



## IX EDAO – ENCONTRO PARA DEBATES DE ASSUNTOS DE OPERAÇÃO

### INTEGRAÇÃO DAS ÁREAS DE PLANEJAMENTO, TEMPO REAL, MANUTENÇÃO E COMERCIAL, ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

Paulo Ricardo Laudanna  
Carlos Antonio Severino Costa  
Duke Energy  
São Paulo – SP

Tathiane Simões M. T. Ribeiro  
Carlos Hirochi Moribe  
Duke Energy  
São Paulo – SP

João Eduardo Gonçalves Lopes  
Marcelo Augusto Cicogna  
Techidro e HydroLab  
Campinas - SP

#### RESUMO

A pequena disponibilidade de ferramentas para auxílio ao processo de tomada de decisões, nas diversas áreas de atuação dentro de uma empresa de geração, destaca a importância do desenvolvimento de modelos de previsão de vazões, simulação da operação hidráulica de reservatórios, bases de dados, previsões comerciais, segurança operacional, estratégia de manutenção, etc. Neste trabalho apresenta-se a experiência da Duke Energy International, Geração Parapanema (DEIGP) na especificação e construção de um sistema de suporte à decisão (SSD).

A previsão de vazões afluentes às usinas é efetuada pelo modelo SMAP com horizonte de até dez dias à frente. Foram modeladas 22 sub-bacias numa área total de 100 mil km<sup>2</sup>. O simulador da operação hidráulica fornece suporte à decisão para a etapa de programação, por meio da análise do impacto hidráulico da programação de geração. Um modelo hidrodinâmico permite o conhecimento prévio das áreas inundáveis sobre imagens em uma interface com informações geográficas (SIG), com localização de pontos críticos. Na área comercial, o desenvolvimento de aplicativos que integram os dados de produção, tanto local como sistêmico, permite uma maior agilidade e credibilidade nas previsões e verificações das contabilizações do Mercado de Energia.

O sistema, em contínuo desenvolvimento desde 2000, agregou um grande valor à cadeia de suporte à decisão das áreas da DEIGP, permitindo que as várias áreas da empresa trabalhem de forma mais integrada e propiciando elevados ganhos de qualidade, precisão e tempo.

#### PALAVRAS-CHAVE

Integração de Sistemas; Previsão; Simulação; Sistemas hidroelétricos; Suporte à decisão.

#### 1.0 INTRODUÇÃO

Os profissionais do Sistema Elétrico Brasileiro dispõem atualmente de poucas ferramentas para auxílio ao processo de tomada de decisões nas etapas de Programação da Operação, Operação em Tempo Real, Contabilização e Segurança na Operação. Nesse cenário de falta de recursos,

destacam-se a importância do desenvolvimento de ferramentas de previsão de vazões, simulação da operação hidráulica de reservatórios, controle das áreas inundáveis e previsão de rebatimentos financeiros, recursos esses necessários em horizonte diário, semanal ou mensal, geralmente com discretização horária.

A operação hidráulica de sistemas de reservatórios corresponde ao conjunto de ações de controle da água dos sistemas de reservatórios. A programação da operação visa atender as metas ou limites de níveis e/ou vazões estabelecidos pelo processo de planejamento e programação de despacho centralizado. O processo de operação deve respeitar a coordenação eletro-energética do SIN (Sistema Interligado Nacional), o cronograma de manutenção das máquinas, as falhas na operação das usinas, os dados hidrológicos como, por exemplo, o tempo de viagem entre barragens, o uso múltiplo da água e o controle de cheias.

Para a execução das atividades inerentes ao processo de operação hidráulica de reservatórios, as áreas de programação, pré-operação, tempo real e pós-operação necessitam dispor de um instrumento que sustente o conhecimento antecipado e detalhado do comportamento da água bem como a decisão da programação e reprogramação de vazões defluentes. Uma solução para esse problema pode ser obtida com a criação de um sistema de suporte à decisão formado por um preditor de vazões afluentes e um simulador da operação hidráulica de reservatórios, descritos a seguir.

Nessas áreas também são importantes às informações pertinentes aos impactos, em termos de vazões e inundações, resultantes da operação, tanto em situações normais como extraordinárias.

Para a área comercial uma grande necessidade é uma percepção antecipada dos resultados comerciais frente a uma operação verificada ou a se verificar.

#### 2.0 MODELO DE PREVISÃO DE VAZÕES

O modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) é um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão. Foi desenvolvido em 1981 e publicado pela Water Resources Publications (Lopes et al, 1982). Seu desenvolvimento baseou-se na experiência de aplicação do modelo Stanford Watershed IV e do

modelo Mero em trabalhos realizados no DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

Em sua versão diária, o modelo é constituído de três reservatórios matemáticos, cujas variáveis de estado são atualizadas a cada dia de acordo com o seguinte procedimento (Figura 1).

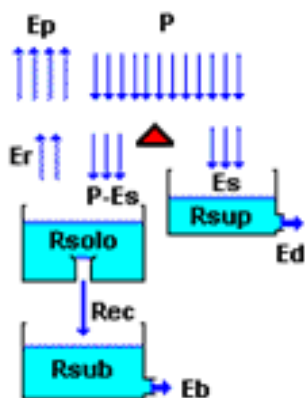


Figura 1 - Ilustração do modelo diário SMAP

O modelo é composto de cinco funções de transferência. A separação do escoamento superficial é baseada no método do SCS (Soil Conservation Service, U.S. Dept. Agr.)

Os parâmetros de calibração do modelo são descritos a seguir:

- Str - capacidade de saturação do solo (mm);
- K2t - constante de recessão do escoamento superficial (dias);
- Crec - parâmetro de recarga subterrânea (%);
- Ai - abstração inicial (mm);
- Capc - capacidade de campo (%);
- Kkt - constante de recessão do escoamento básico (dias).

Os dados de entrada do modelo são os totais diários de chuva e o total diário médio do período de evaporação potencial (tanque classe A).

A calibração de modelos Chuva-Vazão tradicionalmente era efetuada de forma manual, por meio de um processo baseado em "tentativas e erros". Este método requer muita experiência do hidrólogo e constitui-se em uma tarefa trabalhosa e subjetiva. Por outro lado, esse processo apresenta a vantagem do acompanhamento total do hidrólogo na determinação de cada parâmetro, onde toda sua experiência é passada ao processo.

Atualmente, têm-se utilizado métodos matemáticos de otimização para calibração automática dos parâmetros do modelo, de forma a facilitar o trabalho e diminuir a subjetividade do processo manual. Infelizmente, as facilidades fornecidas por esses métodos, em geral, acarretam a falta de acompanhamento do hidrólogo na calibração passo a passo dos parâmetros, impedindo o desenvolvimento da sua sensibilidade, e com isso, diminuindo a confiabilidade dos resultados.

Utilizou-se, neste trabalho, uma calibração semi-automática para aproveitar as vantagens dos dois métodos, de forma a permitir boa calibração e colocar os modelos ao alcance de hidrólogos menos experientes. Uma inovação foi a calibração automática dos coeficientes de representação espacial dos postos pluviométricos que, partindo-se

dos valores obtidos pelo método de Thiessen, ajustou-se de modo automático seus coeficientes, após obter-se um primeiro ajuste dos parâmetros. Dos seis parâmetros do modelo SMAP, foram utilizados apenas três na calibração automática.

A correta determinação do valor inicial das variáveis de estado do modelo ( $R_{solo}$ ,  $R_{sup}$  e  $R_{sub}$ ), efetuada pelas variáveis Tuin, Supin e Ebin, mostrou-se fundamental para o bom desempenho do modelo. Uma má determinação inicial, mesmo com parâmetros corretos, causa grandes distorções nos resultados do modelo. Essa configuração inicial das variáveis de estado será o ponto chave na resposta do modelo como bom predictor de vazões.

No uso em tempo real do modelo SMAP, a inicialização torna-se automática devido ao registro em banco de dados dos valores das variáveis de estado (considerados 21 dias antes). Essa estrutura computacional permite o uso contínuo do modelo sem interrupções. No caso de descolamento entre os hidrogramas observados e calculados, torna-se necessário um novo ajuste manual das variáveis de estado. No caso de interrupção ou falha na telemetria, será necessária nova inicialização, com partida 21 dias antes.

## 2.1 Aplicação à Bacia do Rio Paranapanema

A telemetria hidrológica da empresa é composta de 32 estações pluviométricas e 12 estações fluviométricas. É utilizada a previsão de chuva elaborada pelo SIMEPAR.

A bacia do Rio Paranapanema tem 60% de sua área medida por doze postos tele-fluviométricos (Figura 2). Os 40% restantes circundam o rio principal que possui dez usinas hidrelétricas, sendo três delas com reservatórios de grande acumulação, alterando o regime natural do rio Paranapanema.



Figura 2 - Mapa da bacia do rio Paranapanema

Dessa forma, a bacia foi dividida em vinte e duas sub-bacias, onde serão realizadas previsões de vazão por meio do modelo chuva-vazão SMAP. Devido ao tamanho das sub-bacias, a previsão será feita em intervalo diário com posterior desagregação em vazões horárias. A bacia dispõe de trinta e duas estações tele-pluviométricas e um radar meteorológico com cobertura total da bacia operado pelo SIMEPAR (Figura 3). O CPTEC/INPE disponibiliza previsões quantitativas de chuva com horizonte de 15 dias no modelo Global e de 5 dias no modelo ETA. Para o primeiro dia, são incorporados os dados horários de chuva observada da telemetria corrigindo, em tempo real, a previsão de chuva.

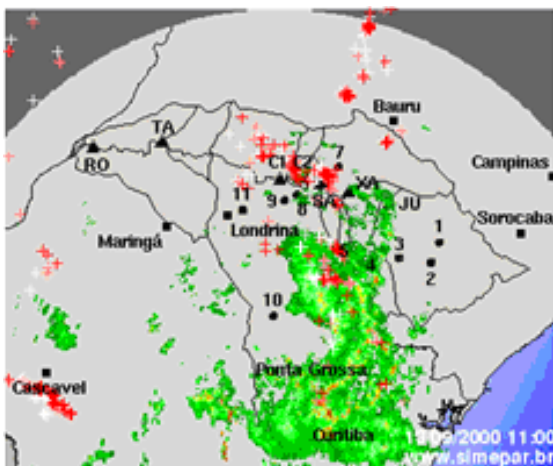


Figura 3 - Imagem do Radar Meteorológico

Na figura 4, apresenta-se uma tela para ilustração do programa SMAP. É possível visualizar o ajuste nos últimos 21 dias seguido da previsão sete dias à frente. Essa visualização conjunta do período observado recente e da previsão aumenta a confiabilidade dos resultados e permite correções manuais na configuração inicial das variáveis de estado, em situações que existe descolamento dos hidrogramas.

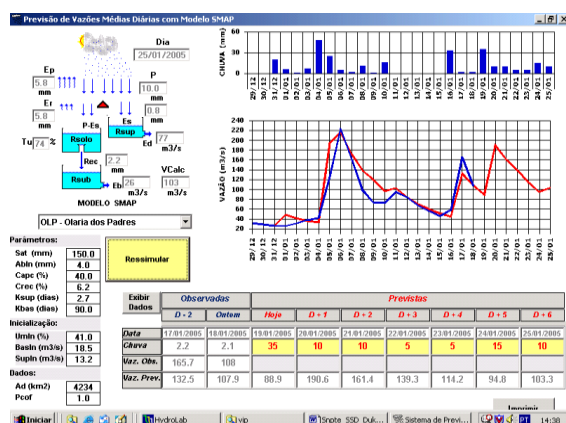


Figura 4 - Tela de Previsão do Modelo

Para as sub-bacias sem posto de controle de vazão, foram estimados os parâmetros por transposição das sub-bacias vizinhas com maior similaridade. Os postos de chuva e evaporação foram selecionados de acordo com a sua disponibilidade.

A interface com outros sistemas é feita através da base de dados temporais da DEIGP (BDP- Banco de Dados da Produção). Todos os dados tem sua origem em uma base de dados relacional (MS-SQL Server) que permite carga automática da telemetria de chuva e níveis dos rios. Os resultados do modelo também ficam disponíveis nesse mesmo banco de dados.

### 3.0 ROUTING

A denominação Routing é o processo de translação e amortecimento de uma onda de vazão se deslocando na calha de um rio. Existem várias técnicas para cálculo do routing, dentre as quais pode-se citar os processos hidráulicos como os métodos hidrodinâmicos e os métodos simplificados como Muskingum. Nesse trabalho, utiliza-se apenas

a translação da onda de vazão considerando-se sua defasagem em horas.

A calibração do Routing foi efetuada com uma estimativa inicial que utiliza uma velocidade média da água de 1 m/s nos trechos de rio. Nos trechos de lago foi considerada uma celeridade da onda de 10 m/s.

Como o tempo de trânsito de ondas de cheias é variável com a vazão, foram analisados conjuntos de medições de vazão dos postos fluviométricos, nos quais a velocidade da água é medida com molinetes. Foram utilizados dados de grandes e pequenos rios com vazão entre 20.000 m³/s no Rio Paraná e 400 m³/s em afluentes do Rio Parapanema. Esses dados permitiram refinar o ajuste inicial.

Para validação dos tempos de transito entre usinas foram levantados eventos recentes com variação brusca de vazões para análise dos hidrogramas, com o cálculo efetuado de forma gráfica.

### 4.0 SIMULADOR HIDRÁULICO

O simulador HydroSim CP é um módulo que se integra ao Sistema de Suporte à Decisão (SSD) para o planejamento e a programação da operação de sistemas hidrotérmicos, denominado HydroLab (Cicogna, 2003). O sistema HydroLab possui características importantes referentes ao gerenciamento de modelos e estudos, conforme os seguintes itens:

- Gerenciamento de usuários, perfis e segurança;
- Gerenciamento de vários modelos divididos em categorias: otimização, previsão e simulação;
- Interface com outros sistemas da DEIGP, como a base de dados dinâmicos (BDP) e as previsões de vazões fornecidas pelo modelo SMAP;
- Interface orientada a estudos: possibilidade de criar, salvar, editar e analisar estudos criados a partir dos modelos disponíveis.

Um exemplo do SSD HydroLab apresentando o módulo de simulação de curto prazo HydroSim CP pode ser visualizado na Figura 5.

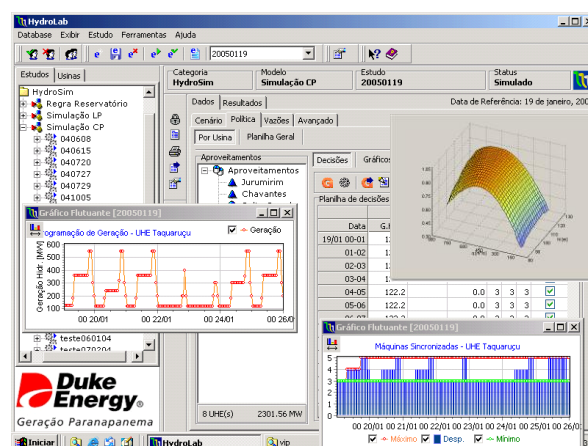


Figura 5 – O simulador hidráulico HydroSim CP.

O modelo de simulação implementado para o módulo HydroSim CP tem as seguintes características principais:

- Consideração de restrições operativas (mínimo/máximo) de geração, volume, vazões turbinadas, vertidas e defluentes;



- Simulação da operação de usinas hidrelétricas, reservatórios sem aproveitamento hidrelétrico e pontos de controle;
- Representação detalhada da operação e balanço hidráulico de usinas hidrelétricas e reservatórios, como, por exemplo, o detalhamento do canal de fuga variável, rendimento variável (curva-colina), engolimento máximo variável com a queda, rendimento dos geradores e efeito de afogamento do canal de fuga por outro reservatório ou confluência de um rio;
- Respeito às restrições impostas pela manutenção de máquinas;
- Representação do efeito routing (translação e amortecimento de vazões) por meio do tempo de viagem entre aproveitamentos.

A entrada de dados para um estudo de simulação é simples e pode ser determinada pelos seguintes passos:

1. Escolha do conjunto de usinas hidrelétricas, reservatórios e pontos de controle a serem simulados.
2. Determinação da programação de operação, ou seja, a forma com que as usinas e reservatórios devem operar. Pode-se especificar uma programação de geração ou defluências, conforme as necessidades do usuário.
3. Fornecer um cenário de vazões afluentes para o horizonte de simulação (para a DEIGP são os valores verificados ou a previsão de afluências através do modelo SMAP).
4. Configurar os níveis iniciais dos reservatórios, volumes de espera e programação do despacho de máquinas.

Os dados estáticos das usinas, reservatórios e pontos de controle são gerenciados por uma base de dados própria do sistema HydroLab, denominada HydroData. Existe, também, a opção de conectar o simulador à base de dados dinâmicos da empresa cliente, como é o caso implementado na DEIGP, tornando automático o preenchimento dos dados relacionados anteriormente.

Para o Passo 2, cabe salientar uma característica muito importante do simulador, que facilita muito seu uso pelos técnicos da DEIGP. Pode-se fornecer a programação de geração e, se necessário, a evolução do vertimento para cada usina. O simulador determina a programação de vazões defluentes, segundo um criterioso cálculo hidráulico. Caso algum problema ocorra no cálculo de adequação da programação de geração com a previsão de vazões, o simulador possui ferramentas que corrigem automaticamente tais problemas, fornecendo ao usuário uma solução válida em termos do atendimento das restrições hidráulicas. Além disso, é possível fornecer uma programação de vazões defluentes. O simulador determina a trajetória de geração hidrelétrica até o engolimento máximo da usina tornando mínimo o vertimento.

O HydroSim CP possui uma grande coleção de ferramentas gráficas para a análise da operação hidráulica dos reservatórios e vazões em postos de controle (Figura 6). Pode-se destacar a apresentação das seguintes trajetórias:

- Armazenamento, limite máximo do reservatório e volume de espera;

- Vazões afluente, defluente, turbinada, limite máximo de engolimento e restrição de defluência mínima;
- Geração programada, simulada e seu limite máximo como uma função da disponibilidade, rendimento e engolimento máximo das máquinas;
- Número de máquinas em operação, disponibilidade como função da programação de manutenção das máquinas e restrição de número mínimo de máquinas sincronizadas;
- Rendimento dos conjuntos Turbina/Gerador e a produtividade da usina.

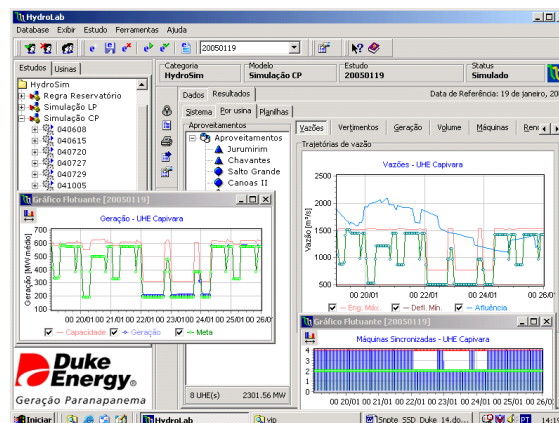


Figura 6 – Recursos gráficos para análise dos resultados.

Em síntese o simulador da operação hidráulica fornece suporte à decisão para a etapa de programação, por meio da análise do impacto hidráulico da programação de geração; para a operação em tempo real, permitindo a verificação de desvios entre os valores programados e verificados; e para a pós-operação como filtro contra erros de registro.

## 5.0 MODELO HIDRODINÂMICO

O modelo matemático de simulação do escoamento hidrodinâmico, intitulado “Dam Operation”, permite obter previsões de linhas d’água e áreas passíveis de inundação decorrentes de uma determinada operação, prevista na cascata de usinas do rio Paranapanema (Figura 7).

O “Dam Operation” encontra-se hoje plenamente integrado ao sistema de previsão de afluências e ao sistema simulador da operação hidráulica HydroSim CP empregados pela DEIGP, possibilitando a geração de prognósticos em tempo real das condições hidráulicas no rio Paranapanema no trecho de interesse, em função da operação das usinas da cascata. Como etapas de desenvolvimento e implantação, destacam-se:

- Levantamento de dados de operação, topografia, batimetria, cartografia e imagens de satélite;
- Geração da superfície de inundação (modelo digital do terreno);
- Calibração do modelo matemático para as vazões operacionais
- Simulação de cenários e geração de áreas de inundação;
- Integração com sistemas existentes (SMAP, HYDROSIM, BDP)

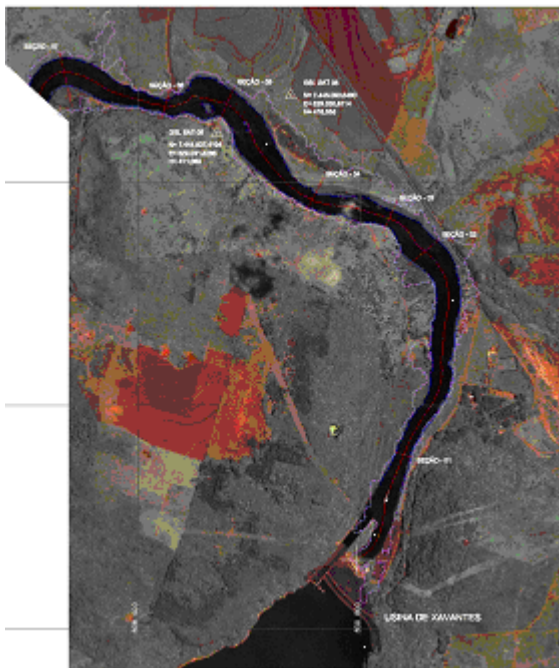


Figura 7 - Linha de inundação a jusante da Usina Chavantes, para vazão de 2.250 m³/s

Com o Dam Operation é possível o mapeamento e visualização de áreas críticas e potencialmente inundáveis, com antecedência de até 7 dias, possibilitando a tomada de ações preventivas.

Como exemplo de utilização cita-se o clube Diacuí, na cidade de Ourinhos, onde vazões em torno de 2.000 m³/s na Usina Chavantes ocasionam a interrupção do acesso e a inundação do estacionamento e área de piscinas. Essa mesma vazão ocasiona problemas na ponte Pênsil, a jusante da Usina Chavantes, e interferências na utilização da ponte ferroviária Melo Peixoto, na cidade de Ourinhos.

O sistema permite ainda, a consulta aos resultados fornecidos pelo modelo nas seções de controle do trecho. Na figura 8 mostra-se uma seção de controle na ponte Melo Peixoto, no trecho entre as usinas de Ourinhos e Salto Grande. Nesse exemplo considerou-se uma defluência fixa de 1.200 m³/s na Usina Chavantes.

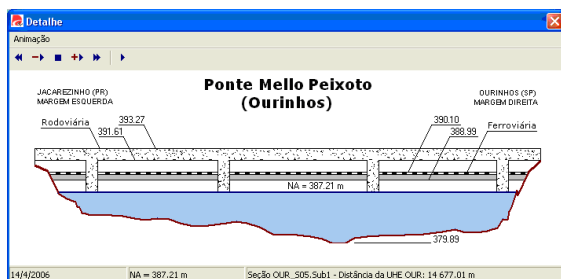


Figura 8 - Seção de controle na Ponte Mello Peixoto, em Ourinhos

## 6.0 ÁREA COMERCIAL

Na área comercial, o objetivo com o desenvolvimento do sistema foi criar uma base de dados e de aplicativos de cálculo que tivesse precisão e agilidade adequadas para atender o cronograma de previsões do cálculo de contabilização que a empresa exigia. Isto é, que ao

final do primeiro dia útil do mês seguinte ao mês de referência, a previsão da contabilização estivesse disponível. Desse modo, a inserção de dados e o cálculo de previsão da contabilização precisavam ser feitos num exíguo espaço de tempo (entre 4 a 6 horas).

Dois dados fundamentais para este cálculo são: o total da geração das usinas participantes do MRE - Mecanismo de realocação de energia e o somatório da geração das usinas da Duke Paranapanema, permitindo a modelagem das regras de mercado do Sistema Interligado Nacional (SIN). Com a integração das informações entre as áreas, coube a área responsável pelo acompanhamento destes dados junto ao ONS (Operação), a responsabilidade pela informação e inserção destes dados. O desafio era conseguir realizar a inserção desses dados no sistema o mais próximo possível do final do mês, para que não houvesse necessidade de extrapolação para a obtenção do montante mensal de geração, ou, se houvesse, que esta extrapolação fosse a mínima possível.

Dadas as condições de disponibilização dos dados pelo boletim diário do ONS (IPDO), conseguiu-se, no caso da geração das usinas do sistema participantes do MRE, reduzir o montante de dias extrapolados para dois dias e no caso da geração das usinas da Duke Paranapanema, reduzir completamente a extrapolação no cálculo.

Nas figuras 9 e 10 mostram-se os avanços no desempenho das previsões de geração (das usinas do sistema participantes do MRE e da geração das usinas da Duke Paranapanema) após a entrada em operação do sistema na área comercial.

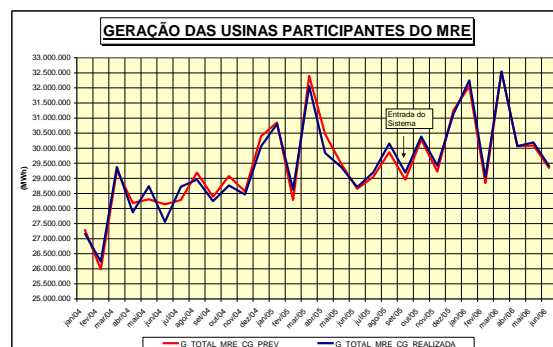


Figura 9 - Desempenho da previsão de geração das usinas do sistema participantes do MRE – Dados previstos x dados realizados.

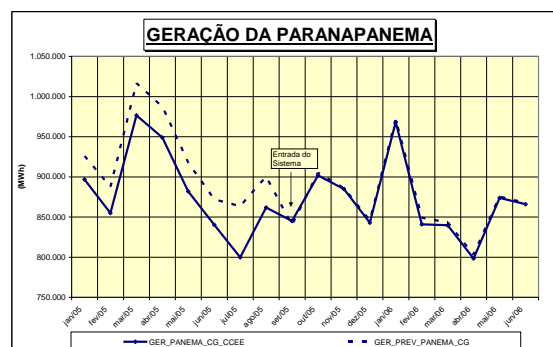


Figura 10 - Desempenho da previsão de geração das usinas da Duke Paranapanema – Dados previstos x dados realizados

Este melhor desempenho observado nas previsões de geração permitiu, por sua vez, uma melhoria de desempenho na previsão do índice de ajuste da energia assegurada do sistema – GSF – índice extremamente relevante no cálculo de previsão da contabilização da CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Na figura 11 apresenta-se o histórico dos resultados previstos e realizados do GSF.

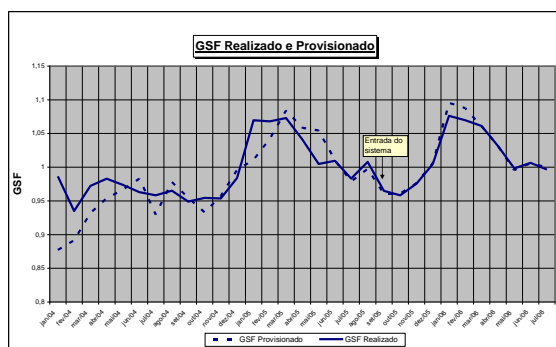


Figura 11 - Desempenho da previsão do índice GSF – Dados previstos x dados realizados.

Após a análise desses resultados, fica evidente que só o desenvolvimento de um modelo de cálculo adequado e ágil não é responsável pela obtenção de bons resultados. Nesse contexto é de fundamental relevância a consistência dos dados de entrada. Daí a necessidade do trabalho conjunto entre as áreas, que traz como benefício, além da melhoria no resultado propriamente dito, a ampliação do conhecimento de todos aqueles que trabalham nesse processo.

## 7.0 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou experiência da Duke Energy International, Geração Paranapanema (DEIGP) na especificação e construção de um sistema Previsão/Simulação para suporte à decisão da Programação da Operação, Operação em Tempo Real, Manutenção e Comercial do sistema gerador localizado no Rio Paranapanema.

A previsão de vazões afluentes às usinas é efetuada pelo modelo SMAP.

O simulador hidráulico fornece informações sobre a evolução temporal dos níveis dos reservatórios e vazões defluentes, a partir do conhecimento da situação antecedente dos reservatórios, da previsão de vazões afluentes, da programação de geração, das características dos rios, usinas e reservatórios, bem como das restrições operativas hidráulicas. O simulador fornece suporte à decisão para a etapa de programação, por meio da análise do impacto hidráulico da programação de geração; para a operação em tempo real, permitindo a verificação de desvios entre os valores programados e verificados; e para a pós-operação como filtro contra erros de registro.

A implementação do “Dam Operation” permite realizar previsões de linhas d’água e de áreas passíveis de inundação decorrentes da operação de seus empreendimentos.

O desenvolvimento de aplicativos que integram os dados de operação, tanto local como sistêmico, permitiu maior agilidade e credibilidade nas

previsões e verificações das contabilizações do Mercado de Energia.

O sistema em contínuo desenvolvimento possui sua parte relacionada à previsão de vazões e simulação hidráulica em uso desde janeiro de 2004 à qual foram agregadas as facilidades de modelagem hidrodinâmica e previsão comercial em 2006. Constata-se que cada etapa agregou um grande valor à cadeia de suporte à decisão da Duke Energy, permitindo que o planejamento, programação, operação de tempo real, manutenção e comercial trabalhem de forma mais integrada, propiciando elevados ganhos de qualidade, precisão e tempo.

Outra constatação é a evolução técnica das equipes usuárias que, devido à facilidade de uso do sistema, podem dedicar mais tempo a análises das diversas soluções de operação possíveis (análises “What-If”). A plataforma tecnológica da DEIGP permite, como visto na implementação dos modelos “Dam Operation” e previsão da contabilização, a fácil e adequada integração dos modelos com uma assimilação rápida por parte das equipes.

## 8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CICOGNA M. A. Um Sistema de Suporte à Decisão para a Operação de Sistemas de Energia Elétrica. Tese de Doutorado. FEEC/UNICAMP, dezembro, 2003.
- (2) LOPES J.E.G., BRAGA B.P.F., CONEJO J.G.L. (1982), SMAP - A Simplified Hydrological Model, Applied Modelling in Catchment Hydrology, ed. V.P.Singh, Water Resources Publications.
- (3) LOPES J.E.G., PORTO R.L.L. (1991), Técnica de Pesquisa Global de Parâmetros para a Calibração de Modelos Chuva-Vazão, ABRH, IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- (4) LOPES. J.E.G., Otimização de Sistemas Hidroenergéticos, Dissertação de Mestrado, EPUSP-PHD, 2001.
- (5) LAUDANNA P. R., RIBEIRO T.S.M.T. (2004), A Integração das Etapas de Valor - Operação e Comercial - Através da Gestão da Informação, Trabalho apresentado à Fundação Dom Cabral - conclusão MBA 16/2003
- (6) SANTOS, R. P., FERREIRA, W. V. F., PEREIRA, P. N. et al., “Modelação da Propagação de Cheias Ocasionadas por Rompimento de Barragens na Cadeia de Geração do Rio Paranapanema”, artigo técnico enviado à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, São Paulo, 2002.
- (7) PEREIRA, P. N., SANTOS, R. P., FERREIRA, W. V. F., et al., “Modelação da Propagação de Cheias Ocasionadas por Rompimento de Barragens na Cadeia de Geração do Rio Paranapanema”, XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador, 2005

## 9.0 BIOGRAFIAS

**Paulo Ricardo Laudanna** é Engenheiro Eletrotécnico pela Escola de Engenharia Mauá em 1979, Mestre em Sistemas de Potência pela Escola Politécnica/USP em 1988, MBA Empresarial pela Fundação Dom Cabral em 2004. ([prlaudanna@duke-energy.com](mailto:prlaudanna@duke-energy.com), 011-5501-3405).

**Carlos Antonio Severino Costa** é Engenheiro Civil pela PUC de Campinas em 1983, com Especialização em Engenharia Hidrológica pela USP em 1984, Especialização em Planejamento da Expansão do Setor Elétrico – COSE/Unicamp em 1997.  
([cascosta@duke-energy.com](mailto:cascosta@duke-energy.com), 011-5501-3440).

**Tathiane Simões M.T. Ribeiro** é Engenheira. Civil pela UFRJ em 1992, Mestre em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ em 1996, MBA Empresarial pela Fundação Dom Cabral em 2004.  
([ttribeiro@duke-energy.com](mailto:ttribeiro@duke-energy.com), 011-5501-3429).

**Carlos Hirochi Moribe** é Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP em 1978.  
([moribe@uol.com.br](mailto:moribe@uol.com.br), 11-9436-9553).

**João Eduardo Gonçalves Lopes** é Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP em 1975, com especialização em Gestão de Recursos Hídricos no Instituto Politécnico de Milão/Itália em 1982/83, Mestre em Engenharia Civil pela EPUSP em 2001.  
([jelopes@dqlnet.com.br](mailto:jelopes@dqlnet.com.br), 019-8111-4428).

**Marcelo Augusto Cicogna** é Engenheiro Civil pela EESC/USP São Carlos em 1996, Doutor em Engenharia Elétrica (área de Energia Elétrica) pela FEEC/UNICAMP em 2003.  
([macicogna@uol.com.br](mailto:macicogna@uol.com.br), 019-3295-9719).