

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

Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas  
Associadas aos Modelos Computacionais de  
Expansão e Operação”

## Relatório Técnico

*“Relatório de Validação do Programa SUISHI –  
Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas  
de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”*

Membros:  
**MME**  
**ANEEL**  
**EPE**  
**ONS**  
**CCEE**  
(Coordenação) **CEPEL**

Brasília, 15 de junho de 2015

## Conteúdo

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO DO MODELO SUISHI</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>PROCESSO DE VALIDAÇÃO</b>	<b>8</b>
3.1	VERSÃO 7.3	9
3.2	VERSÃO 7.4	10
3.3	VERSÃO 8.0	10
3.4	VERSÃO 8.0.1	13
3.5	VERSÃO 8.1	14
3.6	VERSÃO 8.1.1	15
3.7	VERSÃO 8.2	16
3.8	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS MSUI E SUISHI	31
<b>4</b>	<b>TESTES ESPECÍFICOS PARA AVALIAÇÃO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>43</b>
	<b>ANEXO I – SIMULAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL</b>	<b>44</b>
	<b>ANEXO II – ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES ABORDAGENS DE OPERAÇÃO NO MODELO SUISHI</b>	<b>49</b>
	<b>ANEXO III – ANÁLISE COMPARATIVA DAS ABORDAGENS DE OPERAÇÃO ENTRE OS MODELOS SUISHI E MSUI</b>	<b>58</b>
	<b>ANEXO IV – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS SUISHI E MSUI – SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL</b>	<b>61</b>

# 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 prazo para a simulação da operação energética de sistemas hidrotérmicos interligados, que utiliza a representação das usinas 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 e avaliar o comportamento de reservatórios e usinas de forma individualizada. Para isso, em sua estrutura, o modelo apresenta os seguintes modos de simulação: simulação dinâmica, simulação estática, simulação estática com cálculo da energia firme e simulação estática com cálculo da energia garantida a um risco pré-fixado. À exceção do modo de cálculo de energia firme, o modelo considera a política de operação definida pelo modelo de planejamento da operação de longo e médio prazo, NEWAVE.

Recentemente, a Portaria MME nº681, de 30 de Dezembro de 2014, postergou a validade dos atuais valores de garantia física de energia das usinas hidrelétricas, despachadas centralizadamente no SIN, até 31 de Dezembro de 2015. Conforme mencionado na portaria, tal decisão foi subsidiada pelo conteúdo do relatório "Revisão Ordinária de Garantia Física de Energia das Usinas Hidrelétricas – UHEs", de 15 de Dezembro de 2014, o qual traz o seguinte texto entre as suas recomendações finais:

*"Sugere-se a utilização do modelo SUIISHI, como uma alternativa ao MSUI, principalmente devido aos avanços metodológicos que tal modelo permite e pelo fato do SUIISHI utilizar a mesma base de dados do NEWAVE, que é o modelo oficialmente utilizado para a determinação da carga crítica do sistema. Neste caso, a base de dados do NEWAVE é convertida para a base de dados do SUIISHI de forma automática, minimizando a chance de erros no preenchimento dos dados.*

*Tendo em vista o contínuo aprimoramento do modelo SUIISHI e os avanços metodológicos que podem ser alcançados com sua utilização, recomenda-se a homologação desse modelo, para fins do planejamento da expansão energética, no âmbito da CPAMP. Também é recomendada a realização de treinamentos sobre a metodologia e uso do modelo SUIISHI para os agentes do setor elétrico brasileiro."*

Este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do modelo SUIISHI pelo Grupo de Trabalho "Questões Metodológicas Associadas aos Modelos

Computacionais de Expansão e Operação - 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 Energia<sup>1</sup>, com a participação da ANEEL, EPE, ONS, CCEE e CEPEL, possa aprovar o uso da atual versão desse modelo no processo de cálculo das garantias físicas das usinas hidrelétricas do sistema elétrico brasileiro.

Cabe destacar que o modelo SUIHI já foi objeto de validação prévia. 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 SUIHI (FT-SUIHI), que contou com a participação de 27 empresas do setor elétrico brasileiro. Em Agosto de 2010, após a conclusão dos trabalhos da FT-SUIHI, 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.

Desde o fim do processo de validação do modelo SUIHI no âmbito da FT, o CEPEL disponibilizou as versões 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.8, 7.8.1, 8.0, 8.0.1, 8.1 e 8.1.1, as quais contêm correções, aperfeiçoamentos metodológicos e novas funcionalidades em relação à versão 7.0.

A versão 8.2 do modelo SUIHI, a qual foi objeto de validação no âmbito da CPAMP, contempla todas as modificações das versões citadas anteriormente, além de novos aprimoramentos que representam avanços em relação à versão 8.1.1. Uma descrição das modificações realizadas desde a versão 7.0, assim como os testes realizados para a validação, encontram-se descritos ao longo deste relatório. Uma vez aprovada pela CPAMP, a versão 8.2 do modelo SUIHI passará a ser denominada como versão 9.0.

---

<sup>1</sup> 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 SUIHI**

O modelo SUIHI 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 dinâmicas como de simulações estáticas.

No modo de simulação dinâmica, 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.

No modo de simulação estática, considera-se a configuração hidrotérmica do sistema fixa, procurando-se atender a um mercado de energia constante ou sazonal ao longo de uma série hidrológica. Com exceção das vazões afluentes aos reservatórios, todos os demais dados de entrada do problema permanecem constantes (estáticos) ao longo do tempo, respeitadas as restrições sazonais, tais como de volume mínimo operativo e vazão mínima defluente obrigatória. Uma das principais aplicações do modo de simulação estática é o cálculo da energia firme de um sistema, e das usinas hidrelétricas que o compõem.

O modelo SUIHI 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 SUIHI 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 SUIHI. Adicionalmente, o programa também inclui dados específicos necessários ao processamento do modelo SUIHI, 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 SUIHI mais amigáveis para o usuário, a plataforma ENCAD é responsável por importar os arquivos de dados de entrada do modelo SUIHI, previamente gerados pelo programa CONVERTOR, 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. 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, duas 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; ou

(ii) o não atendimento das metas de geração hidráulica ocasionado por um déficit ou um excesso na soma da geração hidráulica individualizada. Nestes casos, 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, ou 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 SUIHI. Este processo de solução é aplicado às simulações Dinâmica e Estática de configurações hidrotérmicas do sistema, os quais demandam o conhecimento de uma política de operação contida na função de custo futuro de cada mês.

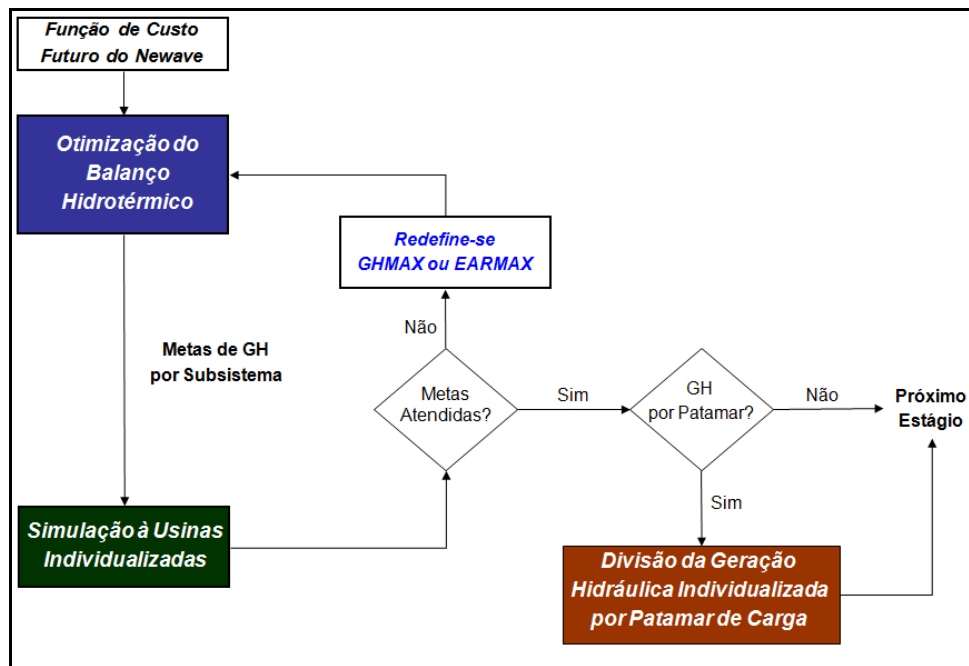


Figura 1- Fluxograma de funcionamento do modelo SUIISHI

## 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.

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 estáticas 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 Dinâmica e Estática de configurações hidrotérmicas do sistema.

Outras características do modelo SUIISHI são:

- pode simular até dez subsistemas hidrotérmicos eletricamente interligados em malha, mas hidraulicamente independentes, 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 ponto único;
- calcula a energia firme do sistema e a respectiva participação de cada usina;
- calcula a energia firme do sistema e a respectiva participação de cada usina para um período crítico informado pelo usuário;
- disponibiliza arquivo com potência disponível por aproveitamento, para utilização em balanço de ponta e estudos de confiabilidade.

### 3 Processo de Validação

O processo de validação do modelo SUIISHI no âmbito da CPAMP teve início no dia 24 de Março de 2015, durante a sua 19ª reunião, e foi finalizado no dia 15 de Junho de 2015, durante a 25ª reunião do GT7-CPAMP, com a conclusão dos testes previstos e a aprovação do relatório de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme da versão 9.0 do modelo SUIISHI. O cronograma de trabalho incluiu a realização de sete reuniões do grupo de trabalho (GT) (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 ao Processo de Validação do Modelo SUIISHI

<b>Data</b>	<b>Reunião</b>	<b>Instituições Participantes</b>
24/03/2015	19ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
13/04/2015	20-Aª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE
22/04/2015	21ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
21/05/2015	22ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
25/05/2015	Reunião específica, a partir de orientação da 22ª reunião do GT7-CPAMP	CEPEL e EPE
09/06/2015	23ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
12/06/2015	24ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
15/06/2015	25ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL

Tendo em vista o andamento do processo de revisão ordinária de Garantia Física de energia das usinas hidrelétricas do sistema brasileiro, assim como o elevado número de novas funcionalidades e aperfeiçoamentos metodológicos contidos na versão 8.2 do modelo SUIISHI, as quais impactam todos os seus modos de simulação (dinâmica e estática), optou-se por iniciar o processo de validação priorizando a execução dos testes associados às alterações do modelo que impactam a execução/resultados do modo de simulação estática para cálculo de energia firme. Os casos teste utilizados foram:

- PMO de Abril de 2014;
- PMO de Julho de 2014;

- PMO de Fevereiro de 2015;
- PMO de Maio de 2015;
- Caso Base para o LEN A-5/2015
- Pós LEN A-5/2015 (incluindo a usina Itaocara I)

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 Versão 7.3

#### Funcionalidade 7.3-1 - Consideração do VMINT nas simulações estáticas e para cálculo de energia firme.

- Teste 1 - Converter os casos teste nos modos de simulação estática e para cálculo de energia firme, e verificar a correta consideração das restrições de VMINT na simulação da operação a usinas individualizadas.
- Teste 2 - Converter os casos teste nos modos de simulação estática e para cálculo de energia firme, e verificar se a chave "Considera volume operativo mínimo em detrimento das outras restrições" foi automaticamente ativada nas telas do ENCAD.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.3 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 de 2015, o qual foi executado no modo de simulação para cálculo de energia firme. Nesta versão do modelo, verificou-se que o programa conversor não ativou a opção de consideração do volume mínimo operativo em detrimento das outras restrições. Este problema foi corrigido na versão 8.2.5, verificando-se que, uma vez ativada aquela opção, as restrições de VMINT foram corretamente consideradas pelo modelo SUIHI. Dentre as usinas analisadas estão Mascarenhas de Moraes, Barra Bonita, Promissão, Jaguari, Paraibuna, Santa Branca e Funil.

**Conclusão:** A funcionalidade 7.3-1 foi considerada validada pela CPAMP.

#### Funcionalidade 7.3-3 - Correção da conversão dos casos NEWAVE em que um dos subsistemas não possui mercado de energia porém possui geração de pequenas usinas. Neste caso, a conversão do caso NEWAVE-SUIHI terminava com erro.

- Teste 1 - Se necessário, adaptar os casos teste para que um dos subsistemas não possua mercado de energia, porém, possua geração de pequenas usinas. Converter o caso NEWAVE e verificar se a conversão foi concluída com sucesso e se os valores apresentados pelo ENCAD estão corretos.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015, executado com a versão 8.2.3 do modelo SUIISHI no modo de simulação para cálculo de energia firme. Por exemplo, considerando valores de geração de pequenas usinas no subsistema Belo Monte. Após a conversão do caso NEWAVE, observou-se que a execução foi concluída corretamente.

**Conclusão:** A funcionalidade 7.3-3 foi considerada validada pela CPAMP.

### 3.2 Versão 7.4

Funcionalidade 7.4-2 - Correção da importação do arquivo de desvios d'água (DSVAGUA) quando casos SUIISHI já executados (com o módulo de simulação das usinas da bacia do Paraíba do Sul ativado) eram importados pelo ENCAD.

- Teste 1 - Executar os casos teste nos modos de simulação dinâmica, e para cálculo de energia firme, considerando as regras especiais de simulação das usinas do Paraíba do Sul. Importar os casos SUIISHI previamente executados e verificar se o arquivo de desvios d'água é corretamente importado, exibido e exportado pelo ENCAD.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015, executado com a versão 8.2.3 do modelo SUIISHI no modo de simulação para cálculo de energia firme. Considerando a opção para se utilizar as regras especiais de operação das usinas do Paraíba do Sul, após a importação do caso SUIISHI já executado, observou-se que os arquivos de desvio d'água foram importados de forma correta pelo ENCAD.

**Conclusão:** A funcionalidade 7.4-2 foi considerada validada pela CPAMP.

### 3.3 Versão 8.0

Funcionalidade 8.0-3 - Correção da meta de geração hidráulica a subsistemas equivalentes, definida pelo módulo de otimização, e individualizada pelo módulo de simulação, a qual passa a descontar a Energia de Desvio em usinas a Fio d'água.

- Teste 1 - Executar os casos teste no modo de simulação dinâmica e verificar se a meta de geração hidráulica que está sendo passada para o módulo de simulação a usinas individualizadas equivale à meta de geração hidráulica total, definida a subsistemas equivalentes, descontada da Energia de Desvio em usinas a Fio d'água.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015, executado com a versão 8.2.3 do modelo SUIISHI no modo de simulação dinâmica. Após a conversão do caso NEWAVE e execução do modelo SUIISHI, observou-se que a meta de geração hidráulica equivale à geração hidráulica total descontada a energia de desvio em usinas a fio d'água.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0-3 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.0-4 - Atualização do engolimento máximo das usinas hidroelétricas durante a definição das prioridades de enchimento e esvaziamento dos reservatórios no processo de simulação a usinas individualizadas.

- Teste 1 - Executar os casos teste no modo de simulação dinâmica e para cálculo de energia firme, e verificar se há a ocorrência de vertimentos que não podem ser justificados pela não capacidade de armazenamento do reservatório, ou para que alguma usina a jusante possa ser levada a turbinar o seu máximo, contribuindo assim para a redução/eliminação de um déficit.

O teste foi realizado com a versão 8.2.3 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 de 2015, dos PMOs de Abril e Julho de 2014, e do PMO de Fevereiro de 2015. Após a conversão e execução dos casos teste, foram verificadas as equações de balanço hídrico, para cada série simulada, para as usinas de Tucuruí e Camargos. Tal como o esperado, concluiu-se que as decisões de vertimento do modelo estão corretas.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0-4 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.0-6 - Cálculo e impressão da energia vertida, por subsistema, com base nos resultados do módulo de simulação à usinas individualizadas.

- Teste 1 - Com base no relatório a usinas individualizadas, verificar o cálculo da energia vertida agregada para um determinado subsistema.

O teste foi realizado com a versão 8.2 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do PMO de Fevereiro de 2015. Utilizou-se os resultados descritos no relatório SUIISHI.REL para, de maneira exógena ao modelo SUIISHI, calcular os valores de energia vertida por subsistema apresentados pelo ENCAD em suas tabelas de resultados. Por exemplo, para o subsistema Nordeste, mês de Fevereiro, série histórica de 1950, o valor calculado coincidiu com o exibido nas tabelas de subsistemas.

- Teste 2 - Verificar a correta importação/exibição dos resultados de energia vertida por subsistema pelo ENCAD.

O teste foi realizado com a versão 8.2 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do PMO de Fevereiro de 2015. O modelo SUIHI foi utilizado no seu modo de simulação dinâmica, e verificou-se a correta exibição, pelo ENCAD, dos gráficos e tabelas relacionados à energia vertida dos subsistemas considerados.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0-6 foi considerada validada pela CPAMP.

#### Funcionalidade 8.0-7 - Cálculo e impressão da potência disponível por subsistema.

- Teste 1 - Com base nos relatórios a usinas individualizadas, verificar o cálculo da potência disponível agregada para um determinado subsistema.
- Teste 2 - Verificar a correta importação/exibição dos resultados de potência disponível por subsistema pelo ENCAD.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do PMO julho/2014. Executando-se o modo de simulação para cálculo de energia firme com período crítico definido, observou-se que, quando não informado, a interface gráfica assume que a versão NEWAVE utilizada foi a 16. Sugeriu-se que a interface assumira como *default* a versão mais recente do modelo NEWAVE, atualmente a versão 19. Este problema foi corrigido na versão 8.2.3.

Adicionalmente, a interface apresentava problemas na exibição dos resultados de potência disponível por usina. Este problema foi corrigido na versão 8.2.3, com a qual se verificou que a potência disponível do sistema coincide com a soma das potências disponíveis individuais das usinas do sistema.

Realizando-se a mesma análise com o PMO de Maio de 2015, ocorreu erro de execução do caso no modo de simulação para cálculo de energia firme. Uma vez que as usinas fictícias são retiradas da configuração neste tipo de análise, tal problema ocorreu devido ao programa tentar considerar a restrição de VAZMINT da usina Fictícia Queimado, já retirada da configuração. Este problema foi corrigido na versão 8.2.5.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0-7 foi considerada validada pela CPAMP.

#### Funcionalidade 8.0-8 - A opção pela realização do “Controle de Cheias” passa a ser feita automaticamente pelo programa Conversor sempre que a usina hidroelétrica possuir restrição de volume máximo operativo (VMAXT) no modo de simulação dinâmica.

- Teste 1 - Converter os casos teste que possuam UHEs com restrição de VMAXT, e verificar se a chave para consideração do “Controle de Cheias” foi ativada automaticamente.

O teste foi realizado com a versão 8.2.1 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do PMO julho/2014 executado no modo de simulação dinâmica. Tal como

o esperado, uma vez que no deck de dados utilizado constam diversas usinas com restrição de VMAXT, o programa conversor ativou a opção de controle de cheias automaticamente.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0-8 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.0-9 - A opção pelo “Vertimento Liberado” em determinadas usinas hidroelétricas deixou de ser feita de forma automática pelo programa Conversor, sendo que esta opção deverá ser ativada pelo usuário para as usinas sub-motorizadas.

- Teste 1 - Converter os casos teste cujas usinas possuam restrição de VMAXT e verificar se chave para a consideração do “Vertimento Liberado” está desativada para todas as usinas hidroelétricas.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do PMO de Fevereiro de 2015, o qual possui diversas usinas com restrição de VMAXT. O caso foi convertido no seu modo de simulação dinâmica e o check Box “Vertimento Liberado” foi verificado para todas as usinas do sistema. Nenhuma usina hidrelétrica estava com a chave “Vertimento Liberado” ativada após a conversão.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0-9 foi considerada validada pela CPAMP

### **3.4 Versão 8.0.1**

Funcionalidade 8.0.1-1 - Correção da impressão da Geração Hidráulica por Subsistema no relatório SUBSIS.CSV. Tal resultado não estava sendo impresso quando o usuário optava pela não geração do relatório SUIISHI.REL.

- Teste 1 - Executar os casos teste optando pela não impressão do relatório SUIISHI.REL. Verificar a escrita adequada do arquivo SUBSIS.CSV, assim como a sua correta importação e exibição nas telas do ENCAD.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015, executado com a versão 8.2.3 do modelo SUIISHI. Após a conversão do caso NEWAVE, optou-se por não imprimir o relatório SUIISHI.REL. Observou-se que o arquivo SUBSIS.CSV foi escrito adequadamente e exibido corretamente.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0-1 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.0.1-2 - Correção da escrita do relatório RELUS.REL, pois a execução do modelo SUIISHI não estava sendo finalizada quando o usuário optava pela escrita de tal relatório.

- Teste 1 - Executar os casos testes optando pela escrita do relatório por usina (RELUS.REL). Verificar se a execução é concluída com sucesso e se o relatório é exibido corretamente pelo ENCAD.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015, executado com a versão 8.2.3 do modelo SUIHI. Após a conversão do caso NEWAVE, optou-se por imprimir o relatório RELUS.REL. Observou-se que a execução foi concluída com sucesso e o arquivo exibido corretamente pelo ENCAD.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.0.1-2 foi considerada validada pela CPAMP.

### 3.5 Versão 8.1

Funcionalidade 8.1-1 Reformulação da escrita do arquivo USIHID.CSV, o qual passa a ser escrito separadamente por usina hidroelétrica. Esta alteração teve por objetivo reduzir o tempo de importação dos resultados individualizados pelo ENCAD.

- Teste 1 - Executar os casos teste com a versão 8.0.1 e 8.1 e verificar se os resultados individualizados mostrados pela interface são os mesmos.
- Teste 2 - Selecionar a escrita do arquivo USIHID.CSV e verificar o correto funcionamento da tela de seleção.
- Teste 3 - Executar os casos teste nos diversos modos de simulação e verificar se a importação dos resultados ocorre sem erros.

O teste foi realizado com a versão 8.2.3 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015, dos PMOs de Abril e Julho de 2014, e do PMO de Fevereiro de 2015. Após a conversão e execução dos casos teste, verificou-se que o modelo SUIHI nomeia os arquivos USIHID.CSV adequadamente, atribuindo corretamente o respectivo número da usina a cada arquivo. Adicionalmente, verificou-se que a importação dos resultados destes arquivos também ocorre de forma correta pelo ENCAD.

Quando analisados os resultados de geração hidráulica individualizada por patamar de carga, verificou-se que o ENCAD exibia a geração total da usina igual à soma da geração de cada patamar, quando o correto seria a exibição da média destes valores. Este problema foi corrigido na versão 8.2.5 do modelo SUIHI, os testes foram refeitos e a funcionalidade validada.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.1-1 foi considerada validada pela CPAMP



### 3.6 Versão 8.1.1

#### Funcionalidade 8.1.1-1 - Consideração da vazão mínima variável (VAZMINT) ao longo do horizonte de planejamento considerado.

- Teste 1 - Executar os casos teste e verificar, no relatório SUIISHI.REL, a correta consideração do QMIN.
- Teste 2 - Converter os casos teste e verificar, na tela de expansão, a correta alteração da vazão mínima das usinas que possuem restrições de VAZMINT.

Os testes 1 e 2 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015. Executando-se o modo de simulação para cálculo de energia firme, foi verificado que a vazão turbinada da usina de Balbina não estava respeitando a restrição de VAZMINT informada no arquivo MODIF, mas sim o valor de cadastro informado no arquivo HIDR. Adicionalmente, sempre que constavam restrições de VAZMINT para os períodos PRE e POS, a conversão do caso NEWAVE não era concluída com sucesso.

Os problemas descritos anteriormente foram corrigidos na versão 8.2.3, e a funcionalidade foi considerada validada.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.1.1-1 foi considerada validada pela CPAMP.

#### Funcionalidade 8.1.1-2 - Possibilidade de se converter um caso NEWAVE elaborado com base em um determinado mês, porém com início de período de estudo em uma data subsequente à anterior. Nestes casos, a conversão para o caso SUIISHI apresentava problemas ao identificar dados de expansão do sistema associados a datas anteriores à data de início de estudo.

- Teste 1 - Alterar os casos teste para que a data de início do período de estudo seja subsequente à data da primeira expansão do sistema. Verificar se a conversão ocorre corretamente, assim como a exibição dos dados de entrada.

O teste foi realizado com a versão 8.2.3 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do PMO de Fevereiro de 2015, executado no modo de simulação dinâmica. No arquivo de dados gerais, alterou-se a data de início de estudo para Outubro de 2015. Tal como o esperado, o caso foi convertido corretamente, assim como a exibição dos dados de expansão das usinas hidrelétricas, a qual desconsiderou as expansões prévias a outubro de 2015.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.1.1-2 foi considerada validada pela CPAMP.

### 3.7 Versão 8.2

Funcionalidade 8.2-1 - Inclusão da possibilidade de se desconsiderar a vazão vertida por uma UHE no cálculo da sua respectiva cota do canal de fuga.

- Teste 1 - Executar os casos teste e verificar a correta consideração/desconsideração da vazão vertida no cálculo da cota do canal de fuga da usina.
- Teste 2 - Tanto para simulações dinâmicas quanto para cálculo de energia firme, verificar o correto funcionamento do *check box* "Desconsiderar o Vertimento no Cálculo da Cota do Canal de Fuga".

Os testes 1 e 2 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015. Considerou-se a usina de Coaracy Nunes como base para os testes, realizando-se a simulação da operação com e sem a influencia do vertimento no cálculo da cota do canal de fuga da usina.

Tal como o esperado, os resultados mostraram cotas de canal de fuga superiores nos casos em que o vertimento foi considerado no seu cálculo. Na simulação em que o vertimento foi desconsiderado, os resultados do SUIISHI foram comparados com os resultados do MSUI versão 3.2, desenvolvido pela Eletrobras, os quais se mostraram muito próximos. As diferenças observadas se devem ao fato de, na série artificial utilizada no MSUI para a usina de Coaracy Nunes, ter sido considerado o valor de engolimento nominal de projeto para a turbina (397 m<sup>3</sup>/s), conforme consta no anexo do ofício nº 1834/2012-SGH/ANEEL. Enquanto que o SUIISHI calcula o engolimento nominal a partir dos valores cadastrados no arquivo HIDR.DAT.

Apesar da funcionalidade ter sido validada, sugeriu-se que a consideração ou não do vertimento no cálculo da cota do canal de fuga não fosse informada pelo usuário, mas lida diretamente do cadastro das usinas (arquivo HIDR). Tal funcionalidade foi implementada na versão 8.2.3 do modelo SUIISHI, tendo sido considerada validada após a repetição dos testes para todas as usinas do cadastro.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-1 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-2 - Aperfeiçoamento do cálculo da altura de queda média nas usinas hidroelétricas para o cálculo de energia firme. Neste caso, as alturas de queda em cada patamar de carga passou a ser ponderado pelas respectivas vazões turbinadas

- Teste 1 - Executar os casos teste e verificar, para o cálculo de energia firme, o cálculo da produção energética com base na altura de queda média nos períodos de ponta e fora da ponta, ponderadas pelas suas respectivas vazões turbinadas

- Teste 2 - No modo de cálculo de energia firme, verificar o correto funcionamento do *check box* "Distribuir a Vazão Defluente entre os Patamares de Carga". Também verificar a escrita da duração do patamar de ponta.

Os testes 1 e 2 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015. Na interface gráfica, a opção de distribuir a vazão defluente entre os patamares de carga foi ativada e corretamente considerada durante a simulação para cálculo de energia firme, assim como a duração do patamar de ponta, a qual foi informada com valor igual a 0,125pu. Devido à sua maior sensibilidade à consideração dos patamares de ponta e fora da ponta, a UHE Santo Antônio foi selecionada para a análise.

Tal como o esperado, foi observado um incremento na geração da usina, principalmente nos meses que representam o final do período seco do subsistema. Analisando parâmetros como a altura de queda líquida, as vazões defluente e turbinada, a produção de energia mensal e a produtividade da usina, não foram identificadas diferenças relevantes devido à consideração da curva de carga em 2 patamares.

Comparando-se os resultados obtidos pelo SUIHI com os do modelo MSUI, observou-se que o número de iterações empregado para a determinação do engolimento máximo da usina, nos patamares de ponta e fora da ponta, nem sempre era suficiente para que a convergência fosse alcançada pelo modelo SUIHI. O processo de convergência do engolimento máximo se faz necessário, uma vez que este valor é uma função da altura de queda líquida, a qual é uma função da vazão defluente, que por sua vez é uma função do engolimento máximo da usina.

Este problema foi corrigido na versão 8.2.5, a qual considera uma tolerância igual a 0,1% do engolimento máximo da usina para que o processo seja considerado convergido.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-2 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-3 - Possibilidade de se considerar o deplecionamento do reservatório de usinas fio d'água para o atendimento da sua restrição de defluência mínima, em particular para a usina de Belo Monte.

- Teste 1 - Executar os casos testes com e sem a funcionalidade ativa e avaliar se o comportamento da operação da(s) usina(s) se comporta dentro do esperado.
- Teste 2 - Tanto para simulações dinâmicas quanto para o cálculo de energia firme, converter os casos teste e verificar o correto funcionamento do *check box* "Uso do Reservatório Fio d'água para Atendimento à Vazão Mínima".

Os testes 1 e 2 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015 e o modo de simulação para cálculo de energia firme. Na interface gráfica, a opção de considerar o deplecionamento de reservatórios fio d'água para o atendimento a restrições de vazão mínima foi ativada para a UHE Belo Monte e corretamente considerado pelo ENCAD e pelo SUIHI. Adicionalmente, substituiu-se o posto com as vazões naturais (288) por um posto associado a vazões artificiais (292) para a usina, das quais já se encontra abatida a curva bianual de desvios d'água de Belo Monte. Finalmente, os valores de desvio d'água foram alterados na interface gráfica para considerar apenas os valores relativos aos usos consuntivos.

Esperava-se que, nos meses de afluência inferior a  $300\text{m}^3/\text{s}$ , o reservatório de Belo Monte fosse deplecionado de modo a garantir a vazão mínima defluente aos reservatórios dos canais. Entretanto, em 25% dos meses analisados, foram observadas vazões ligeiramente inferiores a  $300\text{m}^3/\text{s}$ . Isto ocorreu devido a não convergência da vazão evaporada, cujo valor depende da área do reservatório, que por sua vez depende do seu volume final. Adicionalmente, na ocorrência de afluências negativas, foram observadas vazões superiores à vazão mínima.

Uma vez que as usinas de Belo Monte e Belo Monte Complementar compartilham o mesmo reservatório, esperava-se que estas usinas apresentassem os mesmos resultados em termos de volume final (em pu) e cota de montante, o que nem sempre foi observado. Com relação a este ponto, também foi sugerido que nos relatórios de saída o registro do volume final do reservatório fio d'água, em p.u., e da cota de montante fosse feita considerando a variação destes parâmetros em função do uso do reservatório.

Todos os pontos anteriormente descritos foram implementados na versão 8.2.3, 8.2.5 e 8.2.7, com a qual os testes foram repetidos e a funcionalidade validada.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-3 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-4 - Possibilidade de se considerar restrições de Volume Máximo Operativo (VMAXT) nas simulações de energia firme. A critério do usuário, esta funcionalidade poderá ser empregada para qualquer usina da configuração.

- Teste 1 - Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e verificar a consistência dos resultados às restrições de volume máximo operativo informadas pelo usuário.
- Teste 2 - Verificar se as usinas que possuem restrição de VMAXT sazonal estão sendo consideradas para controle de cheias.

- Teste 3 - Nas simulações para cálculo de energia firme, incluir restrições de volume máximo operativo para determinadas usinas. Verificar o correto funcionamento da interface gráfica e a correta escrita do arquivo de entrada de dados VMAXTSAZ.

Os testes 1, 2 e 3 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015 e o modo de simulação para cálculo de energia firme. Inicialmente os testes foram realizados com base na UHE Sinop, para a qual o volume máximo operativo foi fixado na cota 300m entre os meses de junho e novembro, o que equivale a aproximadamente 72% do seu volume útil. Tal como esperado, os resultados encontrados mostram que a operação da usina respeita os limites máximos operativos do reservatório, atestando também o correto funcionamento da interface gráfica ao escrever os arquivos de entrada do modelo SUIISHI.

A mesma análise foi repetida para a usina de Campos Novos, na qual, também para os meses de junho a novembro, foi considerado um volume máximo operativo de 70%. Neste caso, observou-se que, em determinados meses, o volume máximo operativo foi violado para a realização do controle de cheias, ou seja, a vazão defluente que garantiria a manutenção do reservatório em 70% foi superior à vazão de restrição do reservatório, fazendo com que o volume operativo fosse violado. Nestes casos, a premissa de realização de controle de cheias estava equivocada, pois a restrição de volume máximo operativo está associada a questões naturais à montante do reservatório.

Este problema foi corrigido na versão 8.2.1 considerando que a vazão de restrição assume valor infinito para as usinas que possuem a restrição de volume máximo sazonal ativada nas simulações para cálculo de energia firme.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-4 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-5 - Possibilidade de se considerar um posto intermediário cuja vazão, por exemplo, influencia apenas na determinação da cota do canal de fuga da usina. A critério do usuário, esta funcionalidade poderá ser empregada para qualquer usina da configuração.

- Teste 1 - Nas simulações dinâmicas e para cálculo de energia firme, considerar para determinadas usinas a contribuição de postos intermediários, cujas vazões não podem ser turbinadas, mas reduzem a altura de queda da usina. Verificar a consistência dos resultados quando comparados ao caso onde tais postos não são considerados, em particular para a usina de Belo Monte. Verificar se as vazões afluentes a jusante das usinas são corretamente acrescidas das vazões dos postos intermediários.

- Teste 2 - Nas simulações dinâmicas e para cálculo de energia firme, considerar a contribuição de postos intermediários a determinadas usinas, verificando o correto funcionamento da tela "Postos Intermediários".

Os testes 1 e 2 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015 e o modo de simulação para cálculo de energia firme. Os testes foram realizados utilizando a tela "Postos Intermediários", habilitada na interface gráfica do modelo SUIISHI, para considerar as vazões do rio Bacajá (posto 293) no cálculo da cota do canal de fuga da usina de Belo Monte. Para os meses de janeiro a junho de 1931, comparou-se os valores de canal de fuga calculados pelo SUIISHI com os valores obtidos por meio de cálculos exógenos ao modelo. Ambos os valores se mostraram aderentes entre si. Adicionalmente, verificou-se o correto funcionamento da interface gráfica para os testes realizados.

A fim de verificar se as vazões afluentes a jusante das usinas são corretamente acrescidas das vazões dos postos intermediários, foi considerado o posto 83 como intermediário para a usina Irapé. Verificou-se o correto funcionamento da funcionalidade.

Realizando-se o mesmo teste, porém considerando a distribuição da vazão turbinada entre os patamares de ponta e fora da ponta, observou-se que a vazão do posto intermediário estava sendo considerada apenas no cálculo da produção energética média da usina, mas não estava sendo considerada no cálculo da altura de queda em cada patamar de carga.

Este problema foi corrigido na versão 8.2.6 do modelo, com a qual os testes foram refeitos e a funcionalidade validada.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-5 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-6 - Possibilidade de se considerar a Curva Guia de Operação da usina de Jirau em todos os módulos de simulação do modelo SUIISHI, ficando a critério do usuário ativar esta opção na interface gráfica do modelo.

- Teste 1 - Executar os casos teste nos modos de cálculo de energia firme e simulação dinâmica e verificar a consistência dos resultados da operação da usina de Jirau com e sem a consideração da curva guia.
- Teste 2 - Após a conversão dos casos para a execução de simulações dinâmicas e para cálculo de energia firme, ativar a opção pela utilização da curva guia de operação de Jirau e verificar a importação do arquivo CGUIAOP.

- Teste 3 - No *Menu* Curva Guia de Operação de Jirau, editar os valores existentes e verificar a escrita adequada dos novos valores no arquivo CGUIAOP.

Os testes 1, 2 e 3 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015 e o modo de simulação para cálculo de energia firme. A consideração da curva guia de Jirau na simulação da operação foi ativada na interface gráfica, e o arquivo CGUIAOP, que contém a curva guia de operação atualmente vigente, foi importado corretamente. Os valores de queda líquida obtidos pelo modelo SUIISHI foram comparados aos obtidos pelo do modelo MSUI, mostrando-se aderentes ao longo de todo o período crítico.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-5 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-7 - Adaptações do módulo de simulação das regras especiais de operação das usinas da bacia do Paraíba do Sul segundo a resolução ANA nº 211, de 26 de Maio de 2003.

- Teste 1 - Executar os casos teste nos modos de cálculo de energia firme e simulação dinâmica e verificar se a operação das usinas da bacia do Paraíba do Sul obedece às regras especiais definidas na resolução ANA nº 211, de 26 de Maio de 2003.
- Teste 2 - Verificar a adequação dos relatórios SHP.REL e SUIISHI.REL no que tange a operação das usinas do Paraíba do Sul.
- Teste 3 - Avaliação da operação do Paraíba do Sul na seguinte situação:
  - Sistema Paraíba do Sul (todos os reservatórios em 100%) + Lajes (em 100%), processar o estudo com séries secas e úmidas.
- Teste 4 - Verificar o correto funcionamento da chave que ativa a consideração das regras especiais para a operação das usinas do Paraíba do Sul.
- Teste 5 - Verificar a edição dos dados de entrada referentes às usinas do Paraíba do Sul no *menu* Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e a sua correta consideração no arquivo SHP.DAT.

Os testes 1, 2, 3, 4 e 5 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015 e o modo de simulação para cálculo de energia firme com período crítico definido. As análises tiveram por base a situação em que, tanto os reservatórios do sistema Paraíba do Sul, quanto o reservatório de Lajes, se encontravam com 100% de armazenamento no início do horizonte, sendo analisadas séries hidrológicas secas e úmidas.

Com relação à interface gráfica, verificou-se a ocorrência de erro sempre que solicitada a visualização das séries de vazões naturais consideradas no caso, o que ocorria pela falta de informações no arquivo de vazões, ou seja, o arquivo VAZOES.DAT estava incompleto. Mesmo com este arquivo incompleto, este problema foi corrigido no ENCAD, o qual passa a exibir corretamente os dados de vazões.

Adicionalmente, visualizando as telas específicas das usinas do sistema Paraíba do Sul, verificou-se que parâmetros como faixas operativas, curvas de operação e curva limite do reservatório equivalente, os quais deixaram de ser válidos com a entrada em vigor da Resolução ANA nº 211, de 26 de Maio de 2003, continuavam sendo exibidos e podiam ser editados pelo usuário. Este problema foi corrigido na versão 8.2.3 do modelo SUIISHI.

Com relação à exibição dos resultados, verificou-se que o fator de rateio das usinas hidrelétricas não estava sendo exibido corretamente, o que também foi corrigido na versão 8.2.3.

Com relação ao relatório de saída com a operação das usinas do Paraíba do Sul (SHP.REL), verificou-se que as usinas de Picada, Sobragi, Simplício, Ilha dos Pombos e Sapucaia não constavam no relatório. A operação destas usinas constava no relatório SUIISHI.REL, uma vez que a operação das mesmas não segue as regras especiais de operação das usinas do Paraíba do Sul. Entretanto, como todas as usinas se encontram na mesma cascata, solicitou-se a inclusão das mesmas no relatório SHP.REL. Adicionalmente, também foi solicitado que o relatório SHP.REL apresentasse a produtividade acumulada das usinas de Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil, possibilitando ao usuário identificar as prioridades de deplecionamento dos reservatórios. Estas implementações foram realizadas na versão 8.2.4, e complementadas na versão 8.2.7 do modelo SUIISHI.

Uma vez que a Resolução ANA nº 211, de 26 de Maio de 2003, não estabelece regras específicas para a operação dos reservatórios do Paraíba do Sul, ou seja, Paraibuna, Santa Branca, Funil e Jaguari, optou-se pela operação em paralelo destes reservatórios, desde que respeitada a afluência mínima ao reservatório de Santa Cecília que garanta o atendimento aos seus requisitos de bombeamento e vertimento. Durante os testes da versão 8.2.1, observou-se um esvaziamento acentuado do reservatório de Funil, o que não ocorria com os demais reservatórios de montante, descaracterizando assim a operação em paralelo dos reservatórios. Este fato ocorria devido ao estabelecimento de uma vazão mínima artificial em Funil, igual à defluência mínima necessária para o atendimento aos requisitos de bombeamento e vertimento especificados para Santa Cecília, provocando assim o deplecionamento acentuado daquele reservatório. Este problema foi corrigido na versão 8.2.3, a qual passa a considerar a operação em paralelo dos reservatórios do



Paraíba do Sul até que a defluência em Funil seja suficiente para o atendimento aos requisitos de bombeamento e vertimento em Santa Cecília.

Analisando a operação do reservatório de Santana, os resultados da versão 8.2.1 apresentaram vertimentos no mês de Fevereiro de 1967, quando ainda existia folga de engolimento na usina de Nilo Peçanha. Este problema foi corrigido na versão 8.2.3 do modelo SUIHI.

Com relação à operação do reservatório de Santa Cecília foi observado que, durante o período de julho a novembro de 1955, no qual a vazão afluente ao reservatório não era suficiente para o atendimento ao bombeamento mínimo para Santana, igual a  $119\text{m}^3/\text{s}$ , e ao vertimento mínimo de  $71\text{m}^3/\text{s}$ , o modelo SUIHI priorizava o atendimento do vertimento mínimo. Foi solicitado que, com base na Resolução ANA nº1404, de 26 de Novembro de 2013, em condições de hidrologia adversa, o bombeamento e o vertimento em Santa Cecília sejam definidos com base na divisão da sua afluência de forma proporcional aos valores mínimos de bombeamento ( $119\text{m}^3/\text{s}$ ) e vertimento ( $71\text{m}^3/\text{s}$ ). Esta implementação foi realizada na versão 8.2.3.

Com relação à operação do reservatório de Lajes, observou-se que o seu volume estava mantido igual a 100% durante a maior parte do período crítico, mesmo quando a hidrologia dos reservatórios do Paraíba do Sul era desfavorável. Apenas no ano de 1955 a simulação mostrou o deplecionamento do reservatório de Lajes para tentar compensar a baixa hidrologia nas usinas do Paraíba do Sul, e tentar manter a defluência mínima em Pereira Passos igual a  $120\text{m}^3/\text{s}$ . Entretanto, foi observado que o deplecionamento de Lajes não respeitou o engolimento máximo em Fontes A, provocando vertimentos nesta usina. Uma vez que Lajes e Fontes não possuem vertedouro, esta operação foi considerada incorreta, tendo sido corrigida na versão 8.2.3.

Ainda com relação ao reservatório de Lajes, considerou-se que não seria ótimo operá-lo de modo a manter o volume do seu reservatório sempre igual a 100%, tanto pela inexistência de um vertedouro na usina, e conseqüente incapacidade de absorver eventuais cheias, quanto pelo maior deplecionamento provocado nas usinas do Paraíba do Sul para o atendimento à vazão mínima em Pereira Passos. Por este motivo, foi solicitado que a operação de Lajes também pudesse ser feita em paralelo com o reservatório equivalente das usinas do Paraíba do Sul. Esta funcionalidade foi disponibilizada na versão 8.2.3 do modelo SUIHI. Adicionalmente, vale ressaltar que o modelo SUIHI também permite que o reservatório de Lajes seja operado com base em uma curva de operação, podendo-se ainda considerar um volume de espera para controle de cheias.

Todos os testes foram refeitos, tendo sido constatado que os problemas levantados foram corrigidos na versão 8.2.4 do modelo SUIISHI.

Ressalta-se que testes foram feitos considerando a operação do reservatório de Lajes segundo três critérios:

- visando apenas atender o complemento da restrição de vazão defluente em Pereira Passos, fazendo com que este reservatório permaneça a maior parte do tempo cheio;
- operando em paralelo com os demais reservatórios do Sistema Paraíba do Sul;
- operando segundo uma curva de operação (curva de operação pré-estabelecida e/ou curva para controle de cheias)

Para esses testes, as simulações com o modelo SUIISHI apresentaram em seus resultados evoluções no reservatório de Lajes coerentes com cada uma das operações especificadas, como descrito no ANEXO I.

É importante salientar que o arranjo físico do reservatório de Lajes não contempla vertedouro nem descarga de fundo e, portanto, não é recomendável sua operação próxima ao nível máximo. Desta forma, sugere-se que as simulações com este reservatório considerem uma curva de controle de cheias.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-7 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-8 - Possibilidade de se considerar faixas operativas dinâmicas para a operação dos reservatórios no módulo de simulação a usinas individualizadas.

- Teste 1 - Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e analisar o comportamento dos resultados quando são consideradas faixas operativas estáticas e dinâmicas.
- Teste 2 - Nas análises de simulação dinâmica, comparar os parâmetros do sistema, tais como energia armazenada e custo de operação, considerando a utilização das faixas operativas estáticas e dinâmicas.
- Teste 3 - Verificar o correto funcionamento da chave que ativa a consideração das faixas operativas dinâmicas.

Os testes 1, 2 e 3 foram realizados com a versão 8.2.1 do modelo SUIISHI, utilizando-se dois decks de dados: (i) o caso base para o LEN A-5 de 2015, e (ii) um caso reduzido considerando apenas as usinas do rio Tocantins, obtido a partir do caso LEN A-5/2015. Utilizou-se o modo de simulação para cálculo de energia firme com período crítico definido.

Com relação à interface gráfica, verificou-se que a importação dos arquivos USIHID.CSV correspondentes às usinas com código inferior ao número 100, não estava sendo concluído. Este problema foi corrigido na versão 8.2.3.

Ainda com relação à interface gráfica, durante a transformação do caso (i) para subsistema único, operação esta necessária para a utilização do modo de simulação para cálculo de energia firme, as mensagens exibidas pelo ENCAD mostraram repetidas vezes a correção na topologia da usina de Lajeado. Já na execução do caso (ii), o processo de transformação para subsistema único foi incompleto, não sendo retirada da configuração a usina de Serra da Mesa Fictícia. Adicionalmente, durante a conversão do caso (ii), constatou-se que a mesma era abortada sempre que alguma usina não considerada na configuração (usina NC) possuía alterações de características registradas no arquivo MODIF. Estes problemas foram corrigidos na versão 8.2.5 do modelo SUIHI.

As faixas operativas estáticas são fornecidas pelo usuário e elas dividem o volume útil de uma usina hidrelétrica em percentuais, que podem ser iguais entre si ou distintos. Além disso, essas faixas podem ter percentuais do volume útil iguais ou diferentes por usina. Assim, se em um mês do estudo e série hidrológica há a necessidade de replecionar o sistema, as usinas que estiverem nas faixas mais baixas serão as primeiras a serem replecionadas. Caso não seja possível levar todas as usinas a mesma faixa de armazenamento, somente as usinas mais vazias terão seus volumes alterados. Da mesma forma, se há necessidade de deplecionamento, as usinas que estiverem em faixas mais altas serão as primeiras a serem deplecionadas. Caso não seja possível levar todas as usinas a mesma faixa de armazenamento, somente as usinas mais cheias terão seus volumes deplecionados.

A principal característica das faixas operativas dinâmicas é que, dada a necessidade de enchimento do reservatório, a diferença entre o volume máximo e o seu estado inicial é dividido em 20 faixas operativas de iguais amplitudes. O mesmo vale para a operação de esvaziamento do reservatório, quando a diferença entre o seu estado atual e o volume mínimo é dividido em 20 faixas operativas. A Figura 2 ilustra o descrito anteriormente. Nesta modelagem, em um determinado mês e série hidrológica, todas as usinas têm seus níveis de armazenamento alterados, mesmo que existam usinas em níveis de armazenamento muito distintos.

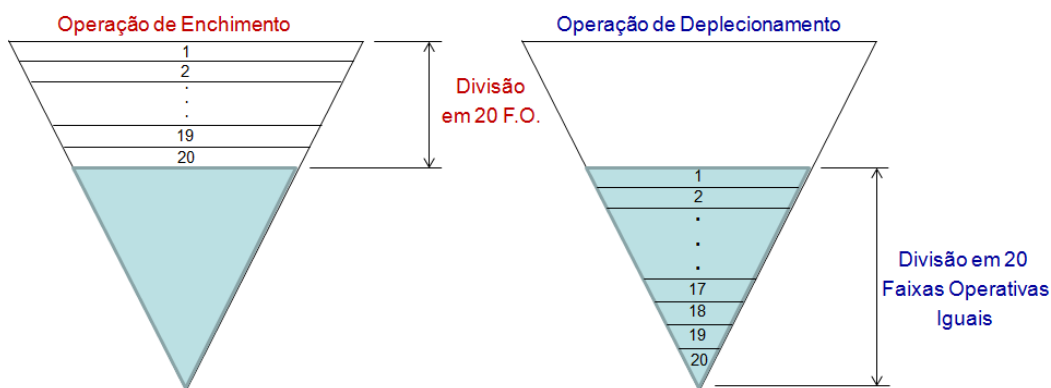


Figura 2 - Ilustração do Processo de Enchimento / Esvaziamento Utilizando Faixas Operativas Dinâmicas

O modelo SUIISHI, em sua versão 8.2.4, previamente à operação do sistema, utiliza a vazão afluente aos reservatórios para tentar, na medida do possível, recuperá-los. Apenas após esta operação de enchimento, o sistema é operado para o atendimento à carga crítica. Ao proceder desta forma, a operação dos reservatórios se dá em paralelo, porém tendo como referência o estado dos reservatórios após a operação de enchimento.

Pelo caso (ii), observou-se que a operação de enchimento dos reservatórios de Tucuruí e Serra da Mesa do modelo SUIISHI com faixas dinâmicas não ocorria de forma concomitante, diferente do que se observava a partir dos resultados do modelo MSUI. Isto ocorria porque o modelo MSUI divide as faixas dinâmicas com base no volume final dos reservatórios no mês anterior.

Com o objetivo de utilizar os resultados do modelo MSUI como base de comparação para os resultados do modelo SUIISHI, o processo de recuperação inicial dos reservatórios foi retirado do algoritmo de solução do modelo SUIISHI quando faixas dinâmicas de operação forem utilizadas, dando origem à versão 8.2.5.

O Anexo II apresenta resultados do modelo SUIISHI considerando diferentes abordagens operativas. O Anexo III apresenta a comparação dos resultados da versão 8.2.5 do modelo SUIISHI com os obtidos com o modelo MSUI versão 3.2.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-8 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-9 - Priorização do deplecionamento dos reservatórios com base na sua energia armazenada.

- Teste 1 - Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e analisar a operação de diferentes cascatas a fim de verificar a prioridade de deplecionamento dos reservatórios com maior energia armazenada.

Até a versão 8.2.4 do modelo SUSHI, a ordem para o deplecionamento dos reservatórios é definida pelo usuário, topologicamente, ou por meio da produtividade acumulada da usina. Neste último caso, quando mais de uma usina se encontram na mesma faixa de operação, a usina com maior produtividade acumulada possuirá prioridade no deplecionamento do seu reservatório ante as usinas com menor produtividade acumulada. Isto implica em que se há a necessidade de deplecionar o sistema, o deplecionamento ocorrerá de montante para jusante, respeitando as faixas de operação. No caso de necessidade de replecionamento, este ocorrerá de jusante para montante, respeitando as faixas de operação.

A partir da versão 8.2.5 do modelo SUSHI, também é possível que o usuário opte por priorizar o deplecionamento dos reservatórios segundo a sua energia armazenada, ou seja, em uma mesma faixa de operação, os reservatórios com maior energia armazenada serão os primeiros a serem deplecionados. Nesta opção de priorização, o deplecionamento pode se dar em uma ordem diferente daquela que teoricamente maximiza a eficiência do sistema, ou seja, de montante para jusante. O mesmo ocorre para o replecionamento, que não necessariamente se dará de jusante para montante.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.5 do modelo SUSHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 de 2015 adaptado da seguinte forma: (i) considerando apenas as usinas do rio São Francisco, e (ii) apenas as usinas do rio Tocantins. Os resultados foram compatíveis com o esperado, mostrando que as usinas com maior energia armazenada possuem prioridade no deplecionamento com relação às usinas de menor energia armazenada.

Cabe destacar que as funcionalidades 8.2-8 e 8.2-9 permitiram novas bases de comparação com os resultados do modelo MSUI, tendo em vista as diferentes possibilidades para a definição das faixas operativas e das prioridades de deplecionamento dos reservatórios. Os resultados desta análise se encontram descritos nos Anexos II e III.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-9 foi considerada validada pela CPAMP.

#### Funcionalidade 8.2-10 - Implementação do processamento paralelo para os modos de simulação estático e dinâmico.

- Teste 1 - Comparar os resultados dos casos teste na versão WINDOWS e LINUX considerando os modos de simulação estática e dinâmica considerando séries históricas de vazões.

- Teste 2 - Executar os casos teste com a ativação da divisão da geração hidráulica individualizada por patamar de carga, e, para séries específicas, comparar os resultados com a versão WINDOWS.
- Teste 3 - Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e verificar a impossibilidade de execução com mais de um processador. Comparar os resultados obtidos com a versão WINDOWS.
- Teste 4 - Verificar se a importação dos resultados gerados pela versão LINUX está sendo feita corretamente pelo ENCAD.

Os testes 1, 2, 3, e 4 foram realizados com a versão 8.2 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do PMO de Fevereiro de 2015.

Tal como o esperado, nas simulações estáticas para cálculo de energia firme, não foi possível executar o modelo SUIISHI, versão Linux, com mais de 1 processador. Uma vez que este modo de simulação utiliza apenas uma série hidrológica, não existe a opção de execução em paralelo.

Adicionalmente, ainda no modo de simulação para cálculo de energia firme, os resultados obtidos com a versão Windows e Linux foram idênticos, tanto para o deck de dados do PMO de Fevereiro de 2015, quanto para o caso base para o LEN A-5 2015.

As análises envolvendo o modo de simulação dinâmica foram feitas utilizando-se o PMO de Fevereiro de 2015. Os resultados associados ao custo marginal de operação, à energia armazenada, geração térmica, energia vertida, custo total de operação, déficit, e excesso de geração foram avaliados para todos os 4 subsistemas, considerando tanto a média das séries históricas de vazões, quanto para séries isoladas, tal como as séries de 1932 e 1952. Tal como o esperado, os resultados das versões Windows e Linux se mostraram aderentes entre si, sem que diferenças relevantes fossem observadas. As diferenças observadas se justificam pela mudança do pacote de otimização utilizado (OSL para COIN).

Repetindo a análise descrita no parágrafo anterior, porém ativando o módulo de divisão da geração hidráulica individualizada por patamar de carga, para as séries hidrológicas de 1932 e 1952, observou-se que os resultados agregados de geração hidráulica, em cada subsistema, são aderentes entre as versões Windows e Linux.

Apesar disto, observou-se que as metas de geração hidráulica, em cada patamar de carga, apresentaram desvios quando comparados os resultados das versões Windows e Linux, entretanto, verificou-se que ambas as soluções levam ao mesmo custo de operação. Sendo assim, as diferenças encontradas também foram atribuídas à mudança do pacote de otimização utilizado.

Tendo em vista as diferentes metas de geração hidráulica, por patamar de carga, encontradas pelas versões Windows e Linux, os resultados do módulo de divisão da

geração hidráulica individualizada por patamar de carga também apresentou diferenças, porém, em ambos os casos, os resultados deste módulo foi compatível com a meta fornecida.

Com relação ao funcionamento da interface gráfica, em todos os testes realizados, o processo de importação dos resultados da versão Linux ocorreu sem que qualquer problema fosse observado.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-10 foi validada pela CPAMP para o modo de simulação para cálculo de energia firme. Com a continuação dos testes para o modo de simulação dinâmica, esta funcionalidade deverá ser validada para este modo.

Funcionalidade 8.2-11 - Para as análises de energia firme, correção dos apontadores das usinas do rio Tocantins quando da transformação do caso para um único subsistema. Por exemplo, na versão anterior, a usina de Lajeado passava a apontar para o mar, ao invés de apontar para a UHE Estreito Tocantins.

- Teste 1 - Converter os casos NEWAVE para a realização de análises de cálculo de energia firme considerando subsistema único, e verificar a correta formação das cascatas, em particular a cascata do rio Tocantins e todas as demais que possuam usinas fictícias.

O teste foi realizado com a versão 8.2.3 do modelo SUSHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015 e o modo de simulação para cálculo de energia firme. Após a conversão do caso, verificou-se que as usinas fictícias foram retiradas e as cascatas foram formadas corretamente.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-11 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-12 - Correção da exportação do arquivo DSVAGUA quando estes valores eram alterados na interface gráfica do modelo SUSHI. Na versão 8.1.1 os valores alterados não estavam sendo escritos corretamente.

- Teste 1 - Tanto para simulações dinâmicas quanto para cálculo de energia firme, converter os casos teste NEWAVE, alterar os valores de desvio d'água para algumas usinas, gerar os arquivos de entrada para a execução do modelo SUSHI, e verificar a adequação do arquivo de desvio d'água às modificações realizadas.

O teste foi realizado com a versão 8.2.3 do modelo SUSHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-5 2015, dos PMOs de Abril e Julho de 2014, e do PMO de Fevereiro de 2015. Após a conversão dos casos teste, alterou-se o desvio d'água de determinadas usinas via interface gráfica, entre elas as usinas de 14 de Julho e de Jirau, e verificou-se que a exportação foi feita corretamente.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-12 foi considerada validada pela CPAMP.

Funcionalidade 8.2-14 - Utilização da "Queda de Referência" informada nos dados de cadastrona determinação da vazão nominal da usina.

- Teste 1 - Converter os casos teste e verificar se todas as usinas alcançam valores de potência disponível iguais às suas respectivas potências instaladas, verificando se o engolimento máximo da usina está aderente à queda de referência informada no cadastro.

O teste foi realizado com a versão 8.2.8 do modelo SUIHI, utilizando-se o deck de dados do caso pós LEN A-5 de 2015 no modo de simulação para cálculo de energia firme. Após a conversão e execução do caso teste, verificou-se que, ao longo do horizonte de estudo, todas as usinas alcançaram potência disponível igual às suas respectivas potências instaladas.

Da usina de Rosal, única no rio Itabapoana, que não tem capacidade de regularização, e no cadastro de usinas hidrelétricas a queda de referência desta usina é de 186 m, enquanto seu engolimento efetivo é de 16 m<sup>3</sup>/s. Quando se calcula a queda de referência a partir do engolimento efetivo obtém-se o valor de 190,2 m, sendo que os valores de queda líquida obtidos na simulação são todos inferiores a este valor. Desta forma, na simulação não se verifica que a usina seja capaz de fornecer sua potência instalada. Entretanto, quando se passou a empregar, na versão 8.2.8, a queda de referência informada nos dados de cadastro para determinar a vazão nominal, foi possível permitir que a usina de Rosal fornecesse a disponibilidade equivalente à potência instalada.

Adicionalmente foi verificado se todas as usinas do caso base para o LEN A-5 de 2015 são capazes de fornecer a potência instalada ao longo do histórico de simulação. Nesta verificação, identificaram-se 9 usinas que não atingem a potência instalada, das quais 7 apresentam o mesmo resultado no modelo MSUI, mostrando que este fato reflete o que consta nos dados cadastrais. As usinas que divergem entre os modelos são: Coaracy Nunes, cujas diferenças foram objeto de validação específica na funcionalidade 8.2-1 e Monte Claro, que apresentou diferença no engolimento máximo calculado pelos dois modelos<sup>2</sup>, que também já havia sido observado na validação da funcionalidade 8.2-2.

**Conclusão:** A funcionalidade 8.2-14 foi considerada validada pela CPAMP.

---

<sup>2</sup> No modelo SUIHI o engolimento máximo é calculado previamente ao início da simulação a partir do canal de fuga referente à defluência média do mês, enquanto no MSUI considera o canal de fuga calculado por uma convergência com o engolimento máximo.



### 3.8 Análise Comparativa entre os Modelos MSUI e SUIHI

Com o objetivo de avaliar o desempenho das diferentes abordagens de faixas operativas dos reservatórios de regularização e prioridades de enchimento/esvaziamento, foram elaboradas simulações com o modelo MSUI<sup>3</sup>, versão 3.2, desenvolvido pela Eletrobras, nos casos base e pós LEN A-5 de 2015.

Estas análises e simulações são detalhadas nos Anexos III e IV, sendo que os resultados mostram que as diversas abordagens apresentam diferenças pouco significativas na carga crítica do sistema e nos somatórios de energias firmes de cada configuração, obtidos com os dois modelos.

No estudo descrito no Anexo III, no qual foram adotadas hipóteses simplificadoras de modo a tornar compatível a simulação do modelo SUIHI à simulação do modelo MSUI, respeitando as funcionalidades não disponíveis no modelo MSUI (conforme seção 5 deste relatório), observam-se acréscimos e reduções nas energias firmes individuais quando se comparam os valores do SUIHI, considerando as quatro abordagens operativas, em relação aos resultados do modelo MSUI (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

Tabela 2 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	70	15	5	28	20	11
Porcentagem de Usinas	47,0%	10,1%	3,4%	18,8%	13,4%	7,4%

Tabela 3 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	70	10	6	35	17	11
Porcentagem de Usinas	47,0%	6,7%	4,0%	23,5%	11,4%	7,4%

Tabela 4 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na produtividade acumulada*

<sup>3</sup> Todos os resultados oriundos do modelo MSUI, constantes neste relatório, foram oriundos de casos processados pela EPE e pelo MME.

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	77	5	1	49	9	8
Porcentagem de Usinas	51,7%	3,4%	0,7%	32,9%	6,0%	5,4%

Tabela 5 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	71	6	4	54	10	4
Porcentagem de Usinas	47,7%	4,0%	2,7%	36,2%	6,7%	2,7%

Já os resultados das Tabelas 6, 7, 8 e 9, apresentadas no Anexo IV, consideram todas as funcionalidades do modelo SUIHI versão 8.2.10 frente ao modelo MSUI versão 3.2, contabilizando os seguintes acréscimos e reduções nas energias firmes individuais quando comparados os valores do SUIHI em relação aos resultados do modelo MSUI.

Tabela 6 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	60	12	5	35	18	19
Porcentagem de Usinas	40,3%	8,1%	3,4%	23,5%	12,1%	12,8%

Tabela 7 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	62	11	5	34	17	20
Porcentagem de Usinas	41,6%	7,4%	3,4%	22,8%	11,4%	13,4%

Tabela 8 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	60	5	2	53	7	22
Porcentagem de Usinas	40,3%	3,4%	1,3%	35,6%	4,7%	14,8%

Tabela 9 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	54	10	5	47	19	14
Porcentagem de Usinas	36,2%	6,7%	3,4%	31,5%	12,8%	9,4%

Da Tabela 9, utilizando a abordagem *faixas operativas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada*, com o total de 149 usinas, observa-se que não há um viés nas diferenças de energia firme entre os modelos SUIHI e MSUI, ou seja, são observados tanto acréscimos quanto reduções nas energias firmes individuais. Observa-se também que a maior parte dessas diferenças se referem a montantes de até 2% nas energias firmes: em 42,9% das usinas os acréscimos de energia firme foram inferiores a 2%, e em 44,3% as reduções de energia firme também foram inferiores a 2%.

Verifica-se que a maior parte das diferenças de valores de energias firmes individuais entre os dois modelos se referem a montantes de até 2%: dependendo da abordagem adotada, entre 43% e 48% das usinas os acréscimos de energia firme foram inferiores a 2%, ao passo que entre 34% e 44% das usinas as reduções de energia firme também foram inferiores a 2%. Nesta faixa de desvio, as abordagens com *faixas dinâmicas* apresentam o menor número de usinas com acréscimo de energia firme (cerca de 43%), enquanto que as abordagens com *faixas estáticas* são as que apresentam o menor número de usinas com redução de energia firme (cerca de 34%).

De maneira geral, tanto nos resultados do Anexo III como do Anexo IV, observam-se diferenças positivas e negativas nas energias firmes individuais encontradas pelos modelos SUIHI e MSUI, não se identificando um padrão de comportamento para estas diferenças.

## 4 Testes Específicos para Avaliação da Simulação Dinâmica

Na seção 3 foram apresentados os resultados dos testes, descritos no Caderno de Testes, para avaliação do cálculo de energia firme, e também os resultados dos testes já concluídos para a avaliação da simulação dinâmica. Nesta seção serão apresentados os demais testes para a avaliação da simulação dinâmica.

Os trabalhos do GT7-CPAMP devem continuar no sentido de concluir o processo de validação das correções, aperfeiçoamentos metodológicos e novas funcionalidades das versões 7.1 à 8.2.8 que tenham impacto no modo de simulação dinâmica do modelo SUIHI. As versões, as funcionalidades implementadas, assim com o Caderno de Testes associado se encontram descritos a seguir.

### Versão 7.1

Funcionalidade 7.1-1 - Implementação do módulo de distribuição da geração hidráulica individualizada por patamar de carga utilizando a técnica de programação quadrática sequencial.

- Executar os casos teste no modo de simulação dinâmica, ativando o módulo de distribuição da geração hidráulica individualizada por patamar de carga, e avaliar a coerência dos resultados obtidos, tanto por subsistema quanto por usina hidroelétrica, comparando-os com os valores médios obtidos pelo módulo de simulação a usinas individualizadas.
- Executar os casos teste no modo de simulação dinâmica considerando e desconsiderando a distribuição da geração hidráulica individualizada durante o período pré, e verificar se a execução ocorreu conforme o esperado.
- Executar os casos teste e comparar os resultados obtidos considerando as duas diferentes abordagens para o agrupamento das usinas do sistema, ou seja, em subsistemas e em bacias.
- Avaliar o cálculo da potência disponível das usinas hidroelétricas em cada patamar de carga.
- Ativar o flag de distribuição da geração hidráulica individualizada por patamar, e verificar a sua correta consideração.
- Ativar o flag de "Resultados por Patamar para o Período Pré" e verificar a sua correta consideração.
- Ativar a opção de divisão do sistema em Bacias e verificar a sua correta consideração, assim como a correta importação do arquivo de associação usina x bacia.

- Na tela de associação Usina Hidroelétrica x Bacia, editar a relação entre as usinas e suas respectivas bacias, e verificar a sua correta consideração.
- Verificar a abertura dos relatórios RELUS.REL, SUIHI.REL, USIHID.CSV, SUBSIS.CSV, USITER.CSV, GERTER.CSV pela interface gráfica.

### **Versão 7.3**

Funcionalidade 7.3-2 - Ampliação do número máximo de usinas hidroelétricas em expansão em uma determinada configuração. Este número passou de 100 para 150 expansões.

- Se necessário, alterar os casos testes para que tenham 150 expansões previstas. Verificar se a execução do modelo é concluída sem erros.
- Se necessário, alterar os casos testes para que tenham 150 expansões previstas. Verificar se a conversão, importação e exportação dos arquivos são concluídas corretamente.

Funcionalidade 7.3-4 - Correção da exibição dos valores de “profundidade do patamar de carga” e “profundidade do intercâmbio” nas telas do Encad. Estes valores não estavam sendo exibidos corretamente quando o deck de dados considerava um período pré ao horizonte de estudo.

- Converter os casos teste que consideram período PRÉ, e verificar a exibição dos valores de “profundidade do patamar de carga” e “profundidade do intercâmbio” nas telas do Encad.
- Verificar se a exportação destes valores está sendo feita corretamente.

Funcionalidade 7.3-5 Correção da importação dos dados de cargas adicionais (C ADIC) quando dois blocos de registros são informados para um mesmo subsistema.

- Se necessário, adaptar os casos teste para que, no arquivo C\_ADIC, dois blocos de registros sejam informados para um mesmo subsistema. Converter o caso NEWAVE e verificar se a conversão, importação, exibição e exportação do arquivo de cargas adicionais está sendo feita corretamente.

### **Versão 7.4**

Funcionalidade 7.4-1 - Correção do cálculo da Energia Armazenada Máxima do Sistema, a qual apresentava problemas na consideração das usinas que haviam completado o enchimento do seu volume morto.

- Executar os casos teste e verificar a variação da energia armazenada máxima do sistema no mês imediatamente após o enchimento do volume morto de uma determinada usina.

## **Versão 7.8**

### **Funcionalidade 7.8-1 - Incorporação da modelagem de despacho antecipado das usinas térmicas à GNL.**

- Executar os casos teste com a consideração de UTEs a GNL e verificar a equação de atendimento à demanda nos meses  $t$  e  $t+k$ .
- Executar os casos teste com a consideração das UTEs a GNL com lag 0, com lag 1, e com lag 2. Comparar os resultados e verificar o despacho antecipado.
- Verificar a correta consideração da taxa de desconto no CVU da UTE a GNL.
- Verificar a correta exibição e a adequação dos dados descritos no menu Usinas Térmicas/GNL.
- Verificar a correta importação dos resultados dos arquivos USITER.CSV e GERTER.CSV, assim como a correta exibição das tabelas e gráficos associados.

## **Versão 8.0**

### **Funcionalidade 8.0-1 - Compatibilização com versão 18 do modelo NEWAVE, o qual permite a consideração dos seguintes mecanismos de aversão ao risco para a construção da política de operação: Conditional Value at Risk (CVaR) e Superfície de Aversão ao Risco (SAR).**

No modo de simulação dinâmica:

- Executar os casos teste com CVaR considerando os seguintes parâmetros: a)  $\alpha=0$  e  $\lambda=0$ ; e b)  $\alpha=100$  e  $\lambda=0$ . Espera-se que os resultados, ambos sem aversão a risco, sejam iguais.
- Executar os casos teste com CVaR considerando os parâmetros a)  $\alpha=0$  e  $\lambda=0$ ; e b)  $\alpha=50$  e  $\lambda=25$  e avaliar os resultados.
- Converter os casos teste considerando os diferentes mecanismos de aversão ao risco, e verificar se a tela "Mecanismos de Aversão ao Risco" apresenta os dados corretamente.
- Verificar se a edição dos dados referentes os mecanismos de aversão ao risco está "travada" pelo ENCAD.

### **Funcionalidade 8.0-2 - Aperfeiçoamento do processo de simulação à usinas individualizadas, o qual passa a liberar o vertimento de todas as usinas hidroelétricas do**

sistema apenas se, na solução do problema de otimização do balanço hidrotérmico, for determinado o corte de carga em algum subsistema.

- Executar os casos teste no modo de simulação dinâmica e acompanhar a operação do sistema pelo relatório SUI.SHI.REL ao longo das iterações de um determinado mês do horizonte. Verificar se o vertimento das usinas para o atendimento à meta de geração hidráulica é liberado, no módulo de simulação, apenas quando houver corte de carga sinalizado pelo módulo de otimização do balanço hidrotérmico.
- Comparar os resultados da versão 8.0 com os da versão 7.8.1 e avaliar os resultados.
- Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e verificar se os resultados são iguais.

Funcionalidade 8.0-5 - Aumento do número máximo de séries históricas de vazões simuladas. Este limite passou para 100 séries históricas.

- Alterar e executar os casos teste considerando 100 séries históricas, verificando a sua correta conversão, exibição dos dados nas telas do ENCAD, e completa conclusão da execução.
- Verificar a correta importação/exibição dos resultados de energia vertida por subsistema pelo ENCAD.

Funcionalidade 8.0-10 - Correção da visualização dos dados da tela “Visualização do Agrupamento de Intercâmbio” na interface gráfica do modelo SUI.SHI.

- Converter os casos teste e verificar a correta visualização dos dados descritos na tela “Visualização do Agrupamento de Interligações” na interface gráfica do modelo SUI.SHI. Analisar a consistência dos dados com os informados no arquivo AGRINT.

## **Versão 8.2**

Funcionalidade 8.2-10 - Implementação do processamento paralelo para os modos de simulação estático e dinâmico.

- Comparar os resultados dos casos teste na versão WINDOWS e LINUX considerando os modos de simulação estática e dinâmica considerando séries históricas de vazões.
- Repetir o teste anterior considerando séries sintéticas de vazões.
- Executar os casos teste com a ativação da divisão da geração hidráulica individualizada por patamar de carga, e, para séries específicas, comparar os resultados com a versão WINDOWS.

- Executar os casos teste com diferentes números de processadores e verificar se não há alteração de resultados.
- Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e verificar a impossibilidade de execução com mais de um processador. Comparar os resultados obtidos com a versão WINDOWS.
- Verificar se a importação dos resultados gerados pela versão LINUX está sendo feita corretamente pelo ENCAD.

Funcionalidade 8.2-13 - Implementação do cálculo da Potência Disponível Revisada em substituição da Potência Disponível Real.

- Executar os casos teste no modo de simulação dinâmica e comparar o PDISP tradicional com o revisado para os diferentes subsistemas, assim como para determinadas usinas. Espera-se que a abordagem revisada seja sempre igual ou inferior à tradicional.
- Realizar a mesma análise anterior, porém considerando a divisão da geração hidráulica individualizada por patamar de carga.
- Verificar a correta importação dos arquivos USIHID.CSV e SUBSIS.CSV, assim como a exibição do PDISP Revisado nos gráficos e tabelas.

**Outros Testes**

1) Avaliação da compatibilização do módulo relativo ao cálculo do Sistema Equivalente entre os modelos NEWAVE e SUISHI.

2) Processamento dos estudos propostos onde a simulação é realizada com séries sintéticas e séries históricas de vazão.

3) Avaliação da representação da sub-motorização no modelo SUISHI.



## 5 Conclusões

Este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do modelo SUIHI pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais de Expansão e Operação - 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 da atual versão desse modelo no processo de cálculo das garantias físicas das usinas hidrelétricas do sistema elétrico brasileiro.

O modelo SUIHI 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 tanto de simulações estáticas como de simulações dinâmicas.

O processo de validação do modelo SUIHI no âmbito da CPAMP teve início no dia 24 de Março de 2015, durante a sua 19ª reunião, e foi finalizado no dia 15 de Junho de 2015, durante a 25ª reunião do GT7-CPAMP, com a conclusão e análise dos testes previstos, culminando com a validação do modo de simulação para cálculo de energia firme, cujos resultados estão descritos neste relatório.

Com os testes realizados, descritos na seção 3, das versões 8.2 a 8.2.10, concluiu-se que todas as inadequações identificadas foram solucionadas. Ressalta-se que diferenças individuais apresentadas no Anexo III, quando comparados os resultados do modelo SUIHI com o modelo MSUI, estão baseadas em análises detalhadas exaustivas, e nas informações do manual de referência do modelo MSUI versão 3.2 e outras prestadas pela Eletrobras. A versão 8.2.10 passará a ser denominada versão 9.0, e está apta para ser utilizada no processo de cálculo das energias firmes das usinas hidrelétricas.

Quanto à simulação especial da bacia do rio Paraíba do Sul, cabe destacar que o reservatório de Lajes não tem sua operação discriminada nas Resoluções ANA que tratam deste sistema hidráulico. Desta forma, são aceitáveis as premissas adotadas neste relatório de validação para a operação do reservatório de Lajes, em paralelo com o reservatório equivalente das demais usinas do sistema Paraíba do Sul, bem como a adoção de uma curva de controle de cheias, tendo em vista que este reservatório não dispõe de vertedouro.

Na avaliação das regras de operação em faixas paralelas descritas nos testes das funcionalidades 8.2-8 e 8.2-9, na seção 3 deste relatório, é importante qualificar estas opções, por exemplo, quanto ao uso de faixas estáticas com regras de prioridade a partir da produtividade acumulada:

- Maior facilidade de reprodução e validação;
- Apresenta valor de energia firme total equivalente ao modelo MSUI;
- Nas simulações do caso pós LEN A-5/2015, o reservatório de Serra da Mesa não depleciona abaixo de cerca de 35%, conforme apresentado no Anexo III;
- Com base nas análises do Anexo II, quando comparadas as quatro abordagens de operação do modelo SUIHI, aquela que fornece a maior carga crítica é a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na energia armazenada*, sendo 0,03% superior à abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada*. A abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada* apresenta carga crítica 0,21% inferior à abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada*.
- Com base nas análises do Anexo IV, na simulação do caso pós LEN A-5/2015 com período crítico definido, o valor de carga crítica encontrado foi de 2,4% inferior ao encontrado no modelo MSUI.

Por outro lado é importante apresentar as características do uso concomitante das faixas dinâmicas e da energia armazenada como critério de priorização dos reservatórios no enchimento/deplecionamento:

- Maior dificuldade de ser validada e reproduzida;
- Apresenta valores de energia firme total equivalentes ao modelo MSUI.
- Nas simulações do caso pós LEN A-5/2015 o reservatório de Serra da Mesa depleciona até 7%, conforme descrito no Anexo III;
- Conforme descrito no Anexo IV, apresenta, em relação ao modelo MSUI, redução máxima de energia firme individual de 6,7% e maior acréscimo de 5,4%. Estes desvios não consideram a bacia do Rio Paraíba do Sul, uma vez que existem diferenças na modelagem para atendimento às restrições estabelecida na Resolução ANA nº 211, de 26 de Maio de 2003. Adicionalmente, o modelo MSUI não atende à resolução ANA nº 1404, de 26 de Novembro de 2013);
- 
- Com base nas análises do Anexo IV, na simulação do caso pós LEN A-5/2015, com período crítico definido, o valor de carga crítica encontrado foi de 2,9% inferior ao encontrado no modelo MSUI.

Cumprе destacar que o uso do modelo SUIHI permite modelar algumas considerações operativas que não são possíveis na versão 3.2 do modelo MSUI:

- Desconsideração do vertimento no cálculo do canal de fuga;

- Operação do reservatório de usina fio d'água para atendimento à restrição de vazão mínima;
- Restrição de nível máximo operativo sazonal;
- Restrição de vazão mínima defluente sazonal.

O Anexo III detalha as avaliações que permitem comparar os resultados de energia firme entre os modelos sob a mesma base de comparação com a carga crítica do sistema definida a priori, e desabilitando no modelo SUIHI as funcionalidades inexistentes no modelo MSUI. Enquanto que o Anexo IV apresenta os resultados de energia firme, através de uma simulação para cálculo de carga crítica, que se espera obter adotando-se todas as funcionalidades disponíveis no modelo SUIHI.

Com base nos resultados do Anexo IV, as Tabelas 10, 11, 12 e 13 contabilizam os acréscimos e reduções nas energias firmes individuais quando se comparam os valores do SUIHI, considerando as quatro abordagens operativas, em relação aos resultados do modelo MSUI.

Tabela 10 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	60	12	5	35	18	19
Porcentagem de Usinas	40,3%	8,1%	3,4%	23,5%	12,1%	12,8%

Tabela 11 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	62	11	5	34	17	20
Porcentagem de Usinas	41,6%	7,4%	3,4%	22,8%	11,4%	13,4%

Tabela 12 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	60	5	2	53	7	22
Porcentagem de Usinas	40,3%	3,4%	1,3%	35,6%	4,7%	14,8%

Tabela 13 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	54	10	5	47	19	14
Porcentagem de Usinas	36,2%	6,7%	3,4%	31,5%	12,8%	9,4%

Verifica-se que a maior parte das diferenças de valores de energias firmes individuais entre os dois modelos se referem a montantes de até 2%: dependendo da abordagem adotada, entre 43% e 48% das usinas os acréscimos de energia firme foram inferiores a 2%, ao passo que entre 34% e 44% das usinas as reduções de energia firme também foram inferiores a 2%. Nesta faixa de desvio, as abordagens com *faixas dinâmicas* apresentam o menor número de usinas com acréscimo de energia firme (cerca de 43%), enquanto que as abordagens com *faixas estáticas* são as que apresentam o menor número de usinas com redução de energia firme (cerca de 34%).

De maneira geral, observam-se diferenças positivas e negativas nas energias firmes individuais encontradas pelos modelos SUSHI e MSUI, não se identificando um padrão de comportamento para estas diferenças.

Desta forma, o modelo SUSHI na sua versão 9.0 está apto para trabalhar com qualquer destas opções. A escolha da opção a ser adotada foge do escopo deste relatório de validação e será objeto de instrumento legal específico a definição da parametrização escolhida.

## **6 Recomendações**

O GT7/CPAMP recomenda a utilização da versão 9.0 do modelo SUIISHI para os estudos de planejamento da expansão que requerem cálculo de energia firme, 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 SUIISHI descritos na seção 4, relativos ao modo de simulação dinâmica de um sistema hidrotérmico, acoplado 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 SUIISHI, e que o grupo acompanhe e teste esses novos desenvolvimentos.

## ANEXO I – Simulação da Bacia do Rio Paraíba do Sul

Neste anexo são apresentados os resultados referentes aos testes da funcionalidade 8.2-7, no tocante às alternativas de operação do reservatório de Lajes, disponibilizadas a partir da versão 8.2.3 do modelo SUIHI. Estas alternativas são listadas a seguir:

- operando para atender o complemento da restrição de vazão defluente em Pereira Passos, fazendo com que este reservatório permaneça a maior parte do tempo cheio;
- operando em paralelo com os demais reservatórios do Sistema Paraíba do Sul;
- operando segundo uma curva de operação (curva de operação pré-estabelecida e/ou curva para controle de cheias).

A configuração destas alternativas pode ser feita na seguinte tela da interface gráfica do modelo SUIHI. Por exemplo, a tela a seguir se refere a uma operação de Lajes em paralelo com as demais usinas do Paraíba do Sul, e considerando uma curva de operação para controle de cheias.

Posto e nome da usina: 124 - Lajes

Configurações | Defluências e Turbinamento Máximo

Tolerância: 0 %V.U.

Reservatório

Curva/Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Limite Inferior	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8
Controle de Cheias	84.0	84.0	84.5	100	100	100	100	100	100	92.0	84.0	84.0
Operação	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Unidade: %V.U.

Operar Lajes em Paralelo com as Usinas do Paraíba do Sul?

Gravar Fechar

Figura I.1 – Tela de Configuração do Reservatório de Lajes

Os gráficos a seguir ilustram a evolução do armazenamento do reservatório de Lajes, para as diferentes alternativas combinadas descritas anteriormente, além da evolução

do reservatório equivalente das usinas de Paraibuna, Santa Branca, Funil e Jaguari. Nas gráficos que ilustram a utilização de uma curva de operação, a curva adotada foi:

Tabela I.1 - Curva de Operação do Reservatório de Lajes Utilizada

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
84%	84%	85,5%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	84%	84%

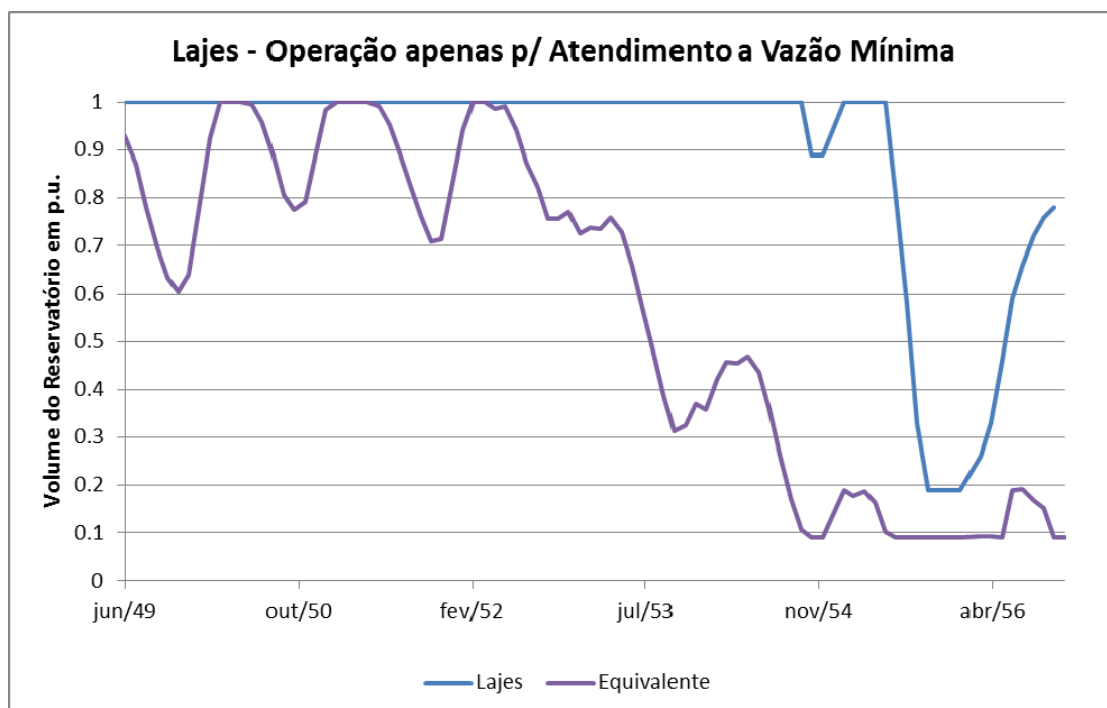


Figura I.2 – Simulação do Reservatório de Lajes apenas para atendimento a vazão mínima em Pereira Passos

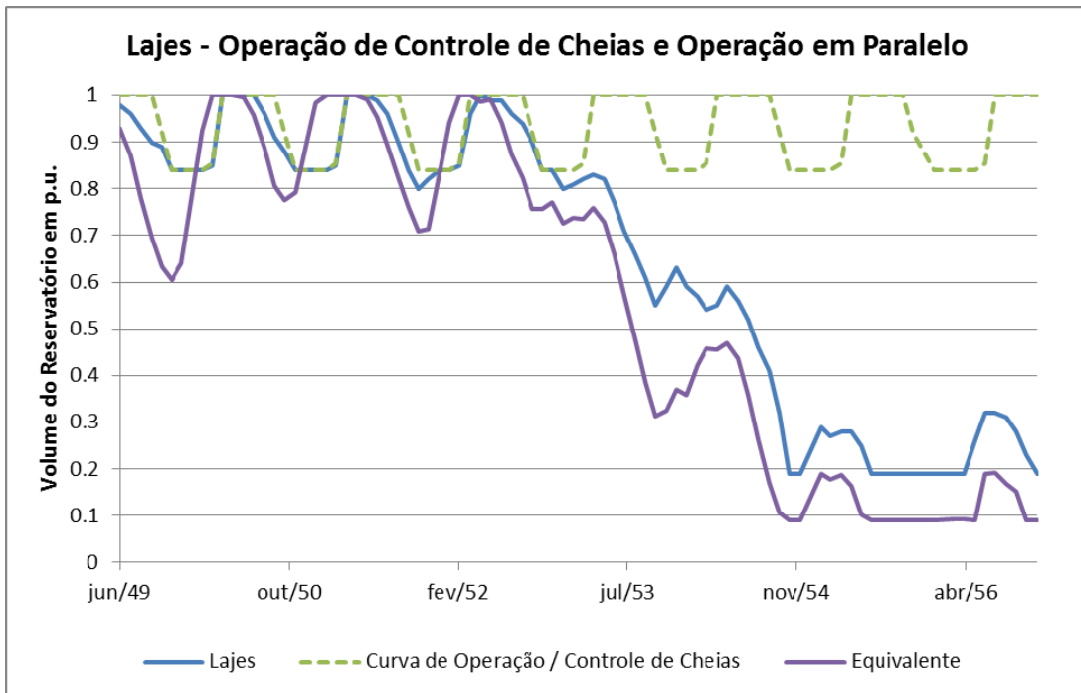


Figura I.3 – Simulação do Reservatório de Lajes com a curva de controle de cheias e operação em paralelo com o sistema Paraíba do Sul

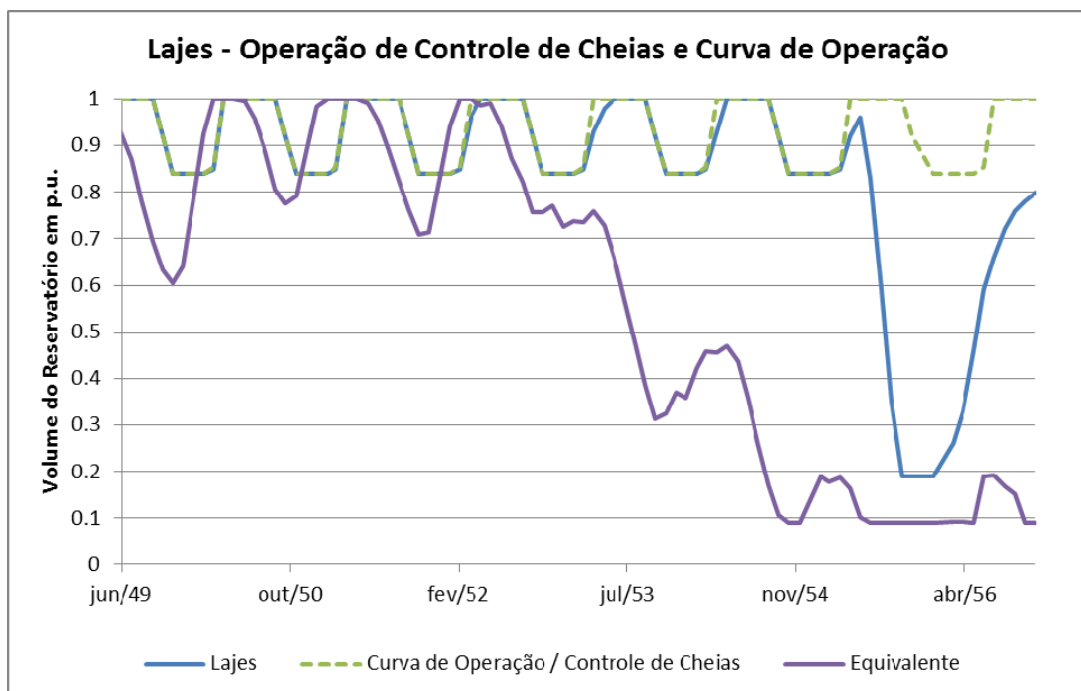


Figura I.4 – Simulação do Reservatório de Lajes com a curva de controle de cheias e curva de operação pré-estabelecida



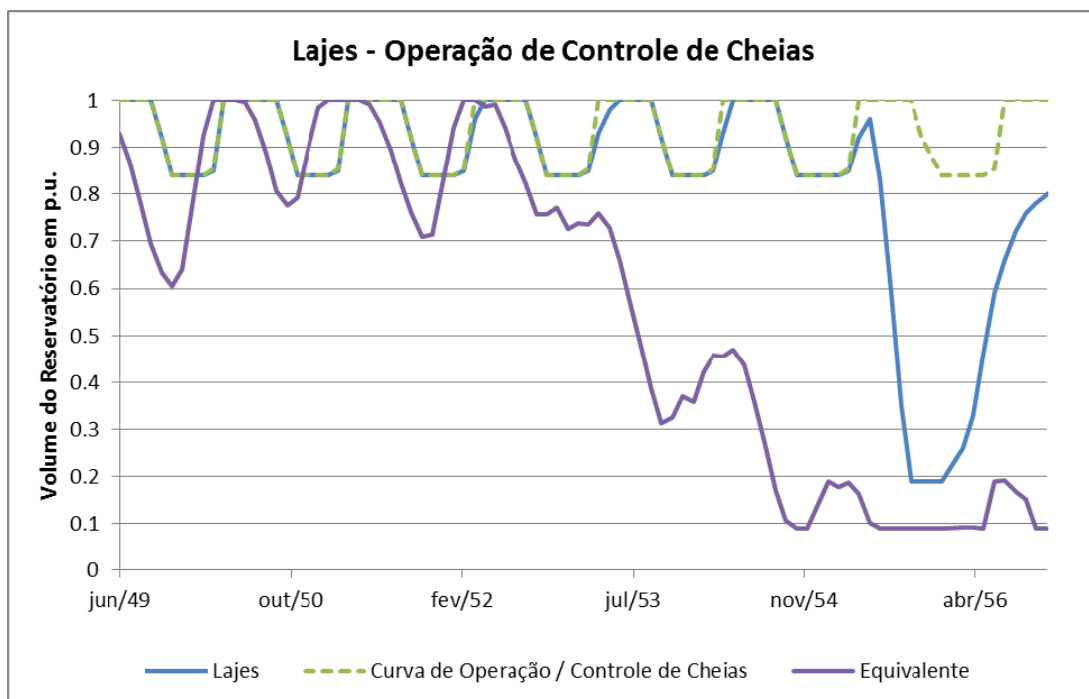


Figura I.5 – Simulação do Reservatório de Lajes apenas com a curva de controle de cheias e atendendo a vazão mínima em Pereira Passos

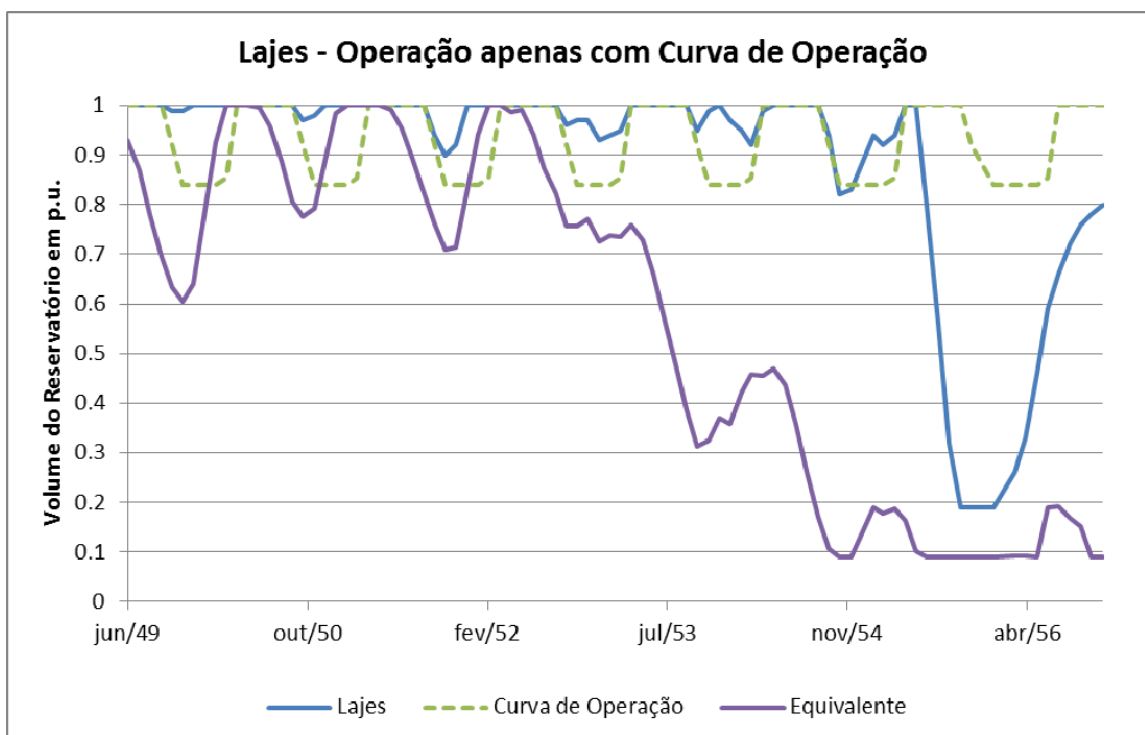


Figura I.6 – Simulação do Reservatório de Lajes apenas com curva de operação pré-estabelecida e atendendo a vazão mínima em Pereira Passos

Destaca-se que todos os resultados foram compatíveis com a metodologia, ou seja: (i) quando se acionou a curva de controle de cheias o modelo a respeitou; (ii) quando se

optou por operar em paralelo com o sistema do Paraíba do Sul, as curvas de volume armazenado se aproximaram; (iii) ao selecionar apenas a curva de operação, o reservatório de Lajes tenta atendê-la; e, finalmente, (iv) ao se optar por nenhuma destas alternativas, este reservatório permanece cheio todo o tempo e depleciona somente para atender a vazão mínima de Pereira Passos.

## ANEXO II – Análise Comparativa de Diferentes Abordagens de Operação no Modelo SUIHI

Tendo em vista as funcionalidades 8.2-8 e 8.2-9 do modelo SUIHI, as quais possibilitam a utilização de faixas dinâmicas de operação, e a priorização do deplecionamento dos reservatórios com base na sua energia armazenada, procedeu-se um conjunto de análises no sentido de avaliar a simulação da operação do sistema segundo quatro abordagens:

- (1) Utilizando faixas operativas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada do reservatório;
- (2) Utilizando faixas operativas estáticas e prioridades com base na energia armazenada do reservatório;
- (3) Utilizando faixas operativas dinâmicas e prioridades com base na produtividade acumulada do reservatório;
- (4) Utilizando faixas operativas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada do reservatório.

Para tanto, utilizou-se a versão 8.2.5 do modelo SUIHI para executar o caso base para o LEN A-5 2015 no modo de simulação estática para cálculo de energia firme. Inicialmente considerou-se o período crítico do sistema pré-definido entre os meses de junho de 1949 a novembro de 1956. Os valores de carga crítica e de somatório de energias firmes individuais encontrados são apresentados na Tabela II.1.

Tabela II.1 - Comparação entre as Abordagens - Período Crítico Definido

	Carga Crítica (MWmédio)	Diferença	E. Firme (MWmês)	Diferença
Faixas Estáticas - Prod. Acumulada	49.417	-	55.553	-
Faixas Estáticas - Energia Armazenada	49.537	0,24%	55.569	0,03%
Faixas Dinâmicas - Prod. Acumulada	48.774	-1,30%	55.569	0,03%
Faixas Dinâmicas - Energia Armazenada	49.153	-0,53%	55.669	0,21%

Com base nestes resultados, verifica-se que as abordagens que utilizam faixas operativas estáticas (abordagens 1 e 2) apresentam cargas críticas superiores (em até 1,30%) às que utilizam faixas dinâmicas. Já com relação ao somatório das energias firmes individuais, todas as abordagens apresentam valores aproximadamente iguais.

Observa-se, também, que fixado o tipo de faixas operativas, o critério de enchimento/esvaziamento baseado na energia armazenada é aquele que apresenta maiores valores de carga crítica e energia firme do sistema.

Realizando a mesma análise, porém utilizando o modo de simulação estática para cálculo de energia firme com busca de período crítico, nota-se um comportamento análogo para os valores de carga crítica (vide Tabela II.2). Já com relação ao somatório das energias firmes individuais, a abordagem que utiliza faixas estáticas e produtividade acumulada (abordagem 1) leva a uma energia firme do sistema de 3% a 4% inferior quando comparada com as demais abordagens.

Adicionalmente, a abordagem 1 também leva ao menor período crítico, indicando ser esta a opção em que o sistema consegue operar com maior nível de armazenamento. As Figuras II.1, II.2 e II.3 mostram a evolução da energia armazenada do sistema para a abordagem 1 comparada a cada uma das outras três abordagens.

Tabela II.2 - Comparação entre as Abordagens - Análise com Busca de Período Crítico

	Carga Crítica (MWmédio)	Diferença	E. Firme (MWmês)	Diferença	Período Crítico
Faixas Estáticas - Prod. Acumulada	49.410	-	54.231	-	jun/51 a nov/55
Faixas Estáticas - Energia Armazenada	49.537	0,26%	55.799	2,89%	jun/49 a nov/55
Faixas Dinâmicas - Prod. Acumulada	48.771	-1,29%	56.395	3,99%	jun/48 a nov/55
Faixas Dinâmicas - Energia Armazenada	49.151	-0,52%	56.076	3,40%	mai/49 a nov/55

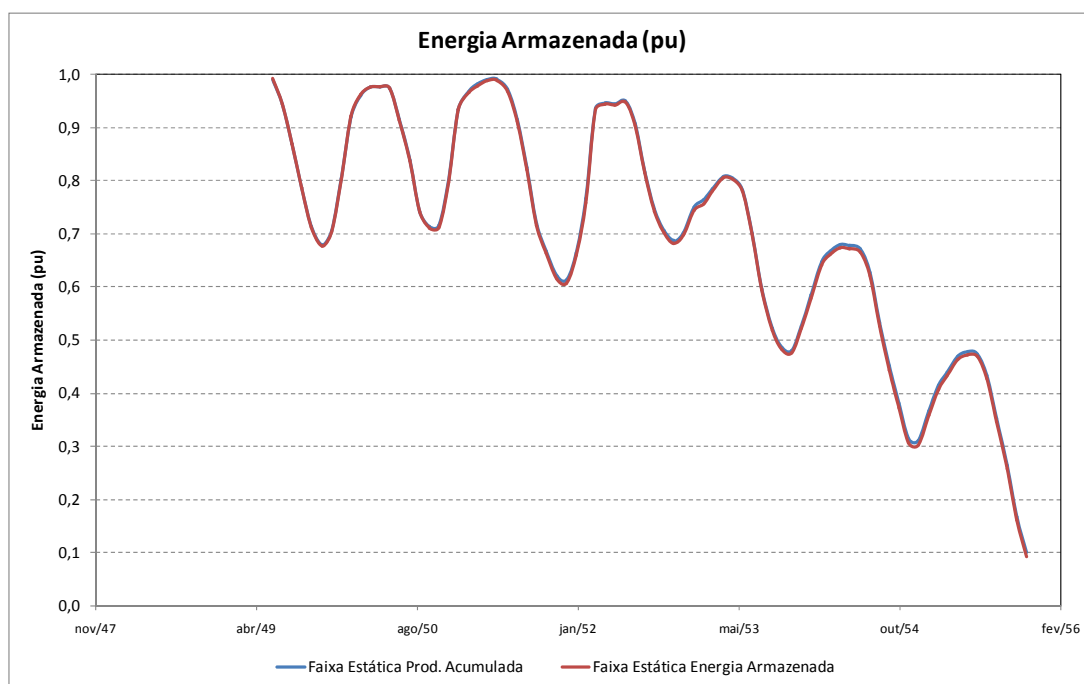


Figura II.1 - Comparação Entre as Abordagens - Faixas Estáticas

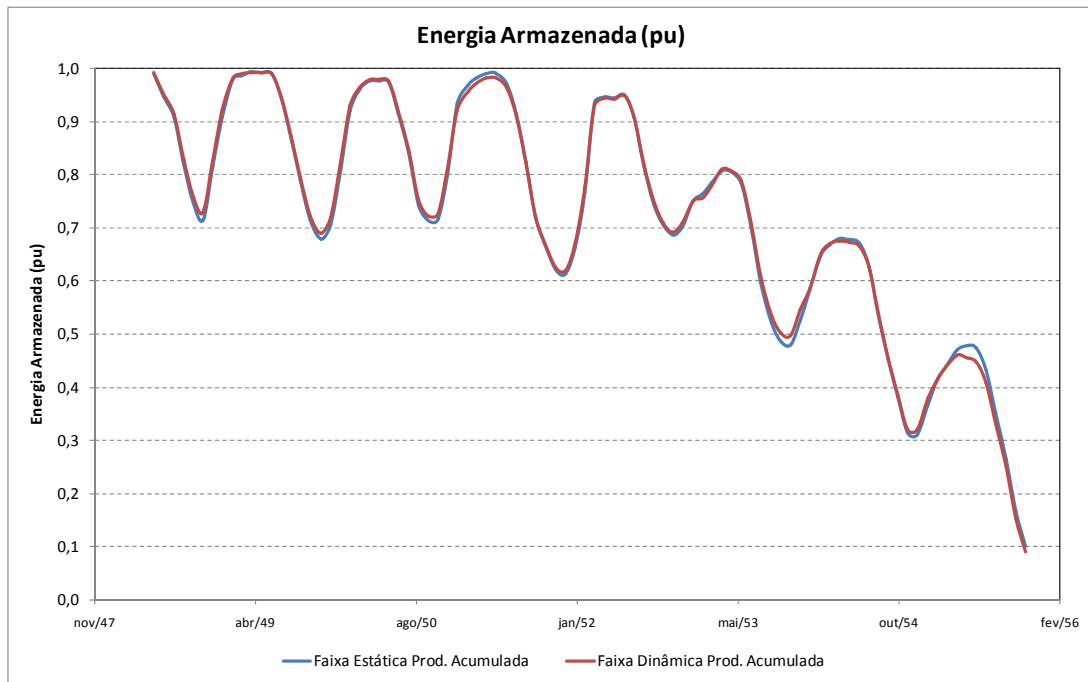


Figura II.2 - Comparação Entre as Abordagens - Produtibilidade Acumulada

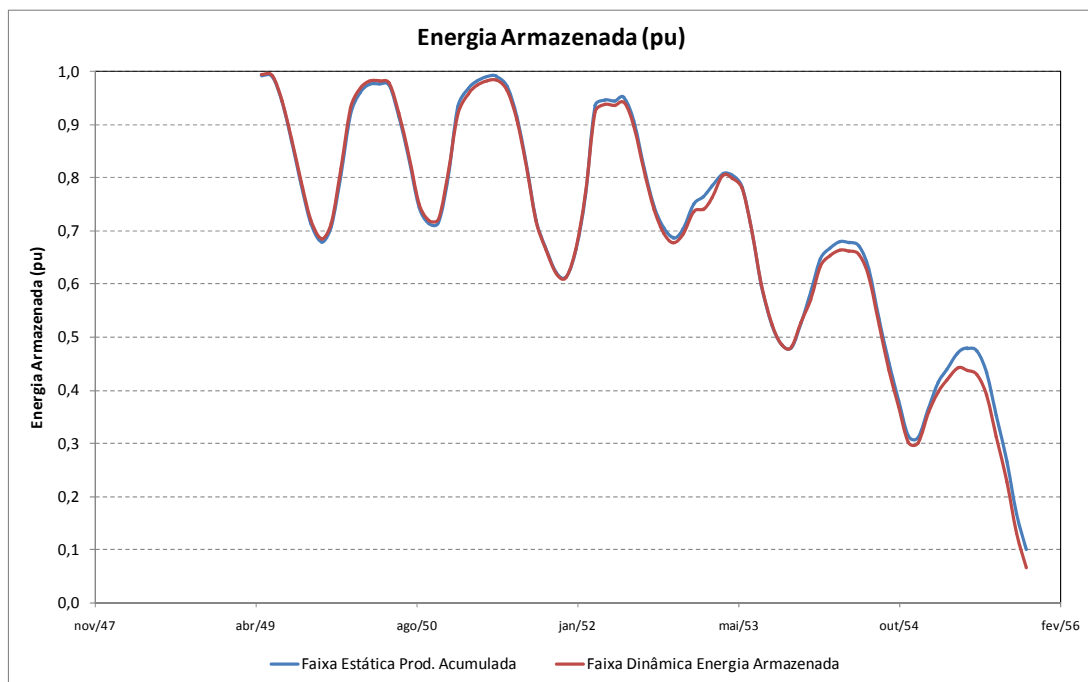


Figura II.3 - Comparação entre as Abordagens - Faixas Estáticas com Produtibilidade Acumulada e Faixas Dinâmicas com Energia Armazenada

Com o objetivo de verificar o impacto das diferentes abordagens sobre características do sistema, tais como CMO, déficit, custo de operação, entre outros, utilizou-se o conjunto de dados do PMO de Fevereiro de 2015 para simular a operação do sistema

por meio do modo de simulação dinâmica do modelo SUIISHI. Os gráficos comparativos entre as diferentes abordagens, considerando valores médios para a série histórica de vazões, são apresentados nas Figuras II.4 a II.14, assim como os valores médios de cada variável são apresentados na Tabela II.4.

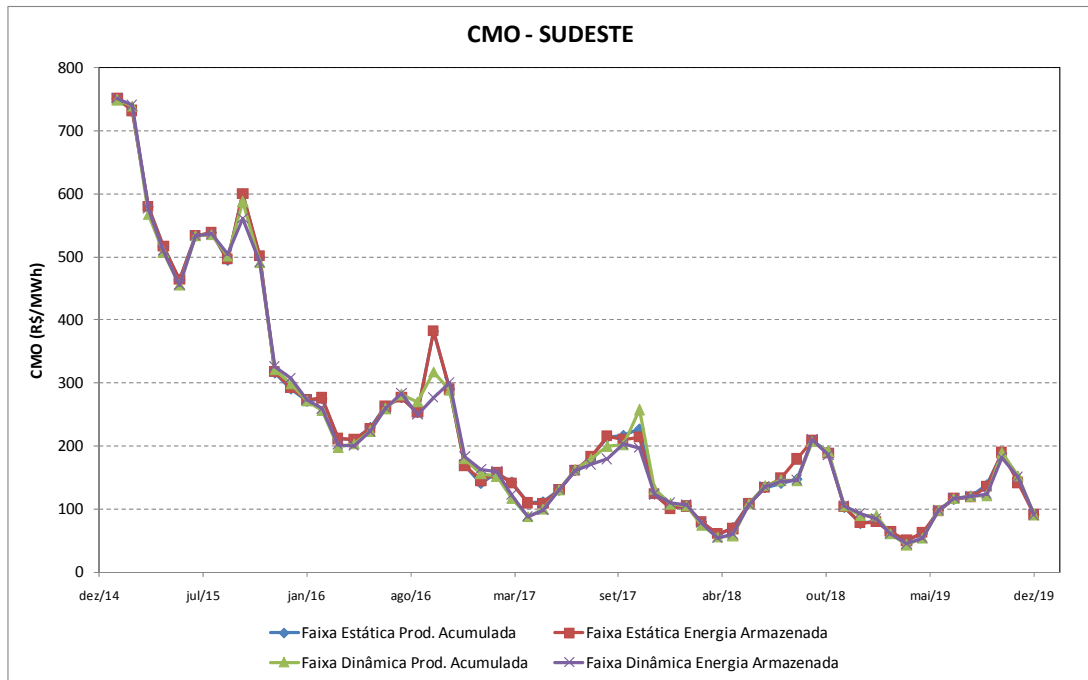


Figura II.4 - Custo Marginal de Operação do Sudeste

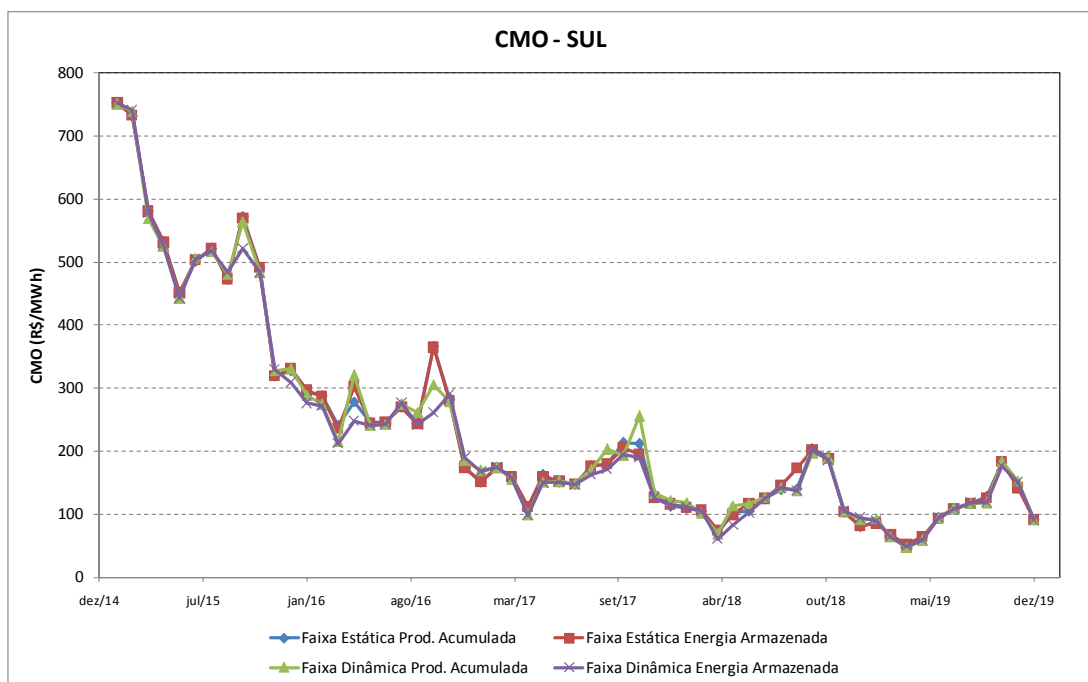


Figura II.5 - Custo Marginal de Operação do Sul

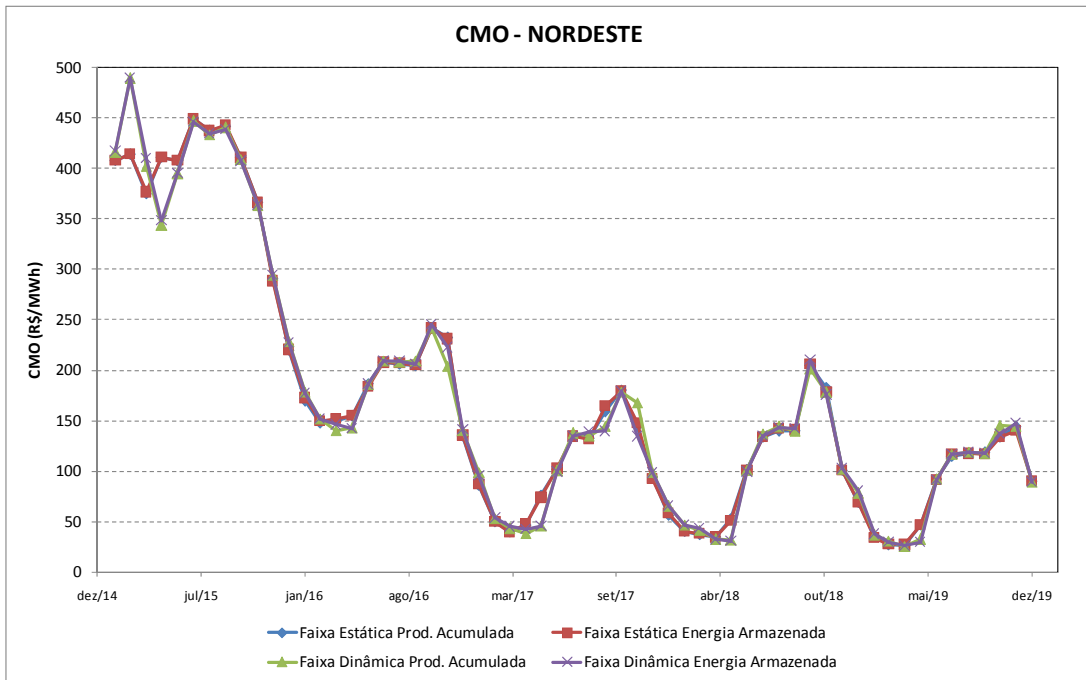


Figura II.6 - Custo Marginal de Operação do Nordeste

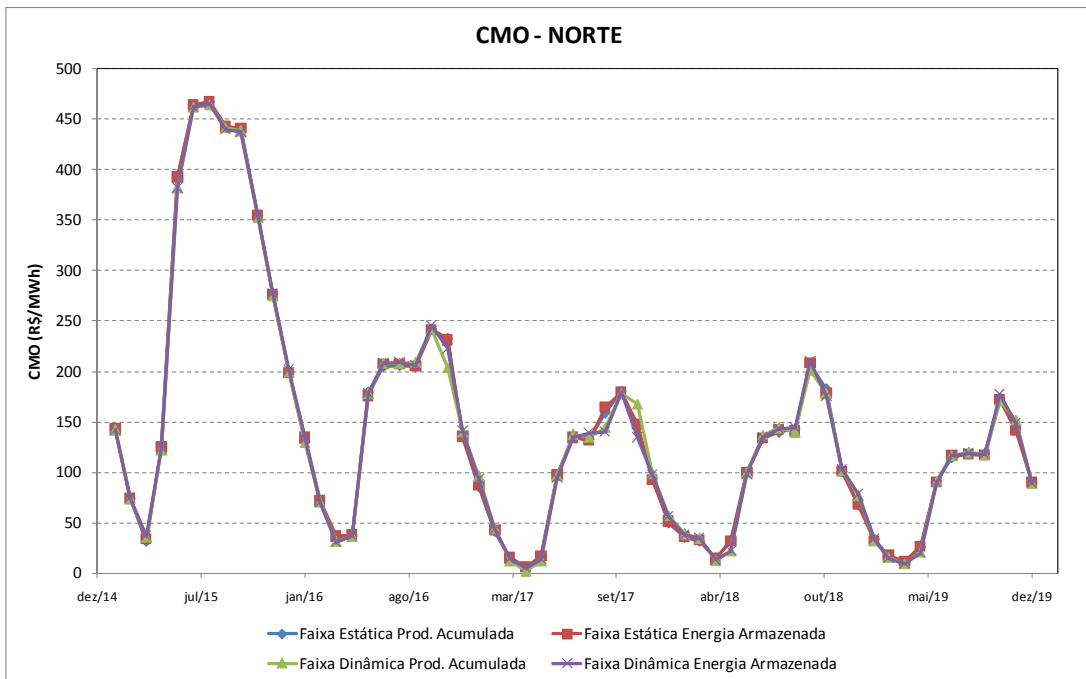


Figura II.7 - Custo Marginal de Operação do Norte

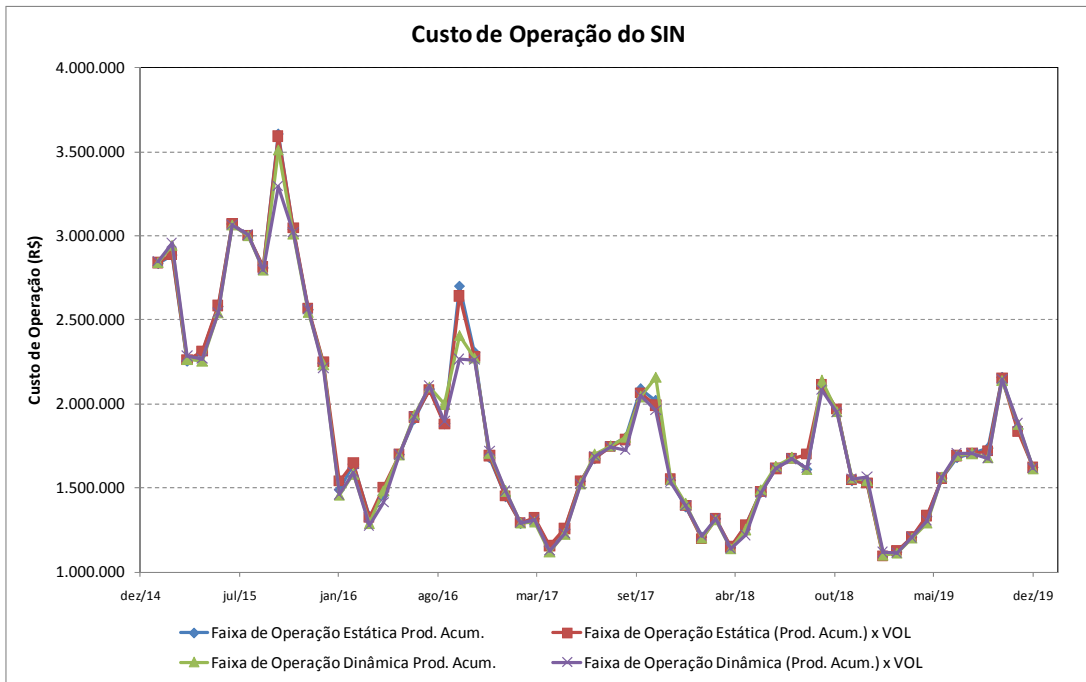


Figura II.8 - Custo de Operação

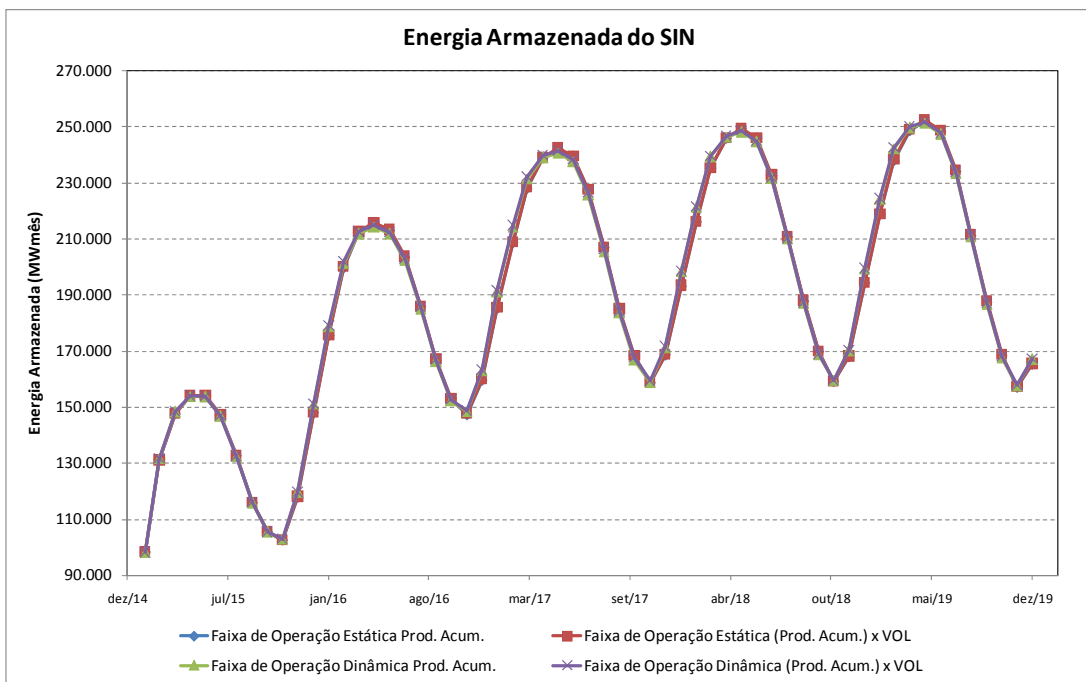


Figura II.9 - Energia Armazenada



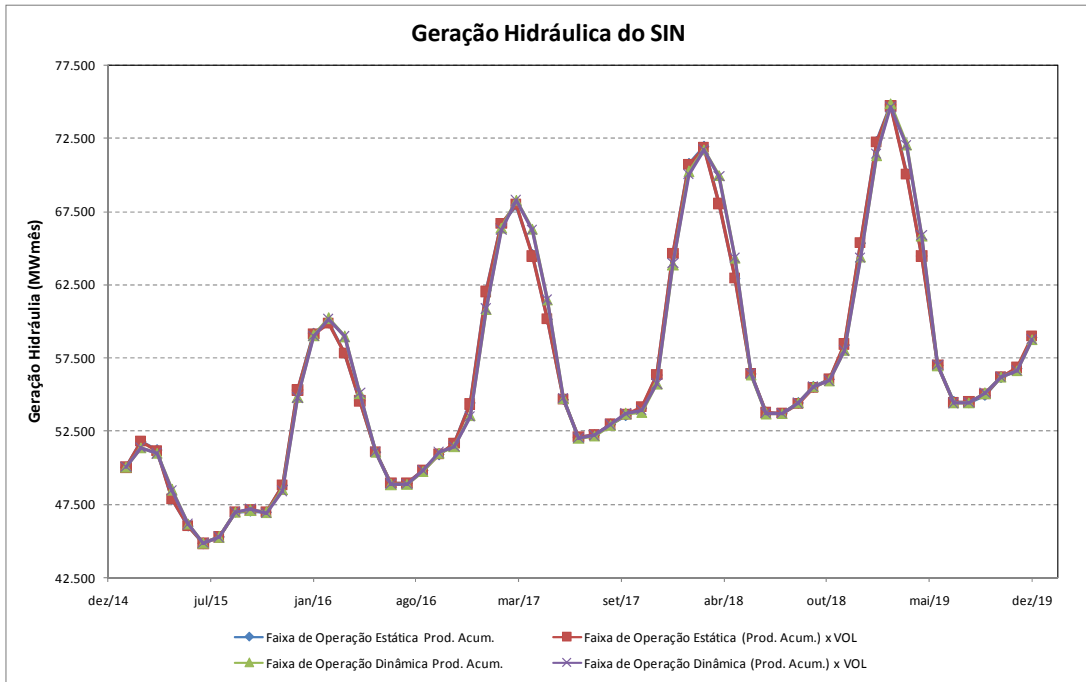


Figura II.10 - Geração Hidráulica

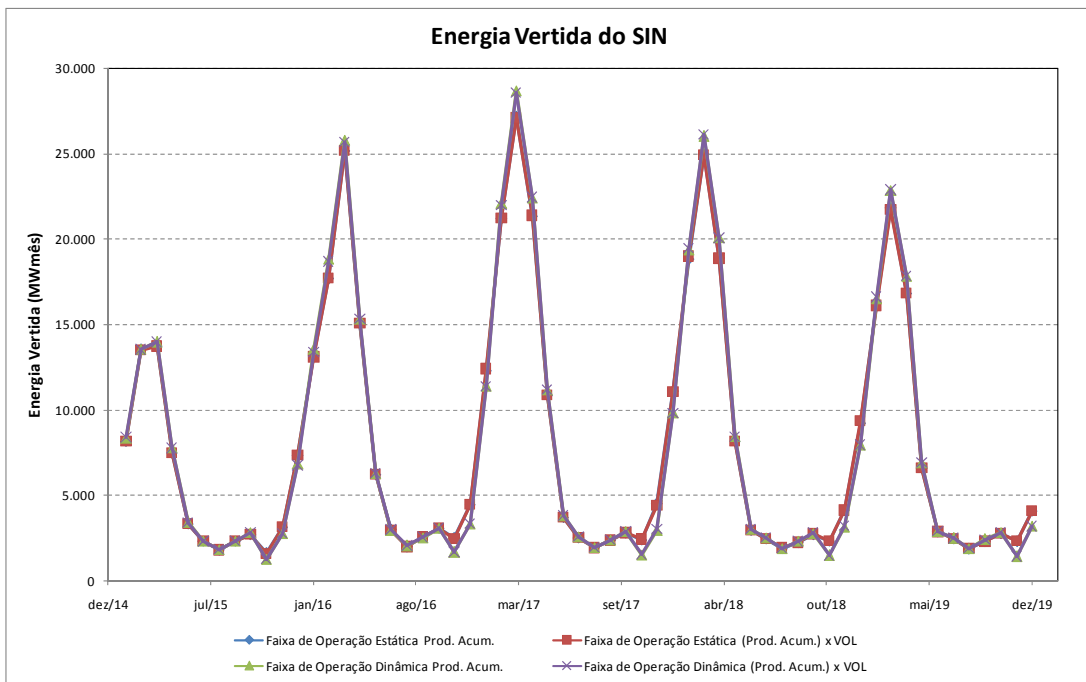


Figura II.11 - Energia Vertida

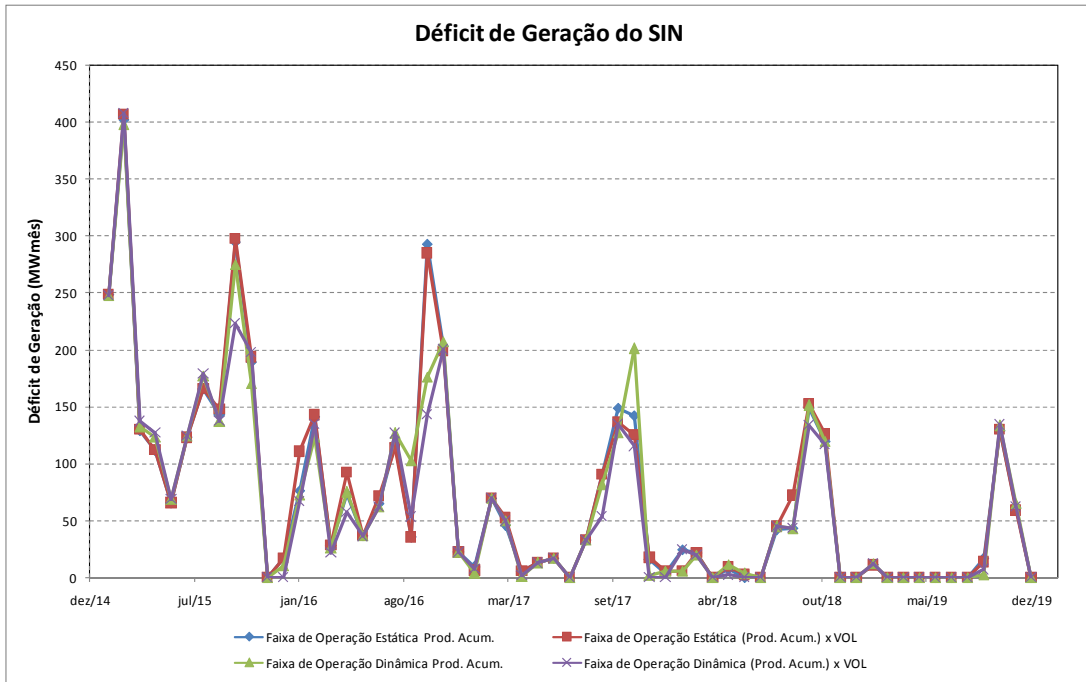


Figura II.12 - Déficit de Geração

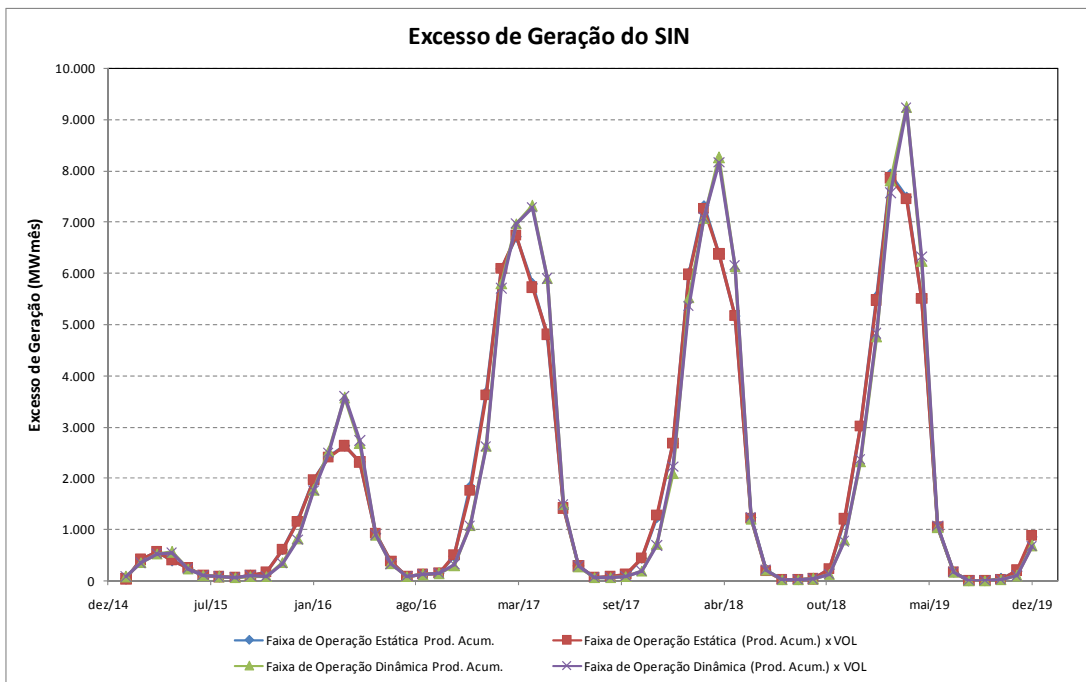


Figura II.13 - Excesso de Geração

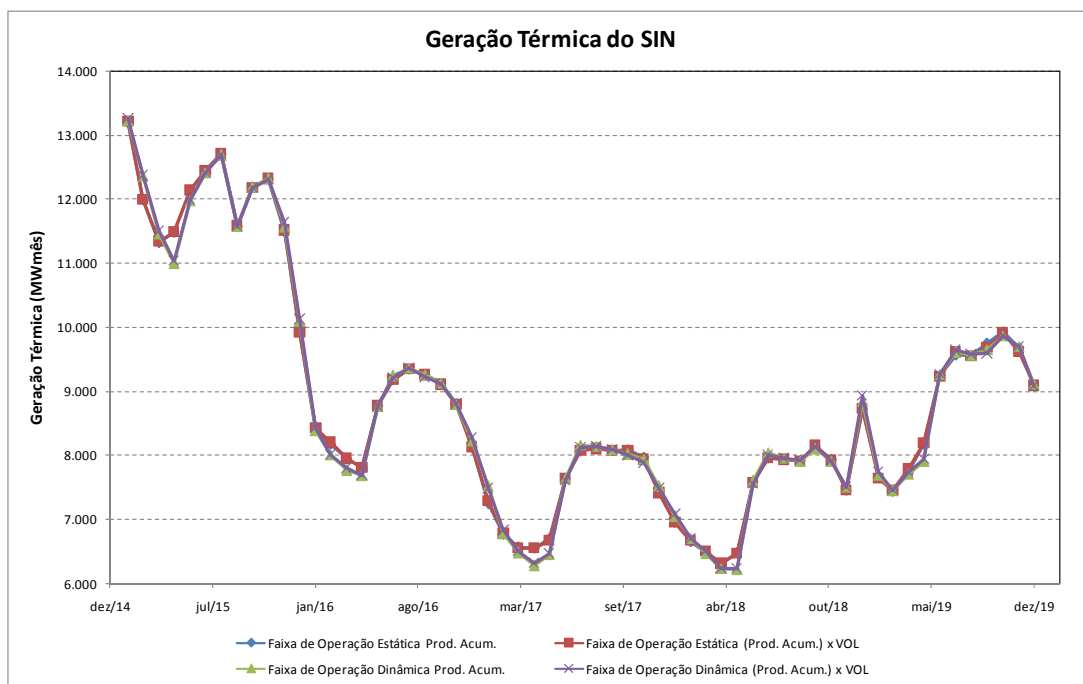


Figura II.14 - Geração Térmica

Tabela II.4 - Valores Médios

	Faixas Estáticas - Acumulada	Prod.	Faixas Estáticas - Energia Armazenada	Faixas Dinâmicas - Prod. Acumulada	Faixas Dinâmicas - Energia Armazenada
CMO SE (R\$/MWh)	232,76		233,05	230,05	228,04
CMO SUL (R\$/MWh)	235,08		235,66	235,35	229,06
CMO NE (R\$/MWh)	171,98		172,01	172,07	172,11
CMO NORTE (R\$/MWh)	141,82		141,88	141,40	141,46
Custo de Operação (R\$)	1.850.499		1.851.149	1.843.418	1.829.775
Energia Armazenada (MWmês)	187.818		188.024	188.524	188.901
Déficit (MWmês)	71		72	70	66
Excesso de Geração (MWmês)	1.867		1.862	1.901	1.895
Geração Hidráulica (MWmês)	56.479		56.475	56.539	56.532
Energia Vertida (MWmês)	7.886		7.883	7.908	7.895

## **ANEXO III – Análise Comparativa das Abordagens de Operação entre os Modelos SUIISHI e MSUI**

Neste Anexo será apresentada uma análise comparativa entre as cargas críticas e o somatório das energias firmes individuais, calculados pelo modelo SUIISHI, segundo as quatro abordagens<sup>4</sup> descritas no Anexo II, e pelo modelo MSUI.

Nesta análise comparativa utilizou-se o caso pós LEN A-5/2015 no modo de simulação estática para cálculo de energia firme com período crítico definido. De modo a tornar compatível a simulação com os modelos SUIISHI e MSUI e respeitar as limitações do modelo MSUI, foram adotadas as seguintes considerações:

- Exclusão das usinas da bacia do rio Paraíba do Sul<sup>5</sup>;
- Exclusão do reservatório de Guarapiranga<sup>6</sup>;
- Influência da vazão vertida no canal de fuga apenas em Coaracy Nunes;
- Exclusão da influência do rio Iguaçu no canal de fuga de Itaipu;
- Mercado de ponta igual ao mercado de energia e fatores de sazonalidade mensal unitários;
- Período crítico definido entre os meses de junho de 1949 a novembro de 1956;
- Carga crítica do sistema fixada em 48994 MW médios<sup>7</sup>.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela III.4.

Tabela III.4 - Comparação entre as Abordagens - Período Crítico Definido

---

<sup>4</sup> (1) faixas operativas estáticas e prioridades com base na produtibilidade acumulada; (2) faixas operativas estáticas e prioridades com base na energia armazenada; (3) faixas operativas dinâmicas e prioridades com base na produtibilidade acumulada; (4) faixas operativas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada.

<sup>5</sup> A representação desta bacia no modelo MSUI não é compatível com aquela adotada no modelo SUIISHI a partir da versão 8.2.4, em conformidade com a Resolução ANA nº1404, de 26 de novembro de 2013,

<sup>6</sup> O MSUI na versão 3.2 não é capaz de representar adequadamente a operação deste reservatório, que não consta da configuração hidrelétrica do LEN A-5/2015 oficialmente utilizada para este modelo.

<sup>7</sup> Nas simulações apresentadas neste anexo, empregou-se em todas as simulações o mesmo valor de mercado (que fora obtido da simulação MSUI) de forma a permitir comparações do módulo de simulação a usinas individualizadas.

Modelo	Energia Firme (Mwmed)	Diferença (%)	Diferença (Mwmed)
MSUI	53998.6	-	-
SUISHI Faixas Estáticas Produtibilidade Acumulada	53845.7	-0.28%	-152.9
SUISHI Faixas Estáticas Energia Armazenada	53820.8	-0.33%	-177.8
SUISHI Faixas Dinâmicas Produtibilidade Acumulada	53886.8	-0.21%	-111.8
SUISHI Faixas Dinâmicas Energia Armazenada	53963.0	-0.07%	-35.6

Os resultados obtidos entre os modelos SUISHI e MSUI foram muito próximos, sendo a maior diferença igual a -0,33% quando utilizada a abordagem *faixas operativas estáticas e prioridades com base nas energias armazenadas*, e a menor diferença foi igual a -0,07% quando utilizada a abordagem *faixas operativas dinâmicas e prioridade com base nas energias armazenadas*.

De forma geral, as Tabelas III.5, III.6, III.7 e III.8 contabilizam os acréscimos e reduções nas energias firmes individuais quando se comparam os valores do SUISHI, considerando as quatro abordagens operativas, em relação aos resultados do modelo MSUI.

Tabela III.5 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	70	15	5	28	20	11
Porcentagem de Usinas	47,0%	10,1%	3,4%	18,8%	13,4%	7,4%

Tabela III.6 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	70	10	6	35	17	11
Porcentagem de Usinas	47,0%	6,7%	4,0%	23,5%	11,4%	7,4%

Tabela III.7 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	77	5	1	49	9	8
Porcentagem de Usinas	51,7%	3,4%	0,7%	32,9%	6,0%	5,4%

Tabela III.8 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	71	6	4	54	10	4
Porcentagem de Usinas	47,7%	4,0%	2,7%	36,2%	6,7%	2,7%

De maneira geral, observam-se diferenças positivas e negativas nas energias firmes individuais encontradas pelos modelos SUISHI e MSUI, não se identificando um padrão de comportamento para estas diferenças.

## **ANEXO IV – Análise Comparativa entre os Modelos SUIISHI e MSUI – Sistema Interligado Nacional**

Neste anexo são apresentados os resultados da análise comparativa do cálculo da carga crítica e energia firme do Sistema Interligado Nacional (SIN) quando são consideradas todas as funcionalidades do modelo SUIISHI versão 8.2.10, frente ao modelo MSUI versão 3.2.

Para tanto, utilizou-se o conjunto de dados do caso pós LEN A-5 2015, no modo de simulação estática para cálculo de energia firme, e carga crítica com período crítico pré-definido entre os meses de junho de 1949 e novembro de 1956.

De modo a auxiliar a compreensão dos resultados, todas as opções de execução adotadas no modelo SUIISHI se encontram listadas a seguir, algumas das quais não disponíveis no modelo MSUI:

- Curva de controle de cheias para o reservatório de Lajes<sup>8</sup>;
- Curva guia de operação de Jirau;
- Consideração do volume mínimo operativo em detrimento de outras restrições;
- Distribuição da vazão defluente variável entre os patamares de carga, considerando 3 horas na ponta;
- Simulação da bacia do rio Paraíba do Sul<sup>9</sup> com regras especiais, dentre estas a operação de Lajes em paralelo com as usinas deste mesmo rio;
- Uso do reservatório fio d'água para o atendimento da vazão mínima defluente;
- Compartilhamento do reservatório de Belo Monte com Belo Monte Complementar;
- Posto intermediário de Belo Monte;
- Volume máximo operativo sazonal para Sinop;
- Desconsideração da influência do vertimento no nível do canal de fuga para todas as usinas do cadastro (arquivo HIDR.DAT);
- Operação do reservatório de Guarapiranga.

Adicionalmente, o modelo MSUI foi parametrizado de modo que o mercado de ponta fosse igual ao mercado de energia. O caso foi executado no modelo SUIISHI considerando quatro abordagens de operação:

---

<sup>8</sup> De novembro a fevereiro equivalente a 0,84 p.u. , em março 0,855 p.u., em outubro 0,92 p.u., e 1 p.u. para os demais meses.

<sup>9</sup> A representação desta bacia no modelo MSUI não é compatível com aquela adotada no modelo SUIISHI a partir da versão 8.2.4, em conformidade com a Resolução ANA nº 1404, de 26 de novembro de 2013

- (1) Utilizando faixas operativas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada do reservatório;
- (2) Utilizando faixas operativas estáticas e prioridades com base na energia armazenada do reservatório;
- (3) Utilizando faixas operativas dinâmicas e prioridades com base na produtividade acumulada do reservatório;
- (4) Utilizando faixas operativas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada do reservatório.

O resultado da simulação de carga crítica para o caso abordado é apresentado na tabela IV.1:

Tabela IV.1 – Comparação de carga crítica entre as abordagens - Período crítico definido

<b>Modelo</b>	<b>Carga Crítica (Mwmed)</b>	<b>Diferença (%)</b>
<b>MSUI</b>	<b>50045</b>	<b>-</b>
<b>SUIISHI Faixas Estáticas Produtibilidade Acumulada</b>	<b>48824</b>	<b>-2.50%</b>
<b>SUIISHI Faixas Estáticas Energia Armazenada</b>	<b>48829</b>	<b>-2.49%</b>
<b>SUIISHI Faixas Dinâmicas Produtibilidade Acumulada</b>	<b>48272</b>	<b>-3.67%</b>
<b>SUIISHI Faixas Dinâmicas Energia Armazenada</b>	<b>48610</b>	<b>-2.95%</b>

A partir da carga crítica encontrada pelos diferentes modelos e possibilidades de parametrização, o resultado da simulação de energia firme, para a carga crítica encontrada em cada uma das abordagens, é apresentado na tabela IV.2:

Tabela IV.2 – Comparação de energia firme entre as abordagens - Período crítico definido

<b>Modelo</b>	<b>Energia Firme (Mwmed)</b>	<b>Diferença (%)</b>
<b>MSUI</b>	<b>55149.9</b>	<b>-</b>
<b>SUIISHI Faixas Estáticas Produtibilidade Acumulada</b>	<b>54830.1</b>	<b>-0.58%</b>
<b>SUIISHI Faixas Estáticas Energia Armazenada</b>	<b>54838.3</b>	<b>-0.57%</b>
<b>SUIISHI Faixas Dinâmicas Produtibilidade Acumulada</b>	<b>54849.2</b>	<b>-0.55%</b>
<b>SUIISHI Faixas Dinâmicas Energia Armazenada</b>	<b>54954.7</b>	<b>-0.36%</b>



De forma geral, as Tabelas IV.3, IV.4, IV.5 e IV.6 contabilizam os acréscimos e reduções nas energias firmes individuais quando se comparam os valores do SUIHI, considerando as quatro abordagens operativas, em relação aos resultados do modelo MSUI.

Tabela IV.3 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	60	12	5	35	18	19
Porcentagem de Usinas	40,3%	8,1%	3,4%	23,5%	12,1%	12,8%

Tabela IV.4 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas estáticas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	62	11	5	34	17	20
Porcentagem de Usinas	41,6%	7,4%	3,4%	22,8%	11,4%	13,4%

Tabela IV.5 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na produtividade acumulada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	60	5	2	53	7	22
Porcentagem de Usinas	40,3%	3,4%	1,3%	35,6%	4,7%	14,8%

Tabela IV.6 - Acréscimos e reduções nas energias firmes individuais considerando a abordagem *faixas dinâmicas e prioridades com base na energia armazenada*

Intervalos	Acréscimo de Energia Firme			Redução de Energia Firme		
	Até 1%	1% a 2%	>2%	Até 1%	1% a 2%	>2%
Quantidade de Usinas	54	10	5	47	19	14
Porcentagem de Usinas	36,2%	6,7%	3,4%	31,5%	12,8%	9,4%

De maneira geral, observam-se diferenças positivas e negativas nas energias firmes individuais encontradas pelos modelos SUSHI e MSUI, não se identificando um padrão de comportamento para estas diferenças.

