que existiam condições geotécnicas desfavoráveis. Levando-se em conta a acentuada influência da subpressão na estabilidade ao deslizamento da barragem, as observações piezométricas devem ser encaradas com particular atenção.

#### **g) Observações de Infiltrações**

Uma das principais observações para detecção de eventuais comportamentos anômalos das estruturas ou de suas fundações é a observação e controle das infiltrações.

Assim, medidores de vazão foram instalados em pontos selecionados, junto ao sistema de drenagem, visando controlar as infiltrações através do concreto e/ou da fundação.

#### **h) Outros Instrumentos**

Outros instrumentos foram instalados visando monitorar aspectos específicos de interesse, a saber:

- Deformímetros para Armadura: instalados em determinadas armaduras selecionadas, a fim de medir tensões de tração em áreas de especial interesse;
- Medidores de Recalque: instalados nas Barragens de Terra visando monitorar os recalques nas fases de construção e operação;
- Células de Pressão Total: instaladas nas interfaces entre as barragens e os maciços de Terra para medir as pressões exercidas pelo maciço sobre as paredes de concreto;
- Marcos de Referência: instalados na crista da barragem, para permitir acompanhar os recalques das estruturas através de nivelamentos de precisão em relação a pontos considerados fixos nas ombreiras.
- Medidores Triortogonais de Juntas: instalados em feições da fundação, ao longo dos túneis de drenagem, para acompanhar tendências eventuais de deslocamentos e/ou abertura das mesmas. Foram instalados, também, medidores triortogonais para avaliar a movimentação entre trampolins e lajes de proteção a jusante, no vertedouro;
- Pares de Pinos: instalados em fissuras observadas em blocos de concreto, visando monitorar o comportamento de abertura-fechamento das mesmas. Em algumas fissuras foram instalados medidores triortogonais para seu monitoramento;
- Poços para Medição de Nível D'água: executados a jusante da Barragem de Terra da Margem Esquerda e a jusante da Barragem de Enrocamento para avaliação do nível freático;
- Base para prismas: instalados na crista dos blocos-chave, para monitorar, através de levantamentos geodésicos de precisão, os deslocamentos planimétricos das estruturas.

- Rede Sismológica: instalada para controle de sismos nas regiões do entorno do empreendimento induzidos pela implantação do reservatório da barragem;
- Rede acelerográfica: instalada nas barragens de concreto e terra para análise do comportamento dinâmico das estruturas de barramento submetidas a cargas diversas.

No Quadro 1, a seguir, apresenta-se um resumo da quantidade de instrumentos em funcionamento, em cada estrutura, e quantidade total.

**QUADRO 1**

| ESTRUTURA                | TIPOS DE INSTRUMENTO |                       |                      |                  |                     |                     |       |              |                  |            |                     |                 |              |            |                    |       |                  |                   | TOTAL                 |                 |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|------------------|---------------------|---------------------|-------|--------------|------------------|------------|---------------------|-----------------|--------------|------------|--------------------|-------|------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
|                          | FUNDAÇÃO             |                       |                      |                  |                     |                     |       | CONCRETO     |                  |            |                     |                 |              |            |                    | GEOD. |                  |                   |                       |                 |
|                          | PIEZÔMETRO           | EXTENSÔMETRO DE HASTE | MEDIDOR TRIORTOGONAL | MEDIDOR DE VAZÃO | MEDIDOR DE RECALQUE | QUANT. INSTRUMENTOS | DRENO | DEFORMÍMETRO | MEDIDOR DE JUNTA | TENSÔMETRO | BASE DE ALONGÂMETRO | BASE DE PÊNDULO | PAR DE PINOS | TERMÔMETRO | QUANT. INSTRUMENTO | DRENO | PRISMA GEODÉSICO | MARCO NIVELAMENTO | TOTAL DE INSTRUMENTOS | TOTAL DE DRENOS |
| BARRAGEM DE TERRA – MD   | 27                   | -                     | -                    | 8                | -                   | 35                  | -     | -            | -                | -          | -                   | -               | -            | -          | -                  | -     | -                | 14                | 49                    | 0               |
| VERTEDOIRO               | 66                   | 14                    | 6                    | 3                | -                   | 89                  | 128   | 24           | 8                | 2          | 42                  | 2               | 6            | 9          | 93                 | -     | 2                | 8                 | 192                   | 128             |
| BARRAGEM LATERAL DIREITA | 144                  | 32                    | -                    | 1                | -                   | 177                 | 523   | 78           | 2                | 6          | 179                 | 11              | 36           | 12         | 324                | 350   | 5                | 20                | 526                   | 873             |
| BARRAGEM PRINCIPAL       | 137                  | 44                    | 11                   | 10               | -                   | 202                 | 2286  | 114          | 19               | 43         | 181                 | 38              | 7            | 45         | 447                | 374   | 7                | 22                | 678                   | 2660            |
| ESTRUTURA DE DESVIO      | 74                   | 11                    | -                    | 6                | -                   | 91                  | 326   | 66           | 11               | -          | 107                 | 5               | 1            | 45         | 235                | 225   | 2                | 3                 | 331                   | 551             |
| CASA DE FORÇA            | 102                  | 31                    | 5                    | 5                | -                   | 143                 | 971   | 48           | 29               | 26         | 132                 | 13              | -            | 15         | 263                | -     | -                | -                 | 406                   | 971             |
| BARRAGEM ENROCAMENTO     | 60                   | -                     | -                    | -                | -                   | 60                  | -     | -            | -                | -          | -                   | -               | -            | -          | -                  | -     | 4                | 34                | 98                    | 0               |
| BARRAGEM DE TERRA – ME   | 48                   | -                     | -                    | 6                | 9                   | 63                  | 56    | -            | -                | -          | -                   | -               | -            | -          | -                  | -     | -                | 40                | 103                   | 56              |
| TOTAL                    | 658                  | 132                   | 22                   | 39               | 9                   | 860                 | 4290  | 330          | 69               | 77         | 641                 | 69              | 50           | 126        | 1362               | 949   | 20               | 141               | 2383                  | 5239            |

TOTAL DE LEITURAS / ANO -FUNDAÇÃO = 64.544  
 TOTAL DE LEITURAS / ANO -CONCRETO = 25.596  
 TOTAL DE LEITURAS / ANO -GEODÉSICO = 12.000  
 TOTAL DE LEITURAS / ANO -ITAIPIU = 102.140

REDE GEODÉSICA  
 •Base de Calibração = 4  
 •Base de Rede = 7

#### 4.5. Sistema de Aquisição Automática de Dados da Instrumentação - ADAS

A partir de dezembro de 2005, a instrumentação da barragem foi parcialmente automatizada com o sistema ADAS. Esse sistema automatizou os 206 instrumentos considerados mais importantes para a segurança da barragem.

O ADAS é composto por 270 sensores, 24 unidades de aquisição remota, uma estação central localizada na El. 135 da Casa de Força e uma estação cliente localizada no 1º piso do Edifício da Produção.

A frequência de leituras atualmente utilizada no sistema é 30 minutos, o que permite a geração de alarmes.

#### 4.6. Estabelecimento de Valores Limites para a Instrumentação

Uma vez definido o tipo de instrumentação que seria instalada para monitorar o comportamento das estruturas e suas fundações, fez-se necessário definir valores teóricos que, com base em estudos, modelos matemáticos e modelos físicos, pudessem servir como referência aos resultados fornecidos pela instrumentação.

Tais valores foram definidos nos seguintes relatórios de previsão:

| <b>Estrutura</b>         | <b>Relatórios</b>     |
|--------------------------|-----------------------|
| Barragens de Terra       | 4286.50.8005-E/8018-P |
| Barragem de Enrocamento  | 4276.50.0001.P        |
| Casa de Força            | 4306.50.7005.P/7055.P |
| Estrutura de Desvio      | 4206.50.0001.P        |
| Barragem Principal       | 4106.50.6001.P        |
| Vertedouro e BLD         | 4066.50.5000.P        |
| Taludes a Jusante da BLD | 4096.50.5000.P        |

#### 4.7. Frequência de Leitura

A partir do momento da instalação dos instrumentos, fez-se necessário definir uma frequência mínima de leitura que pudesse acompanhar as variações das grandezas medidas pelos instrumentos em cada fase do empreendimento, ou seja, fase de instalação dos instrumentos, fase de construção, enchimento parcial do

reservatório, enchimento definitivo, primeiro ano de operação, e operação subsequente.

A frequência estabelecida para ITAIPU foi baseada na experiência de outras barragens e nas recomendações do ICOLD.

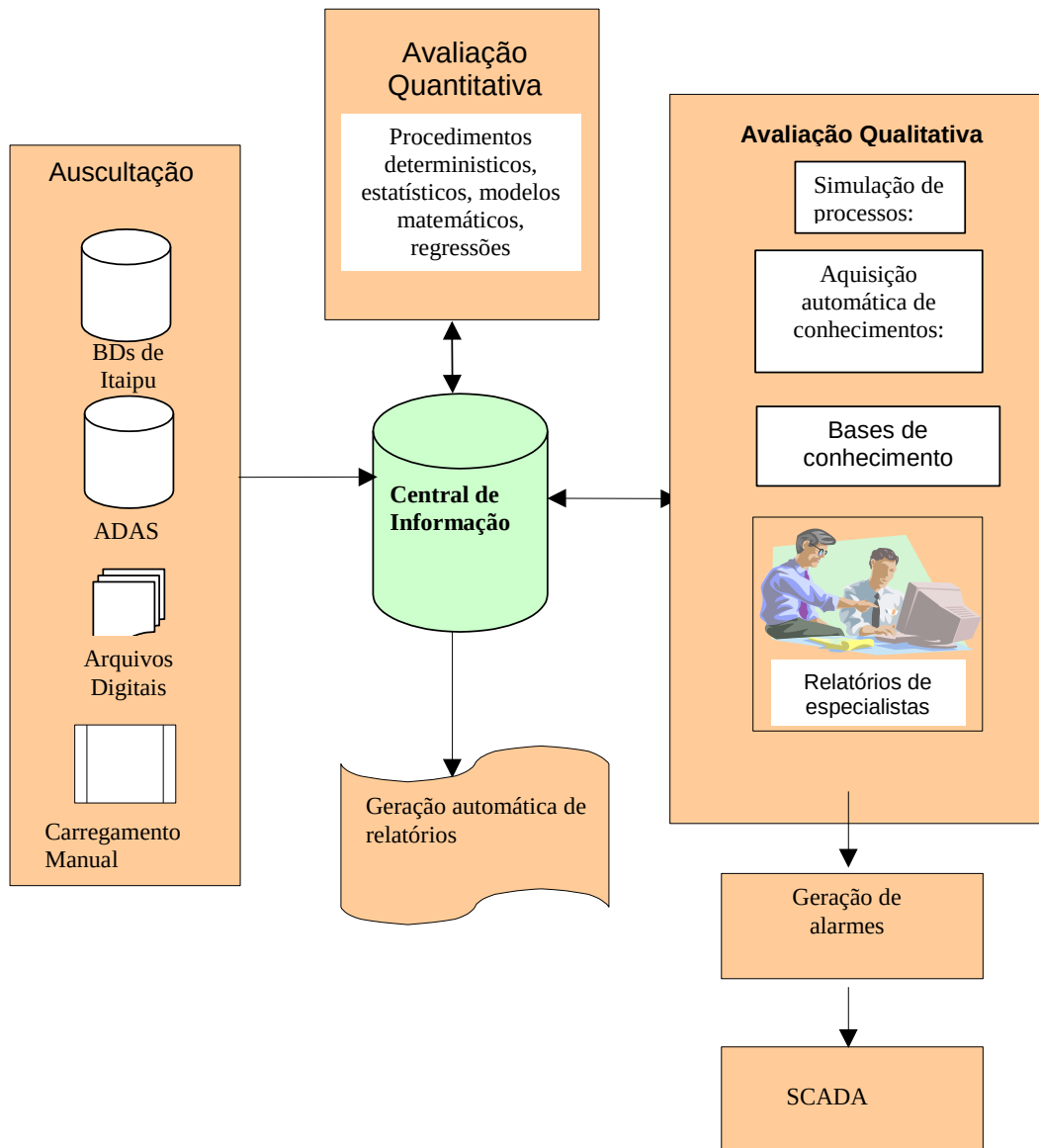
#### **4.8. Sistema de Otimização da Análise da Auscultação - SOAA**

Foi implantado um sistema informatizado especialista para gestão de banco de dados, processamento, interpretação, comparação e análise dos dados da auscultação das Estruturas Civas da ITAIPU denominado SOAA “Sistema de Otimização da Análise da Auscultação”.

Basicamente o sistema especialista serve para auxiliar a avaliação e acompanhamento do desempenho das Estruturas Civas da Central Hidrelétrica de ITAIPU.

Além disso o sistema serve para consolidar toda a base histórica referente às fases de projeto, construção e acompanhamento do desempenho das estruturas após o enchimento do reservatório, de modo que todas as informações de destaque, os relatórios e os documentos gerados naquelas fases possam ser facilmente resgatados quando necessário.

A arquitetura do sistema, está representada no esquema mostrado na figura seguinte. Nele se identificam os processos e os módulos que interagem entre si.



Esquema do SOAA

## **5. SISTEMAS DE PROTEÇÕES ELETROMECAÂNICAS**

### **5.1. Sistema de Proteção dos Equipamentos**

Todos os Geradores, Transformadores Principais, Transformadores da Subestação da Margem Direita, Transformadores dos Serviços Auxiliares, Linhas de Transmissão, Cabos Subterrâneo de 66kV e Barramentos , possuem proteção contra surtos de tensão, sobrecorrente, sobretensão e sobre elevação de temperatura.

Deve-se salientar que na Central Hidrelétrica de Itaipu foi adotado, com raras exceções, o critério de dois Sistemas de Proteção independentes para cada equipamento ou sistema protegido, visando-se atingir um elevado grau de confiabilidade.

Todas estas proteções encontram-se descritas em detalhes nos documentos referenciados.

### **5.2. Sistemas de Proteção contra Incêndio**

#### **5.2.1. Casa de Força e Barragem Principal – Galerias**

As seguintes galerias da Casa de Força possuem Sistema Automático de Detecção e Alarme de incêndio, com detectores iônicos.

- Galeria de Equipamentos de Excitação – El. 98,50 – Eixo AB
- Galeria de Cabos – El. 127,60 – Eixo CD
- Galeria da El. 108,00 – Eixo CD (bandeja de Cabos na El. 112,00).
- Galeria de Equipamentos Auxiliares – El. 98,50 – Eixo CD
- Galeria de painéis de Equip. Aux. – El. 115,00 – Eixo CD
- Galeria El. 214,00 – Barragem Principal

#### **5.2.2. Casa de Força – Sala dos Geradores Diesel de Emergência**

Todos os geradores diesel de emergência possuem Sistema de Detecção e Alarme de Incêndio com detectores de fumaça do tipo óptico e térmico do tipo termovelocimétrico.

#### **5.2.3. Casa de Força – Transformadores Elevadores**

Todos os transformadores elevadores principais possuem proteção contra incêndio através de sistema de água nebulizada (Water Spray) com acionamento automático, além de sistema de detecção de incêndio.

As 60 celas dos TUs da UHI contam com portas metálicas desmontáveis que fecham as celas dos TUs com o objetivo de minimizar danos que possam ocasionar eventuais explosões dos transformadores.

Em todos os transformadores foram implementados sistemas complementares de proteção por CO<sub>2</sub> e lançamento de espuma química.

#### **5.2.4. Transformadores Principais, Transformadores Reguladores e Transformadores de Apoio – Serviços Auxiliares da Usina**

Todos os transformadores para os serviços auxiliares possuem proteção contra incêndio através de sistema de água nebulizada (Water Spray) com acionamento automático.

#### **5.2.5. Casa de Força – Salas de Tratamento e Transferência de Óleo Lubrificante e Óleo Isolante e Salas de Estocagem de Óleo Isolante**

Todas as salas possuem proteção contra incêndio através de sistema de água nebulizada (Water Spray) com acionamento automático, além de Sistema de Detecção de Incêndio.

#### **5.2.6. Casa de Força – Geradores de 50 / 60Hz**

Todos os geradores da Usina possuem proteção contra incêndio por sistema automático de CO<sub>2</sub>.

#### **5.2.7. Casa de Força – Salas de Controle Local, Sala de Controle Centralizado e Sala de Despacho de Carga**

Todas as salas de controle e do despacho de carga possuem sistema de detecção de Incêndio com detectores de fumaça do tipo iônico e do tipo óptico.

#### **5.2.8. Casa de Força – Galerias e Áreas Diversas**

Galerias e áreas localizadas nas diversas elevações da casa de Força possuem proteção contra incêndio por hidrantes, através da Rede Geral de Hidrantes abastecido pelo reservatório da CHI.

### **5.2.9. Edifício da Produção**

Todos os andares possuem proteção contra incêndio por sistemas “Sprinkler” e sistema de detecção e alarme de incêndio por meio de detectores de fumaça.

### **5.2.10. Vertedouro**

As seguintes áreas do vertedouro possuem sistema de Detecção de Incêndio: sala da subestação unitária, sala de ventilação, sala dos geradores diesel e bateria e sala do tanque de óleo combustível.

### **5.2.11. Subestação da Margem Direita – Casa de Relés**

A Casa de Relés possui Sistema Automático de Detecção de Incêndio com detectores de fumaça e térmico.

### **5.2.12. Subestação da Margem Direita – Transformadores**

Os autotransformadores T1, T2, T3, T4, T5 e TX, os transformadores reguladores R1, R2, R3, R4, R5 e RX os transformadores trifásicos T6 e T7 e os transformadores de isolamento TI-1 e TI-2 possuem sistema de proteção contra incêndio de água nebulizada (Water Spray) acionados automaticamente.

### **5.2.13. Extintores**

Existem extintores tipo CO<sub>2</sub> e PQS distribuídos ao longo de todas as galerias e edificações da CHI.

### **5.2.14. Sistema de Combate a Incêndios por Hidrantes**

As demais áreas da Usina são cobertas por uma rede de hidrantes pressurizados, alimentados por reservatórios e respectivas casas de bombas, os quais estão convenientemente distribuídos ao longo da Área Prioritária.

## **6. PLANOS DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA - PAE's**

### **6.1. Introdução**

As falhas que podem surgir na Central Hidrelétrica poderiam desencadear diversos resultados danosos, que conforme escala de gravidade, vão desde os

considerados irrelevantes, passando pelos críticos, até chegar aos catastróficos, cujo controle resultaria incerto e imprevisível.

Pode-se afirmar, sem dúvida alguma, que o Plano de Ação de Emergências de ITAIPU se constitui em uma ferramenta valiosíssima que garantirá prevenção, proteção e um esquema eficiente de respostas diante das emergências.

Ressalta-se que a CHI conta com uma Brigada de Emergência, composta por 450 membros, devidamente preparada e treinada. Conta, também, com um contingente de 47 bombeiros(as) profissionais que cobrem as 24 horas, com os seguintes veículos:

- 1 (um) Auto bomba Volvo, com 12.000 litros de água e 1.000 litros de Líquido Gerador de Espuma - LGE;
- 1 (um) Auto hidroquímico Volvo com 8.000 litros de água, 1.000 litros de Líquido Gerador de Espuma - LGE e 500 kg de pó químico;
- 1 ABT Scania P 360 com 10.000 de água e 500 Líquido Gerador de Espuma - LGE;;;
- 1 (um) Auto bomba Mercedes Bens 5.000 litros de água e 500 litros de Líquido Gerador de Espuma - LGE;
- 2 (duas) camionetas equipadas e um veículo elétrico;
- 1 (um) Auto busca e Salvamento Mercedes Bens totalmente equipado;
- Lanchas, moto aquática, moto geradores, equipamentos especiais de resgate e de combate a incêndios, equipamentos de radiocomunicação, etc;

A equipe de Atendimento Pré-hospitalar é composta por 10 Enfermeiros(as) e 10 Motoristas de Ambulância, que cobrem 24 horas, estes são empregados de empresa terceirizada e contam com 2 (duas) Ambulâncias semi-UTI;

Todo o pessoal passa anualmente por cursos de capacitação e reciclagem no uso de extintores, hidrantes e primeiros socorros.

## **6.2. Objetivos e Alcances**

O PAE tem por finalidade preparar a Entidade, através de um sistema organizado de seu quadro gerencial e operativo (pessoal), para emergências que possam representar ameaça à vida e à integridade de seus funcionários, para preservação dos equipamentos de geração e estruturas da Área Prioritária (Usina) e para a continuidade na produção de energia.

Executivamente o PAE prepara respostas de emergência para um conjunto de situações críticas. Esta organização abrange dois aspectos bem determinados:

**a) Trabalho Preventivo**

O PAE coordena e unifica todos os critérios e ações de prevenção de acidentes com o fim de manter níveis confiáveis de continuidade operacional.

**b) Trabalho Executivo**

O PAE define ações rápidas para administrar e comandar fatos e situações críticas que demandem um trabalho preciso e combinado.

**6.3. PAE's já Estudados (Até Dezembro/2016)****Relatório de ref.**

- Incêndio nos Transformadores Principais
- Inundação Cota 57,25 da Casa de Força
- Incêndio no Quadro de Alimentação Serviços Auxiliares
- Plano de Ação em caso de enchentes
- Incêndio nos Transformadores e Reguladores (SEMD)
- Incêndio / Inundação CQ - 06 (Estrutura de Desvio)
- Embarcação a Deriva no Reservatório
- Incêndio no Edifício da Produção
- Queda de Torres de Linhas de Transmissão
- Incêndio / Explosão nas Salas de Baterias
- Incêndio nas Galerias de Cabos da EI. 127,00
- Incêndio no CPD (Centro de Processamento de Dados)
- Evacuação da Casa de Força
- Incêndio / Explosão - Unidades Geradoras

**6.4. PAE's a serem Estudados**

- Incêndio no transformador TB02
- Incêndio nos transformadores principais dos serviços auxiliares
- Incêndio nos transformadores reguladores dos serviços auxiliares

**7. Sistema ESAI**

Consiste de um sistema de segurança eletrônica da Área Industrial de Itaipu, com monitoração por câmaras e controle de acesso da Área Industrial. A estação central do ESAI se encontra na elevação 139 da UHI com diversas telas para monitoração e servidores de gravação de imagens e de controle. Conta com:

- 250 câmaras
- 145 pontos de controle de acesso

- 10 km de cerca perimetral
- Uma estação central CCP.

## 8. REFERÊNCIAS

- 1999.50.0001.P - Relatório Final de Projeto
- 4006.50.0024.P - Relatório Histórico da Auscultação
- 2500.10.0001.P - Diretrizes Gerais e Critérios de Projeto
- 1952.50.0014.I - Instrumentation for Evaluation the Performance of ITAIPU Structures and Foundation
- 4006.20.0001.P - Especificação para Frequência da Leitura da Instrumentação
- 5000.50.0010.P - Sistema de Proteção contra Incêndio, Detecção, Alarme, Anúnciação e Combate - Relatório Geral

## Segurança de Barragem Auscultação

