

Comparação entre os modelos numéricos utilizados nos estudos de transientes hidráulicos

M. G. Marques, IPH; C. C. Battiston, IPH; N. M. B. Simmari, IPH; A. Mahler FURNAS,IPH; R. Eifler, IPH; I. A. Fragoso FURNAS, J. C. C. Amorim, IME; L. M. Hayashi FURNAS; J. C. Q. Bastos, FURNAS; A. V. B. Canellas FURNAS;

Resumo - O presente trabalho faz parte da pesquisa “Transientes hidráulicos em circuitos de usinas hidrelétricas”, desenvolvida pela parceria entre Furnas Centrais Elétricas, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS e o Instituto Militar de Engenharia e tem como objetivo apresentar um resumo dos estudos desenvolvidos para se obter um modelo numérico que represente bem os fenômenos transitórios que ocorrem no circuito hidráulico de uma usina hidrelétrica. Serão mostrados os modelos numéricos utilizados e a validação dos mesmos comparando-os com as medições no circuito hidráulico da UHE de Serra da Mesa e em uma estrutura existente no Laboratório de Hidráulica de Furnas.

Palavras-chave - transientes hidráulicos, chaminé de equilíbrio, sobre-pressão.

I. INTRODUÇÃO

A pesquisa sobre Transientes Hidráulicos em Circuitos de Usinas Hidrelétricas teve como objetivo conhecer, validar e aprimorar dois modelos existentes em Furnas (ESTRANHE e CHAMINE desenvolvidos pela IESA Engenharia [5] durante a fase de projeto desta usina) e elaborar um novo modelo numérico que permitida o cálculo dos transientes hidráulicos em usinas semelhantes à UHE de Serra da Mesa (rio Tocantins –Goiás). Além disto, visa determinar as limitações dos modelos através da comparação dos resultados com dados de protótipo e de laboratório, permitindo-se assim analisar com maior confiabilidade o funcionamento de arranjos similares aos da UHE de Serra da Mesa (Rio Tocantins – Goiás) na fase de dimensionamento e planejam-

to da operação.

II. METODOLOGIA

A. Considerações gerais

Para alcançar este objetivo, iniciou-se uma linha de pesquisa conjunta sobre Transientes Hidráulicos em Circuitos de Usinas Hidrelétricas com a participação do Laboratório de Hidráulica Experimental de Furnas - LAHE, Instituto Militar de Engenharia – IME e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, onde respeitou-se os interesses, a vocação e a tradição de cada instituição. Estas instituições interagiram em forma de rede de pesquisa.

Os transientes hidráulicos em circuitos de usinas hidrelétricas foram avaliados através da comparação de resultados de modelos numéricos com resultados obtidos do funcionamento de um sistema real, no caso a UHE de Serra da Mesa (Figuras 1 e 2) e na estrutura existente no LAHE (Figura 3), com geometria semelhante a da UHE Serra da Mesa, na escala 1:50. Cabe salientar que esta estrutura foi utilizada como um sistema de pequeno porte, pois, neste caso, o fenômeno não possui semelhança física com o protótipo. A vantagem de usá-la provém do fato desta estrutura permitir um controle melhor das condições de contorno e de coleta de dados.



Figura 1 - Vista geral da UHE Serra da Mesa

A UHE de Serra da Mesa é uma usina subterrânea que possui um túnel escavado em rocha sem revestimento, o qual é responsável pela restituição da água turbinada ao leito natural do rio. A Figura 2 apresenta um esquema do sistema.

M.G.Marques, Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (e-mail: mmarques@iph.ufrgs.br).

C. C. Battiston, Aluna de mestrado do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS (e-mail: cbattiston@ig.com.br).

N. M. B. Simmari, Aluna de mestrado do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS (e-mail: natalia@ppgiph.ufrgs.br).

A. Mahler, Aluno de doutorado do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS (e-mail: atmahler@iph.ufrgs.br).

R. Eifler, Aluno de mestrado do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS (e-mail: rceifler@ppgiph.ufrgs.br).

J. C. C. Amorim, Professor do Instituto Militar de Engenharia (e-mail: jcamorim@ime.br).

L. M. Hayashi Aluna de mestrado do Instituto Militar de Engenharia (e-mail: lucila@furnas.com.br).

J. C. Quito, Gerente do projeto de P&D e Engenheiro de Furnas Centrais Hidrelétricas S.A. (e-mail: jbastos@furnas.com.br).

A. V. B. Canellas, Coordenadora do projeto de P&D e Engenheira de Furnas Centrais Hidrelétricas S.A (e-mail: alba@furnas.com.br).

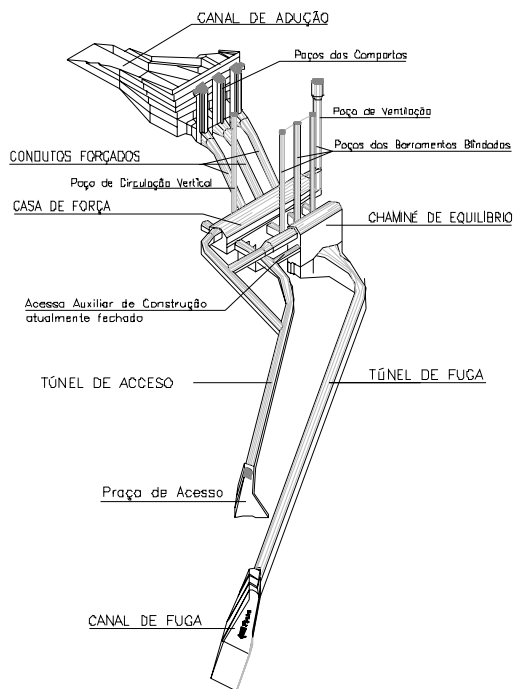


Figura 2 – Esquema geral do circuito hidráulico da UHE Serra da Mesa



Figura 3 – Vista geral da estrutura do LAHE.T

B. Instalação e coleta de dados

Para permitir a verificação dos limites de validade dos modelos numéricos através da comparação dos seus resultados com os dados experimentais, efetuou-se a instrumentação de estruturas de controle (circuito hidráulico da UHE de Serra da Mesa e estrutura existente no LAHE) para coleta de dados. Na UHE, o sistema de aquisição de dados implantado monitora os níveis no reservatório, canal de fuga e chaminé, além das potências e aberturas das três unidades geradoras. Este sistema armazena os dados em arquivos diários aumentando a frequência de aquisição quando ocorre uma rejeição. Os dados são utilizados para determinação da vazão de operação da usina e perda de carga no sistema hidráulico.

Na estrutura do LAHE foram coletados dados de níveis no reservatório, na chaminé e no canal de fuga ao longo do tempo através de sensores de ultra som a uma frequência de 10 Hz e também os dados das pressões no conduto forçado e

no túnel de fuga através de utilização de transdutores de pressão a uma frequência de 600 Hz, além de se controlar a vazão de entrada no sistema.

C. Os modelos numéricos

Foram utilizados e modificados dois (2) modelos numéricos existentes em Furnas e foram desenvolvidos outros dois (2) modelos para efetuar a comparação dos resultados das rejeições:

* ESTRANHE [5] simula todo o circuito da UHE de Serra da Mesa, permite o cálculo do transiente no trecho do conduto forçado em pontos predefinidos e a oscilação de nível na chaminé, utilizando o método das características para a parte de montante e o método das diferenças finitas para a parte a jusante da turbina. Permite simular a condição de turbina através do diagrama de Suter [8] e [7]. Este modelo numérico foi desenvolvido para usinas reversíveis.

Foram feitas algumas alterações no que diz respeito ao sistema de entrada e saída de dados. Também foram efetuadas modificações no modelo numérico de maneira a aprimorar os cálculos e flexibilizar os mesmos (ESTRANHE-IPH). Resumidamente foram feitas as seguintes alterações:

- na forma de entrada e saída de dados, de maneira a deixar o programa mais operacional e facilitar a análise dos dados;
- variação do valor dos coeficientes de perda de carga linear de acordo com a vazão;
- variação do nível de jusante em função do tempo;
- operação de “n” turbinas de forma simultânea, em regime de fechamento igual; simulação de condutos forçados e turbinas operando independentemente.

*CHAMINÉ [3] - simula as oscilações de nível de água em uma chaminé de equilíbrio à jusante da casa de força para chaminés do tipo simples e com estrangulamento na base. Ou seja, simula o escoamento em regime transitório entre a chaminé e o canal de fuga. Este modelo emprega a teoria de oscilação de massa resolvida pelo método das diferenças finitas [2] e [8]. Um dos dados de entrada é a vazão que está sendo turbinada em cada instante de tempo. O programa sofreu algumas alterações (CHAMINÉ-IPH) no que diz respeito a:

- forma de entrada e saída de dados, de maneira a deixar o programa mais operacional e facilitar a análise dos dados;
- variação do valor dos coeficientes de perda de carga linear segundo a variação da vazão;
- variação do nível de jusante em função do tempo;

* TRANSIME – 2005 [4] - simula o transiente no circuito hidráulico em usina com configuração similar à UHE de Serra da Mesa, permitindo o cálculo do transiente no trecho do conduto forçado em pontos predefinidos utilizando o método das características. Admite uma válvula no lugar da turbina. Para o método de cálculo das perdas de carga, admite as considerações de Brunone [10], que considera o coeficiente o atrito composto de duas parcelas uma permanente e outra transiente.

* CHAMIPH [6] - modelo numérico para a simulação da oscilação em massa em sistemas que possuam circuito hidráulico protegido por chaminé de equilíbrio tanto à mon-

tante quanto à jusante das turbinas ou válvulas. Resolve o sistema de equações que descrevem o fenômeno pelo método de Pressel [9]. Este modelo admite: a) variação do valor dos coeficientes de perda de carga linear para considerar a variação da vazão. b) variação do valor dos coeficientes de perda de carga localizada para considerar o sentido do escoamento. c) variação do nível de jusante em função do tempo e d) área da chaminé variável.

Quanto aos modelos que simulam a oscilação de nível na chaminé de equilíbrio, todos apresentam a evolução dos resultados em função do tempo, permitindo-se obter os valores máximos e mínimos das oscilações. As diferenças entre estes modelos estão ligadas às condições de contorno consideradas e ao cálculo das perdas de carga.

III. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A. Perda de carga linear do sistema

A resistência hidráulica é um dos fatores que precisam ser conhecidos para o projeto de um túnel condutor de água. Os valores dos coeficientes de perda de carga no sistema hidráulico devem ser escolhidos com muita cautela pelo projetista. Sua seleção deve ser baseada em experiência com obras existentes e também nos dados indicados na literatura. As perdas de carga podem mudar no decorrer do tempo, devido a incrustações nas paredes ou à maior rugosidade causada pela eventual agressividade da água.

Na UHE de Serra da Mesa foram registrados continuamente os dados de níveis no reservatório, na chaminé de equilíbrio e no canal de fuga, além das aberturas dos distribuidores das três turbinas existentes e potências geradas, para diferentes situações de operação da usina. Com estes dados e a curva de operação das turbinas foi possível se calcular as perdas de carga lineares (f) do sistema utilizando-se a equação de Darcy-Weisbach que relacionadas com seus respectivos números de Reynolds (Re) podem ser vistas na figura 4.

Para a estrutura do LAHE efetuou-se a mesma análise uma vez que se conhecia a vazão de entrada e as condições de contorno.

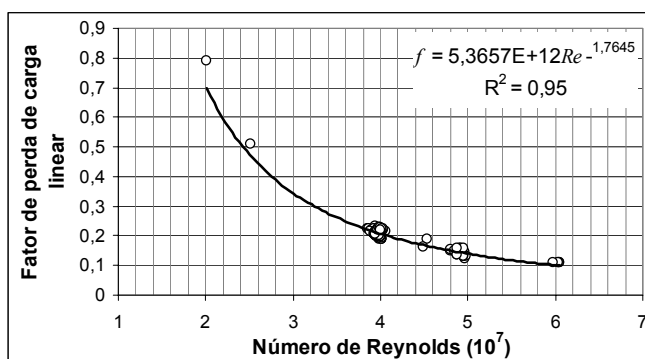


Figura 4 – Fator de perda de carga linear versus número de Reynolds da UHE de Serra da Mesa.

B. Análise da rejeição de 01/10/2004

Esta rejeição foi programada junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e realizada às 1:17 horas da madrugada do dia 1º de outubro de 2004, tendo sido completamente registrada pelo sistema de aquisição de dados, no

que diz respeito aos níveis no reservatório, canal de fuga e chaminé, além das potências e aberturas das três turbinas.

As condições iniciais desta rejeição de carga foram as seguintes:

▪ Nível d'água no reservatório:	437,60 m
▪ Nível d'água no canal de fuga:	333,98 m
▪ Nível d'água na chaminé de equilíbrio:	335,53 m
▪ Abertura turbina 1:	0,00 %
▪ Potência turbina 1:	0,00 MW
▪ Abertura turbina 2:	98,92 %
▪ Potência turbina 2:	350,00 MW
▪ Abertura turbina 3:	77,02 %
▪ Potência turbina 3:	292,70 MW

A rejeição de carga foi total na turbina 2 mantendo-se a turbina 3 inalterada por exigência do ONS. A turbina 1 encontrava-se fora de operação devido a problemas mecânicos ocorridos na semana anterior.

A Figura 5 apresenta o comportamento das potências durante a rejeição de carga. Analisando-se esta figura podemos observar que a unidade 1, por estar fechada e fora de operação, não sofre influência alguma, que a unidade 2, na qual a rejeição é provocada, a potência sofre uma queda de 350 MW para 0 MW, e que a unidade 3 apresenta oscilações no valor de potência gerada, após a rejeição da unidade 2, que variam entre 279,5 MW e 316,9 MW. Este comportamento da potência gerada na unidade 3 é esperado, pois, durante o regime transiente provocado no sistema ocorrem alterações de nível na chaminé de equilíbrio e, conseqüentemente, alterações do valor de carga hidráulica disponível para geração, assim, o regulador da turbina 3 entra em ação buscando o equilíbrio do sistema.

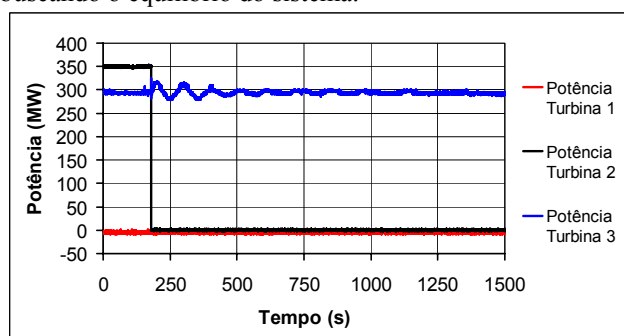


Figura 5 – Comportamento das potências nas três unidades geradoras durante a rejeição.

Na Figura 6 é apresentado o comportamento das aberturas dos distribuidores das turbinas durante a rejeição de carga. Observa-se que a unidade 1 não apresenta alteração nenhuma em sua abertura, pelo fato de estar fora de operação, que a abertura da unidade 2 passa de aproximadamente 100% para aproximadamente 0%, e que a unidade 3 apresenta variações na porcentagem de abertura devido à atuação do regulador.

Na Figura 7 pode-se observar a manobra de fechamento do distribuidor da turbina 2 que tem duração aproximada de 10s.

A rejeição de carga provocada na unidade de geração 2 desencadeou um regime transiente no circuito hidráulico da Usina de Serra da Mesa. Como a chaminé de equilíbrio, nesta usina, encontra-se imediatamente após as turbinas, o fechamento de uma turbina provoca a redução da vazão no circuito de jusante e a água contida na chaminé é utilizada

para abastecer o túnel de fuga, como se verifica na Figura 8.

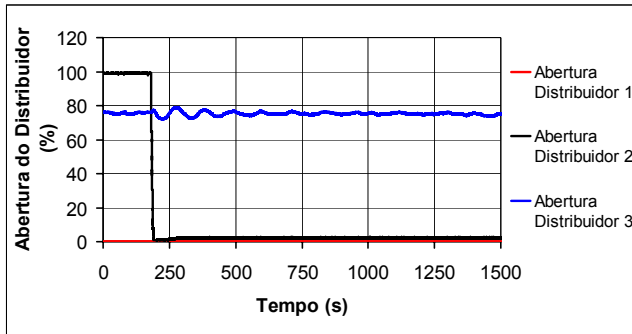


Figura 6 - Comportamento das aberturas dos distribuidores das três turbinas durante a rejeição.

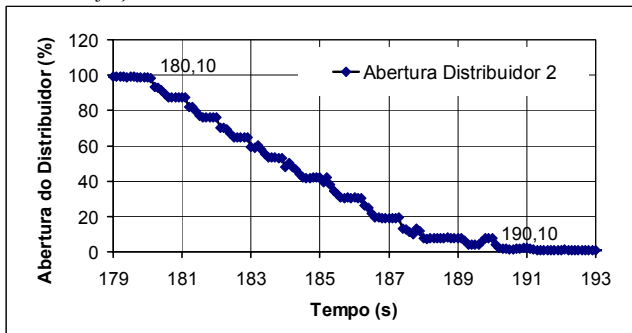


Figura 7 - Comportamento da abertura do distribuidor da turbina 2 no momento da rejeição.

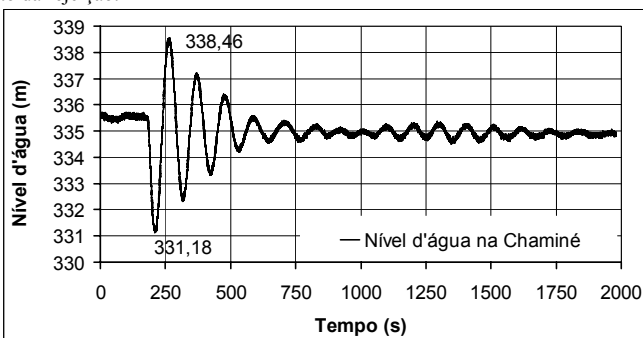


Figura 8 - Comportamento do nível d'água na chaminé de equilíbrio com a rejeição de carga da unidade de geração 2.

Ainda na Figura 8, pode-se observar que o nível d'água na chaminé possui oscilações entre 338,46m e 331,18m e que o nível tende à estabilização em aproximadamente 780 segundos (13 minutos) após a parada da turbina 2. Após o nível d'água estar praticamente estável, nota-se uma certa amplificação nas oscilações e posterior estabilização total.

O nível d'água no canal de fuga também apresenta um comportamento oscilatório após a parada da turbina 2, como pode ser visualizado na Figura 9.

Comparando-se o comportamento dos níveis d'água na chaminé de equilíbrio e canal de fuga, Figura 10, percebe-se um comportamento similar, porém, com diferenças de amplitudes e períodos. O tempo de estabilização é bastante similar e a amplificação das oscilações registrada na chaminé, próxima aos 1000s, também pode ser verificada no nível d'água no canal de fuga.

Os geradores utilizados na Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa são síncronos, o sistema de potência opera com frequência fixa. Para controlar a potência elétrica dos conjuntos, adotaram-se reguladores de velocidade, que controlam a frequência através da variação de potência, atuando no con-

trole da entrada de água da turbina.

Lembrando que a potência gerada é função da carga hidráulica disponível e da vazão, para se manter a potência constante faz-se necessário diminuir a vazão quando a carga hidráulica aumenta e aumentar a vazão quando a carga hidráulica diminui. Isto pode ser verificado na Figura 11 que apresenta a comparação entre o nível d'água registrado na chaminé de equilíbrio e a abertura do distribuidor da turbina 3 durante o regime transiente.

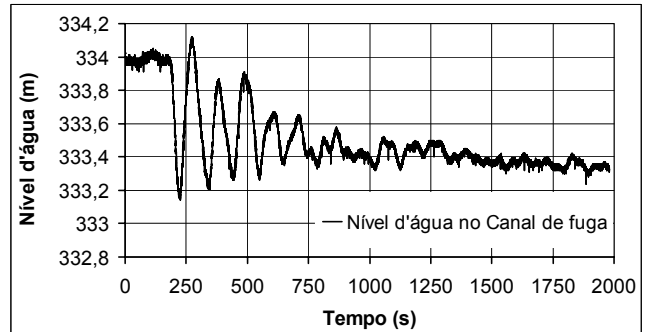


Figura 9 - Comportamento do nível d'água no canal de fuga com a rejeição de carga da unidade de geração 2.

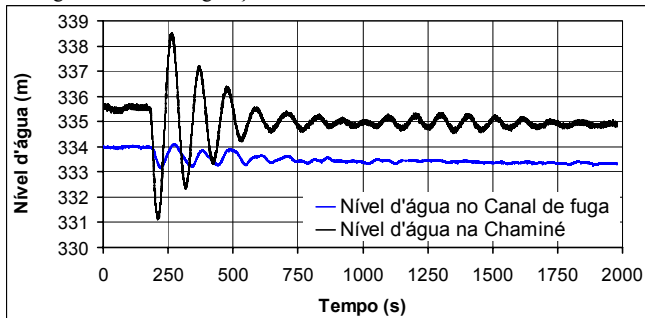


Figura 10 - Comparação entre o comportamento dos níveis d'água na chaminé de equilíbrio e canal de fuga.

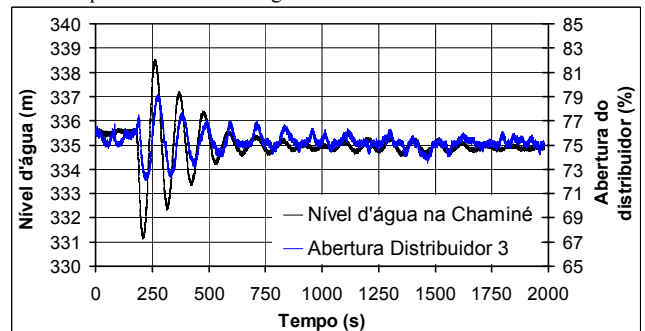


Figura 11 - Comportamento do distribuidor da turbina 3 durante o regime transiente.

Quando o nível d'água na chaminé diminui, a carga hidráulica disponível aumenta e o regulador diminui a abertura das palhetas das turbinas de forma a reduzir a vazão e manter a potência e vice-versa.

C. Pressões nos condutos forçados

Para a análise do regime transiente nos condutos forçados foi utilizada a estrutura do LAHE. Foram efetuados ensaios de fechamento e abertura das válvulas. Nos ensaios de fechamento é esperado que ocorra um aumento de pressão nos condutos forçados. Na Figura 12 encontram-se apresentados os dados de pressão junto à válvula do conduto forçado central, próximo ao dispositivo de fechamento para um ensaio de fechamento total. O comportamento das pressões nos

condutos forçados é muito influenciada pela manobra de fechamento, assim, qualquer pequena alteração no tempo ou forma de fechamento das válvulas provocará alguma alteração no comportamento das pressões.

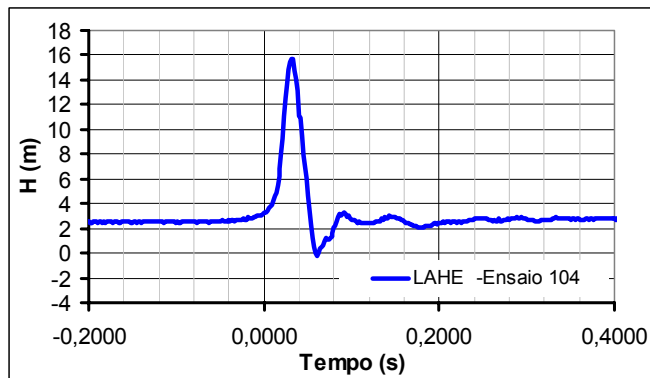


Figura 12 – Pressão junto à válvula no conduto forçado central ensaio de 100% - 0% de abertura e tempo de fechamento da válvula de 0,2s.

Nos ensaios de abertura das válvulas espera-se que ocorra um alívio de pressão nos condutos forçados. A Figura 13 apresenta os dados de pressão junto à válvula do conduto forçado central para dois ensaios de abertura.

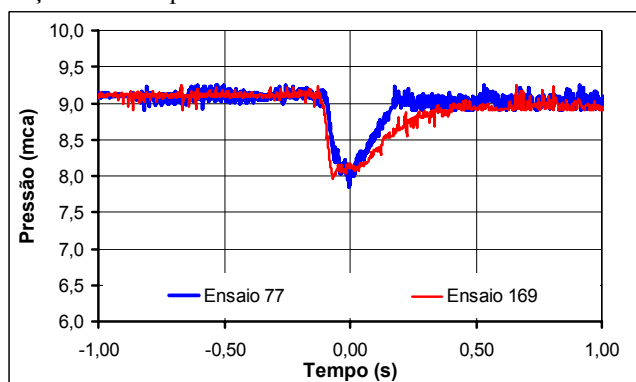


Figura 13 – Pressão junto à válvula no conduto forçado central, ensaios de 0% - 70% de abertura e tempo de abertura da válvula de 0,2s.

IV. COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS NUMÉRICOS

A. Oscilação na Chaminé

Os resultados observados na usina e os encontrados pelas simulações dos modelos estão apresentados nas Figuras 14, 15 e 16. Todos os modelos utilizaram, dentro de suas limitações, parâmetros os mais próximos possíveis dos reais para que os resultados fossem similares à realidade. Com as simulações. Pode-se observar que:

- os modelos que melhor representaram os dados de protótipo foram o CHAMINÉ-IPH e o CHAMIPH. O CHAMINÉ-IPH pois foi capaz de prever os níveis máximos e apresentou uma boa aproximação para os mínimos (diferença de - 0,60 m na primeira oscilação), enquanto o CHAMIPH apresentou a melhor aproximação para os níveis mínimos e para os níveis máximos apresentou um valor 0,60 m inferior ao observado. Cabe salientar que CHAMIPH, quando utilizado para simular para a situação de laboratório [11], onde as condições de contorno são completamente controladas, apresentou uma reposta idêntica aos dados experimentais, porém na usina onde não se tem um controle total das condições de contorno,

o resultado não conseguiu ser tão fiel à realidade;

- os modelos ESTRANHE-IPH e CHAMINÉ-IPH modificados apresentaram resultados mais próximos dos reais que os programas originais ESTRANHE e CHAMINÉ;
- os modelos ESTRANHE não são capazes de simular uma situação idêntica a de funcionamento da usina nesta rejeição (turbinas operando de modo diferenciado), o que prejudica seu desempenho frente aos dados reais;

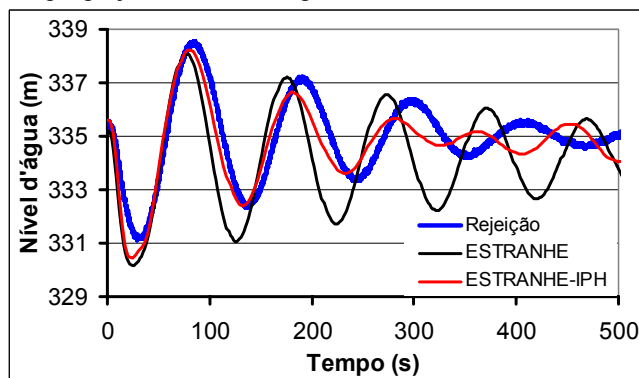


Figura 14 – Dados da oscilação na Chaminé após rejeição de 01/10/2004 e os resultados dos modelos ESTRANHE e ESTRANHE-IPH.

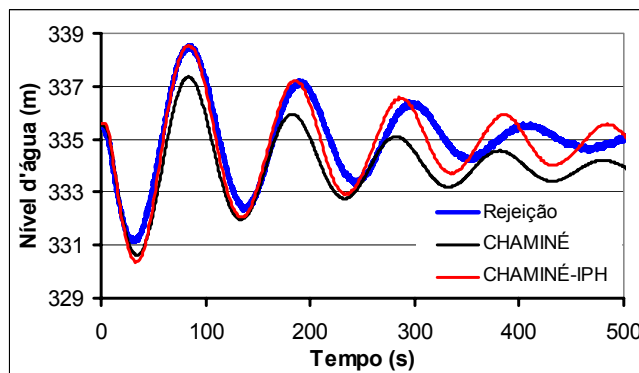


Figura 15 – Dados da oscilação na Chaminé após rejeição de 01/10/2004 e os resultados dos modelos CHAMINÉ e CHAMINÉ-IPH.

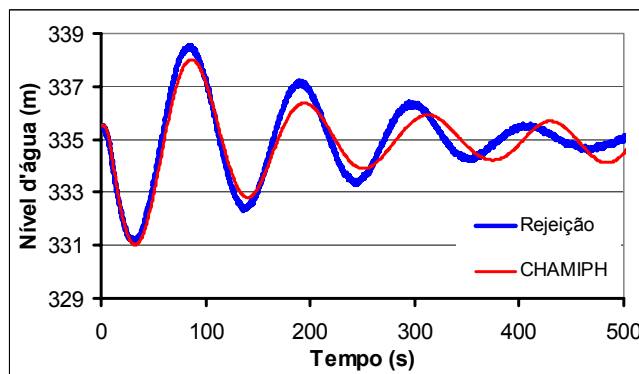


Figura 16 – Dados da oscilação na Chaminé após rejeição de 01/10/2004 e os resultados do modelo CHAMIPH.

- a maioria dos modelos numéricos não foi capaz de representar os valores de níveis máximos (exceção: CHAMINÉ-IPH). A diferença máxima, igual a 1,20 m, foi registrada com o programa CHAMINÉ;
- os modelos ESTRANHE-IPH, CHAMINÉ-IPH e CHAMIPH, que consideram o fator de perda de carga linear variável e a oscilação de nível no canal de fuga, apresentaram resultados com comportamento mais próximo do real;
- os períodos das duas primeiras oscilações foram melhores representados pelos programas CHAMINÉ-IPH e

CHAMIPH.

Com estas simulações, verificou-se que os programas apresentam resultados diferentes entre si. Isto se deve a diferentes formas de cálculo, diferentes graus de detalhamento das estruturas e diferentes formas de consideração de determinados parâmetros embutidos em cada programa.

B. Pressões no conduto forçado.

Os resultados observados na estrutura do LAHE para os condutos forçados e os encontrados pela simulação no modelo TRANSIME estão apresentados na Figura 17. Pode-se observar que os resultados do modelo numérico apresentam uma boa aderência para o valor máximo, mas não consegue reproduzir o valor mínimo nem o amortecimento. A utilização do método de Brunone mostrou um amortecimento maior que o atrito permanente, sugerindo que a perda de carga deve receber uma atenção maior.

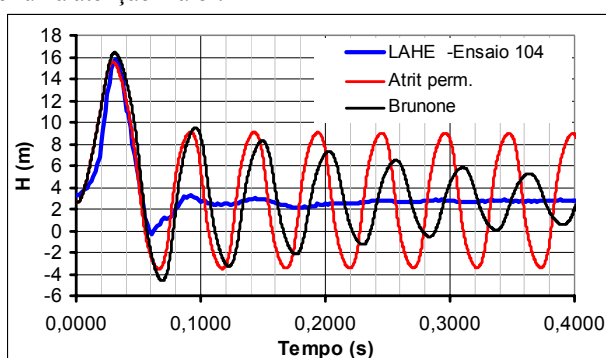


Figura 17- Sobre pressão junto ao dispositivo de fechamento na estrutura do LAHE. Fechamento 100%-0%, tempo de fechamento 0,2s.

V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os modelos CHAMINÉ-IPH e CHAMIPH podem ser utilizado quando se deseja estudar o comportamento do nível d'água na chaminé de equilíbrio. Já o modelo TRASIME aplica-se quando se deseja estudar o comportamento das pressões nos condutos forçados.

O modelo ESTRANHE e ESTRANHE-IPH, mais complexos, podem representar o transitório em todo o circuito hidráulico, sendo necessário, entretanto, que se conheçam as curvas características das turbinas.

Os modelos numéricos conseguiram reproduzir, de forma satisfatória, os fenômenos transientes em uma usina como a UHE de Serra da Mesa, apresentando boa semelhança com o que ocorre na realidade. Assim, podem ser considerados como exímias ferramentas para se estimar o comportamento do nível d'água na chaminé de equilíbrio e da pressão nos condutos forçados durante um regime transiente, tanto na fase de projeto como também na fase de operação de usinas.

O programa TRANSIME apresentou resultados bastante aderentes aos dados reais de pressão em um conduto forçado com válvula na extremidade. Recomenda-se a verificação deste programa frente a dados reais de pressão em um conduto forçado de uma usina e uma melhor avaliação da perda de carga durante o transitório.

Dos programas que analisam a oscilação de nível d'água na chaminé de equilíbrio, o que se mostrou mais indicado para a previsão de níveis no caso da UHE de Serra da Mesa foi o CHAMINÉ-IPH. Como os programas fazem diferentes

considerações entre si, torna-se necessário um estudo sobre a influência de cada parâmetro físico e numérico na representação das oscilações de nível em chaminés de equilíbrio, para que na sua utilização em casos onde não se disponha dos parâmetros reais conheça-se o grau de segurança existente.

VI. AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem a colaboração:

- da equipe do Laboratório de Hidráulica Experimental e Recursos Hídricos de FURNAS, em especial dos técnicos Oseias Sarmento dos Santos, Bruna Días, Luiz Felipe Samary Moço e do engenheiro Igor Fragoso que realizaram os ensaios na estrutura do LAHE; e
- da equipe da Usina Serra da Mesa, em especial dos técnicos Sérgio Augusto Siqueira, Antônio Carlos Bernades Júnior, Venâncio Rodrigues de Abreu, Marcos Damont Terra, Flávio Cesar Oliveira de Lima e Warlen Dias Soares e dos engenheiros Cláudio Núncio Junqueira, Vitor Barbosa Pereira e Wagner Sirrley de Oliveira Domingues.

A equipe envolvida neste projeto rende ainda sua homenagem ao engenheiro da UHE Serra da Mesa, João Bonon Netto, grande colaborador desta pesquisa. Seu falecimento precoce foi um momento de tristeza para todos, mas o entusiasmo sempre presente em sua vida profissional nos motivou a concluir este trabalho que nos propusemos a realizar.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATTISTON, C. C. Influência dos Parâmetros Físicos no Dimensionamento de Chaminés de Equilíbrio Simples em Usinas Hidrelétricas Dissertação de Mestrado apresentada na Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH/UFRGS. (a ser defendida em março de 2005).
- CHAUDHRY, M. H. Applied Hydraulic transients, Van Nostrand Reinhold Company, Nova York, 1987
- FURNAS Cálculo da Oscilação de Nível em Chaminé de Equilíbrio a Jusante de Casa de Força Manual do Usuário Grupo de Informática - DepH. T/Dec.T - Sistema de informações Hidrometeorológicas - 1989
- HAYASHI, L. M. Modelagem de transientes Hidráulicos em Usinas Hidrelétricas Dissertação de Mestrado apresentada no Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Militar de Engenharia IME. (dezembro de 2004).
- IESA - Internacional de Engenharia S.A. ESTRANHE Escoamento Transitório em Circuitos Hidráulicos de Usinas Hidroelétricas, Internacional de Engenharia S.A. (1992)
- SIMMARI, N. M. B. Modelo Numérico para modelação de transientes Hidráulicos em Circuitos de Usinas Hidrelétricas Dissertação de Mestrado apresentada no Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH/UFRGS. (a ser defendida em março de 2005).
- VIEIRA, R. M. Danziger, R.A. B., FERREIRA, F. A. M. e CARVALHO, E. Aproveitamento hidroelétrico de São Felix Usina Serra da Mesa - Comparação entre Modelos Matemáticos Utilizados nos Estudos de Transientes Hidráulicos XX Seminário Nacional de Grandes barragens - Curitiba, Novembro de 1992
- WYLIE e STREETER, V.L. Fluid Transients, McGraw-Hill International Book Company, Nova York, 1978
- JAEGER, C.- "Fluid Transients in Hydro-Electric Engineering Practice", livro editado pela Blackie, Glasgow 1977
- Brunone, B., GOLIA, U. M. Some considerations on velocity profiles in unsteady pipe flows. Proc. Int. Conf. Entropy and Energy dissipation in water resources, maratea, italy, jun 1991
- BACCARDATZ, N.S., BATTISTON, C.C., MARQUES, M.G., CANELLAS, A.V.B. (2004) - "Modelação Numérica e Análise Expe-

rimental de Oscilações em Sistemas Hidráulicos Protegidos por Chaminés de Equilíbrio.” IV Simpósio sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Porto de Galinhas-PE.