

# Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL



## Relatório Técnico

**Nº/Ano:** 20770/2017    **Nº de Páginas:** 18    **Nº de Anexos:**

**Título:** OPCHEN 3.1.5 Operação Semanal de Controle de Cheias em Situação Normal – Manual de Metodologia

**Departamento ou Divisão:** Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente - DEA

**Área de Responsabilidade:** B200    **Conta de Apropriação:** 1328

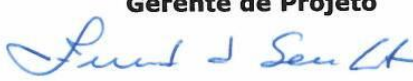
**Cliente:**  
Centrais Elétricas Brasileiras S/A - Eletrobras  
Av. Presidente Vargas, 409 – 12º andar  
20071-003 – Rio de Janeiro/RJ  
**Atenção:**  
Renato Soares Sacramento

**Equipe de acompanhamento:**  
Jonatan Ross – Eletrobras  
Lilian Laubenbacher Sampaio – Eletrobras  
Marcelo Jaques Martins - Eletrobras

**Resumo:**  
Este relatório consiste no Manual de Metodologia do Modelo OPCHEN 3.1.5 – Operação Semanal de Controle de Cheias em Situação Normal.

**Autores:**  
Fernanda Da Serra Costa – Cepel  
Daniela De Souza Kyrillos - Cepel  
Igor Pinheiro Raupp – Cepel  
Priscilla Dafne Shu Chan – Cepel  
Jorge Machado Damázio – Cepel

**Palavras-Chave:**  
Controle de Cheias  
Operação Semanal  
**Classificação:** CONTROLADO

**Gerente de Projeto**  
  
**Nome:** Fernanda da Serra Costa  
**Tel.:** 2598-6411    **Fax:** 2598-6482  
**E-mail:** fernanda@cepel.br

**Chefe do Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente**  
  
**Nome:** André Luiz Diniz Souto Lima  
**Tel.:** 2598-6046    **Fax:** 2598-6482  
**E-mail:** diniz@cepel.br

### Aprovação

  
**Raul Balbi Sollero**  
**Diretor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**  
07 / 11 / 17

**OPCHEN 3.1.5**

***Operação Semanal de Controle de Cheias  
em Situação Normal***

Manual de Metodologia

*-Setembro 2017-*

**ÍNDICE**

<b>I.</b>	<b>HISTÓRICO DE ATUALIZAÇÕES NO OPCHEN.....</b>	<b>4</b>
<b>II.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>III.</b>	<b>O CONTROLE DE CHEIAS NO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO.....</b>	<b>10</b>
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGIA DO MODELO OPCHEN.....</b>	<b>11</b>
<b>V.</b>	<b>UTILIZAÇÃO DO OPCHEN PARA LIBERAÇÃO DA RESTRIÇÃO DOS VOLUMES DE ESPERA</b> <b>16</b>	
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>17</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>17</b>

**Relatório Técnico****I. HISTÓRICO DE ATUALIZAÇÕES NO OPCHEN**

OPCHEN 3.0	Possibilidade de otimização de mais de uma semana de forma global.
OPCHEN 3.1.1	Ajuste nas penalidades das restrições por faixas de armazenamento.
OPCHEN 3.1.2	Alteração da precisão dos volumes na tabela cota x volume gerada a partir do polinômio.
	Aprimoramento nas mensagens de erro.
	Alteração da tolerância na comparação entre volume final e envoltória para identificar o estado de operação.
OPCHEN 3.1.3	Alteração do volume meta quando este é menor do que o volume final mínimo.
	Consideração do vertimento dos reservatórios de montante no cálculo do volume meta.
	Inclusão de volume final máximo e mínimo no relatório.
OPCHEN 3.1.4	Ajuste no cálculo do volume disponível que utilizava a capacidade real não levando em consideração o volume fictício.
OPCHEN 3.1.5	Ajuste na montagem dos custos das restrições de balanço e nas restrições de perda de queda.

**II. INTRODUÇÃO**

O planejamento da operação do Setor Elétrico tem como um de seus objetivos a coordenação cuidadosa da operação do sistema de reservatórios do setor, de forma a evitar-se desperdícios, minimizando os riscos de geração térmica ou de déficits de suprimentos nos sistemas interligados. Esta coordenação inclui a consideração tanto, no planejamento de curto prazo, como na programação diária da operação, da utilização, durante a estação chuvosa, de parte da capacidade dos reservatórios como volumes de espera para a redução de danos causados por cheias de grande porte em áreas a jusante dos reservatórios.

A cada ano a alocação de volumes de espera a ser utilizada tem como base os Estudos de Prevenção de Cheias, onde os riscos de geração térmica futura e de

## Relatório Técnico

déficit de suprimento são calculados por simulações da operação dos sistemas interligados sob diferentes hipóteses de alocação de volumes de espera correspondentes a tempos de retorno de cheias selecionados.

A metodologia atualmente em uso nos Estudos de Prevenção de Cheias para definição dos volumes de espera, descrita em detalhes em [1], [2] e [3], considera a incerteza hidrológica através do uso de conjuntos de séries sintéticas de afluências diárias ao sistema (modelo DIANA) e adota as *condições de controlabilidade (c.c.)*, onde o sistema de reservatórios analisado é decomposto em *sistemas parciais (s.p.)*, representando-se cada sistema parcial por um *reservatório equivalente*, para o qual calcula-se uma curva-guia superior para toda a estação chuvosa (curva de volume de espera), tomada como a envoltória de trajetórias do volume armazenado, críticas sob o ponto de vista do controle de cheias (modelo CAEV). O problema da desagregação espacial de curvas de volumes de espera de reservatórios equivalentes em curvas individualizadas para cada reservatório do sistema é formulado como um problema linear estocástico com função objetivo refletindo interesses da geração de energia elétrica (modelo VESPOT).

Uma vez escolhida a alternativa de alocação de volumes de espera, passa-se à segunda etapa do planejamento da operação hidráulica quando são elaboradas as diretrizes e instruções para a operação durante a ocorrência de cheias, considerando duas condições, a saber: operação normal e operação em emergência.

A operação em emergência é caracterizada pela ocorrência de uma cheia com perspectiva de esgotamento dos volumes de espera dos reservatórios, sendo necessário providenciar descargas defluentes totais que superam as restrições a jusante dos aproveitamentos, provocando danos. Nesta situação as regras de operação são definidas de forma a garantir a segurança da barragem, ficando em segundo plano a operação energética e a proteção das áreas a jusante.

## Relatório Técnico

Por outro lado, a operação normal é caracterizada pela ocorrência de uma cheia que permanece, ao longo de sua duração, sem perspectiva de esgotamento dos volumes de espera dos reservatórios e de liberação de descargas defluentes que ultrapassem restrições a jusante dos aproveitamentos. As regras de operação neste caso, têm como objetivo permitir a utilização dos volumes de espera da melhor forma possível sob o ponto de vista energético.

Tanto os volumes de espera adotados nos Estudos de Prevenção de Cheias, quanto as diretrizes e instruções para operação durante a ocorrência de cheias devem ser considerados durante o planejamento de curto prazo. Com este objetivo, foi desenvolvido o modelo OPCHEN. Este relatório descreve a metodologia adotada na versão 2.0 do modelo OPCHEN.

Em relação a versão 1.4 do modelo OPCHEN, a versão 2.0 [6] incluiu aprimoramentos cujo objetivo é a compatibilização das regras de operação e facilidades com o modelo OPCHEND 5.1:

### Alterações na solução do problema

- Alteração das prioridades
- Correção das penalidades
- Mudança do pacote de programação linear
- Inclusão dos 2 tipos de aproveitamentos:
  - Cabeceira
  - Sem controle de cheias
- Opção de volumes fictícios

### *Alterações dos dados de entrada e saída*

- Arquivo \*.INP e/ou \*.sis
  - Inclusão dos 2 tipos de aproveitamentos:
    - Cabeceira
    - Sem controle de cheias
  - Entrada de dados com cota

## Relatório Técnico

- Leitura da tabela cotaxvolume e/ou polinômios
- Impressões de dados novos no relatório da operação
- Relatório de restrições

A versão 2.3 do OPCHEN consistiu em implementações corretivas e numa modificação de estrutura do relatório “\*.rtc” para que o mesmo fosse mais parecido com o relatório de saída do ARISCO

Na versão 2.4 OPCHEN [7], foram implementadas restrições de volume final máximo e mínimo por reservatório. Estas restrições permitem limitar o volume de espera. Esta mudança metodológica está representada na equação (3) deste manual.

Devido à implementação descrita acima, foi necessário alterar o arquivo de entrada de dados, “XXXX.sis”, em relação às versões anteriores. Agora são necessárias duas informações adicionais por aproveitamento: volume final máximo e volume final mínimo ao final do período.

O relatório “XXXX.rtc” voltou a sua forma original e foi criado o relatório “XXXX.log” que tem estrutura similar a do relatório de saída do programa ARISCO.

Foi mudada a pasta (diretório) onde deve estar o arquivo que contém as tabelas curva cota x volume e seu nome também foi alterado. Agora ele deve ser chamado CVOL.TXT (nome anterior CVOL.INP) e deve estar na pasta SISTEMA (pasta anterior CARTCON).

Foi implementado nesta versão um tratamento para letras maiúsculas e minúsculas o qual foi necessário devido ao uso pelo modelo do arquivo ENVOLT1.ENV, arquivo contendo as envoltórias geradas pelo CAEV, porém produzido pelo SIPPOE.

Foram tratadas as mensagens de inviabilidade.

A versão 3.0 do OPCHEN [8] foi desenvolvida para que a otimização da operação semanal seja feita para mais de uma semana. Esta otimização pode ser seqüencial (otimização semana a semana) ou global (otimização de todas as semanas ao mesmo tempo). Ainda nesta versão foi incluída a restrição de taxa de variação de vazão máxima, em metros cúbicos, entre semanas subseqüentes. Além disso, tanto esta

## Relatório Técnico

última restrição (taxa de variação de vazão) quanto as restrições de envoltórias (volumes de espera) podem ser “relaxadas” em semanas escolhidas, ou seja, elas podem ser ignoradas pelo modelo na otimização da operação.

Na versão 3.0.1 do OPCHEN foi corrigida a implementação da restrição da Taxa de Variação Máxima de Defluência. Para corrigir a implementação, foi decidido que esta mesma restrição só começaria a ser levada em consideração a partir da segunda semana, observando a defluência anterior, ou seja, a defluência na primeira semana. Esta decisão foi tomada para as duas opções de otimização implementadas: Global ou Sequencial.

A versão 3.1 do OPCHEN contemplou as seguintes implementações/melhoramentos:

- Melhoria das mensagens de erros e advertências existentes no modelo;
- Implementação de verificação de inconsistências dos dados de entrada de limites máximos e mínimos de armazenamento;
- Criação do arquivo de erros OPCHEN.ERR, onde estarão escritos todos os erros ou advertências que ocorrerem durante a execução do modelo;
- Possibilidade de relaxamento de envoltórias por semana e por Tempo de Retorno;
- Possibilidade de relaxamento de taxa de variação por semana e por reservatório;
- Inclusão de linhas de comentários no arquivo OPCHEN.INP para melhor explicar os dados de entrada.
- Inclusão da opção de leitura dos dados de aflúncias a partir do arquivo gerado pelo Diana Condicionado (DIANA 4.3), possibilitando utilizar o modelo OPCHEN na simulação da operação de controle de cheias para liberação de restrição de volumes de espera, visando o re-enchimento dos reservatórios no final do período úmido;
- Alteração das penalidades das folgas associadas a defluência energética dos aproveitamentos sem controle de cheias e de cabeceira (penalidade ficou igual a penalidade dos aproveitamentos de controle de cheias) e as associadas às



## Relatório Técnico

faixas de armazenamento (aumento da penalidade para os aproveitamentos sem controle de cheias e de cabeceira).

A versão 3.1.1 do OPCHEN contemplou o ajuste das penalidades associadas às folgas das restrições de faixas de perda de queda dos aproveitamentos que não pertencem ao controle de cheias interdependente (identificada pelo CEPEL em testes internos) e o aperfeiçoamento de formato de algumas mensagens (solicitadas pelo ONS).

A versão 3.1.2 do OPCHEN alterou, na comparação entre o espaço vazio disponível final dos sistemas parciais e as suas respectivas envoltórias, o que indica o estado de operação de controle de cheias nos pontos de controle, a tolerância entre os valores de 0.0001 para 0.01 com o objetivo de maior compatibilidade com o Arisco.

A versão 3.1.3 contemplou as seguintes implementações:

- Alteração do volume meta quando este é menor do que o volume final mínimo, ou seja, é atribuído ao volume meta o valor do volume final mínimo;
- Alteração do volume meta quando este é maior do que o volume final máximo, ou seja, é atribuído ao volume meta o valor do volume final máximo;
- Consideração do vertimento dos reservatórios de montante no cálculo do volume meta;
- Inclusão, no relatório principal, dos valores dos volumes máximos e mínimos finais e também uma coluna onde é impresso o valor do vertimento de cada reservatório durante a operação.

Na versão 3.1.4 foi feito um conserto no cálculo do volume disponível que utilizava a capacidade real não levando em consideração o volume fictício.

Este relatório consiste no manual de metodologia da versão 3.1.5. Esta versão contempla a correção do cálculo do volume disponível nos reservatórios (após a

## Relatório Técnico

solução do Problema de Programação Linear), que não levava em consideração os volumes fictícios dos mesmos.

### III. O CONTROLE DE CHEIAS NO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

Atualmente os estudos energéticos do planejamento de curto prazo adotam os valores de curvas de volumes de espera, definidas nos Estudos de Prevenção de Cheias do ano corrente, como limites dinâmicos no armazenamento máximo de cada reservatório. A estas curvas de volumes de espera está associado um nível de proteção contra cheias, usualmente denominado “risco de cheias”, e especificado pelas probabilidades de rompimento das restrições de defluências do sistema. Vez por outra, os estudos de simulação, identificam que com o relaxamento de alguns valores destas curvas poderia se obter algum ganho energético. Note que, os limites de armazenamento em cada reservatório, definido nos Estudos de Prevenção de Cheias, representam apenas um dos possíveis conjuntos de volumes de espera que atende o risco de cheias adotado naqueles estudos (especificamente o conjunto ótimo segundo o VESPOT), podendo existir outra alternativa que atenda ainda o critério de proteção adotado. Neste sentido, a revisão de volumes de espera sugerida nos estudos energéticos é então testada no modelo ARISCO (Avaliação de Risco) contra às c.c. da semana em análise, para verificar se o ganho energético sugerido implica risco de cheias maior que o adotado nos Estudos de Prevenção de Cheias do ano corrente, podendo, portanto, ser aprovada ou não.

Quando a afluência natural ao sistema, ou a parte do sistema superar o limite de defluência correspondente e os reservatórios envolvidos estiverem no limite dos volumes de espera, e/ou, quando os volumes de espera definidos nos Estudos de Prevenção de Cheias dos reservatórios envolvidos já estejam em parte ocupados, pode não ser possível obter um ponto de operação que mantenha o risco de cheias adotado nos Estudos de Prevenção de Cheias. Nesta situação é necessária a revisão dos volumes de espera. Os estudos energéticos são então refeitos sem considerar os

## Relatório Técnico

limites de armazenamento máximo devido aos volumes de espera, e a programação de defluências resultante é utilizada como restrições de defluência mínima pelo modelo OPCHEN [4], que planeja como se dará na semana em análise a ocupação (ou o esvaziamento) dos volumes de espera definidos nos Estudos de Prevenção de Cheias, através da solução de um problema de programação linear, sujeito à situação hidrológica atual (volumes armazenados e afluições previstas para a semana) e ao atendimento ao final da semana em análise de um conjunto de envoltórias, ordenado de forma crescente pelo risco de cheias, sendo as primeiras envoltórias as correspondentes ao risco de cheias adotado nos Estudos de Prevenção de Cheias.

### IV. METODOLOGIA DO MODELO OPCHEN

Os aproveitamentos hidroelétricos de uma bacia hidrográfica podem ser grupados em três categorias em relação a sua contribuição para o controle de cheias:

- Aproveitamentos que pertencem ao sistema de controle de cheias interdependente da bacia. Neste caso, no cálculo dos volumes de espera, parte do volume útil destes aproveitamentos é alocada para este fim;
- Aproveitamentos que não pertencem ao sistema de controle de cheias da bacia. Estes aproveitamentos não foram considerados na etapa de cálculo dos volumes de espera dos Estudos de Prevenção de Cheias;
- Aproveitamentos de controle de cheias independente e localizados nas cabeceiras do sistema de controle de cheias. Neste caso, o volume de espera alocado neste tipo de aproveitamento é utilizado apenas para a proteção de sua restrição, não contribuindo para o controle de cheias interdependente da bacia.

Seja um sistema onde  $R$  é o conjunto de aproveitamentos hidroelétricos, tal que  $R = R^{CCI} \cup R^{Cab} \cup R^{SCC}$ , onde:  $R^{CCI}$  é o conjunto de aproveitamentos do sistema de controle de cheias interdependente;  $R^{Cab}$  é o conjunto de aproveitamentos de

**Relatório Técnico**

cabeceiras com controle de cheias independente (de sua própria restrição de jusante), e RSCC é o conjunto de aproveitamentos do sistema que não fazem controle de cheias, ou seja, que não pertencem a  $R^{CCI}$  e nem a  $R^{Cab}$ .

Sejam  $V_i$ ,  $i \in R$ , os volumes úteis dos aproveitamentos de cada aproveitamento, e  $M_i$ ,  $i \in R^{CCI} \cup R^{Cab}$ , os limites máximos de defluências em cada aproveitamento que não causam danos à jusante. Seja  $U$  o conjunto de sistemas parciais<sup>1</sup> (Damazio, 1988) do sistema formado por  $R^{CCI}$ . Na estratégia de operação denominada “Otimização Global”, considerando  $nsem$  o número de semanas do horizonte de planejamento de controle de cheias e conhecidos:

- os volumes vazios dos aproveitamentos de  $R^{CCI} \cup R^{Cab}$  ao início das semanas  $t$ ,  $e_i(t-1)$ ;
- as afluições incrementais previstas dos aproveitamentos pertencentes a  $R$  para as  $nsem$  semanas,  $q_i(t)$   $t=1, \dots, nsem$ ;
- as defluências energéticas programadas dos aproveitamentos pertencentes a  $R$  para as  $nsem$  semanas,  $m_i(t)$   $t=1, \dots, nsem$ ;
- os valores das envoltórias de cada sistema parcial  $u \in U$  correspondentes ao final das semanas  $t=1, \dots, nsem$  para cada conjunto  $k$  de envoltórias,  $ENV_{uk}(t)$   $k=1, \dots, K$ . Onde cada conjunto corresponde a um nível de proteção contra cheias (tempo de retorno);
- o valor da envoltória para cada aproveitamento pertencente de  $RCab$ .

Obtêm-se os volumes vazios de cada aproveitamento ao final das  $nsem$  semanas,  $e_i(t)$   $t=1, \dots, nsem$ , através da solução do seguinte problema de programação linear (PPL):

---

<sup>1</sup> Consideram-se como sistemas parciais de um sistema de aproveitamentos todos os conjuntos de aproveitamentos à montante de um ponto de controle de cheias (ponto onde existe restrição de defluência máxima). A decomposição do sistema de reservatórios da bacia em sistemas parciais é necessária na teoria das condições de controlabilidade.

Relatório Técnico

$$F = \text{Min} \left[ \begin{array}{l} \sum_{i \in R} C_1 r_i(t) + \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{CCI}} C_2^f \lambda_i^f(t) + \\ + \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{CCI}} C_3^f \theta_i^f(t) + \sum_{k=1}^K \sum_{u \in U} C_4^k \delta_u^k(t) + \\ \sum_{t=1}^{nsem} \left[ \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{SCC \text{ e } CAB}} C_5^f \lambda_i^f(t) + \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{SCC \text{ e } CAB}} C_6^f \theta_i^f(t) + \right. \\ \left. \sum_{i \in R^{CCI}} C_8 p_i(t) + \right. \\ \left. + \sum_{i \in R^{Cab}} C_{10} \delta_{\{i\}}(t) + \sum_{i \in R^{Cab}} C_{11} p_i(t) \right] + \sum_{t=2}^{nsem} \left[ \begin{array}{l} \sum_{i \in R^{CCI} \text{ } t-d} C_7 v_i(t) + \\ + \sum_{i \in R^{CCI} \text{ } t-d} C_7 v_i(t) + \\ \sum_{i \in R^{Cab} \text{ } t-d} C_9 v_i(t) + \\ \sum_{i \in R^{Cab} \text{ } t-d} C_9 v_i(t) \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (1)$$

Sujeito a:

$$e_i(t) + \sum_{j=1}^n c_{i,j} r_j(t) - r_i(t) = e_i(t-1) - q_i(t-1) \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (2)$$

$$V_i - V \text{ min final}_i \leq e(t)_i \leq V_i - V \text{ max final}_i \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (3)$$

$$r_i(t) \geq m_i \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (4)$$

$$-\sum_{i \in U} e_i(t) - \delta_u^k(t) \leq ENV_u^k(t) \quad , \delta_u^k(t) \geq 0 \quad \forall u \in U \quad k = 1, \dots, K; \quad i \in R^{CCI}; t = 1, \dots, nsem \quad (5)$$

$$r_i(t) - p_i(t) \leq M_i \quad p_i(t) \geq 0 \quad i \in R^{CCI} \cup R^{Cab}; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (6)$$

$$e_i(t) - \lambda_i^f(t) \leq fcima_i^f \quad \lambda_i^f(t) \geq 0 \quad f = 1, \dots, nf, \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (7)$$

$$e_i(t) + \theta_i^f(t) \geq fbaixo_i^f \quad \theta_i^f(t) \geq 0; \quad i \in R; \quad f = 1, \dots, nf; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (8)$$

$$-e_i(t) - \delta_{\{i\}}(t) \leq -VE_{\{i\}} \quad , \delta_{\{i\}} \geq 0; \quad i \in R^{Cab}; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (9)$$

$$r_i(t) - r_i(t-1) + v_i(t) \leq \Delta_i, \quad v_i(t) \geq 0, \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (10)$$

$$r_i(t-1) - r_i(t) + v_i(t) \leq \Delta_i, \quad v_i(t) \geq 0 \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (11)$$

onde:

$r_i(t)$  defluência do aproveitamento  $i$  na semana  $t$ ;

$c_{j,i} = 1$  se o aproveitamento  $j$  está imediatamente a montante do aproveitamento  $i$ ;

$c_{j,i} = 0$  se o aproveitamento  $j$  não está imediatamente a montante do aproveitamento  $i$ ;

## Relatório Técnico

$\delta_u^k(t)$ 's são folgas associadas às envoltórias que descrevem a ocupação dos volumes de espera do sistema parcial  $u$ , associada ao tempo de retorno  $k$  na semana  $t$ ;

$p_i(t)$ 's são folgas associadas a rompimentos das restrições de defluência do aproveitamento  $i$  na semana  $t$ ;

$v_i(t)$ 's são as folgas associadas a variações positivas de defluências acima do limite tolerado do aproveitamento  $i$ , na semana  $t$ ;

$v_i(t)$ 's são as folgas associadas a variações negativas de defluências acima do limite tolerado do aproveitamento  $i$ , na semana  $t$ ;

$\lambda_i^f(t)$ 's são as folgas associadas à faixa  $f$  abaixo do nível programado para o final da semana  $t$  no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias;

$\theta_i^f(t)$ 's são as folgas associadas à faixa  $f$  acima do nível programado para o final da semana  $t$  no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias;

$VE_{\{i\}}$ 's são os volumes de espera alocados nos aproveitamentos de cabeceiras em todas as semanas;

$\delta_{\{i\}}(t)$ 's são folgas associadas ao volumes de espera nos aproveitamentos de cabeceiras na semana  $t$ ;

$f_{\text{cima}}^f$  são os limites inferiores de armazenamento da faixa  $f$  acima do nível de armazenamento programado para o final da semana no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias. Estas faixas são obtidas dividindo-se a diferença entre o volume máximo do aproveitamento e o volume referente ao nível programado por  $n_f$ . O modelo OPCHEN adota  $n_f=5$ ;

$f_{\text{baixo}}^f$  são os limites superiores de armazenamento da faixa  $f$  abaixo do nível de armazenamento programado para o final da semana no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias. Estas faixas são obtidas dividindo-se o volume referente ao nível programado por  $n_f$ .

$V_{\text{max final}_i}$  é o volume final máximo desejado para o aproveitamento  $i$  em todas as semanas;

$V_{\text{min final}_i}$  é o volume final mínimo desejado para o aproveitamento  $i$  em todas as semanas;

**Relatório Técnico**

$\Delta_i$ , as variações máximas de defluência do aproveitamento  $i$  entre as semanas.

Se na solução do problema todas as folgas  $\delta_u^k(t)$ 's,  $\delta_{\{i\}}(t)$ 's e  $\pi_i(t)$ 's são nulas, prevê-se que o sistema na semana  $t$  não estará em situação de cheia. Diz-se que o Estado da Operação de Controle de Cheias da semana  $t$  é nulo.

Se na solução do problema pelo menos uma das folgas  $\delta_u^k(t)$  ou  $\delta_{\{i\}}(t)$  é maior que zero e todas as folgas  $\pi_i(t)$ 's são nulas, prevê-se que o sistema deverá operar na semana  $t$  no modo de operação normal de cheias, sem ocorrência de emergências. O Estado da Operação de Controle de Cheias da semana  $t$  é não nulo, e definido para cada ponto de controle pelo maior índice  $k$  de envoltória com folga maior que zero dentre os sistemas parciais correspondentes.

Se na solução do problema pelo menos uma das folgas  $\pi_i(t)$ 's é maior que zero, prevê-se que o sistema deverá operar na semana  $t$  no modo de operação de cheias com emergências relacionadas com os pontos de controle onde ocorreram  $\pi_i(t)$ 's maiores que zero. O Estado da Operação de Controle de Cheias da semana  $t$  é dado por  $K+1$ .

A função objetivo adotada, equação (1), penaliza as folgas das restrições (4) a (11) de forma diferenciada. Os valores das penalidades ( $C_1$  à  $C_{11}$ ) estão relacionados com a ordem em que se aceita que as restrições sejam violadas em caso de não ser possível atender a todas as restrições do PPL sem que todas ou algumas variáveis de folga assumam valores diferentes de zero.

A ordem de violação das restrições está associada ao tipo de operação de controle de cheias que se espera num sistema de aproveitamentos formados pelos três tipos de aproveitamentos hidroelétricos descritos anteriormente.

A idéia básica é que os volumes de espera dos aproveitamentos de cabeceiras, quando estes não fazem parte do controle de cheias interdependente, só devem ser utilizados para o controle de suas taxas de variação de defluência e suas defluências máximas. Além disto, os níveis de armazenamento definidos pela programação energética (refletida pela faixa de operação) dos aproveitamentos que não fazem parte do controle de cheia integrado da bacia e cabeceira com controle de cheias independente, só devem ser alterados após a utilização dos volumes de espera dos aproveitamentos que fazem parte do controle de cheia interdependente da bacia, caso contrário seus volumes deveriam ter sido considerados na etapa do cálculo dos

**Relatório Técnico**

volumes de espera nos estudos de prevenção de cheias. Desta forma a regra de operação em situação normal de cheia conduz a seguinte ordem de violação das restrições:

Defluência energética de todos os aproveitamentos ( $C_1$ )

Faixas de armazenamentos de todos os aproveitamentos que pertencem a  $R^{CCI}$  (viola-se primeiro, se possível, as faixas associadas ao esvaziamento do aproveitamento) ( $C_2$  e  $C_3$ ),

Envoltórias dos sistemas parciais associadas aos aproveitamentos pertencem a  $R^{CCI}$  ( $C_4$ ),

Faixas de armazenamentos de todos os aproveitamentos que pertencem a  $R^{SCC}$  e  $R^{Cab}$  (viola-se primeiro, se possível, as faixas associadas ao esvaziamento do aproveitamento) ( $C_5$  e  $C_6$ ),

Taxas de variação de vazão dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CCI}$  e  $R^{SCC}$  ( $C_7$ ).

Defluência máximas dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CCI}$  ( $C_8$ ),

Taxas de variação de vazão dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{Cab}$  ( $C_9$ ),

Envoltórias dos aproveitamentos pertencem a  $R^{Cab}$  ( $C_{10}$ ),

Defluência máximas dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{Cab}$  ( $C_{11}$ ).

Não há variação de valor de penalidade entre as semanas, ou seja, em qualquer semana a penalização da utilização de uma folga é a mesma das adotadas para a mesma folga nas outras semanas.

**V. UTILIZAÇÃO DO OPCHEN PARA LIBERAÇÃO DA RESTRIÇÃO DOS VOLUMES DE ESPERA**

Esta versão do modelo OPCHEN permite sua utilização como ferramenta de simulação da operação para auxiliar na tomada de decisão da possibilidade de liberação da restrição dos volumes de espera, em especial, nos meses finais do período úmido. Esta simulação utiliza uma série sintética gerada pelo modelo DIANA condicionado (versão 4.3).



## Relatório Técnico

### VI. CONCLUSÕES

Este relatório descreve a metodologia adotada no modelo OPCHEN, versão 3.0 (Operação de Controle de Cheias em Situação Normal a intervalo de tempo semanal). Este modelo é empregado, no Planejamento da Operação de Curto Prazo (OPCHEN). A utilização deste modelo permitirá o uso racional dos volumes de espera, permitindo assim um maior ganho energético na operação de controle de cheias.

### VII. REFERENCIAS

[1] DAMÁZIO, J. M., MARIEN, J. L., PEREIRA, M. V. F., KELMAN, J. e COSTA, F.S, “Condições de Controlabilidade de Sistemas de Reservatórios para Controle de Cheias e seu uso na Operação de Sistemas com Múltiplos Usos”, Relatório Técnico CEPEL DPST-036/89, CEPEL, Rio de Janeiro, 1989.

[2] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M e KELMAN, J., “Condições de Controlabilidade de Sistemas de Reservatórios para Controle de Cheias – CAEV1, Relatório Técnico CEPEL DPST-272/90, CEPEL, Rio de Janeiro, 1990.

[3] DAMÁZIO, J. M., COSTA, F.S e D’ANGELO A. G. , “Minimização do Impacto Energético da Alocação de Volumes de Espera em Sistemas de Reservatórios”, Relatório Técnico CEPEL DPP/TEC-245/94, CEPEL, Rio de Janeiro, 1994.

[4] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M , “Regras de Operação de Controle de Cheias para o Planejamento de Médio Prazo e a Programação Diária – Especificação Técnica”, Relatório Técnico CEPEL DPP/PEL-589/99, CEPEL, Rio de Janeiro, 1999.

[5] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M, “Regras de Operação de Controle de Cheias para a Programação Diária – Especificação Técnica”, Relatório Técnico CEPEL DPP/PEN-041/2000, CEPEL, Rio de Janeiro, 2000.

**Relatório Técnico**

[6] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M, “Regras de Operação de Controle de Cheias em Situação Normal – OPCHEN 2.0”, Relatório Técnico CEPEL DP/DEA-45552/05, CEPEL, Rio de Janeiro, 2005

[7] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M, KYRILLOS, D. S. “Regras de Operação de Controle de Cheias em Situação Normal – OPCHEN 2.4”, Relatório Técnico CEPEL DP/DEA-45552/05, CEPEL, Rio de Janeiro, 2006

[8] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M, KYRILLOS, D. S. “Regras de Operação de Controle de Cheias em Situação Normal – OPCHEN 3.0”, Relatório Técnico CEPEL DP/DEA-3051/08, CEPEL, Rio de Janeiro, 2008