

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

SISTEMA DE MONITORAMENTO DA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DA COPEL

Homero Buba¹; Anderson Nascimento de Araujo²; Sandra Regina Timofiecsyk³

RESUMO - Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da operação de reservatórios da Copel, que foi baseado em Programação Orientada a Objetos, através da linguagem de programação Delphi. A principal rotina do sistema é a que processa as informações operativas dos reservatórios para obter as suas vazões afluentes e defluentes médias para o intervalo de tempo horário. Para isso são processadas informações hidrológicas e hidráulico operativas de reservatórios originadas de diversas fontes. O sistema atende diversas necessidades da empresa, que vão desde a aplicação das regras de operação hidráulica dos reservatórios, da entrada dos dados nos Sistemas de Suporte à Decisão, no despacho das máquinas em tempo real, até aos estudos de planejamento energético em curto, médio, e longo prazo. As principais conclusões são: (i) a Programação Orientada a Objetos se mostrou uma ferramenta bastante adequada para o desenvolvimento de um software com um alto grau de generalização, demonstrado pela sua aplicação em um elevado número de reservatórios com as mais variadas características; e (ii) a estruturação geral do sistema permite uma integração completa dos processos envolvidos, minimizando tarefas manuais, melhorando a qualidade e consistência das informações e agilizando o processo de monitoramento em tempo real.

ABSTRACT - This paper describes the development of a monitoring system for the reservoirs operation, which was based on Object-Oriented Programming through Delphi language. The main system routine is that processes the reservoir operative variables to calculate their inflow and outflow in hourly average time step. For this, the hydrological and hydraulic operative informations of reservoir from several sources are processed. The system is useful for several applications in the company, as example: the application of reservoir operation rules, the input data to the Decision Support Systems, the powerhouses operation in real time and the short, medium and long term energy planning. The main results of this paper were: (1) Object-oriented programming has proved a very suitable tool for developing software with a high degree of generalization, demonstrated by its application in many reservoirs of several types and sizes, and (2) The general system structure allows a complete integration of all the processes, minimizing manual tasks, improving the quality of information and accelerating the process of real-time monitoring.

Palavras-chave - sistema de monitoramento, operação de reservatórios, programação orientada a objeto.

^{1,2,3} Companhia Paranaense de Energia - COPEL, R. José Izidoro Biazzetto, 158, Mossunguê, Bl. A, CEP 81.200-240, Curitiba/PR. Fone: (41) 3331-3326 - Fax: (41) 3331-3170, e-mail: homero@copel.com; anderson.araujo@copel.com; sandra.regina@copel.com.

INTRODUÇÃO

Historicamente os primeiros sistemas computacionais de monitoramento da operação hidráulica de reservatórios da Copel (Companhia Paranaense de Energia) datam do início da década de 1980, constituídos basicamente de programas computacionais para reservatórios específicos, onde já se iniciava o desenvolvimento de algoritmos para o cálculo de vazões vertidas e turbinadas, considerando todos os detalhes hidráulicos dos vertedores, provenientes de estudos em laboratórios de hidráulica e características dos grupos turbinas-geradores com rendimentos em função de quedas líquidas e coeficientes de perda de carga na adução.

Ao longo dos anos houve uma evolução dos sistemas, com um ganho progressivo de generalidade, o que permitiu o processamento das informações dos principais reservatórios da empresa a partir de bancos de dados especialmente desenvolvidos para reunir, em tempo real, informações de diversas fontes, como o Centro de Operação de Geração da Copel (dados operativos de reservatórios e usinas hidrelétricas), sistemas de Telemetria de postos hidrométricos em usinas e informações inseridas manualmente. Estes sistemas ainda possuíam limitações importantes, pois não permitiam a representação de uma vasta gama de tipos diferentes de vertedores, configurações geralmente associadas a PCH's e as novas usinas em processo de implantação. Tal situação foi solucionada com o desenvolvimento de poderosos algoritmos implementados em linguagem Delphi, com alto grau de generalidade, a partir da aplicação de conceitos fundamentais da Programação Orientada a Objetos, descrito em Boratti (2007), cuja estrutura e principais conceitos serão apresentados no decorrer deste trabalho.

ESTRUTURA DO SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS E HIDRÁULICO OPERATIVAS

O Sistema de Processamento de Informações Hidrológicas e Hidráulico Operativas da Copel visa atender as necessidades de informação das diversas áreas da empresa e permite que se façam as correções das informações após análises de consistência pós-operação, realizada pela equipe do Departamento de Gerenciamento de Recursos Hídricos, composta por Engenheiros Civis e Técnicos, nas quais são comparadas informações obtidas de forma independente, como por exemplo: vazões em postos fluviométricos com vazões calculadas por balanço hídrico em reservatórios situados a jusante, ou elevações de vazão afluente com ocorrência de chuvas (pluviômetros telemedidos) na bacia.

O seu desenvolvimento representa uma reformulação do Sistema OHR descrito em Kaviski *et al.* (1993), a partir da aplicação das técnicas da “Programação Orientada a Objetos” (Object

Oriented Programming - OOP), resultando em melhorias como: segurança e rapidez na inclusão de novos casos (arquivos do tipo XML), melhor legibilidade do código fonte, facilidade de manutenção e inclusão de novos métodos e funcionalidades, bem como facilidade de documentação.

A Figura 1 ilustra a estruturação do Sistema de Monitoramento da Operação de Reservatórios da Copel, que pode ser detalhada da seguinte forma:

a) ENTRADA DE DADOS - fontes de informações brutas (não processadas) para o banco de dados (canto superior esquerdo da Figura 1):

a1) Centro de Operação da Geração (COG): Informações gerenciadas pelo Centro de Operação da Geração, responsável pela operação em tempo real das usinas da Copel:

- Níveis d'água de reservatórios e de canais de fuga de sistemas telemétricos em escala horária;

- Leituras visuais de níveis d'água de reservatórios e de canais de fuga inseridos manualmente;

- Manobras em comportas de vertedores e demais dispositivos de descarga;

- Gerações horárias das casas de força (usinas).

a2) Telemetria: Informações recebidas pela rede telemétrica da Copel e do Simepar (Sistema Meteorológico do Paraná):

- Níveis d'água de reservatórios e de canais de fuga de sistemas;

- Níveis d'água em afluentes aos reservatórios e precipitação telemedida na rede hidrométrica.

b) PROCESSAMENTO - Sistemas de processamento e interfaces (canto superior direito da Figura 1):

- CDH (Coleta de Dados Hidrometeorológicos) - cálculo de vazões vertidas, turbinadas e afluentes em escala horária.

c) PRINCIPAIS APLICAÇÕES - Sistemas usuários das informações processadas (parte inferior da Figura 1):

c1) Sistemas de suporte à decisão. Abrange os softwares de operação hidráulica dos reservatórios da Copel: FASG (UHE's Foz do Areia e Segredo), OHSCX (UHE Salto Caxias), OHGPS (UHE Capivari Cachoeira), OHVOS (Reservatório de Vossoroca) e OHMAA (UHE Mauá);

c2) Monitoramento da Potência Máxima. Cálculo em tempo real da potência máxima disponível das principais usinas hidrelétricas;

c3) Planejamento Energético: as vazões calculadas no CDH são utilizadas no planejamento energético da empresa em curto, médio e longo prazo;

c4) Página de internet: Monitoramento Hidrológico da bacia do Rio Iguaçu, disponível em <http://www.copel.com/ger/iguacu/situacao.jsp>.

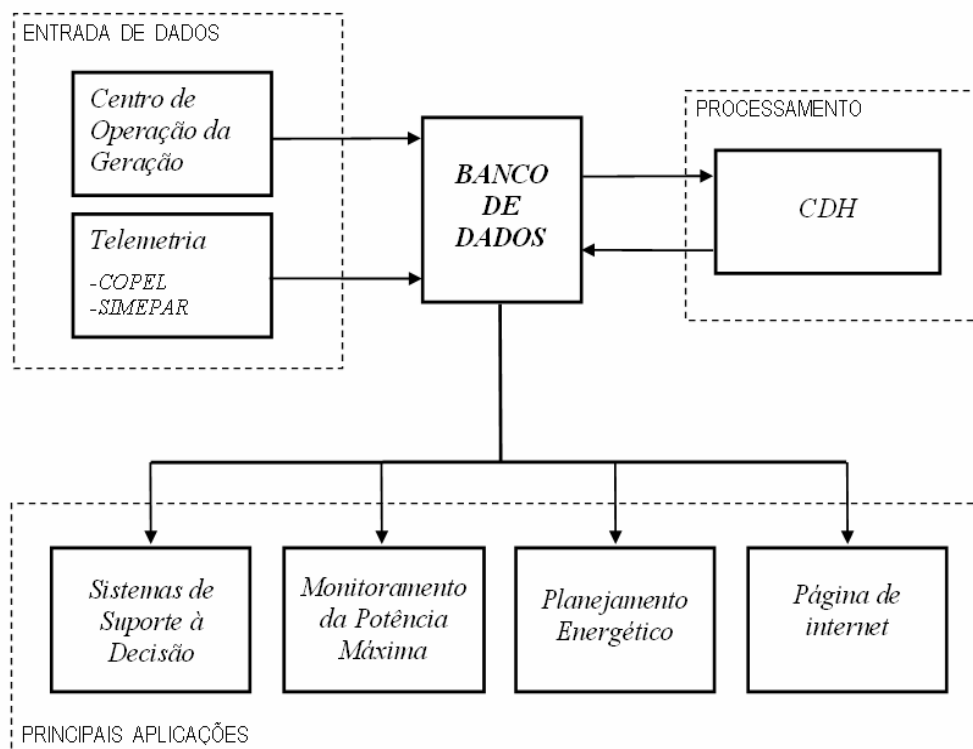


Figura 1 - Estruturação do Sistema de Monitoramento da Operação Hidráulica de Reservatórios da COPEL

A complexidade do sistema resulta de interconexões entre diferentes bancos de dados situadas em locais distintos, como o banco de dados do SIMEPAR, conectado via cabo de fibra ótica, sendo as outras conexões feitas via rede interna da empresa. Em função da operação em tempo real, existe um aplicativo para gerenciar o processo de recepção e as primeiras verificações (consistências) das informações na chegada ao banco de dados.

ROTINA DE CÁLCULO: BALANÇO HÍDRICO DE RESERVATÓRIO

A principal rotina do sistema é a que processa as informações operativas dos reservatórios para obter as suas vazões afluentes e defluentes médias para o intervalo de tempo horário, que é o menor intervalo de tempo utilizado no processamento, o qual tem se mostrado adequado para reservatórios e casas de força dos mais variados portes (de grandes usinas a PCH's). A partir de vazões médias horárias são obtidas as vazões para intervalos de tempo maiores, como as diárias e mensais. Estas faixas de discretização temporal praticamente atendem todas as aplicações práticas,

que vão desde a aplicação das regras de operação hidráulica, da entrada de dados aos Sistemas de Suporte à Decisão, no despacho das máquinas em tempo real, até aos estudos de planejamento energético que requerem previsões de vazões em curto e médio prazo e séries de vazões médias mensais para estudos de longo prazo.

O grande avanço obtido em relação aos códigos fonte utilizados nas versões anteriores do Sistema foi obtido através de uma análise mais detalhada dos algoritmos de balanço hídrico em reservatórios previamente utilizados, a fim de remover as deficiências na sua concepção que, por exemplo, não permitiam mais do que uma casa de força por reservatório, ou mais que um vertedor de superfície ou somente um descarregador de fundo. Outra melhoria foi a remoção de associações inadequadas entre variáveis típicas de reservatórios, como curvas cota x volume, ou mesmo vazões afluentes e defluentes a usinas, o que gerava problemas conceituais, dificultando o desenvolvimento dos algoritmos e mesmo a estrutura do banco de dados.

Desde o início, a análise foi orientada pelos paradigmas da Programação Orientada a Objetos, já que a intenção era a implementação da rotina em linguagem Delphi Orientada a Objetos, uma poderosa ferramenta que permite códigos bastante genéricos, estruturação linear, resulta em grande clareza e simplicidade no código fonte, e executáveis mais otimizados e seguros. Desta forma, primeiramente definiu-se “reservatório” como a unidade fundamental, pois o “balanço hídrico” é calculado sempre para um determinado reservatório, sendo o balanço dos volumes d’água que saem e entram no “reservatório” ou “volume de controle”, para utilizar um conceito clássico da “Mecânica dos Fluidos” (Daily e Harleman, 1966). Considerando a conservação de massa no volume de controle constituído pelo reservatório, obtém-se:

$$\text{Volume entrando} = \text{Volume saindo} + \text{Variação no volume de água armazenado} \quad (1)$$

Se considerarmos que o “balanço hídrico” da relação acima deve ser “fechado” em certo intervalo de tempo (Δt), dividindo todos os membros da equação por Δt , obtém-se a equação do balanço hídrico:

$$Q_A = Q_D + \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2)$$

onde:

Q_A é a vazão afluente ao reservatório;

Q_D é a vazão defluente do reservatório;

ΔV é a variação do volume armazenado no reservatório durante o intervalo de tempo Δt .

A Figura 2 ilustra o volume de controle formado pelo reservatório, onde a vazão defluente, por sua vez, é constituída por todas as vazões que saem do reservatório: vazões turbinadas (Q_T), vertidas (Q_V), e outras de menor importância como as percoladas (Q_P) pela barragem, estruturas, ombreiras e fundações, bem como as trocadas com o lençol freático (I), que são geralmente desprezadas. A variação do volume armazenado é usualmente calculada utilizando os níveis médios de água no reservatório no início e no final do intervalo de tempo Δt , para estimar os respectivos volumes armazenados e a sua diferença. Em reservatórios considerados profundos, ou seja, onde os armazenamentos nas “cunhas” sob as curvas de remanso são desprezíveis, o reservatório é considerado uma superfície plana horizontal e as curvas cota x volume podem ser diretamente utilizadas. Nos reservatórios rasos devem ser utilizados métodos adequados que levem em conta os armazenamentos das cunhas. Com todas as parcelas devidamente quantificadas, a vazão afluente é finalmente obtida pela Equação 2. Note-se que a vazão afluente assim calculada já considera implicitamente a contribuição da precipitação direta (P) e as perdas por evaporação (EV) na superfície do lago.

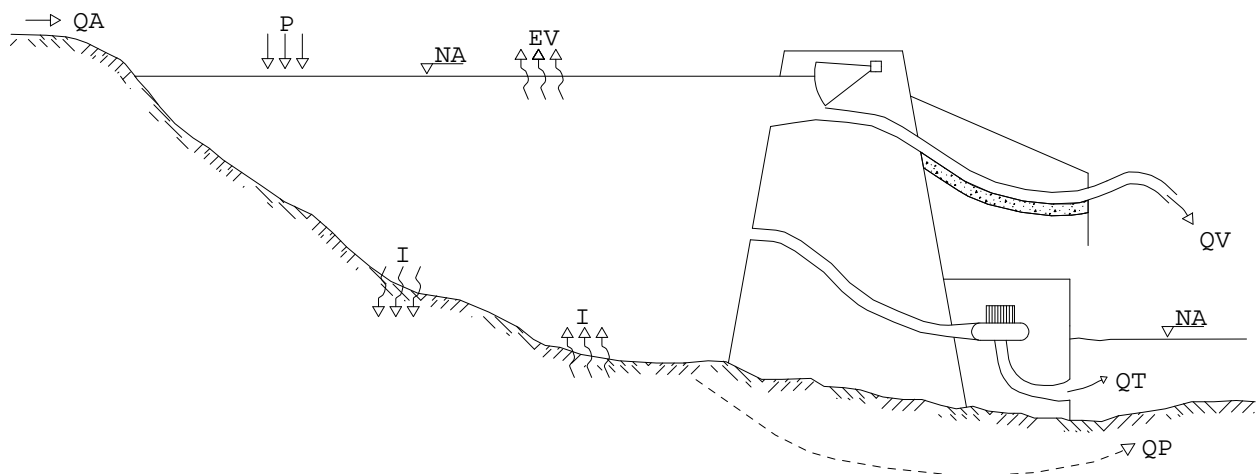


Figura 2 - Volume de controle formado pelo reservatório

Na concepção do sistema, um reservatório é constituído por (Figura 3):

- a) O próprio reservatório, cuja característica fundamental é a sua relação cota x volume ou método que permita a determinação a qualquer instante o seu volume armazenado;
- b) Um número qualquer de vertedores ou descarregadores, dentro dos quais estão incluídos túneis ou canais de derivação, túneis de desvio e outros;
- c) Um número qualquer de casas de força, definindo-se como um conjunto de máquinas (grupos turbina-gerador) com características idênticas e método único de determinação da queda líquida;

d) Um número qualquer de captações, ou seja, de vazões que são retiradas do reservatório para quaisquer finalidades (irrigação, abastecimento urbano, ou simplesmente percolações ou perdas/ganhos considerados importantes no balanço hídrico, determinadas por métodos externos ao sistema).

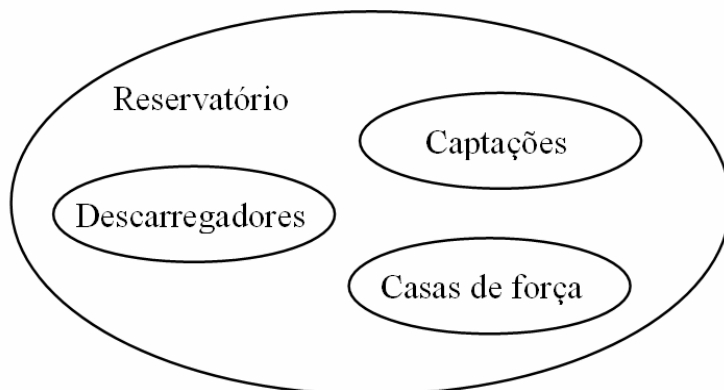


Figura 3 - Representação do objeto "Reservatório"

Cada descarregador, por sua vez, é descrito pelas seguintes informações, denominadas "atributos":

- a) Identificação;
- b) Tipo: como lâmina livre, comporta radial, válvula borboleta, túnel, etc;
- c) Número de vãos;
- d) Características geométricas e coeficientes hidráulicos;
- e) Curvas de descarga;
- f) Tipo de cálculo da vazão vertida: analítico ou interpolação em tabelas fornecidas na entrada de dados do sistema.

Analogamente, cada "casa de força" é descrita pelos seguintes atributos:

- a) Identificação;
- b) Tipo de cálculo da vazão turbinada: Método detalhado ou através da produtividade média da usina;
- c) Coeficientes de perda de carga na adução;
- d) Número de máquinas;
- e) Tipo de rendimento dos geradores: fixo ou variável;
- f) Produtividade média da usina;
- g) Informações de rendimento dos geradores;
- h) Informações de rendimento das turbinas;

i) Método de determinação do nível d'água no canal de fuga: Por exemplo, constante para turbina Pelton, função de vazões vertida e/ou turbinada, leituras diretas, telemétricas, etc.

Da mesma forma, as captações são descritas por:

- a) Identificação;
- b) Localização (coordenadas geográficas);
- c) Vazão máxima de captação.

Dentro da nomenclatura utilizada na programação orientada a objetos, um “reservatório” (genérico) é descrito por uma “classe”, definida através de seus “atributos” como: a relação cota x volume, número de descarregadores, número de casas de força e número de captações, sendo estes três últimos também descritos por “classes”, que apresentam os atributos para cada um destes elementos como anteriormente descritos.

Cada “classe” ainda compreende seus próprios métodos para a determinação das vazões, que serão utilizadas no cálculo do balanço hídrico, a partir da Equação 2:

- para a “classe” Reservatório:

Método para cálculo da vazão defluente média horária;

Método para cálculo da vazão afluente média horária.

- para a “classe” Descarregador:

Método para cálculo da vazão vertida média horária.

- para a “classe” Casa de Força:

Método para cálculo da vazão turbinada média horária pela produtividade média;

Método para cálculo da vazão turbinada média horária pelo método detalhado.

- para a “classe” Captação:

Método para Verificação do limite da vazão captada.

As informações horárias obtidas pela rotina de cálculo do balanço hídrico são armazenadas no banco de dados. A partir delas são gerados relatórios e gráficos para todos os reservatórios da empresa, independentemente do seu tamanho ou métodos de cálculo, pois conceitualmente, não há qualquer diferença entre eles. Há inclusive reservatórios sem casa de força, e o sistema permite até que seja monitorado o primeiro enchimento de reservatórios novos considerando as estruturas de desvio como descarregadores de tipos pré-definidos. Todos os 21 reservatórios que a Copel monitora, envolvendo 24 casas de força e 41 descarregadores distintos, sem exceções, tem suas

vazões calculadas pelo CDH, demonstrando um alto grau de generalidade. Mesmo assim, novos tipos de vertedores, novas topologias de casas de força, bem como novos métodos de cálculo podem ser facilmente implementados, devido à flexibilidade proporcionada pela OOP e pela estruturação e documentação do seu código fonte.

AMOSTRA DAS INFORMAÇÕES PROCESSADAS

As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados do cálculo do balanço hídrico horário, através do CDH, para as UHE's Guaricana (36 MW) e Foz do Areia (1.676 MW), ambas pertencentes à Copel. Os dados de entrada constam nas colunas "Mon" e "Jus", correspondentes aos níveis d'água (em metros) no reservatório e no canal de fuga, respectivamente, e na coluna "MWh", referente à geração horária (MW.h) da casa de força pertencente ao reservatório. Os dados de saída são representados pelas colunas "Q_A" (vazão afluente média horária em m³/s), esta resultante da aplicação da equação do balanço hídrico (Equação 2), através dos resultados das colunas "Q_V", "Q_T", e "Q_D", (vazões, em m³/s, médias horárias vertidas, turbinadas e defluentes, respectivamente), também calculadas pelo sistema. As colunas "QAA 04h" e "QDA 04h", referem-se às médias móveis de 4 horas das vazões afluente e defluentes médias horárias, respectivamente, utilizadas na operação dos reservatórios, com o objetivo de amortecer as oscilações causadas pelas ondas (Buba, 2010).

	orr	Mon	oj	Jus	ow	MWh	QA	QV	QT	QD	QAA 04h	QDA 04h	qrr	MonTele	qi	JusTele	MonVis	JusVis	MonCon	JusC	
01	T	705,420				34,00	24,34	4,54	13,22	17,76	24,18	17,05		705,420							
02	T	705,440				34,00	22,58	4,97	13,22	18,19	23,57	17,54		705,440							
03	T	705,450				34,00	20,65	5,23	13,22	18,45	22,32	17,94		705,450							
04	T	705,470				34,00	23,11	5,50	13,22	18,72	22,67	18,28		705,470							
05	T	705,480				34,00	21,19	5,78	13,22	19,00	21,88	18,59		705,480							
06	T	705,490				34,00	21,38	5,96	13,22	19,18	21,58	18,84		705,490							
07	T	705,500				34,00	21,56	6,14	13,22	19,37	21,81	19,07		705,500							
08	T	705,510				34,00	21,75	6,33	13,22	19,56	21,47	19,28		705,510							
09	T	705,520				34,00	21,95	6,53	13,22	19,75	21,66	19,47		705,520							
10	T	705,510				34,00	17,56	6,53	13,22	19,75	20,70	19,61		705,510							
11	T	705,510				34,00	19,66	6,43	13,22	19,66	20,23	19,88		705,510							
12	T	705,500				34,00	17,36	6,33	13,22	19,56	19,13	19,68		705,500							
13	T	705,490				34,00	17,17	6,14	13,22	19,37	17,94	19,58		705,490							
14	T	705,480				34,00	16,99	5,96	13,22	19,18	17,79	19,44		705,480							
15	T	705,470				34,00	16,80	5,78	13,22	19,00	17,08	19,28		705,470							
16	T	705,470				29,00	16,96	5,68	11,28	16,96	16,98	18,63		705,470							
17	T	705,470				28,00	16,57	5,68	10,89	16,57	16,83	17,93		705,470							
18	T	705,470				28,00	16,57	5,68	10,89	16,57	16,73	17,28		705,470							
19	T	705,460				28,00	14,29	5,59	10,89	16,48	16,10	16,65		705,460							
20	T	705,460				28,00	16,39	5,50	10,89	16,39	15,95	16,50		705,460							
21	T	705,460				28,00	16,39	5,50	10,89	16,39	15,91	16,46		705,460							
22	T	705,460				28,00	16,39	5,50	10,89	16,39	15,86	16,41		705,460							
23	T	705,460				28,00	16,39	5,50	10,89	16,39	16,39	16,39		705,460							

Figura 4 - Resultados do cálculo do balanço hídrico horário para o reservatório de Guaricana (36 MW).

CDH - Coleta de Dados Hidrometeorológicos

Pesquisando em 03/03/2011 Dia+ 07:00 Hora- Hora+ Atual 13/06/2011 11:37:53

GBM - Foz do Areia

Dados Horários | Níveis/Vazões | Balanço Hídrico | Manobras | Disponibilidade | Resumo | Gráficos | Documentos

	<>	Mon	oj	Jus	ow	MMWh	QA	QV	QT	QD	QAA 04h	QDA 04h	qrr	MonTele	qj	JusTele	MonVis	JusVis	MonCon	JusC	
01	T	741,378	T	607,71		1203,00	1838,76	509,49	1064,83	1574,32	1696,96	1574,18	-	741,378		607,71					
02	T	741,378	T	607,69		1202,00	1573,57	509,55	1064,02	1573,57	1725,31	1574,20	-	741,378		607,69					
03	T	741,384	T	607,67		1202,00	1800,03	509,59	1063,77	1573,36	1706,10	1573,87	-	741,384		607,67					
04	T	741,393	T	607,46		1032,00	1745,51	509,71	895,80	1405,51	1739,47	1531,69	-	741,393		607,46					
05	T	741,393	T	607,49		1006,00	1382,58	509,78	872,79	1382,58	1625,42	1483,75	-	741,393		607,49					
06	T	741,395	T	607,70		1088,00	1530,85	509,80	945,50	1455,29	1614,74	1454,18	-	741,395		607,70					
07	T	741,401	T	607,68		1198,00	1796,72	509,86	1060,20	1570,06	1613,91	1453,36	-	741,401		607,68	741,400				
08	T	741,405	T	607,66		1197,00	1720,10	509,94	1059,05	1568,99	1607,56	1494,23	-	741,405		607,66					
09	T	741,402	T	607,66		1197,00	1455,55	509,94	1058,93	1568,98	1625,80	1540,80	-	741,402		607,66					
10	<>	T	741,411	T	607,30	1196,00	1608,30	212,24	1056,06	1268,30	1645,17	1494,05	-	741,411		607,30					
11	T	741,428	T	607,35		1193,00	1762,72	68,91	1051,59	1120,50	1636,66	1381,66	-	741,428		607,35					
12	T	741,439	T	607,41		1197,00	1540,03	68,94	1055,54	1124,48	1591,65	1270,54	-	741,439		607,41					
13	T	741,459	T	607,47		1211,00	1892,81	68,97	1068,28	1137,25	1700,96	1162,63	-	741,459		607,47					
14	T	741,467	T	607,34		1227,00	1453,44	69,00	1082,22	1151,22	1662,25	1133,36	-	741,467		607,34					
15	T	741,480	T	607,42		1227,00	1641,97	69,02	1061,84	1150,86	1632,06	1140,95	-	741,480		607,42					
16	T	741,489	T	607,42		1228,00	1492,20	69,04	1083,15	1152,20	1620,10	1147,88	-	741,489		607,42					
17	T	741,507	T	607,39		1229,00	1832,92	69,07	1083,85	1152,92	1605,13	1151,80	-	741,507		607,39					
18	T	741,525	T	607,20		1033,00	1643,48	69,11	894,38	963,49	1652,64	1104,87	-	741,525		607,20					
19	T	741,538	T	607,35		1037,00	1457,90	69,14	897,65	966,79	1606,63	1058,85	-	741,538		607,35					
20	T	741,557	T	607,45		1173,00	1814,20	69,17	1027,24	1096,42	1687,13	1044,90	-	741,557		607,45					
21	T	741,572	T	607,35		1199,00	1691,95	69,21	1056,08	1125,28	1651,88	1037,99	-	741,572		607,35					
22	T	741,584	T	607,37		1199,00	1578,06	69,24	1055,49	1124,73	1635,53	1078,30	-	741,584		607,37					
23	T	741,593	T	607,40		1199,00	1464,91	69,26	1055,65	1124,91	1637,28	1117,83	-	741,593		607,40					

Níveis Operativos: MIN 700.00 MAX 742.00

Figura 5 - Resultados do cálculo do balanço hídrico horário para o reservatório de Foz do Areia (1.676 MW).

CDH - Coleta de Dados Hidrometeorológicos

Pesquisando em 03/03/2011 Dia+ Hora- Hora+ Atual 13/06/2011 11:40:18

SCX - Salto Caxias

Dados Horários | Níveis/Vazões | Balanço Hídrico | Manobras | Disponibilidade | Resumo | Gráficos | Documentos

Valores Médios 24h | Resumo Dados Diários

Início 1/4/2011 Término 20/4/2011 Intervalo: 24h 1o. Fechamento do Dia 24h Salvar

GER/DRHI OPERAÇÃO HIDRÁULICA DE RESERVATÓRIOS 13/06/2011 (11:40 h)

Resumo de Dados Diários
Reservatório: SCX - Salto Caxias
(01/04/2011 à 20/04/2011)

DIA	NÍVEL FIN. (m)	VOLUME UTIL (%)	VAZÕES (m3/s)			PRODUÇÃO MED. (MW)
			AFLU	TURBIN.	VERTIDA	
01	324,886	94,25	2060	1890	0	1120
02	324,927	96,32	2010	1730	219	1010
03	324,958	97,88	2540	1150	1340	676
04	324,823	91,08	2550	1940	821	1130
05	324,730	86,39	1870	1840	177	1080
06	324,678	83,77	1480	1520	48,2	895
07	324,694	84,57	1930	1900	0	1120
08	324,725	86,14	1760	1720	0	1010
09	324,750	87,40	1830	1790	0	1030
10	324,749	87,35	1250	1260	0	749
11	324,820	90,92	1830	1720	0	1020
12	324,780	88,91	1670	1730	0	1020
13	324,692	84,47	1700	1840	0	1090
14	324,497	74,64	1600	1910	0	1130
15	324,477	73,64	1580	1610	0	947
16	324,568	78,22	1360	1210	0	707
17	324,651	82,40	1240	1110	0	661
18	324,564	78,02	1480	1620	0	951
19	324,386	69,07	1370	1650	0	969
20	324,149	57,16	1240	1620	0	945

VALORES MÉDIOS/ACUMULADOS/FINAIS NO MÊS ATÉ O DIA 20

324,149 57,16 1720 1640 130 1770 962

Figura 6 - Resumo diário do cálculo do balanço hídrico para a UHE Salto Caxias (1.240 MW).

Na Figura 6 pode-se observar o resumo diário do balanço hídrico para a UHE Salto Caxias (1.240 MW), sendo uma das funcionalidades do CDH, que é a visualização dos dados além da escala horária de cálculo, em integrações diárias, onde a partir do nível d'água na hora final do dia é determinado o volume útil armazenado, além das gerações (MW) e vazões afluentes, turbinadas, vertidas e defluentes médias diárias.

Outra funcionalidade implementada no CDH é a visualização gráfica dos resultados (Figura 7), onde os dados de entrada e as vazões calculadas podem ser analisadas em um mesmo gráfico, com o objetivo além de auxiliar na operação dos reservatórios, ser uma importante ferramenta de consistência de dados hidráulico operativos das usinas. Na figura observam-se as vazões horárias afluentes, turbinadas e vertidas, em azul, vermelho e verde, respectivamente, e o nível d'água no reservatório da UHE Salto Caxias, para o dia 04/04/2011.



Figura 7 - Visualização gráfica da operação da UHE Salto Caxias através do CDH

CONCLUSÕES

a) A programação orientada a objetos se mostrou uma ferramenta bastante adequada para o desenvolvimento de um software de cálculo de vazões afluentes em reservatórios com um alto grau de generalização, demonstrado pela sua aplicação em um elevado número de reservatórios dotados de uma grande variedade de vertedores, casas de força e captações;

b) A generalidade do sistema permite que novos reservatórios, com os mais variados layouts e dimensões, possam ser facilmente implementados, dispensando o desenvolvimento de novos algoritmos, resultando em economia de tempo e padronização dos procedimentos de cálculo;

c) A estruturação geral do sistema permite uma integração completa dos processos envolvidos, minimizando tarefas manuais, melhorando a qualidade e consistência das informações e agilizando o processo de monitoramento em tempo real, essencial para aplicações em bacias rápidas como aquelas em que se situam os reservatórios da Copel;

d) A utilização de sistemas computacionais robustos e confiáveis permite uma maior segurança na operação de reservatórios, devido à qualidade e rapidez na obtenção dos dados que serão utilizados na tomada de decisão.

BIBLIOGRAFIA

- BORATTI, I.C. (2007). *Programação Orientada a Objetos Usando Delphi*. Visual Books, Florianópolis, 400 p.
- BUBA, H. (2010). “*Qualidade da Operação Hidráulica x Medição de Níveis de Água em Reservatórios*”, in Anais do 3º Encontro Técnico de Recursos Hídricos da ABRAGE - ETRH, Florianópolis-SC, Brasil, Ago.2010.
- DAILY, JAMES W.; HARLEMAN, D. R. F. (1966). *Fluid Dynamics*. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 454 p.
- KAVISKI, E.; CAMARGO, A.S.G.; KRÜGER, C.M. (1993). “*Sistema OHR - Sistema Computacional para Acompanhamento da Operação Hidráulica de Reservatórios*”, In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos da ABRH, Gramado-RS, Brasil, Nov.1993.