

Comissão Permanente para Análise de
Metodologias e Programas Computacionais do
Setor Elétrico
– CPAMP

Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas
Associadas aos Modelos Computacionais para a
Expansão e Operação do Setor Elétrico Brasileiro”

Relatório Técnico

*“Relatório de Validação do Modo de Simulação
para Cálculo de Energia Firme da Versão 11
do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a
Usinas Individualizadas de Sistemas
Hidrotérmicos Interligados”*

Membros:

MME

ANEEL

EPE

ONS

CCEE

(Coordenação) **CEPEL**

Brasília, 28 de Outubro de 2016

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	3
2	DESCRIÇÃO DO MODELO SUISHI	5
3	PROCESSO DE VALIDAÇÃO	10
4	TESTES ESPECÍFICOS PARA AVALIAÇÃO DA SIMULAÇÃO HIDROTÉRMICA	20
5	CONCLUSÕES	23
6	RECOMENDAÇÕES	24
7	BIBLIOGRAFIA	25

1 Introdução

O modelo SUIISHI - Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas para Subsistemas Hidrotérmicos Interligados, desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, é um modelo de médio e longo prazo para a simulação da operação energética de sistemas hidrotérmicos interligados, que utiliza a representação das usinas hidrelétricas e térmicas de forma individualizada.

Devido às suas características, o modelo SUIISHI pode ter diversas aplicações em estudos de planejamento energético, principalmente nas situações em que se deseja representar a diversidade hidrológica das bacias hidrográficas e avaliar o comportamento de reservatórios e usinas hidrelétricas de forma individualizada. Para isso, em sua estrutura, o modelo apresenta os seguintes modos de simulação: *simulação hidrotérmica*, *simulação para cálculo da energia firme* e *simulação para cálculo de garantia física*. À exceção do modo de cálculo de energia firme, o modelo considera a política de operação definida pelo modelo de planejamento da operação de médio e longo prazo, NEWAVE.

O modelo SUIISHI já foi objeto de quatro validações prévias. Em novembro de 2003, com o objetivo de avaliar e validar as funcionalidades do modelo, foi instituída pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS a Força-Tarefa SUIISHI (FT-SUIISHI), que contou com a participação de 27 empresas do setor elétrico brasileiro. Em Agosto de 2010, após a conclusão dos trabalhos da FT-SUIISHI, foi aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, por meio do Despacho ANEEL nº 2.518, de 27 de Agosto de 2010, a utilização da versão 7.0 nos estudos de planejamento da operação energética do sistema elétrico brasileiro. Em 17 de julho de 2015 foi concluído o relatório de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme do modelo SUIISHI versão 8.2.11, no âmbito do GT7/CPAMP, e em 05 de agosto foi aprovado pela CPAMP o uso deste modelo para estudos de planejamento da expansão que requerem cálculo de energia firme. Em 03 de novembro de 2015 foi concluído o relatório de validação do modo de simulação hidrotérmica do modelo SUIISHI versão 8.2.24, posteriormente denominada versão 9.0, e em 05 de novembro foi aprovado pela CPAMP o uso deste modelo para estudos de planejamento da expansão e da operação que requerem a realização de simulações da operação do parque hidrotérmico brasileiro. Finalmente, em 16 de Março de 2016 foi concluído o relatório de validação do modelo SUIISHI versão 9.1.4, posteriormente denominada versão 10, a qual atualizou as regras especiais de operação das usinas localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul segundo o estabelecido na Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382, de 07 de dezembro de 2015. As atualizações realizadas foram validadas para o modo de simulação para cálculo de energia firme e para o modo de simulação hidrotérmica. Em 17 de março de 2016, tal relatório foi aprovado pela plenária da CPAMP.

Desde o fim do último processo de validação do modelo SUIISHI no âmbito do GT7/CPAMP, o CEPEL disponibilizou as versões 10.1, 10.1.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6 e 10.6.1, as quais contêm aperfeiçoamentos metodológicos e novas funcionalidades em relação à versão 10.0, destacando-se a representação de mais de um reservatório equivalente de energia em cada subsistema/submercado, a possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs e aperfeiçoamentos na interface gráfica do modelo SUIISHI, a qual passou a ser multiplataforma.

Tendo em vista as novas funcionalidades contidas na versão 10.6.1 do modelo SUIISHI, este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do *modo de simulação para cálculo de energia firme* do modelo SUIISHI pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais para a Expansão e Operação do Setor Elétrico Brasileiro – GT7” no âmbito da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico - CPAMP, de modo que esta comissão, instituída e coordenada pelo Ministério de Minas e Energia¹, com a participação da ANEEL, EPE, ONS, CCEE e CEPEL, possa aprovar o uso do *modo de simulação para cálculo de energia firme* da atual versão desse modelo no processo de cálculo das garantias físicas das usinas hidrelétricas do sistema elétrico brasileiro.

¹ A CPAMP foi criada por meio da Portaria MME nº47, de 19 de Fevereiro de 2008, a partir da Resolução nº1, de 25 de Abril de 2007, do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE.

2 Descrição do Modelo SUIISHI

O modelo SUIISHI é um modelo de simulação a usinas individualizadas em sistemas hidrotérmicos interligados aplicado, principalmente, na realização de estudos de planejamento energético, permitindo a consideração tanto de simulações hidrotérmicas como de simulações para cálculo de energia firme.

No *modo de simulação hidrotérmica*, o modelo SUIISHI recebe a política de operação definida pelo modelo NEWAVE, representada pelas funções de custo futuro de cada mês, tendo como objetivo a individualização pelas usinas hidrelétricas das metas de geração obtidas para o reservatório equivalente. Neste modo, todos os dados de entrada do problema podem variar dinamicamente ao longo do tempo, permitindo-se analisar, por exemplo, o efeito do crescimento de mercado, os impactos de antecipação/atraso da entrada em operação de novas unidades geradoras, os impactos do enchimento de volume morto de reservatórios, além de fornecer estimativas de intercâmbios inter-regionais e de geração térmica e hidráulica a usinas individualizadas.

Ainda no *modo de simulação hidrotérmica*, pode-se considerar uma configuração estática do sistema. Considera-se o parque hidroelétrico fixo, procurando-se atender a um mercado de energia constante ou sazonal ao longo de cada uma das séries hidrológicas. Com exceção das vazões afluentes aos reservatórios, todos os demais dados de entrada do problema permanecem constantes (estáticos) ao longo do tempo.

O *modo de simulação de energia firme* tem como objetivo o cálculo da carga crítica de um sistema hidroelétrico estático e das energias firmes das usinas hidrelétricas que o compõem.

O modelo SUIISHI é estruturado da seguinte forma:

2.1 Programa Conversor de Dados

Quase a totalidade dos dados de entrada para a elaboração de estudos com o modelo SUIISHI são provenientes de um caso do modelo NEWAVE. O programa CONVERTOR lê e converte os dados de entrada do modelo NEWAVE para o formato de leitura do modelo SUIISHI. Adicionalmente, o programa também inclui dados específicos necessários ao processamento do modelo SUIISHI, os quais não estão disponíveis no caso original do NEWAVE. São exemplos de dados adicionais o número de faixas operativas, dados relacionados à operação das bacias especiais, entre outros.

2.2 Interface Gráfica na Plataforma ENCAD

Para tornar a visualização e a edição dos dados de entrada do modelo SUIISHI mais amigáveis para o usuário, a plataforma ENCAD é responsável por importar os arquivos de dados de entrada do modelo SUIISHI, previamente gerados pelo programa

CONVERSOR, e exibi-los em diferentes telas de acordo com a natureza do dado. Caso necessário, a edição dos dados de entrada do modelo SUIHI também se dá pelas próprias telas do ENCAD, assim como a escolha de diferentes opções de execução e a visualização dos resultados do modelo, seja por meio de tabelas, gráficos, ou relatórios texto. Alternativamente, a plataforma ENCAD também permite importar os dados de um caso SUIHI já processado, para a utilização em um novo estudo.

2.3 Módulo de Otimização do Balanço Hidrotérmico entre Subsistemas Equivalentes

O processo de solução adotado pelo modelo SUIHI é dividido em duas etapas principais. A primeira etapa consiste na otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas equivalentes, o que, a rigor, equivale ao problema resolvido pelo modelo NEWAVE durante a simulação final da operação do sistema. Nesta etapa, o objetivo do modelo SUIHI é, com base na política de operação definida pelo modelo NEWAVE (contida na função de custo futuro de cada mês), definir metas de geração hidráulica a subsistemas equivalentes, metas de geração térmica, e intercâmbios de energia que minimizem a soma do custo presente com o custo futuro de operação ao longo de todo o horizonte de planejamento.

Já na segunda etapa, as metas de geração hidráulica, pré-determinadas a subsistemas equivalentes, alimentam o módulo de simulação a usinas individualizadas do modelo SUIHI. O objetivo desta etapa é alocar as metas de geração hidráulica de cada subsistema entre as usinas hidrelétricas através da aplicação de regras heurísticas operativas, procedimento este que é denominado de simulação da operação.

Ao final da etapa de simulação, três distintas situações podem ser observadas:

(i) o atendimento das metas de geração hidráulica provenientes da etapa de otimização do balanço hidrotérmico. Neste caso, o modelo passa para o próximo estágio do problema;

(ii) o não atendimento das metas de geração hidráulica ocasionado por um déficit na soma da geração hidráulica individualizada. Neste caso, o modelo SUIHI irá realimentar a etapa de otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas redefinindo a restrição de geração hidráulica máxima (GHMAX) em cada subsistema onde foi observado um déficit de geração, de tal forma que as metas de geração hidráulica a subsistema equivalente possam ser atendidas na segunda etapa do processo de solução;

(iii) o não atendimento das metas de geração hidráulica ocasionado por um excesso na soma da geração hidráulica individualizada. Neste caso, o modelo SUIHI irá realimentar a etapa de otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas

redefinindo a restrição de energia armazenada máxima (EARMAX) em cada subsistema onde foi observado um excesso de geração, de tal forma que as metas de geração hidráulica a subsistema equivalente possam ser atendidas na segunda etapa do processo de solução.

A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado do processo de solução do modelo SUIISHI. Este processo de solução é aplicado às simulações de configurações hidrotérmicas do sistema, os quais demandam o conhecimento de uma política de operação contida na função de custo futuro de cada mês.

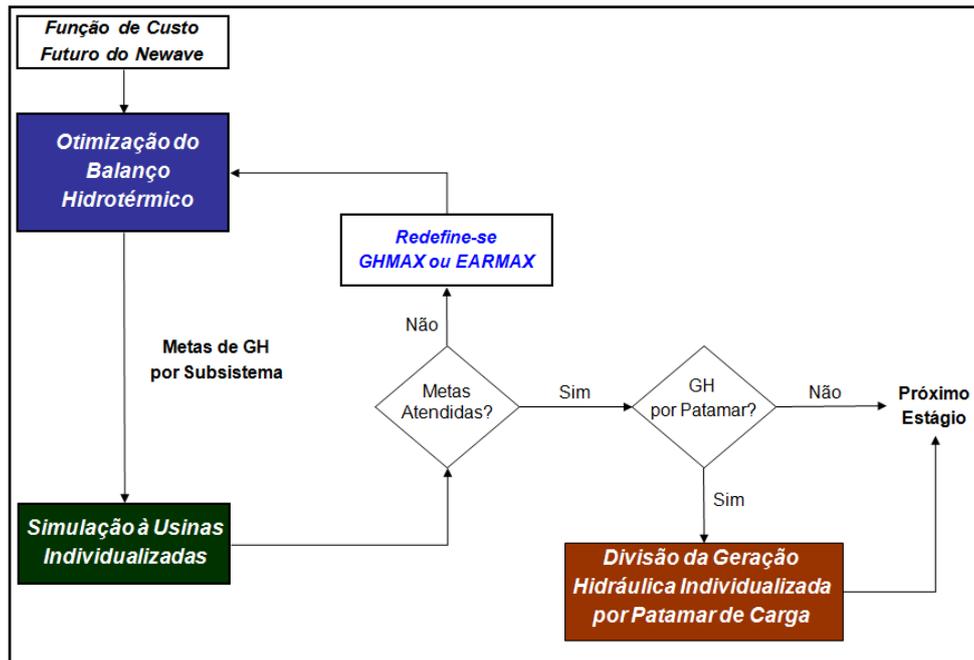


Figura 1- Fluxograma de funcionamento do modelo SUIISHI

2.4 Módulo de Simulação a Usinas Individualizadas

Dentre outros fatores, o processo de simulação da operação a usinas individualizadas do modelo SUIISHI é baseado principalmente em:

- (i) divisão dos reservatórios em faixas operativas;
- (ii) manutenção de todos os reservatórios do sistema, tanto quanto possível, dentro de uma mesma faixa operativa, e;
- (iii) estabelecimento de prioridades para o enchimento e o esvaziamento dos reservatórios que se encontram na mesma faixa operativa.

As prioridades citadas no item (iii) são baseadas nas produtibilidades acumuladas de cada usina hidroelétrica do subsistema, sendo que, as usinas com elevada produtividade acumulada possuem prioridade de esvaziamento frente às usinas com baixa produtividade acumulada. Por outro lado, as usinas com baixa produtividade acumulada possuem prioridade de enchimento frente às usinas com alta produtividade

acumulada. Opcionalmente, é possível definir as prioridades de enchimento e esvaziamento dos reservatórios por meio de uma função pré-definida que relaciona a produtividade acumulada, com a derivada do polinômio volume x cota, com o volume armazenado e com a vazão afluyente.

Em resumo, o processo de simulação da operação do modelo SUIISHI segue dois critérios hierárquicos: primeiro procura-se equilibrar os volumes dos reservatórios em uma mesma faixa operativa, para, posteriormente, dentro de cada faixa, percorrer os reservatórios de acordo com a prioridade de enchimento/esvaziamento.

Cabe destacar que nas simulações para cálculo de energia firme, onde apenas o parque hidráulico é considerado, as simulações realizadas pelo modelo SUIISHI utilizam apenas o módulo de simulação a usinas individualizadas, sem que a mesma seja precedida pela execução do módulo de otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas.

2.5 Módulo de Divisão da Geração Hidráulica Individualizada por Patamar de Carga

Cabe destacar que o módulo de otimização do modelo SUIISHI fornece resultados para até 3 patamares de carga, enquanto os resultados do módulo de simulação são obtidos em patamar de carga único. Por este motivo, é permitido ao usuário que, antes de passar para o próximo estágio do problema (vide Figura 1), as gerações hidráulicas individualizadas sejam divididas por patamar de carga. Neste caso, o problema resolvido pelo modelo SUIISHI será, para cada subsistema, o de minimizar a soma dos desvios quadráticos entre:

- ✓ a meta de geração hidráulica, decidida pelo módulo de otimização, para um determinado patamar de carga; e
- ✓ a soma da geração hidráulica individualizada, de todas as usinas do subsistema, no mesmo patamar de carga.

Tal como o descrito para o módulo de otimização, este processo é aplicado apenas às simulações de configurações hidrotérmicas do sistema.

Outras características do modelo SUIISHI são:

- pode simular até quinze subsistemas hidrotérmicos eletricamente interligados em malha, levando em conta limites nas capacidades de intercâmbio de energia nos dois sentidos;
- considera restrições operativas locais decorrentes do uso múltiplo da água, tais como, vazão máxima para controle de cheias, vazão mínima para saneamento ou navegação, desvio de vazão do rio para irrigação, além de operar bacias especiais como as dos rios Paraíba do Sul e Tietê;

- simula múltiplas séries hidrológicas em paralelo, permitindo a fácil obtenção de índices probabilísticos de desempenho do sistema para cada estágio da simulação;
- utiliza regras de operação automáticas ou fornecidas pelo usuário;
- apresenta baixo custo computacional viabilizando estudos de maior porte e mais ambiciosos (configurações grandes, longos horizontes de estudo, utilização de séries sintéticas de vazões, etc.).
- calcula o período crítico de um sistema puramente hidráulico, com as usinas consideradas em um único sistema;
- calcula a energia firme do sistema e a respectiva participação de cada usina, para um período crítico calculado ou informado pelo usuário;
- disponibiliza valores de potências disponíveis por aproveitamento, para utilização em balanço de ponta e estudos de confiabilidade.

3 Processo de Validação

O atual processo de validação do *modo de simulação para cálculo de energia firme* do modelo SUIISHI, no âmbito da CPAMP, motivado pelas novas funcionalidades disponíveis a partir da versão 10.1, teve início no dia 19 de Outubro de 2016, durante a 51ª reunião do GT7/CPAMP, sendo finalizado no dia 28 de Outubro de 2016, durante a sua 53ª reunião. Em 28 de outubro de 2016 foi aprovado pelo GT7/CPAMP o uso do *modo de simulação para cálculo de energia firme* da versão 10.6.1 do modelo SUIISHI, a qual passará a ser denominada versão 11, para estudos de planejamento da expansão e operação do sistema elétrico brasileiro.

O cronograma de trabalho incluiu a realização de três reuniões do grupo de trabalho (GT7) (vide Tabela 1), além da elaboração e implementação de um caderno de testes, o qual funcionou como guia para o processo de validação.

Tabela 1 – Cronograma de Reuniões do GT7/CPAMP Relativas à Validação das Novas Funcionalidades do Modelo SUIISHI

Data	Reunião	Instituições Participantes
19/10/2016	51ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
26/10/2016	52ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
28/10/2016	53ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL

A descrição de cada funcionalidade, a versão do modelo em que a mesma foi implementada, os testes realizados, e os resultados obtidos durante o processo de validação se encontram descritos a seguir.

3.1 Novas Funcionalidades do Modelo SUIISHI

A Tabela 2 a seguir descreve as novas funcionalidades disponíveis no modelo SUIISHI, que são o objeto do caderno de testes dos modos de *simulação para cálculo de energia firme*, de *simulação hidrotérmica* e *simulação para cálculo de garantia física*, assim como a versão do modelo em que cada nova funcionalidade foi implementada.

Tabela 2 – Novas Funcionalidades do Modelo SUIISHI - Versões 10.1 à 10.6.1

Versão SUIISHI	Funcionalidade
10.1	Possibilidade de se considerar mais de um Reservatório Equivalente de Energia em cada subsistema/submercado
	Possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs de um mesmo subsistema/submercado
	Possibilidade de se considerar diferentes blocos de geração de pequenas usinas, cada qual com diferentes profundidades de carga associadas
10.1.1	Adequação da consideração da geração de pequenas usinas nos casos em que há apenas um bloco de geração de pequenas usinas para cada subsistema/submercado
10.2	Adequação do problema de otimização do balanço hidrotérmico entre submercados com a consideração de uma restrição de balanço da geração fio d'água líquida
	Compatibilização do cálculo da energia fio d'água líquida com as premissas utilizadas no módulo de simulação da operação a usinas individualizadas
10.3	Possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs de diferentes submercados
10.4	Nas simulações para cálculo de energia firme, compatibilização do cálculo da energia fio d'água líquida (EFIOL) com as premissas adotadas na versão 10 do modelo SUIISHI
10.5	Nas simulações para cálculo de energia firme, recompatibilização do cálculo da energia fio d'água líquida (EFIOL) com as premissas adotadas na versão 10.3
	Atualização do modo de simulação para cálculo de garantia física de energia, o qual passa a estar compatível com a portaria MME nº 101, de 22 de Março de 2016
	No módulo de otimização do balanço hidrotérmico entre REEs, compatibilização da penalidade de vertimento com o valor adotado na versão 22.6 do modelo NEWAVE
10.6	Correção da dimensão de determinadas variáveis associadas ao desvio d'água, a qual não era suficientemente elevada para comportar as simulações para cálculo de energia firme com busca de período crítico
	Na simulação para cálculo de garantia física de energia, correção do cálculo do CMO médio para a verificação da convergência pelo critério econômico
10.6.1	Nas simulações para cálculo de energia firme, impressão das ENAs total, controlável e fio d'água líquida no relatório SUIISHI.REL

3.2 Modo de Simulação para Cálculo de Energia Firme - Testes Realizados e Resultados Obtidos

Teste 1

Realizar a conversão do caso NEWAVE de revisão ordinária, disponibilizado para consulta pública em 2015, no modo de simulação para cálculo de energia firme, e selecionar todas as opções de execução pertinentes ao caso SUISHI via interface gráfica, tais como as regras especiais do Paraíba do Sul, a Curva Guia de Jirau, o Volume Máximo Sazonal de Sinop, alterar os desvios d'água de Belo Monte, etc, e verificar se os resultados encontrados são aderentes aos resultados obtidos quando o mesmo caso é convertido e executado com a versão 10 do modelo SUISHI.

Para a realização deste teste foi utilizado o caso base para a revisão ordinária das garantias físicas das UHEs, disponibilizado para consulta pública em 2015. O caso teste foi convertido com as versões 10 e 10.6.1 do modelo SUISHI nos modos de simulação para cálculo de energia firme com busca de período crítico, e com o período crítico definido. No caso SUISHI foram adotadas as seguintes opções de execução: prioridade adaptativa, simulação das regras especiais da bacia do rio Paraíba do Sul, curva guia de Jirau, faixas operativas dinâmicas, distribuição da vazão defluente em dois patamares de carga, consideração do posto intermediário nº 293 para Belo Monte, volume máximo operativo sazonal de SINOP dos meses de Junho a Outubro, além da alteração do posto de Belo Monte para o posto 292.

Nos dois modos de simulação (com e sem busca de período crítico), foi possível observar que tanto a conversão quanto a execução do caso teste foi concluída com sucesso. Os resultados encontrados para as versões 10 e 10.6.1 foram considerados idênticos para todas as usinas, a exceção daquelas listadas nas tabelas 3 e 4 a seguir, que apresentaram diferenças de energia firme na terceira casa decimal.

Tabela 3 – Diferenças nos Valores de Energia Firme - Simulação com Busca de Período Crítico

Usina	Energia Firme Suishi 10.6	Energia Firme Suishi 10.0	Diferença (MWmed)
São Simão	1228.554	1228.555	0.001
Chavantes	159.340	159.341	0.001
Capivara	309.497	309.496	0.001
Taquarucu	186.210	186.209	0.001
Cana Brava	262.393	262.392	0.001
São Salvador	148.900	148.899	0.001
Tucuruí	4064.286	4064.285	0.001
Barra Grande	342.192	342.191	0.001
Sinop	210.753	210.748	0.005
Colider	190.203	190.200	0.003
Teles Pires	1016.726	1016.725	0.001
Todas usinas do sistema	55082.398	55082.383	0.015

Tabela 4 – Diferenças nos Valores de Energia Firme - Simulação com Período Crítico Definido

Usina	Energia Firme Suishi 10.6	Energia Firme Suishi 10.0	Diferença (MWmed)
Furnas	626.788	626.787	0.001
Peixe Angical	289.140	289.139	0.001
Itaipu	7272.416	7272.418	0.002
Tucuruí	4163.476	4163.475	0.001
Todas usinas do sistema	55796.414	55796.414	0,000

As diferenças encontradas nas energias firmes das usinas listadas nas Tabelas 3 e 4 se devem a um aperfeiçoamento metodológico no cálculo da energia fio d'água líquida do sistema. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$EFIO_{L_s} = 9.81 \times 10^{-3} \sum_{j \in R^*} \min[QINC_j, (QMAX_j - \sum_{m \in M_j} QMIN_m)] \cdot \rho_j H_j$$

onde $QINC_j$ representa a vazão incremental afluyente à usina j , $QMAX_j$ representa o engolimento máximo da usina j , e $QMIN_m$ representa a descarga mínima obrigatória da usina m com reservatório imediatamente a montante da usina j .

Até a versão 10.1 do modelo SUISHI, adotava-se como premissa que o engolimento máximo da usina seria igual à restrição imposta pelo gerador, ou seja,

$$QMAX_i = PNOM_i / (0.00981 \times QUED_i \times REND_i)$$

Entretanto, após a versão 10.3 passou-se a considerar que o engolimento máximo da usina seria dado pelo menor valor entre a restrição de vazão imposta pelo gerador e pela turbina, compatibilizando a premissa de cálculo da energia fio d'água líquida com as premissas do módulo de simulação a usinas individualizadas do modelo SUISHI. Ou seja,

$$QMAX_i = \min \{ PNOM_i / (0.00981 \times QUED_i \times REND_i), QNOM_i \times (QUED_i / HREF_i)^k \}$$

onde HREF representa a queda líquida de referência, PNOM representa a potência instalada da usina, QNOM representa a vazão máxima da turbina quando a queda líquida for igual à queda de referência, QUED representa a queda líquida, e REND representa o rendimento (por unidade) do conjunto turbina gerador incluindo a perda hidráulica.

Com o objetivo de auxiliar os testes de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme do modelo SUISHI, a versão 10.4 foi produzida considerando a mesma premissa adotada pela versão 10.1 no cálculo da energia fio d'água líquida do sistema. Por exemplo, com esta versão espera-se que as energias firmes obtidas com as versões 10, 10.1 e 10.4 sejam idênticas.

Utilizando o caso NEWAVE base para a revisão ordinária de abril de 2016 e comparando os resultados obtidos pelas versões 10 e 10.4 do modelo SUISHI, quando este é executado no modo de simulação para cálculo de energia firme com período crítico definido, verifica-se que todos os valores de energia firme são idênticos. A mesma equivalência é encontrada quando se compara os resultados das versões 10.3, 10.5, 10.6 e 10.6.1. Para este caso NEWAVE, os resultados da primeira comparação com os resultados da segunda comparação também são idênticos entre si, à exceção de 5 usinas: Itaipu, Sinop, Colider, Teles Pires e Boa Esperança, todas com diferenças iguais ou inferiores a 0,002 MW médios.

Conclusão: De acordo com o Teste 1 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 2

Realizar a conversão do caso NEWAVE de revisão ordinária, disponibilizado para consulta pública em 2015, no modo de simulação para cálculo de energia firme, e selecionar todas as opções de execução pertinentes ao caso SUISHI via interface gráfica, tais como as regras especiais do Paraíba do Sul, a Curva Guia de Jirau, o

Volume Máximo Sazonal de Sinop, alterar os desvios d'água de Belo Monte, etc, e verificar se os resultados encontrados são aderentes aos resultados obtidos quando o mesmo caso é convertido e executado com a versão 10 do modelo SUISHI.

Para a realização deste teste foi utilizado o caso base para a revisão ordinária das garantias físicas das UHEs, disponibilizado para consulta pública em 2015, convertido e executado pelo modelo SUISHI versões 10 e 10.6.1.

Utilizou-se a interface gráfica para importar os casos SUISHI previamente executados, verificando que a operação de importação e execução dos casos foi realizada com sucesso. Este teste também foi realizado para os modos de simulação para cálculo de energia firme com busca de período crítico, e com o período crítico definido, e, tal como o esperado, os resultados dos casos SUISHI importados foram idênticos aos casos SUISHI originalmente executados.

O mesmo procedimento descrito anteriormente, porém apenas para a simulação com período crítico definido, foi repetido para o caso base de revisão ordinária com base em abril de 2016. O caso SUISHI importado foi executado com as versões 10 e 10.4, sendo obtidos resultados idênticos entre as duas versões, sendo também executado com as versões 10.3, 10.5, 10.6 e 10.6.1, as quais também levaram a resultados idênticos. Os resultados da primeira comparação com os resultados da segunda comparação também são idênticos entre si, à exceção de 5 usinas: Itaipu, Sinop, Colider, Teles Pires e Boa Esperança, todas com diferenças iguais ou inferiores a 0,002 MW médios.

Conclusão: De acordo com o Teste 2 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 3

Realizar a conversão do caso NEWAVE de revisão ordinária atualizado (ou o mais atualizado possível) / PDE 2024 / PMO/PLD de Outubro de 2016 no modo de simulação para cálculo de energia firme, selecionar todas as opções de execução pertinentes ao caso SUISHI via interface gráfica, tais como as regras especiais do Paraíba do Sul, a Curva Guia de Jirau, o Volume Máximo Sazonal de Sinop, alterar os desvios d'água de Belo Monte, etc, e verificar a correta execução do modelo, exibição dos resultados (relatórios textos, gráficos, tabelas, entre outros) e a coerência dos mesmos.

Para a realização deste teste foi utilizado o caso base para a revisão ordinária de abril de 2016, além dos casos PDE 2024 e PMO/PLD de Outubro de 2016, ambos

executados no modo de simulação para cálculo de energia firme com as versões 10.5, 10.6 e 10.6.1 do modelo SUIISHI.

No caso SUIISHI convertido a partir do PDE 2024 foram adotadas as seguintes opções de execução: simulação das regras especiais da bacia do rio Paraíba do Sul e a consideração da curva guia de Jirau. Tal como o esperado a conversão e a execução do modelo foi realizada com sucesso.

Nas simulações com o PMO/PLD de Outubro de 2016, além das opções de execução adotadas no caso PDE 2024, também foram alterados os desvios d'água de Belo Monte. Tal como o esperado a conversão e execução do modelo também foi realizada com sucesso.

Comparando-se os resultados de energia firme com e sem a consideração das regras especiais de operação das usinas localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul, verificou-se que a operação destas usinas se mostrou adequada às premissas adotadas em cada situação.

Com relação ao funcionamento da curva guia de Jirau, verificou-se que o reservatório de Jirau foi adequadamente deplecionado e replecionado segundo as necessidades apontadas pela curva guia, onde, nos momentos de acúmulo de água no reservatório, foi observada uma vazão defluente para a usina inferior à sua afluência, e vice-versa.

Finalmente, alterando-se os desvios d'água em Belo Monte, verificou-se a correta consideração do acréscimo de desvio, implicando em uma redução de mesma monta na afluência à usina.

Conclusão: De acordo com o teste 3 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 4

Realizar a importação do caso SUIISHI de revisão ordinária atualizado (ou o mais atualizado possível) / PDE 2024 / PMO/PLD de Outubro de 2016, e verificar a correta execução do modelo e exibição dos resultados (relatórios textos, gráficos, tabelas, entre outros). Os resultados obtidos devem ser iguais aos obtidos no teste 3, onde a execução foi realizada a partir da conversão do caso NEWAVE.

Para a realização deste teste foram utilizados o caso base para a revisão ordinária das garantias físicas das UHEs, disponibilizado para consulta pública em 2015, o

PDE 2024 e o PMO/PLD de Outubro de 2016, todos convertidos e executados com as versões 10.6 e 10.6.1 do modelo SUIISHI. Estes casos foram posteriormente importados e executados pela mesma versão do modelo SUIISHI para a realização do teste.

Tal como o esperado, os casos SUIISHI foram corretamente importados e executados pelo modelo, gerando resultados idênticos aos obtidos com os casos SUIISHI originais.

Conclusão: De acordo com o teste 4 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 5

Nas simulações para cálculo de energia firme, verificar se o cálculo da energia fio d'água líquida considera que o engolimento máximo do conjunto turbina-gerador das usinas está sendo determinado considerando tanto a restrição da turbina quanto a restrição do gerador.

Para a realização deste teste foram convertidos e executados os casos NEWAVE de revisão ordinária disponibilizado para consulta pública em 2015, e o deck do PMO/PLD de Outubro de 2016. Em ambos os casos foi utilizado o modo de simulação para cálculo de energia firme do modelo SUIISHI versão 10.6.1.

Verificou-se que o cálculo da energia fio d'água líquida (EFIOL) individual das usinas é realizado considerando que o engolimento máximo das mesmas é dado pelo menor valor entre as restrições impostas pela turbina e pelo gerador, tal como anteriormente descrito no Teste 1. Adicionalmente, conforme o esperado, verificou-se que a soma das EFIOL de todas as usinas da configuração coincide com o valor da EFIOL do sistema apresentado no relatório de saída SUIISHI.REL.

Conclusão: De acordo com o Teste 5 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 6

Converter um caso NEWAVE no modo de simulação para cálculo de energia firme e verificar o correto funcionamento das telas de entrada de dados, por exemplo aquela

referente às usinas do Paraíba do Sul, e de resultados da interface gráfica do modelo SUISHI.

Os testes foram realizados com o PMO de setembro de 2016 e com o caso de revisão ordinária de garantia física com base em abril de 2016. Neste teste analisou-se o correto funcionamento da interface gráfica do modelo SUISHI no que tange à conversão, entrada de dados, execução e à visualização dos resultados. Especial atenção foi dispensada às telas que devem ser editadas pelo usuário em função das opções de execução adotadas para o cálculo das energias firmes no processo de revisão ordinária, por exemplo, a tela de entrada de dados das usinas localizadas no Paraíba do Sul e a tela de exibição da curva guia de Jirau. A exibição de resultados gráficos e numéricos também foi analisada.

Todos os problemas de funcionamento da interface gráfica, encontrados ao longo dos testes foram solucionados e as suas correções consolidadas na versão 5.2.60 da interface. Nesta versão o funcionamento de todas as funcionalidades ocorreu conforme o esperado.

Conclusão: De acordo com o Teste 6 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 7

No modo de simulação para cálculo de energia firme, converter diferentes casos NEWAVE com o número de REEs superior ao de subsistemas/submercados e verificar se a conversão e a execução do modelo SUISHI ocorre sem problemas.

Para a realização deste teste foi convertido e executado o caso NEWAVE, base da revisão ordinária (abril de 2016), com a definição dos REEs baseada nas configurações adotadas no PDE 2024 e nos decks de PMO/PLD. Adicionalmente, também foram utilizados os casos originais de PMO/PLD de janeiro a setembro de 2016.

A conversão de todos os casos no modo de simulação para cálculo de energia firme foi realizada com sucesso, assim como a sua posterior execução com a versão 10.6.1 do modelo SUISHI. Os resultados obtidos com o caso de revisão ordinária foram comparados com aqueles obtidos sem a consideração dos REEs. Tal como o esperado os resultados foram idênticos. Adicionalmente, nas análises com os PMOs/PLDs foi possível observar, conforme o esperado, a elevação da energia firme do sistema ao longo das configurações de 2016.

Conclusão: De acordo com o Teste 7 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

4 Testes Específicos para Avaliação da Simulação Hidrotérmica

Na seção 3 foram apresentados os resultados dos testes, descritos no Caderno de Testes, para avaliação do *modo de cálculo de energia firme*. Nesta seção serão apresentados os demais testes para a avaliação dos *modos de simulação hidrotérmica* e de *cálculo de garantia física de energia*.

Os trabalhos do GT7/CPAMP devem continuar no sentido de concluir o processo de validação dos aperfeiçoamentos metodológicos e novas funcionalidades das versões 10.1 à 10.6.1 que tenham impacto no *modo de simulação hidrotérmica* e de *cálculo de garantia física* de energia do modelo SUIHI.

A continuidade dos testes descritos na seção 3.2, e que complementam a validação da versão 10.6.1 do modelo SUIHI, se encontram descritos a seguir.

Teste 8

8.1 Processar estudo que considera acoplamento hidráulico entre REEs, com o REE de jusante a fio d'água, e verificar: (i) a equação de balanço hídrico do REE de montante; (ii) a equação de balanço hídrico do REE de jusante; (iii) e as equações de geração hidráulica máxima.

8.2 Processar estudo que considera acoplamento hidráulico em "Y" entre três REEs, com o REE de jusante a fio d'água, e verificar: (i) a equação de balanço hídrico do REE de montante; (ii) a equação de balanço hídrico do REE de jusante; (iii) e as equações de geração hidráulica máxima.

Teste 9

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e realizar, para uma série hidrológica escolhida: (i) o balanço de energia por reservatório equivalente de energia e (ii) o balanço de demanda por subsistema/submercado.

Teste 10

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e verificar a energia armazenável máxima e a energia armazenada inicial por REE e por Submercado/Subsistema;

Teste 11

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e comparar os resultados com os obtidos com o caso que considera N (SS/SM) X N (REEs).

Teste 12

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD considerando a representação do reservatório equivalente Madeira inserido no subsistema/submercado SE/CO (4 SS/SM X 5 REE), e comparar os resultados com os obtidos sem a consideração desse REE. Esta análise deverá ser estendida para os REEs Belo Monte, Teles Pires e Manaus/Boa Vista.

Teste 13

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e verificar o processo iterativo entre os módulos de otimização e simulação do modelo SUISHI por meio do relatório SUISHI.REL.

Teste 14

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e verificar se os resultados descritos nos relatórios REE.CSV e SUBSIS.CSV são compatíveis.

Teste 15

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, além das regras especiais de operação das usinas localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul, verificando se os resultados da operação do Paraíba do Sul são os mesmos daqueles obtidos com a operação do caso N (SS/SM) X N (REEs), além de avaliar o processo iterativo entre os módulos de otimização e simulação nesta situação.

Teste 16

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados e considerando o acoplamento hidráulico entre dois REEs que se encontram localizados em diferentes subsistemas/submercados. Avaliar o processo iterativo entre os módulos de otimização e simulação nesta situação, além dos resultados da simulação a usinas individualizadas, em particular o atendimento

à vazão mínima dos reservatórios de montante para elevar a geração hidráulica no REE de jusante.

Teste 17

Processar estudos que considerem diferentes blocos de pequenas usinas para um mesmo subsistema/submercado, com diferentes profundidades de carga associados, e verificar a correta consideração do bloco de pequenas usinas na equação de atendimento à demanda.

Teste 18

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados e considerando o acoplamento hidráulico entre REEs, e verificar se o cálculo das Potências Disponíveis Revisadas está sendo feito corretamente.

Teste 19

Executar o modelo SUIHI no seu modo de simulação hidrotérmica e verificar se as decisões de alocação de energia entre excesso e vertimento é compatível com os valores de penalidade.

Teste 20

Verificar se o acoplamento entre os modelos SUIHI e GEVAZP, no modo de simulação hidrotérmica, com cenários sintéticos de vazões está sendo processado corretamente.

Teste 21

Executar o modelo SUIHI no modo de simulação para cálculo de Garantia Física e verificar se os resultados obtidos coincidem com os obtidos por uma simulação hidrotérmica que utiliza o mercado igual a carga crítica convergida.

5 Conclusões

Este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação das novas funcionalidades do modelo SUIISHI, versões 10.1 à 10.6.1, pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais para a Expansão e Operação do Setor Elétrico Brasileiro - GT7”, no âmbito da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico - CPAMP, de modo a que esta comissão, instituída e coordenada pelo Ministério de Minas e Energia, aprove o uso do *modo de simulação para cálculo de energia firme* da atual versão desse modelo no processo de cálculo das garantias físicas das usinas hidrelétricas do sistema elétrico brasileiro.

O modelo SUIISHI é um modelo de simulação a usinas individualizadas em sistemas hidrotérmicos interligados aplicado, principalmente, na realização de estudos de planejamento da expansão e operação energética, permitindo a consideração de simulações para cálculo de energia firme, de simulações hidrotérmicas, e de simulações para cálculo da garantia física, as duas últimas com base na política de operação definida pelo modelo NEWAVE (contida na função de custo futuro de cada mês).

O processo de validação das novas funcionalidades do modelo SUIISHI no âmbito da CPAMP teve início no dia 19 de outubro de 2016, durante a 51ª reunião do GT7/CPAMP, sendo finalizado no dia 28 de outubro de 2016, durante a sua 53ª reunião.

O GT7/CPAMP, com base nos resultados obtidos, concluiu em reunião do dia 28 de outubro de 2016, pela validação do *modo de simulação para cálculo de energia firme* da versão 10.6.1 do modelo SUIISHI, passando o mesmo a estar apto para ser usado em estudos de planejamento da expansão e da operação, e em estudos oficiais que requeiram autorização do poder concedente, incluindo os processos de dimensionamento de usinas hidrelétricas, os processos de revisão ordinária, ou extraordinária, de garantia física de energia das usinas hidrelétricas, assim como o processo de cálculo de garantia física de energia de novas usinas hidrelétricas.

Com os testes realizados, descritos na seção 3, das versões 10.1 a 10.6.1, concluiu-se que as novas funcionalidades e adequações realizadas funcionam de acordo com o esperado. A versão 10.6.1 passará a ser denominada versão 11.0.

6 Recomendações

O GT7/CPAMP recomenda a utilização do *modo de simulação para cálculo de energia firme* da versão 11.0 do modelo SUIHI para os estudos de planejamento da expansão, e em estudos oficiais que requeiram autorização do poder concedente, incluindo os processos de dimensionamento de usinas hidrelétricas, os processos de revisão ordinária, ou extraordinária, de garantia física de energia das usinas hidrelétricas, assim como o processo de cálculo de garantia física de energia de novas usinas hidrelétricas.

Os trabalhos do GT7/CPAMP devem continuar no sentido de concluir os testes do modelo SUIHI descritos na seção 4, relativos ao *modo de simulação hidrotérmica* e de *cálculo de garantia física*, acoplados à função de custo futuro do modelo NEWAVE, para utilização no planejamento da expansão e da operação energética.

Não obstante, o GT7/CPAMP recomenda ainda que o CEPEL continue aprimorando metodologicamente o modelo SUIHI, e que o grupo acompanhe e teste esses novos desenvolvimentos.

7 Bibliografia

- [1] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, “Relatório de Validação do Modelo SUISHI-O”, Janeiro de 2010.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Despacho nº 2.518, 27 de Agosto de 2010.
- [3] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Julho de 2015.
- [4] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados – Modo Simulação Hidrotérmica”, Novembro de 2015.
- [5] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Março de 2016.
- [6] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, “Manual de Referência do Modelo SUISHI”, Março de 2016