



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

GGH - 30
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

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

AUTOMAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE BARRAGEM, UM SISTEMA CADA VEZ MAIS NECESSÁRIO

Marcos A. Soares * Élio D. Henklein Eduardo A. G. Orlowski Maria R. A. Santi Elizeu S. Ferreira
COPEL GERAÇÃO COPEL GERAÇÃO LACTEC COPEL GERAÇÃO COPEL GERAÇÃO

RESUMO

Este trabalho relata os instrumentos das principais usinas da COPEL, o sistema computacional de armazenamento, descreve o sistema automatizado e de comunicação da UHE Salto Caxias, assim como novas tecnologias através da fibra óptica.

A instalação de um sistema automatizado de dados de instrumentação na barragem da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, permite à equipe de manutenção civil e de segurança de barragem, acesso aos dados em tempo real em qualquer ponto da rede corporativa (Intranet) da COPEL.

Em operações repetitivas de leituras de instrumentos de auscultação para a execução do controle de monitoramento e segurança de barragem, um sistema de automação torna-se viável e necessário.

PALAVRAS-CHAVE

Instrumentação, Barragem, Automação.

1.0 - INTRODUÇÃO

A COPEL tem em suas cinco principais usinas, UHE Governador Parigot de Souza (GPS), UHE Foz do Areia (GBM), UHE Segredo (GBN), Derivação do Rio Jordão e UHE Salto Caxias, 870 instrumentos de auscultação instalados nas estruturas de barramentos, dos quais:

- 326 não podem ser automatizados (como pinos topográfico e medidores triortogonais);
- 370 podem ser automatizados e
- 167 são automatizados.

Todos os instrumentos automatizados estão instalados na barragem da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias que com uma capacidade final instalada de 1.240 MW, está localizada no rio Iguaçu, na divisa dos municípios de Capitão Leônidas Marques e Nova Prata do Iguaçu, estado do Paraná, distante aproximadamente 560 km de Curitiba. As coordenadas geográficas são aproximadamente 25° 32' de latitude Sul e 53° 29' de longitude Oeste.

A barragem é do tipo a gravidade construída com CCR – Concreto Compactado com Rolo, com comprimento de 1.100 m e altura máxima de 67 m, consumiu um volume 945.600 m³ de CCR, incluindo um vertedouro com capacidade de descarga de até 50.000 m³/s (Foto 01).

A barragem foi construída de março de 1996 a junho de 1998 e o enchimento do reservatório se deu em outubro de 1998. A instalação da instrumentação foi feita de forma gradativa durante a construção e o sistema de automação foi concluído em novembro de 1998.



Foto 01 – Barragem da UHE Salto Caxias – Rio Iguaçu – 214 Instrumentos de Auscultação.

2.0 - SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DAS BARRAGENS DA COPEL

O projeto de instrumentação de uma barragem está diretamente condicionado ao tipo de estrutura. Nas barragens de concreto, por exemplo, há interesse na observação do comportamento térmico do concreto e abertura das juntas, nas de enrocamento os recalque internos, enquanto que nas barragens de terra, há normalmente interesse na observação das pressões neutras no interior do aterro.

TABELA 01 – Número de Instrumentos nas Principais Usinas da COPEL.

USINA	SIGLA	POT. MW	BARRAGEM			INSTRUM. ** QTDE
			TIPO *	COMP.(m)	ALT.(m)	
Governador Parigot de Souza	GPS	250	E + T	350	50	66
Governador Bento Monhoz da Rocha Neto	GBM	1.676	EFC	828	160	303
Governador Ney Amintas de Barros Braga	GNB	1.260	EFC	720	145	181
Derivação do Rio Jordão	DRJ	6,5	CCR	550	95	106
Salto Caxias	SCX	1.240	CCR	1.100	67	214

* Tipo de Barragem: E + T : Enrocamento e Terra
EFC : Enrocamento com Face de Concreto
CCR : Concreto Compacto com Rolo

** Não estão computados os Drenos neste quantitativos.

A quantidade de instrumentos de auscultação a ser instalado em uma barragem está condicionada principalmente aos seguintes aspectos básicos: comprimento da barragem, altura máxima, características geológicas da fundação, características dos materiais utilizados no corpo da barragem, e etapas construtivas. É portanto inviável o estabelecimento de regras pré-determinadas definindo a quantidade de instrumentos a serem instalados em uma barragem, devendo-se contemplar e atender a estes vários condicionantes locais.

TABELA 02 – Número e Tipo de Instrumentos nas Principais Barragens da COPEL.

Tipo de Instrumento		USINA HIDRELÉTRICA - UHE				
		GPS	GBM	GNB	DRJ	CXS
INSTRUMENTOS	Dreno	20	210	54	828	977
	Medidor de Vazão	1	8	5	2	8
	Piezômetro Casagrande	10	72	-	16	-
	Piezômetro Elétrico	-	-	-	8	66
	Medidor de Nível D'água	32	-	-	-	1
	Medidor de Recalque	12	-	-	-	-
	Marco Superficial	11	106	53	10	11
	Extensômetros	-	-	-	32	28
	Medidor Triortogonal	-	-	-	14	5
	Pêndulo Direto	-	-	-	-	3
	Célula de Recalque	-	40	24	-	-
	Medidor de Deslocamento Horizontal	-	-	16	-	-
	Medidor de Deformação Específica do Concreto	-	32	57	-	-
	Medidor de Junta	-	26	23	-	28
	Medidor de Temperatura	-	7	3	24	64
	Medidor de Tensão na Armadura	-	12	-	-	-
	TOTAL COM OS DRENOS (2959)	86	513	235	934	1191
	TOTAL SEM OS DRENOS (870)	66	303	181	106	214

Retirando-se os drenos, alguns instrumentos que não podem ser automatizados por exigir do leiturista instrumentos manuais e os 167 já no sistema de automação da UHE Salto Caxias, 370 poderiam ter suas leituras no modelo de automação.

Nos procedimentos de manutenção implantados e adotados pelas equipes nas usinas, constam 31 horas mensais para realização da leituras em UHE GBM, 26 horas em UHE GPS, 50 horas em UHE GNB e 24 horas UHE DRJ. Estes procedimentos não estão contemplando todas as leituras, devendo ser considerado um acréscimo mensal de horas utilizadas nas mesmas.

Com o decorrer do tempo os progressos técnicos têm possibilitado um nível de automação cada vez maior das operações requeridas para a execução do controle de segurança. Assim, em qualquer fase da supervisão de uma barragem, em que haja uma sequência de operações elementares repetitivas que possam ser bem definidas e especificadas, e quando exista um equipamento que possa exercer estas funções mais rapidamente, a menor custo e com menor probabilidade de erros que com um operador humano, a automação torna-se viável.

Entretanto, esta automação nunca será completa, porque a inspeção visual, executada tanto por operadores comuns como por especialistas, bem como a interpretação dos resultados e a avaliação da segurança devem exigir sempre o envolvimento humano.

A COPEL está desenvolvendo o "Projeto Ensaio" que tem como objetivo um sistema computacional para armazenamento dos registros de medições e ensaios realizados nos instrumentos e equipamentos das usinas e subestações da Copel, em continuidade ao projeto Confiabilidade Estratégica - O&MBC e em atendimento à ISO 9001, visando redução de falhas.

O desenvolvimento do software está sendo baseado nas informações da área civil, por conter um maior número de instrumentos e dados.

Este projeto visa reunir todas as informações sobre os instrumentos instalados nas estruturas civis das usinas da Copel, como projetos, fotos, manuais, fórmulas, informações do fabricante, constantes de calibração, histórico do instrumento, leituras e todas as demais dados necessários para interpretação, análise e emissão de relatórios e gráficos, dados necessários para o acompanhamento da estabilidade destas estruturas instrumentadas.

Espera-se, com este projeto, que sejam criadas facilidades para a engenharia de manutenção, transformando dados em informações; democratizar o acesso às informações, possibilitar transformar informações em decisões rápidas e precisas; eliminar arquivos físicos e agilizar a obtenção de informações via meio magnético; aumentar a confiabilidade das informações; alertar para valores fora dos limites especificados; padronizar os arquivos de ensaios e medições e aumentar a vida útil dos instrumentos.

3.0 - SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DA UHE SALTO CAXIAS

A instrumentação instalada na barragem é composta por 9 diferentes tipos de instrumentos, totalizando 214 pontos auscultados. A leitura da maior parte destes instrumentos é feita pelo sistema de automação, cerca de 78% do total dos dispositivos de auscultação.

Os 167 instrumentos automatizados são do tipo corda vibrante, divididos entre termômetros, extensômetros de junta, piezômetros de fundação, piezômetros de maciço, medidores de vazão de percolação, pêndulos diretos são responsáveis pelo monitoramento durante o período construtivo da barragem (controle térmico do CCR) bem como pelo monitoramento permanente das estruturas (segurança da barragem). Complementam o sistema de auscultação, outros dispositivos de leitura manual, como por exemplo: medidores triortogonais de juntas, extensômetros múltiplos da fundação, marcos topográficos superficiais. Além disso, fazem parte do sistema de auscultação os drenos de juntas, drenos de fundação e drenos do maciço de concreto.

O sistema de automação da instrumentação da barragem de Salto Caxias compõe-se dos seguintes elementos:

- Unidades de medição e controle;
- Estação de trabalho;
- Software de gerenciamento do sistema;
- Software de consulta e exportação dos dados;
- Software de controle remoto; e
- Rede de comunicação.

Três unidades de medição e controle, localizadas na galeria inferior da barragem, são responsáveis pela coleta automática dos dados provenientes dos sensores, Foto 02.



Foto 02 - Unidade de Medição e Controle (MCU) – Foto da sua Instalação.

Cada uma das unidades tem 80 canais, o que permite que até 80 sensores possam ser conectados. A Tabela 03 apresenta a distribuição dos sensores entre as unidades de leitura.

TABELA 03 – Distribuição de Instrumentos por MCU.

MCU	BLOCO	Nº INSTR.	Nº CANAIS	Nº TE	Nº EJ	Nº PM	Nº PF	Nº MV	Nº PD	Nº TR
MCU 1	VT 5	39	77	00	09	07	19	03	01	39
MCU 2	VT 13	51	76	25	10	08	05	02	01	26
MCU 3	B 08	77	77	39	09	08	17	03	01	00

TE – Termômetro

MV – Medidor de Vazão

EJ – Extensômetro de Junta

PD – Pêndulo Direto

PM – Piezômetro de Maciço

PF – Piezômetro de Fundação

TR – Termômetro (Termistor – Acoplados em todos os aparelhos de Corda Vibrante)

As unidades de medição e controle coletam, processam e armazenam os dados temporariamente em suas memórias internas e auxiliares (tipo flashcard). São controlados por software interno (“firmware”), o qual comanda

*Rua José Izidoro Biazzetto, 158 - Bloco A - CEP 81200-240 - Curitiba - PR - BRASIL

Tel.: (041) 310-5538 - Fax: (041) 331-2772 - e-mail: marcos.asoares@copel.com

as funções básicas dos equipamentos, relacionadas principalmente à automação das leituras e configuração dos sensores.

As unidades estão conectadas entre si por um cabo de comunicação que possibilita a transferência de dados e de comandos até um microcomputador (estação de trabalho - PWHS), localizado na sala de comando da usina. Junto ao microcomputador, uma unidade de medição e controle é responsável pelo fluxo de dados e de informações do sistema.

A Figura 01 mostra a tela do aplicativo de controle geral do sistema, com o organograma de interligação e distribuição das unidades de medição e controle.

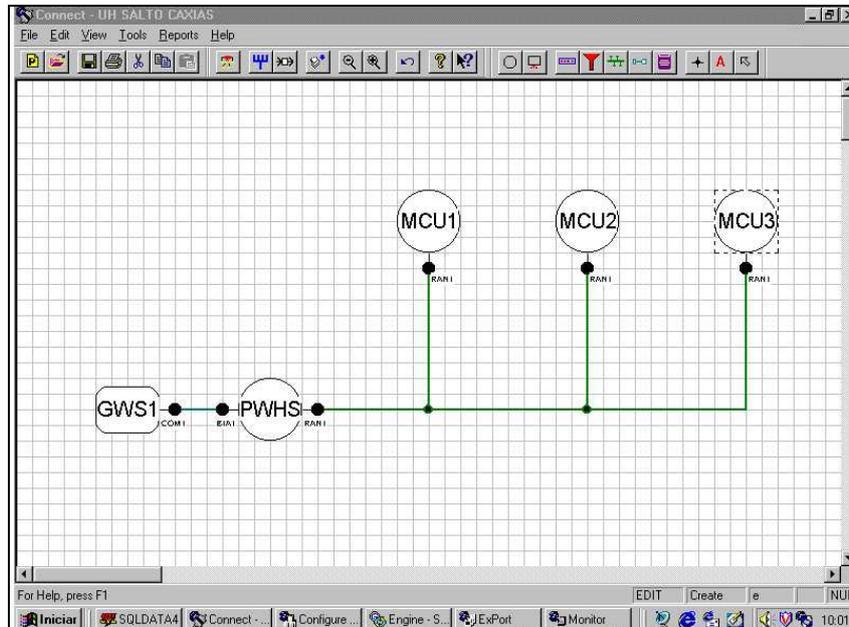


FIGURA 01. Aplicativo de Controle Geral do Sistema de Automação e Controle.

Na Figura 02, a tela do aplicativo de configuração dos sensores mostra como os componentes dos instrumentos estão organizados, obedecendo uma ordem hierárquica, a qual comanda a seqüência em que os dados de leitura são adquiridos pelas unidades de controle.

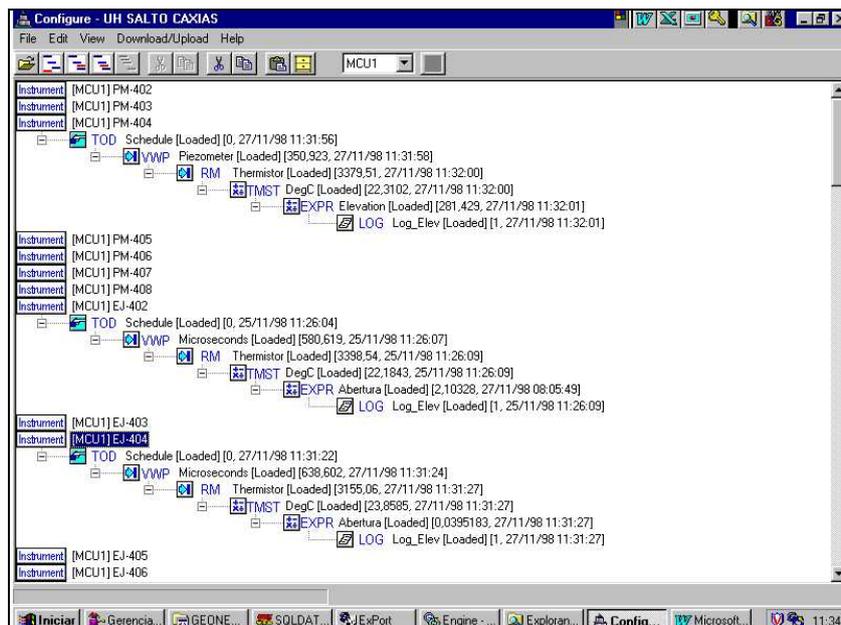


FIGURA 02 - Tela do Aplicativo de Configuração dos Sensores.

Na estação de trabalho, o software de controle e gerenciamento das leituras é a interface do operador com o sistema de automação. Na realidade, é um conjunto de aplicativos voltados às tarefas de configuração e programação dos sensores, ao gerenciamento das rotinas de transferência de dados das unidades de medição e controle a um banco de dados integrante do pacote, à elaboração de gráficos e tabelas de controle dos parâmetros medidos, exportação de dados em arquivos de dados.

Entre outras facilidades, permite, através da inserção de valores de controle, a possibilidade de que sejam acionados alarmes aos operadores da usina, em caso da ocorrência de anormalidades.



FIGURA 03 – Tela do Geonet_Consulta - Banco de Dados Auxiliar.

Data	MV-1 (Vazão)	MV-2 (Vazão)	MV-3 (Vazão)	MV-4 (Vazão)	MV-5 (Vazão)	MV-6 (Vazão)	MV-7 (Vazão)	MV-8 (Vazão)
04/02/2005	0,110970	2,29026	0,790318	28,9400	8,31999	2,53685	0,872625	1,78302
05/02/2005	0,112022	2,59063	0,867887	28,8914	8,21607	2,47484	0,923129	1,79003
06/02/2005	0,111179	2,47763	0,803289	28,3277	8,05821	2,40141	0,194277	1,79845
07/02/2005	0,112867	2,39351	0,771091	28,0091	7,86640	2,39785	0,461874	1,77323
08/02/2005	0,107644	2,29427	0,569816	28,7052	7,70948	2,36958	0,693233	1,72477
09/02/2005	0,111810	2,26443	0,567183	28,4158	7,56867	2,36081	0,584311	1,72204
10/02/2005	0,108469	2,08417	0,567183	24,6110	7,47109	2,24167	0,248232	1,73991
11/02/2005	0,112444	2,38940	0,561076	20,7250	7,42957	2,25529	0,394103	1,74268
12/02/2005	0,106004	1,94296	0,567183	22,6063	7,50237	2,25870	0,422525	1,74543
13/02/2005	0,103977	2,33242	0,566309	25,5133	7,48153	2,29127	0,290719	1,74682
14/02/2005	0,102573	2,78678	0,557613	24,0148	7,54768	2,31372	0,297046	1,74405
15/02/2005	0,105395	1,86081	0,554151	23,7171	7,48153	2,23320	0,297046	1,74820
16/02/2005	0,102573	2,77431	0,546417	21,6779	7,50935	2,25189	0,300787	1,73165
17/02/2005	0,101774	ERROR: Bac	0,553289	24,5747	7,43993	2,21968	0,297046	1,70291
18/02/2005	0,0990109	ERROR: Bac	0,551568	24,6295	7,37097	2,24339	0,298647	1,70973

FIGURA 04 – Tela de Consulta e Exportação de Dados. Medidor de Vazão da Barragem.

*Rua José Izidoro Biazzetto, 158 - Bloco A - CEP 81200-240 - Curitiba - PR - BRASIL
Tel.: (041) 310-5538 - Fax: (041) 331-2772 - e-mail: marcos.asoares@copel.com

O aplicativo de consulta e exportação de dados, Geonet_Consulta, foi desenvolvido pela Copel como facilitador e backup do banco de dados do software apresentado anteriormente, pois é programado para executar diariamente coletando e armazenando os dados. A Figura 03, mostra a tela principal do aplicativo

O software Geonet_Consulta facilita o processo de consulta por data e tipo ou conjunto de instrumento, gráfico, exportação e atualização dos dados. Gera gráfico e arquivo de exportação em formato Excel para manuseio estatísticos e análise dos dados, Figura 04.

4.0 - SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DA UHE SALTO CAXIAS

O sistema de comunicação da instrumentação da barragem da UHE Salto Caxias consiste na interligação das três Unidades de Medição e Controle (MCU1, MCU2 e MCU3), instaladas respectivamente nos nichos das seções principais de instrumentação, no interior da galeria inferior de drenagem, nos blocos V5, V13 e B8, respectivamente. Uma quarta MCU, denominada de PWHS faz a função de interface de comunicação com a estação GWHS, que é um microcomputador para recebimento dos dados, gerenciamento, armazenamento e comunicação com a rede corporativa da COPEL. É neste computador que se encontra instalado o software Geonet.

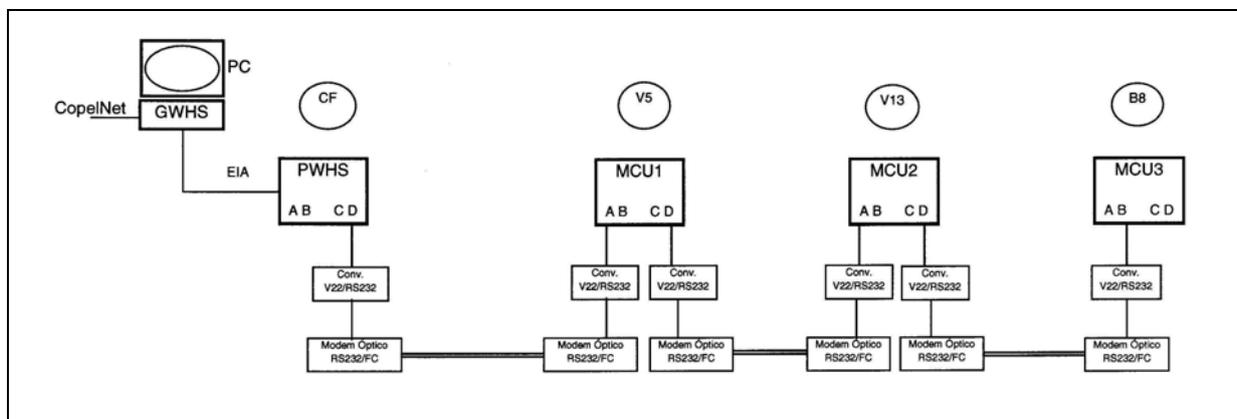


FIGURA 05 – Configuração da Comunicação entre as Unidades de Medição e Microcomputador.

Tanto a estação PWHS como o microcomputador GWHS estão instalados na sala de comando central da casa de força. A partir deste ponto, os dados podem ser acessados pela equipe de instrumentação através da rede da CopelNet.

É apresentado na Figura 05, o diagrama em blocos do sistema, as estações, as interligações e a distribuição dos componentes do sistema de automação. Em projeto recente, houve a substituição do meio de comunicação, antes efetuado através de um par de cabo metálico, o qual apresentou uma deterioração ao longo do tempo, atualmente por meio óptico, menos sujeito a interferências e atenuações, além de suportar ambientes altamente úmidos no interior da galeria da barragem e tomada d'água.

5.0 - NOVA TECNOLOGIA

A aplicação de fibra óptica é um novo e poderoso sistema na instrumentação de barragem, tanto no monitoramento para barragens de concreto, como no meio de comunicação.

A instrumentação por fibra óptica permite obter leituras de diferentes características da barragem, tais quais temperatura, pressão, deslocamento, etc, com um mesmo instrumento, ou seja a fibra.

Além desta vantagem, esta nova tecnologia permite que, para cada uma destas características medidas, disponha-se de grande quantidade de pontos de leituras. Em vista destas vantagens, a quantidade de informações geradas é imensa. A automação para este caso se torna bastante importante no sentido de potencializar estas vantagens garantindo a maior efetividade de interpretação dos dados e conseqüentemente do monitoramento da barragem desejada com a instrumentação por fibra óptica.

A COPEL junto com o Lactec vem desenvolvendo um projeto de aplicação múltipla desta tecnologia na barragem de CCR na UHE Fundão, localizada no rio Jordão, Paraná.

6.0 - CONCLUSÃO

As vantagens da automação de instrumentação auferidas no sistema de automação da instrumentação da barragem, podem ser enumeradas, como se segue:

- Facilidade de programação e operação;
- Rapidez de obtenção das leituras, manuseio e armazenamento dos dados;
- Eliminação de leituras manuais, digitações e verificações intermediárias dos dados;
- Confiabilidade dos dados obtidos.

No caso da automação da barragem de Salto Caxias, o custo médio por instrumento automatizado foi da ordem de US\$ 1.000,00 por instrumento, sendo que o custo relacionado à parcela de automação é da ordem de 40% deste valor.

O sistema de automação é bastante acessível, tanto no aspecto de aquisição e armazenamento de dados (software), quanto na facilidade de obtenção de dados em tempo real e introdução de condições de alarme.

A automação dos instrumentos da barragem de CCR de Salto Caxias representa um marco importante na instrumentação de barragens brasileiras. Foram selecionados os instrumentos de monitoramento permanente representando mais confiabilidade quanto à segurança da estrutura.

Uma das características importantes no caso da automação de instrumentação por fibra ótica é que pode ser utilizada a própria fibra como elemento de leitura e transmissão dos dados.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) II Simpósio Sobre Instrumentação de Barragens – Auscultação e Instrumentação de Barragens, Belo Horizonte, Brasil, Agosto de 1996.
- (2) XXII Seminário Nacional de Grandes Barragens, São Paulo, Brasil, Abril de 1997.
- (3) ANDRIOLO, F. R., SGARBOZA, B. C. - Inspeção e Controle de Qualidade do Concreto.
- (4) GEONET Suite Software Help Manual. Geomation, Inc., 1998.
- (5) LEVIS, P.; SOARES, M. A.; ORLOWSKI, E. A. G. (1999) Automated System and Behaviour of the Salto Caxias RCC Dam. Dam Safety and Monitoring. China.
- (6) LEVIS, P.; SOARES, M.A., ORLOWSKI, E.A.G., CALCINA, A.M. (1999). Instrumentação da Barragem de Salto Caxias – Aspectos Relacionados ao Sistema de Automação. XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belo Horizonte, Brasil, Março - 1999.
- (7) Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas – ELETROBRÁS – Capítulo 14, Auscultação e Instrumentação das Obras Cíveis.