



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

FI/GTL/27
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS PARA A SEGURANÇA E MONITORAMENTO DA BARRAGEM DA USINA DE ITAIPU

Maurício Menon(*)

Carlos J. Davalos Solaeche

RESUMO

O artigo é um *survey* o qual apresenta o sistema que monitora as condições da barragem, fundações e vertedouro para a segurança na geração de energia e da população à jusante da represa. O perfeito entendimento das características e dos equipamentos empregados são de extrema importância para a manutenção, ampliação e atualização do sistema de aquisição automática de dados para a segurança e monitoramento da barragem da Itaipu Binacional, chamado ADAS (*Automatic Data Acquisition System*). O trabalho traz informações sobre sensores utilizados na área de auscultação, diferentes dos empregados usualmente em automação industrial além de detalhes do sistema de comunicação. Embora o sistema funcione de forma adequada, o tempo tornou vários componentes do sistema obsoletos, com o *software* e *hardware* defasados. O artigo busca informar o funcionamento do sistema atual para embasar trabalhos futuros dedicados a mudança ou atualização de tecnologias empregadas.

PALAVRAS-CHAVE

Automação, Monitoramento, Aquisição, Barragem

1.0 - INTRODUÇÃO

O aproveitamento das águas do Rio Paraná na usina de Itaipu é feito com uma série de barragens interligadas, que se comportam como uma única grande barragem. Cada trecho foi construído levando em consideração as características do terreno, equipamentos a serem instalados e custos. As regiões que concentram as unidades geradoras e vertedouro foram construídas em concreto, regiões intermediárias construídas com rochas (enrocamento); regiões com equipamentos escassos e coluna de água de alguns metros construídas em terra. O comprimento total da barragem é de 7.740 m sendo 2.220 m de concreto, 1.984 m de rochas, 3.166 m de terra e a estrutura do vertedouro, em concreto, com 390 m. A barragem em concreto é do tipo de gravidade, ou seja, vale-se do próprio peso para suportar a pressão exercida pela coluna de água. A Figura 1 contém o diagrama geral de toda barragem da usina de Itaipu. A altura máxima da barragem é 196 m [1].

Usinas hidrelétricas têm como padrão a verificação das condições de funcionamento, por questões de segurança e para garantia de geração. Alguma condição anormal pode inviabilizar a geração de energia em uma ou mais unidades até seu reparo, impactando diretamente no sistema elétrico brasileiro. Indústrias em São Paulo, hospitais no Rio de Janeiro e consumidores em Minas Gerais, por exemplo,

(*)Av. Tancredo Neves, n° 6731 – CEP 85856-970 Foz do Iguaçu, PR, – Brasil
Tel: (+55 45) 3520-5000– Email: menon@itaipu.gov.br

sentiriam rapidamente os efeitos de qualquer problema na Itaipu Binacional. Vários sensores monitoram as condições mecânicas e elétricas das unidades geradoras em tempo real. Sistemas de proteção, controle de tensão, controle de geração e controle do fluxo de água pela turbina, entre outros, utilizam os dados diretamente por meio do sistema supervisorio SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). O sistema SCADA também fornece histórico de valores, falhas, além de relatórios em geral. O sistema foi instalado na usina em 2000 e substituiu completamente a sistema manual. Emprega sensores/transdutores usuais e conhecidos no mercado de automação, como o 4-20 mA. O princípio de funcionamento é o de amostragem de corrente [ANSI2002].

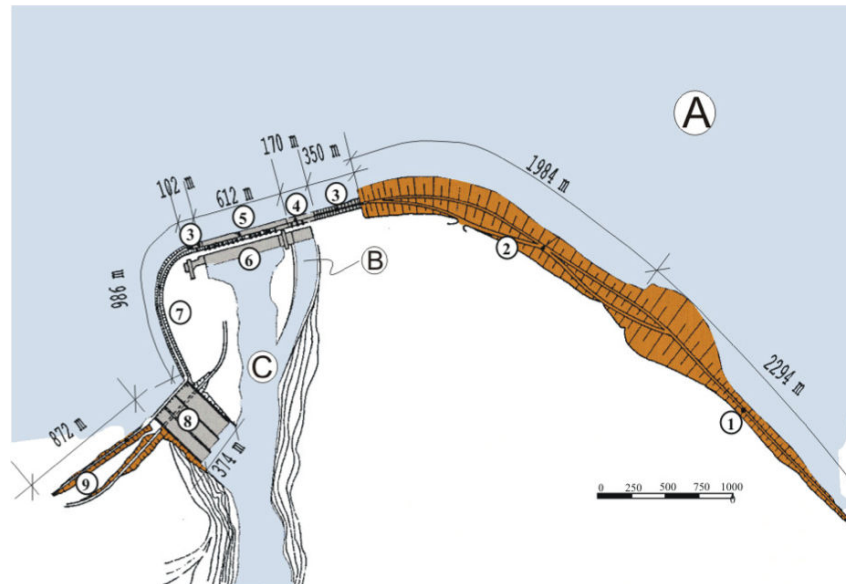


FIGURA 1 –Diagrama da barragem de Itaipu. A-Reservatório B-Canal de fuga C-Rio Paraná à jusante 1-Barragem de terra esquerda 2-Barragem de enrocamento 3-Barragem de concreto de interligação 4-Barragem do canal de desvio (concreto) 5-Barragem Principal (concreto) 6-Casa de força 7-Barragem de interligação Vertedouro-Barragem Principal 8-Vertedouro 9-Barragem de terra esquerda (Fonte: Arquivo Técnico da Itaipu Binacional).

Entretanto, somente monitorar condições elétricas e mecânicas de unidades geradoras não garantem o fornecimento de energia, além da segurança. Por este motivo desde o início da construção dados como o volume de infiltração de água, deslocamentos na estrutura, deslocamentos no solo, entre outros, são verificados. Formações rochosas peculiares e avanços/recuos horizontais ou verticais da barragem são monitorados abaixo da rocha na cota 40 m até o seu topo, na cota 225 m. O sistema ADAS (*Automatic Data Acquisition System*) entrou em operação em 2005 para obter, automaticamente, os dados do monitoramento da segurança da barragem. Vários sensores e transdutores, especiais para tal aplicação, fornecem informações para o sistema que possui um banco de dados com o histórico dos valores.

A seção a seguir detalha o funcionamento do sistema ADAS. As subseções tratam de sua estrutura: sensores/transdutores empregados, a unidade remota responsável pela aquisição de dados, como é realizada a comunicação no sistema e o fornecimento de energia. A seção Desafios expõe questões relevantes para a atualização e ampliação do sistema. A Conclusão traz as considerações finais.

2.0 - ADAS (AUTOMATIC DATA ACQUISITION SYSTEM)

O conjunto de atividades executadas de forma manual ou automatizada como examinar o comportamento da barragem e fundações, controlar as condições de segurança e verificar as necessidades de medidas corretivas, além de inspeções visuais, é chamada de auscultação, termo usual na área de segurança de barragens. O objetivo do sistema ADAS, portanto, é fornecer dados para a equipe de auscultação da Itaipu Binacional.

O ADAS é um sistema automatizado de coleta e transmissão de dados estruturais em uma rede que supervisiona a barragem de concreto, enrocamento e a barragem de terra, além de suas fundações, por meio de um sistema de instrumentos e sensores, com frequência de leituras ajustada pelo usuário.

Atualmente (2015) mais de trezentos sensores estão automatizados, contando os pré-existentes e novos sensores.

Devido a impossibilidade técnica e financeira de automatizar todos os sensores, algumas áreas da usina foram escolhidas para concentrar maior número de sensores/instrumentos, tanto por estarem em áreas de maior peculiaridade ou de maior importância. As áreas de transição entre tipos de barragem e o grande arco de concreto entre a barragem principal e o vertedouro são exemplos de regiões especiais. Os principais tipos de sensores são pêndulos, sensores piezoelétricos e pluviômetros, além de outros [3]. Na Figura 2a é mostrado um piezômetro, sensor responsável pela medição de compressibilidade de líquidos, e na Figura 2b um medidor de vazão, empregado para mensurar infiltrações.

Os sensores não se comunicam diretamente a um servidor, empregando em seu lugar uma topologia com concentradores locais. Estes concentradores que agregam grupos de sensores chamam-se UAR (Unidade de Aquisição Remota), na qual as leituras realizadas são processadas para transmissão até um servidor (CDA – Cluster de Dados do ADAS) responsável pelo tratamento, processamento e armazenamento em um banco de dados. Neste servidor estão concentradas todas as informações, protegidas por meio de redundância do servidor e de discos rígidos, além de *backups*. Uma estação de trabalho (ECA – Estação Cliente do ADAS) é responsável pela disponibilização dos dados diretamente para os usuários. Outras ferramentas utilizam os gráficos e dados disponibilizados, permitindo análises complexas da situação da estrutura. O ADAS pode ser dividido esquematicamente em quatro subsistemas principais:

- Subsistema de Sensores e Instrumentos;
- Subsistema das UARs (Unidades de Aquisição Remota);
- Subsistema de Comunicação, Controle e Processamento Central;
- Subsistema de Gerenciamento de Energia (*Power Supply*).



(a)



(b)

FIGURA 2 – Instrumentos e sensores utilizados: (a) Piezômetro automatizado pelo sistema ADAS; (b) Medidor de vazão. (Fonte: Acervo do autor).

A Figura 3 contém o diagrama simplificado do ADAS com os subsistemas e os principais componentes: sensores da barragem, UARs, comunicação via *modem* e rádio, conversores RS-232\Ethernet para os *modems* e RS-485\Ethernet para o rádio, *link* com o sistema SCADA, Cluster de Dados do ADAS (CDA) e Estação Cliente do ADAS (ECA). O subsistema de gerenciamento de energia e vários equipamentos de importância secundária não estão presentes para simplificar o diagrama.

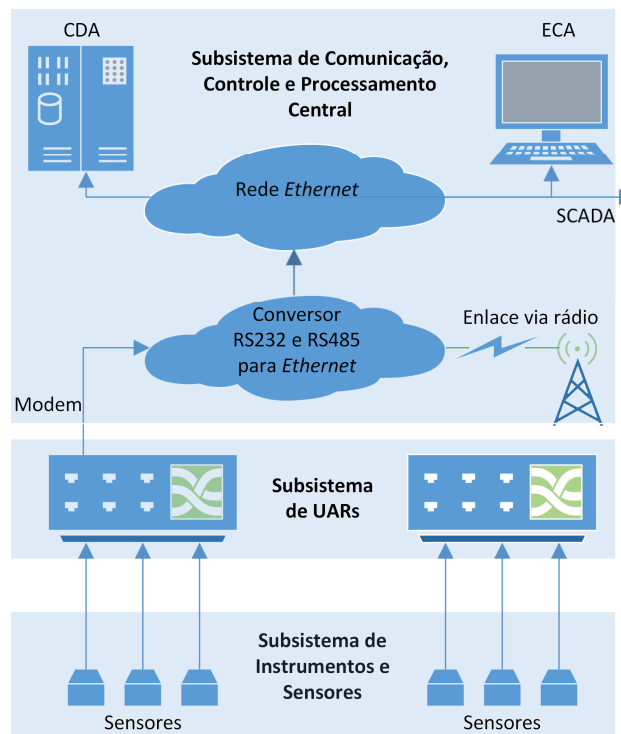


FIGURA 3 – Estrutura geral do sistema ADAS com os subsistemas de Instrumentos e Sensores, subsistema de UARs (Unidades de Aquisição Remota) típica com comunicação com *modem* e UAR com comunicação sem fio, conversores RS-232\Ethernet, conversor RS-485\Ethernet, Rede Ethernet que comunica o servidor Cluster de Dados do ADAS(CDA) com a Estação Cliente do ADAS (ECA) e outros sistemas, estes no subsistema de Comunicação, Controle e Processamento Central. (Fonte: Acervo do autor).

2.1 Subsistema de Sensores e Instrumentos

É formado por sensores e transdutores dos instrumentos em campo. Pêndulos e pêndulos invertidos (Figura 4a), são utilizados para quantificar o deslocamento horizontal da crista da barragem em relação a sua base ou da crista em relação as rochas abaixo das fundações. Pode também medir o deslocamento da rocha em relação à crista da barragem [1].

Extensômetros, também chamados deformímetros (Figura 4b), realizam as medições de deformação (tensão) das rochas abaixo das fundações da barragem, especialmente em camadas sujeitas a deformação. Lança mão de hastes ancoradas em diferentes profundidades e pode medir o deslocamento angular da estrutura. Os medidores de vazão de água tem como princípio de funcionamento verificar a altura da coluna de água em um reservatório (Figura 4c) e a partir deste dado, calcular a vazão [4]. O piezômetro, exibido na Figura 2a, mede pressões entre estruturas de concreto e a rocha ou diretamente na rocha. O princípio de funcionamento é simples, variação do método do medidor de nível de água [5].

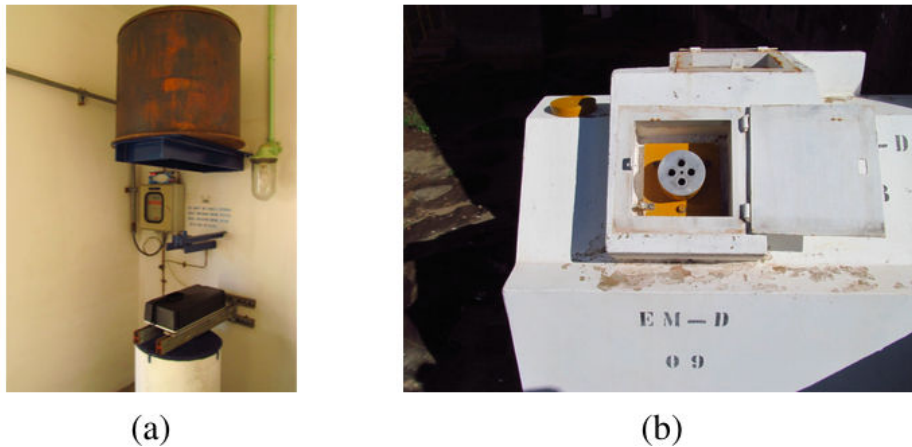


FIGURA 4 – Instrumentos e sensores utilizados: (a) Pêndulo Invertido; (b) Extensômetro. (Fonte: Acervo do autor).

A ligação física entre qualquer tipo de sensor/transdutor e a UAR é feita através de condutores metálicos. Os cabos oriundos dos sensores passam por uma caixa de junção (*Junction Box*) responsável por agregá-los até a UAR, esta detalhada na próxima seção.

2.2 Unidade de Aquisição Remota

Este subsistema é responsável pelo gerenciamento e ligação com os sensores/instrumentos, monitorar continuamente e, em relação aos dados, supervisionar o processo de coleta do campo, transformar, armazenar temporariamente, processar e transmiti-los. No coração da UAR encontra-se um equipamento chamado *data logger*, responsável pela medição, processamento, registro de parâmetros físicos/elétricos de instrumentos/sensores e compactação dos dados para envio, além de diagnósticos de consistência de leituras. A UAR possui equipamentos como fontes DC, fontes CA, conversores RS232 / RS422-485, conversor analógico-digital e o módulo responsável pela adaptação de sinais originários de extensômetros e piezômetros baseados em cordas vibrantes, chamado *Vibrating Wire Interface*.

2.3 Subsistema de Comunicação, Controle e Processamento Central

As UTRs devem enviar o sinal por até alguns quilômetros, devido à localização delas por toda a barragem. De um total de vinte e quatro UARs duas utilizam tecnologia sem fio proprietária para comunicação com a estação de controle central. A numeração delas é irrelevante para o contexto do artigo, e são citadas somente para melhor compreensão do texto. Vale-se de um enlace de curto alcance entre as UARs 20 e 21 e a comunicação com a estação central depende de outro enlace, próximo a UAR 20. As demais valem-se de tecnologia via cabo. Esta última tecnologia aproveita a infraestrutura presente de pares metálicos da telefonia, sensível a ruídos eletromagnéticos e com limitações de banda disponível. Um *modem* convencional é utilizado entre a saída da UAR e a entrada da CDA [1],

Além da comunicação o subsistema também é responsável pela interface com o usuário, comunicação e distribuição de informação para outros sistemas como a Intranet e SCADA, gerenciamento de alarmes, configuração e parametrização dos alarmes, ou seja, é responsável pelo total gerenciamento do sistema ADAS. São utilizados dois servidores redundantes no CDA, e um computador com *softwares* específicos no ECA.



FIGURA 5 – Antena do enlace de rádio, abaixo do painel solar. (Fonte: Acervo do autor).

2.4 Subsistema de Gerenciamento de Energia

O subsistema de fornecimento de energia é responsável por fornecer alimentação para as UARs, servidores da CDA e do ECA, além de equipamentos de rede e acessórios presentes no sistema, com a utilização de fontes de maior confiabilidade e baterias.

3.0 - DESAFIOS

Embora o sistema funcione adequadamente, existe a necessidade de ampliação do número de sensores/transdutores automatizados e atualização de parte do sistema. Alguns *softwares* comerciais utilizados já não possuem atualizações de segurança e correções. O *hardware*, embora funcional, com o aumento da idade tende a diminuir consideravelmente o tempo médio entre falhas. Discos rígidos empregados nos *clusters*, por exemplo, adotam um padrão há tempos descontinuado e o *datalogger* não é mais fabricado. Os requisitos clássicos de uma rede de sensores, como tolerância a falha, escalabilidade, custos, ambiente de operação, topologia, restrições de *hardware*, meio de transmissão e consumo de energia para redes de sensores, estudados em [6], mudaram consideravelmente nos últimos 20 anos.

O projeto do sistema iniciou-se praticamente uma década antes da implantação e inclui algumas soluções proprietárias de fabricantes. A camada de comunicação utilizou tecnologia disponível à época, com pares telefônicos e *modems*. Nos anos noventa era restrito o mercado de empresas fornecedoras de sistemas de monitoramento eletrônico de barragens, situação que levava a soluções fechadas. O sistema via rádio foi instalado poucos anos após o sistema original, entretanto também utiliza soluções proprietárias, estas desnecessárias no contexto tecnológico atual de redes de sensores [7].

Dataloggers mais recentes, como a família CompactRIO¹ da *National Instruments*, permitem a utilização de ferramentas como o *Labview* e um elevado grau de *customização*. Tais sistemas facilitariam o estudo da aplicação de esquemas de conservação de energia que podem ser aplicados na comunicação, como diminuir o intervalo entre as transmissões e enviar somente as informações diferenciais (complementares) [7].

O comportamento dos dados, como tendências e variância, dependem do tipo do sensor e da natureza do sistema monitorado. As necessidades de banda e otimizações da comunicação dependem destas informações. Sabe-se de antemão que os sensores não produzem grande volume de dados. As informações tem pequenas variações em seu conteúdo, como nos sensores de deslocamento horizontal da barragem. O esquema de transmissão atual envia informações a cada trinta minutos, independentemente do seu conteúdo. Projetar um sistema de aquisição e compressão que melhor atenda as necessidades do monitoramento da barragem utilizando o avanço tecnológico da área de

¹Detalhes disponíveis em www.ni.com/data_logger. Acessado em 1/3/2105.

redes de sensores é de extrema importância na ampliação e atualização do ADAS.

4.0 - CONCLUSÃO

O processo de monitoramento das condições da barragem e fundações acompanhou todo o período de construção da usina, estendendo-se ao período de operação da mesma. O processo foi manual até o final de 2005, quando o sistema de aquisição automática, chamado ADAS, entrou em operação. O sistema está em funcionamento há vários anos, mas a tecnologia e equipamentos utilizados estão defasados, sem suporte e com alto risco de falhas em seus componentes. É de vital importância para a segurança, tanto física como do fornecimento de energia, a ampliação e atualização dos sistema ADAS da Itaipu Binacional.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. S. Fiorini, E. C. Porto, M. Saccarello dos Santos, and A. Zattoni, "Automation of the monitoring system at the Itaipu hydroelectric power plant," in Proceedings of the Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, ser. Geotechnical Special Publication 175, A. S. of Civil Engineers, Ed., vol. 1. Boston, Massachusetts, USA: Geo-Institute of ASCE (American Society of Civil Engineers), September 2007, pp. 438-449.
- [2] American National Standard, ANSI/ISA-50.00.01-1975 (R2002) - Compatibility of Analog Signals for Electronic Industrial Process Instruments. Research Triangle Park, North Carolina 27709: ISA (Instrumentation, Systems, and Automation Society), 2002.
- [3] A. S. Fiorini, E. C. Porto, Paredes, M. A. Lopez, C. Piasentin, and J. Silveira, "Itaipu concrete dam - some interesting aspects of its performance." in XX Congress on Large Dams, I. C. on Large Dams ICOLD, Ed., Beijing, China, 2000.
- [4] S. Frazao Matos, "Avaliação de instrumentos para auscultação de barragem de concreto. Estudo de caso: deformímetros e tensômetros para concreto na barragem de Itaipu," Dec. 2002.
- [5] B. Medeiros, "Análise por meio de redes neurais artificiais dos dados do monitoramento dos piezômetros da barragem de concreto de Itaipu," Dec. 2013.
- [6] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks : a survey," Computer Networks, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [7] G. Anastasi, M. Conti, M. Di, and A. Passarella, "Ad Hoc Networks Energy conservation in wireless sensor networks : A survey," Ad Hoc Networks, vol. 7, no. 3, pp. 537-568, 2009.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Maurício Menon, Engenheiro da ITAIPU Binacional, Pós Graduado pela UNIOESTE 2009, com ênfase em Automação de Usinas Hidroelétricas segundo a Norma IEC61850;



Carlos J. Davalos Solaeche, Engenheiro da ITAIPU Binacional, graduado na Universidad Nacional de Asunción 2006, na especialidade de Controle e Automação Industrial.