

# APLICAÇÃO DOS CONCEITOS “DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE TRANSGRESSÃO” COM VISTAS A GARANTIR OS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA ORIUNDOS DA IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

*Leopoldo Uberto Ribeiro Junior<sup>1</sup>; Afonso Henriques Moreira Santos<sup>2</sup> & Edson da Costa Bortoni<sup>3</sup>*

**RESUMO** - - Esse trabalho tem por objetivo apresentar mecanismos para que se busque um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, visando a mitigação de usos concorrentes. No caso brasileiro, grande parte desses conflitos é oriunda da implantação das grandes usinas hidrelétricas. O estudo de caso foi a Usina Hidrelétrica de Furnas, detentora de um reservatório que representa quase a metade da costa brasileira, de tal maneira que os intensos e duradouros esvaziamentos representam uma instabilidade no desenvolvimento de atividades sócio – econômicas. No início da década de 60, a usina alagou terras agrícolas pastoris, principal fonte econômica da época, fazendo a população do entorno se adaptar às novas condições impostas, dando início ao desenvolvimento das atividades de turismo. A exposição dos usuários do lago a freqüentes e duradouros rebaixamentos, traz uma grande insegurança e descontinuidade no que diz respeito ao desenvolvimento econômico. Assim, esse trabalho, teve por objetivo formular uma regra de operação que melhor ponderasse tanto os interesses de jusante como os de montante, evoluindo para a fixação dos parâmetros de duração e freqüência de transgressão para alguns níveis pré-estabelecidos e a busca de regras operativas para que esses parâmetros sejam alcançados.

**ABSTRACT** - - This work has the objective of present mechanisms to search for better management of water resources aiming at the mitigation of competing uses. In the Brazilian case, a great part of these conflicts is deriving of the implantation of the great hydroelectric plants. The case of study was the Furnas Hidropower Plant, which has a reservoir that represents almost half of the Brazilian coast, so the intense and lasting reduction of level represent an instability in the development of social - economic activities developed on the board. In the early 60's, the plant installed flooded agricultural lands harming the agricultural activities the main economic source at the time, imposed conditions, thus starting development of tourism at the dam. Thus this work has the objective of formulate an operation rule that would better consider both the downstream and upstream interests, evolving to the setting of the parameters of duration and frequency of trespassing for some daily pre-established levels, searching rules that will possibility the hydroelectric power plants meet the interest of all users.

**Palavras - chaves:** Reservatórios, Usos Múltiplos,

---

<sup>1</sup> Pesquisador do Centro de Excelência em Recursos Naturais e Energia – CERNE, da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Av. São Vicente de Paula 735, CEP 37502-082 – Itajubá – MG. Telefone: 35- 36291401. E-mail: [leopoldo@unifei.edu.br](mailto:leopoldo@unifei.edu.br)

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, R. prof José Maria S. Campos 506, CEP 37500-200 Itajubá – MG. E-mail: [afonso@iee.efei.br](mailto:afonso@iee.efei.br)

<sup>3</sup> Professor adjunto da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Av. BPS, 1303, CEP 37500-903 Tel: (35) 36291340. E-mail: [bortoni@iee.efei.br](mailto:bortoni@iee.efei.br)

## JUSTIFICATIVA

A operação dos reservatórios das centrais hidrelétricas, na realidade brasileira, passou por três fases distintas. Inicialmente, o sistema era quase que só hidrelétrico, e os reservatórios se prestavam para regularizar a vazão, o que essencialmente, era guardar água do período úmido para o seco. Dai surgiram conceitos como o período crítico e as energias firme e secundária. É desta época também a introdução das curvas guias na operação do sistema. Posteriormente, com um pequeno avanço da participação termelétrica, avançou-se na direção da operação com base marginalista, onde a ordem de mérito das centrais, em cada nível de armazenamento, levaria a um mínimo custo global, combinado com um arsenal matemático e computacional, que teve o seu ápice com o NEWAVE e assemelhados. Surgem conceitos como risco de déficit e energia garantida (ou assegurada).

A crescente complexidade do sistema interligado nacional tem levado a reflexões sobre a aderência de modelos detalhados para a operação. Segundo Zadeh, considerado o precursor dos Fuzzy Sets, “A essência do princípio da incompatibilidade é que com o crescimento da complexidade do sistema, nossa capacidade (habilidade) para descrever o seu comportamento com precisão e significância (relevância) diminui até um limite a partir do qual precisão e significância tornam-se características quase excludentes”. É nesta linha que segue esta proposta de projeto.

Com as deformações na composição de custos, as externalidades associadas ao planejamento da expansão, as incertezas nas afluências ligadas a problemas com o El Nino, e a exigência cada dia maior do mercado, não se conformando com qualquer tipo de racionamento, além de uma maior pressão da sociedade, estabelecendo crescentes restrições operativas, o setor busca novas alternativas, com a operação necessitando robustez diante de tantas incertezas. A sociedade passa, dia a dia, a exigir modelos compreensíveis, trazendo consigo a necessária credibilidade. Esta relação entre complexidade e credibilidade torna-se clara na citação de George Klir: “Embora normalmente (mas nem sempre) indesejáveis, quando consideradas isoladamente, as incertezas tornam-se bastante interessantes quando consideradas em associação com outras características dos sistemas a serem modelados. Em geral, ao se permitir as incertezas, tende-se a reduzir a complexidade e aumentar a credibilidade dos resultados produzidos pelos modelos”.

Simplificadamente, o pretendido “mínimo custo” abre espaço para o “mínimo arrependimento”, entendendo-o em um contexto mais amplo, que envolve diferentes e difusos interesses. Este é o momento que se vive, onde conceitos como curva de aversão a risco surgem, como simplificação matemática do sentimento dos operadores e do anseio da própria sociedade.

O conceito das faixas operativas, ou curvas guias (rule curves), se adequa perfeitamente às previsões meteorológicas e ao conceito de robustez, exigido hoje. Em sua origem, as curvas guias eram levantadas sobre dados históricos de vazão e projeções de mercado. A cada faixa estava associada uma certa quantidade de geração térmica (ou importação, ou exportação, ou venda a um

mercado secundário), que, em verdade, busca elevar o nível do reservatório, ascendendo a uma faixa superior (ou evitar vertimentos, vendendo o excedente).

A previsão meteorológica de vazões, com base, sobretudo na temperatura da superfície do mar (TSM), é uma clara evolução em relação aos processos estocásticos de previsão de vazão, notadamente quando se está interessado na defluência em um período de tempo maior. Isto é: para um próximo trimestre ou semestre, ao invés do próximo mês. Por ser um processo com fundamentação física, a previsão meteorológica é capaz de captar as extremas variações não cíclicas ou tendências da vazão.

A combinação dessas faixas com a previsão meteorológica resulta em duas possibilidades: a primeira é permitir que, antecipadamente, se possa providenciar a geração térmica para o próximo período, através, por exemplo, de um processo de leilão, o que pode ser feito também para a venda de energia secundária. A segunda ação possível, seria agir para reencher os reservatórios, atendendo aos reclamos locais. Neste caso, poderia se utilizar conceitos de frequência e duração de transgressão de cada nível (ou faixa) para cada reservatório. Ou seja: a previsão de vazão combinada com a de mercado indicariam, para uma certa geração térmica, qual seria o nível dos reservatórios para o próximo período. Caso esses níveis transgredissem as frequências e durações pré-estabelecidas, o operador teria tempo para despachar térmicas adicionais, antecipadamente. Combinam-se, assim, os interesses setoriais, de garantia de suprimento, com os interesses difusos das populações lindeiras. Paralelamente, pode-se implementar uma lógica de mercado, através da compra de blocos de geração térmica por algum processo competitivo, ou de venda de energia, pela mesma forma. A grande vantagem, para o mercado, seria a transparência, previsibilidade e menor volatilidade de preços, essenciais para se criar um mercado futuro de energia elétrica.

Este trabalho visa apresentar uma proposta metodológica, com vistas a garantir a exploração dos usos múltiplos de água oriundas da implantação de reservatórios. Em seu texto, Santos (2003), afirma que os modelos empregados pelo setor elétrico estão sujeitos a uma série de incertezas, que os torna pouco robustos e, obviamente, de difícil compreensão por parte da sociedade. Ainda falando de incertezas, os modelos projetam demandas e expansão do parque gerador, que quase nunca se materializam, notadamente a ampliação da geração. Observa-se, da crise recente do setor, que era prevista uma expansão, fortemente baseada em termelétricidade, que não ocorre e nem vai ocorrer como prevista. Além do mais o setor elétrico busca um ótimo global, ouvindo-se das necessidades locais.

Quando se fala das necessidades locais, pode ser citado, o caso das comunidades, que desenvolvem suas atividades econômicas no lago dos reservatórios e que têm sofrido enormemente, com os sensíveis deplecionamentos, não apenas pelas intensidades, mas, sobretudo, pelas suas durações. Dentre vários eventos, podem ser citados, o impacto ao turismo e piscicultura nos

reservatórios de Caconde e Furnas, o prejuízo a culturas permanentes irrigadas no Vale do São Francisco e os danos ocorridos em Três Marias decorrentes das variações de vazões ocasionando grande influência na navegação, assoreamento, meio ambiente e outros usos da água.

Em busca de uma atenuação desses impactos, este trabalho vem mostrar que é possível a adoção de um modelo de operação que pondere os usos múltiplos da água, conforme preconiza a lei 9.433/97, atendendo os interesses das populações de jusante (interessada na regularização de vazões) e de montante (interessada em um deplecionamento menos intenso, menos freqüente e de menor duração), contrapondo o protótipo atual, que tem como foco principal a geração de energia.

A metodologia desenvolvida neste capítulo e que será aplicada a UHE de Furnas, visa fazer uma reflexão sobre atual o modelo de operação do sistema elétrico brasileiro, cujo controle é realizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico -ONS, que concentra sua atuação sobre o Sistema Interligado Nacional –SIN.

A Usina Hidrelétrica de Furnas, nosso estudo de caso, foi a primeira usina construída pela Empresa, da qual herdou o nome. O Reservatório de Furnas tem cerca de 1440 Km<sup>2</sup> de área inundada e perímetro de 3500 Km (aproximadamente metade da costa brasileira), banha 34 municípios, com população de aproximadamente 800.000 habitantes. O enchimento do reservatório de 22,95 bilhões de m<sup>3</sup> e volume útil de 17,21 bilhões de m<sup>3</sup> ocorreu em 1963 a geração média energia desde de então, foi de 700MW. O projeto de aproveitamento prevê uma variação de cota entre 768 e 750m (nível máximo e mínimo de operação).

Segundo ENGEL (2000), o rebaixamento prolongado do nível das águas do reservatório de Furnas, resultante de condições hidrológicas desfavoráveis e de redução nos investimentos do setor elétrico brasileiro, somado aos percalços na programação de entrada em operação de novas usinas e de linhas de transmissão, resultou em perdas significativas para os usuários das águas do Lago de Furnas. Estes passaram a pleitear uma cota mínima de operação do lago (762 m), que será utilizada como referencial para os estudos.

## **O MODELO**

A proposta dessa parte do trabalho é minimizar os efeitos das operações, que levam os reservatórios a trabalhar em extremos, justificadas em sua grande parte por problemas macroeconômicos. Isto seria possível, caso as Usinas fossem outorgadas, pela duração e freqüência do nível de água a ser mantida nos lagos, atingindo por conseqüência uma maior confiança nos dados de vazões que são gerados.

Desde modo, num primeiro passo, se buscou um critério neutro de operação, neste caso, o reservatório deveria perseguir, uma vazão defluente, que se aproxima –se ao máximo da vazão média de longo termo, definindo uma política de operação de minimização do desvio-médio quadrático, ao longo do tempo. Ou seja

$$\min z = \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 \quad (1)$$

$$VA_t = VA_o + \sum_{i=1}^T (Q_{ai} - Q_{di}) \quad (2)$$

Sujeito a:

$$VA_{\min} \leq VA_t \leq VA_{\max}, \forall t \quad (3)$$

Onde:

$\bar{Q}$  = vazão média (m<sup>3</sup>/s);

$Q_{di}$  = Vazão defluente no instante i (m<sup>3</sup>/s),

$Q_{ai}$  = Vazão afluente no instante i (m<sup>3</sup>/s),

$VA_t$  = Volume regularizado (m<sup>3</sup>),

$VA_0$  = Volume morto (m<sup>3</sup>),

$VA_{\min}$  = Volume mínimo (m<sup>3</sup>),

$VA_{\max}$  = Volume máximo (m<sup>3</sup>)

Essas equações revelam, na verdade, um antigo método gráfico, conhecido como “fio estendido” ou Conti-Varlet. Pode -se resolvê-lo por diferentes processos, mas a programação dinâmica tem se mostrado mais eficiente segundo Santos (2001).

Propõe-se, então, uma evolução da função objetiva, dada em (1), incorporando aí, uma penalização para níveis indesejáveis do reservatório, que poderia ser crescente conforme se desviasse da faixa desejada.

Portanto, a função objetivo evoluiria para:

$$\min z = \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + kp_i \quad (4)$$

Sujeito às mesmas restrições anteriores, e sabendo que:

$$kp_i = f(H_t) = f(g(VA_t)) \quad (5)$$

Onde:  $H_t$  é a altura regularizada.

Para que se possa ponderar a adequada influência de cada parcela da função objetivo na operação do reservatório, utilizou-se dois fatores de penalização  $W_1$  e  $W_2$ , conforme a expressão 6. O uso de penalidades irá permitir que sejam realizadas simulações para diferentes combinações de pesos, objetivando a visualização do efeito na regularização do nível do reservatório.

$$\min z = W_1 \cdot \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + W_2 \cdot kp_i \quad (6)$$

$$\text{Sujeito a: } W_1 + W_2 = 1 \quad (7)$$

Uma visão mais aprofundada, da realidade local, acusa que não só a intensidade do deplecionamento afeta os circunvizinhos do lago. O tempo em que o espelho d'água permanece baixo é, sem sombra de dúvidas, de enorme importância. O caso específico evidencia que a significativa duração de um deplecionamento intenso, chegando a atingir 22 meses consecutivos abaixo da cota 762, é que causou a falência generalizada das pousadas e outras estruturas de turismo.

A proposta deste artigo é no sentido de se estabelecer uma “janela móvel”, para se obter o nível ponderado nos últimos  $T_j$  meses.  $T_j$  pode ser, por exemplo, um semestre ou um ano. Então, tem-se em revisão na expressão (5), transformando-a em:

$$\min z = \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + \sum_{j=i-T_j}^i kp_j \quad (7)$$

Mais uma vez será utilizado fatores de ponderação, de modo que a expressão (7) será contemplada com os ponderadores  $W_1$  e  $W_3$ . Assim teremos:

$$\min z = W_1 \cdot \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + W_3 \cdot \sum_{j=i-T_j}^i kp_j \quad (8)$$

$$\text{Sujeito a: } W_1 + W_3 = 1$$

As figuras 1 e 2 apresentam o efeito de diferentes penalidades, considerando uma janela móvel semestral, respectivamente.

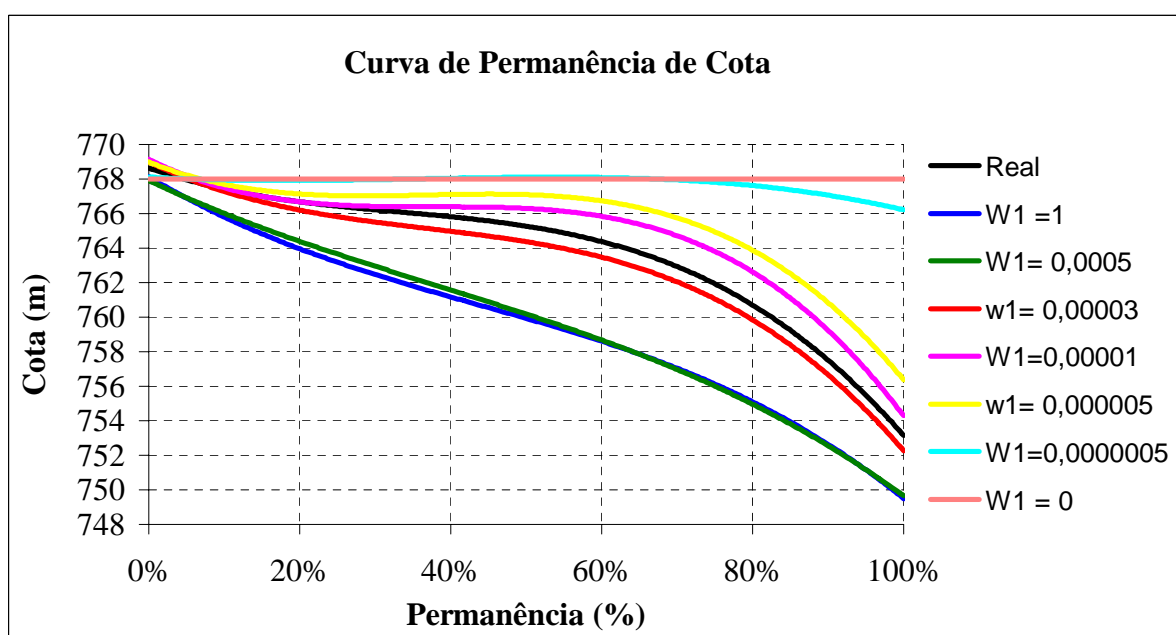


Figura 1 – Curva de duração de vazões

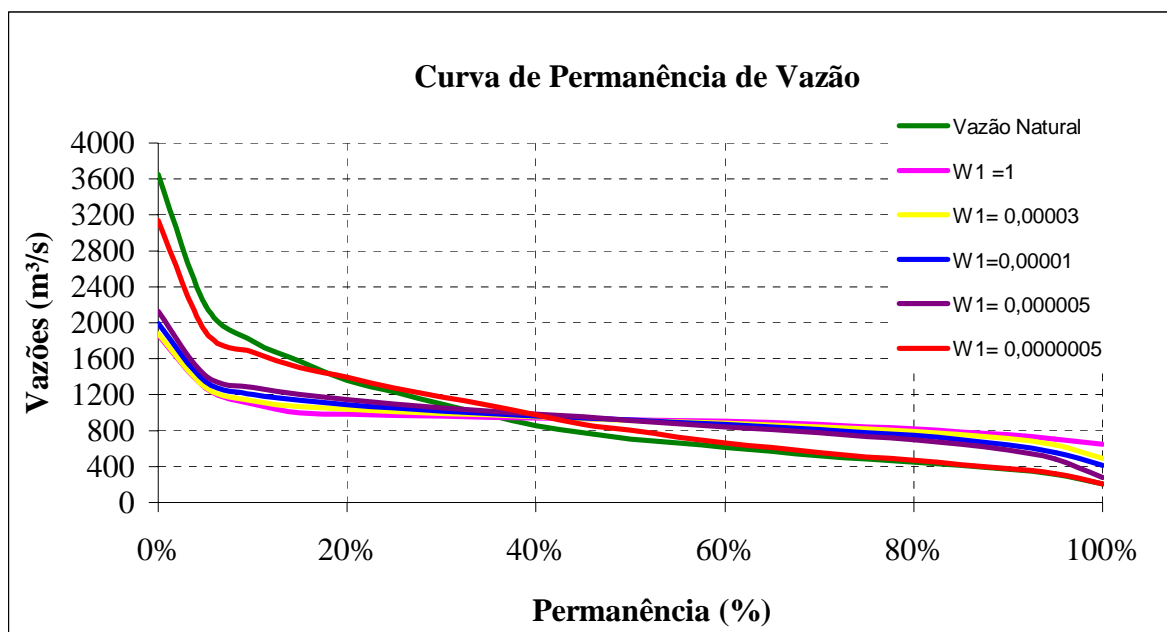


Figura 2- Curva de duração de cotas

Deve ser ressaltado, que não será foco desse trabalho, a questão energética, como também seu efeito sobre o SIN. No entanto, analisando somente a UHE de Furnas, pode ser observado através de simulações que em houve um ganho considerável de energia.

Do ponto de vista sistêmico, há que se considerar que a geração elétrica extrapola os interesses locais. Historicamente, a geração hidrelétrica era responsável por quase a totalidade da produção elétrica, não havendo complementaridade térmica sensível por falta de capacidade instalada e pelos altos custos. Embora os programas de expansão da capacidade térmica, nos últimos anos, tenham sido um relativo fracasso, não se pode esquecer que hoje se tem uma significativa potência termelétrica. Nos sistemas onde a geração termelétrica é significativa, a hidrogeração funciona na base, não exigindo reservatórios de regularização para fins energéticos. Este parece ser o caminho para o nosso sistema Santos (2003).

Ainda, explorando-se a disputa “Regularização de Vazões x Nível”, pode-se, para diferentes pesos para cada interesse, utilizar-se da técnica de “trade-off”, para decisão multi-objetivo. Os pontos localizados no “joelho da curva” de “Trade - off” são uma boa estimativa para que se adote as penalizações  $W_1 = 3E-5$ ,  $W_1 = 1E-5$  e  $W_1 = 5E-6$ . Para este caso pode ser verificado que a cota 762 que até os dias atuais foi mantida no reservatório 75% do tempo, permaneceria 70% no primeiro caso e 90 e 95 % no demais casos.

Contudo, quando se fala em duração de uma determinada lâmina, não considera a frequência com a mesma se apresenta. O exemplo prático desse conceito foi o problema enfrentado pelos usuários nos últimos, cinco anos, neste período, a cota requerida pelos usuários do entorno, esteve presentes apenas 30% do tempo, levando ao caos as atividades sócio econômicas.

Diante desse dilema, desenvolveu-se um modelo que restringisse o comportamento do reservatório, não somente pelo tempo total que se deve satisfazer uma determinada cota (igual ou superior), mas também pela maneira como tempo se distribui. Contudo, para isso se faz necessária a definição de algumas variáveis:

Permanência (P): É o tempo total em que o nível do reservatório é igual ou maior que o nível de referência.

Duração total de violação( $d$ ): Representa o tempo total em que ocorrem valores inferiores ao valor de nível referencial.

Frequência de ciclos de violação ( $f$ ): Representa o número de ciclos (períodos) existentes, em que o nível esteja abaixo do valor de referência.

Duração média de transgressão ( $\overline{dt}$ ): É a duração média dos ciclos de violação. Corresponde à relação entre a Duração total de violação ( $d$ ) e a Frequência de ciclos de violação ( $f$ ). Assim:

$$\overline{dt} = \frac{d}{f} \quad (9)$$

Frequência média de transgressão ( $\overline{ft}$ ): Relação existente entre a Frequência de ciclos de violação ( $f$ ) e o tamanho da amostra ( $n$ ):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \quad (10)$$

O produto da frequência média de transgressão pela duração média de transgressão representa o percentual do tempo (Te) em que ocorrem valores inferiores de cota ao valor de referência. Esse valor nada mais representa que um complemento da curva de permanência (P) e pode ser obtido através da seguinte relação:

$$Te = \overline{dt} \times \overline{ft} = \frac{d}{f} \times \frac{f}{n} = \frac{d}{n} \quad (11)$$

e

$$P = 1 - Te \quad (12)$$

A aplicação desses conceitos pode se dar de diferentes maneiras: fixando-se as durações para diferentes níveis (faixas) e as frequências de transgressão associadas; fixando-se a duração para diferentes níveis e as durações de transgressão associadas; fixando-se as frequências e durações de transgressões associadas a diferentes níveis (faixas). Qualquer desses pares será suficiente para a definição da restrição operativa. Observe que tais restrições sairão, possivelmente, do Comitê de Bacia, onde um processo de negociação se instalará, e onde o setor elétrico, seguramente terá assento.



Vê-se que tais conceitos são perfeitamente aderentes ‘aquele de curva-guia, bastando saber qual duração, ou frequência de transgressão ou duração de transgressão estão associadas a cada limite de faixa.

Para uma maior fixação dos conceitos acima demonstrados, a figura 3, exhibe os dados que representam a variação do nível de água do reservatório de Furnas no período de trinta e seis meses.

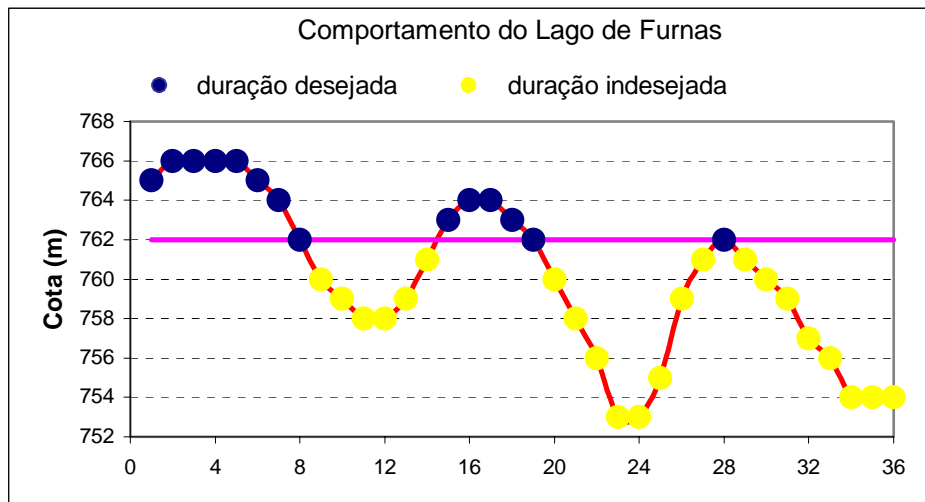


Figura 3 - Condução do reservatório no período entre 1998 e 2000

Assim, analisando os 36 meses em estudo e tendo como referência a cota 762 tem-se:

Duração total de violação ( $d$ ): 22 meses abaixo da cota 762.

Frequência de ciclos de violação ( $f$ ): 3 períodos.

Duração de transgressão ( $\overline{dt}$ ):  $\overline{dt} = \frac{d}{f} = \frac{22}{3} = 7,33$  meses por período.

Frequência de transgressão média ( $\overline{ft}$ ):  $\overline{ft} = \frac{f}{n} = \frac{3}{36} = 0,083$  períodos / meses

Duração máxima: 8 meses consecutivos.

Duração mínima: 6 meses consecutivos.

Temp (Te):  $Te = \overline{dt} \times \overline{ft} = \frac{d}{f} \times \frac{f}{n} = \frac{d}{n} = \frac{22}{36} = 61\%$

Assim, a proposta seria recomendar aos órgãos outorgantes, a modificação na operação das grandes usinas. Com base em uma janela móvel de dez anos, os gestores, poderiam restringir as oscilações duradouras, fixando o número de vezes e o tempo máximo que o espelho d'água pode transgredir um determinado nível de referência neste intervalo.

Assim, dando continuidade ao trabalho, os conceitos de duração e frequência de transgressão foram aplicados para cinco situações simuladas: Os três pontos indicados pelo “trade-off”, para o caso onde se deseja maior regularização de vazões ( $W_1= 1$  e  $W_3 =0$ ) e a para os dados históricos de cota do reservatório. Vale observar que a simulação feita, utilizando o método do Conti – Varlet

( $W_1 = 1$ ), apresenta baixos valores para a frequência de transgressão de cotas mais elevadas. Isto ocorre principalmente porque o principal foco dessa operação é obter a vazão a mais constante possível.

Analisando as projeções sugeridas pelo “trade-off”, conforme as figuras 3 e 4, a curva que representa  $W_1 = 0.00001$  apresenta-se como uma regra de operação menos restritiva do que as outras duas. A curva que representa  $W_1 = 0.00003$  é mais taxativa para as cotas maiores, enquanto que para  $W_1 = 0.00005$  é mais limitativo para níveis mais baixos.

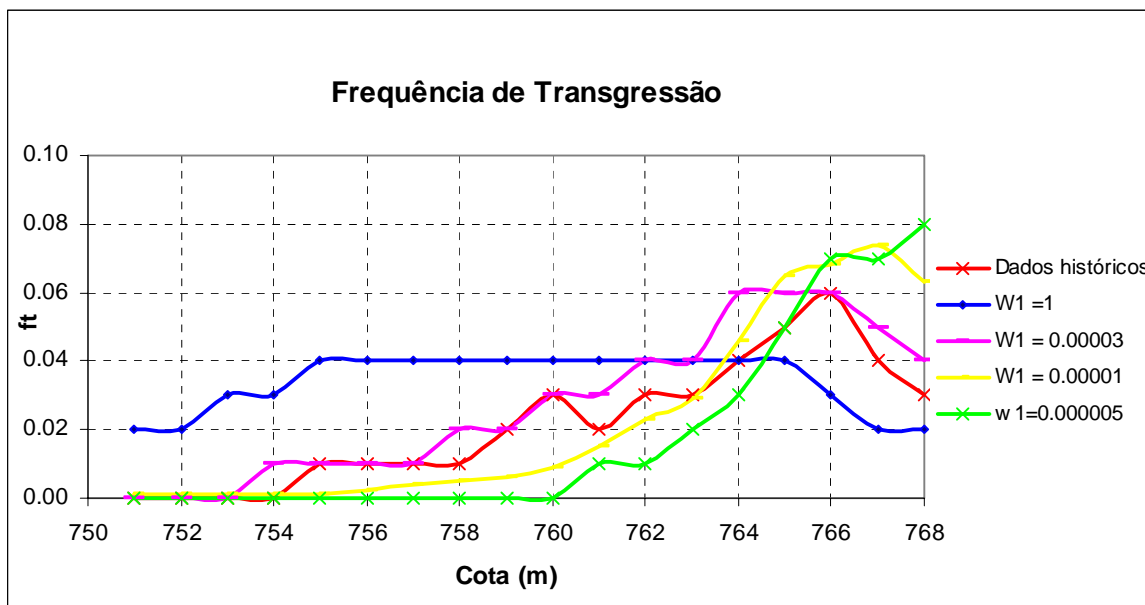


Figura - 4. - Frequência de transgressão aplicado para reservatório de Furnas

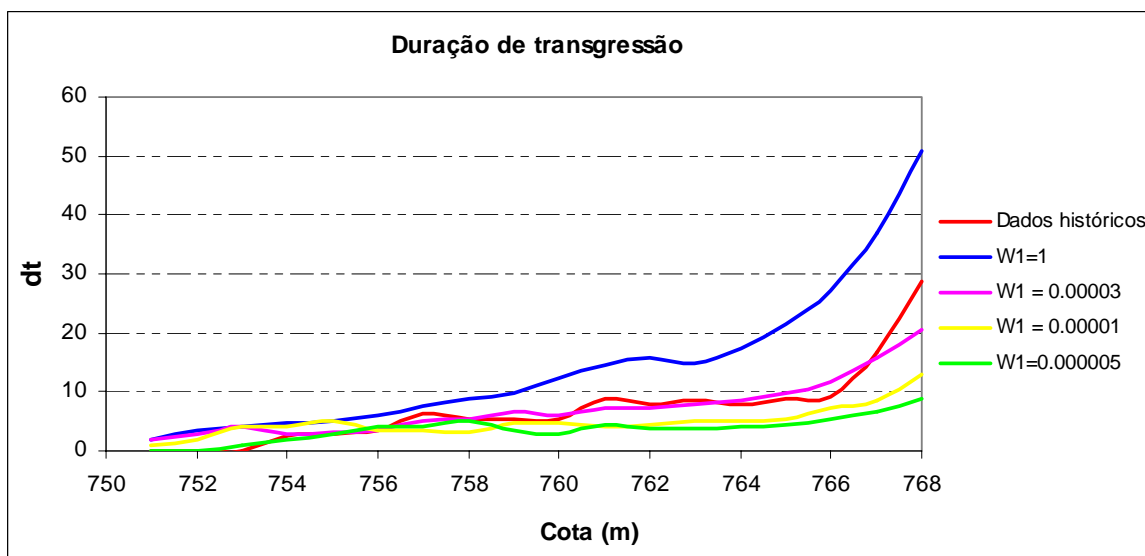


Figura 5 - Duração de transgressão aplicado para reservatório de Furnas

Segundo os dados acima, um dos principais entraves para sustentabilidade das atividades que se desenrolam no entorno do lago é a falta de garantia a que os usuários estão expostos, cujo impacto pode ser amenizado, caso o reservatório seja outorgado em função da duração e frequência de transgressão, considerando as projeções representadas pela adoção dos fatores  $W_1 = 0.00001$  para

o desvio médio quadrático das vazões e  $W_3 = 0.99999$  para a altura. Assim para fins comparativos, partiu-se do pressuposto de que se Furnas tivesse trabalhado deste o início com as restrições impostas em função da cota 762 teríamos:

Frequência de transgressão média ( $\overline{ft}$ ):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \therefore 0,023 = \frac{f}{468} \therefore f = 11 \text{ Períodos possíveis para transgredir}$$

Duração de transgressão ( $dt$ ):

$$dt = \frac{d}{f} \therefore 4,30 = \frac{d}{11} \therefore d = 47 \text{ meses}$$

Deve ser observado que caso fosse implementada essa metodologia, o lago teria um comportamento completamente diferente do que realmente aconteceu. Ao invés de ficar 109 meses abaixo da cota 762, ficaria apenas 47 meses, garantindo que em 90% do tempo haveria lâminas superiores ou iguais a essa. Além disso, o lago poderia transgredir esses 47 meses apenas 11 vezes, ao invés das 14 vezes em que isso aconteceu. Outro fato a ser considerado é que, quando se adota essa regra de manobra, as durações máximas são amortizadas.

## **PROPOSTA PARA OPERAÇÃO**

Neste item, serão apresentadas, três proposições metodologias, desenvolvidas no trabalho de Ribeiro Junior (2005) para operação dos reservatórios, para que os valores de duração e frequência de transgressão pré-estabelecidos, sejam atingidos.

### **1ª Opção**

A primeira opção seguirá a seguinte rotina de cálculo:

1º) Com os dados históricos de vazão afluyente, adotaram-se diferentes “penalidades” para as variações de vazões ( $W_1$ ) e lâminas ( $W_3$ ) e utilizando as técnicas de programação dinâmica, fez-se as projeções de cotas e de vazões, de acordo com as estruturas do empreendimento e hidrologia do local, conforme descrito ao longo desse trabalho.

2º) Com auxílio da técnica do “trade-off”, é escolhida a melhor situação que pondere os interesses de montante e de jusante, em função das diversas opções de operação de que se dispõe.

3º) Para os valores de  $W_1$  e  $W_3$ , estabelecidos no item anterior, calcula-se a duração e frequência de transgressão para a série histórica de cotas geradas.

4º) O próximo passo é escolher alguns níveis que são adotados como referenciais. Neste caso, convencionou-se adotar, como modelo, as alturas com permanência de 25% (767 m), 50% (766 m), 80% (763 m) e 90% (761 m).

5º) Para aplicação dessa técnica, é necessário que se considere um horizonte de planejamento, que nesse caso foi de dez anos. Dessa maneira, pode ser estimada a duração ( $d_d$ ) e a frequência

( $f_d$ ) desejada, com base nos valores  $\overline{ft}$  e  $dt$  estimados anteriormente, para os níveis adotados no passo 4. Deve se observar que esses são os valores que se deseja encontrar, para que haja melhor ponderação dos interesses de todos os usuários. Entretanto a adoção de determinados valores de permanência de cotas e do número de anos para o estudo pode variar conforme o objetivo a ser alcançado. No entanto as definições dessas diretrizes são fundamentais para que essa metodologia seja aplicada. Outro fato importante que deve ser ressaltado é que a projeção de cotas é sempre feita considerando um patamar mensal.

6º) Para os mesmos níveis, calcula-se para os últimos dez anos, a duração ( $d_c$ ) e frequência ( $f_c$ ).

7º) Se as durações calculadas ( $d_c$ ) tiverem duração superior aos valores de duração desejadas ( $d_d$ ) será adotada uma regra de operação para que o reservatório atinja níveis desejados. Desta maneira, um determinado percentual da vazão defluente projetada (projeção do Conti), deverá ser armazenado, de maneira que o reservatório não se esvazie de forma tão intensa.

8º) Após o armazenamento dessa quantidade de água, calcula-se a altura no próximo mês e então, considerando esse novo valor calcula-se novamente a duração para os últimos dez anos. Dessa maneira, continua –se a trabalhar com um horizonte de dez anos. Entretanto a base de dados será sempre diferente, pois a metodologia sugerida somente apresenta aplicabilidade, devido ao fato de se trabalhar com uma janela móvel de planejamento de uma década.

O acúmulo de água maior do que o planejado continuará, até que a duração calculada seja menor ou igual a desejada. Quando isso acontecer, ou seja a  $d_c \leq d_d$  deve-se verificar se a frequência desejada para todos os níveis foi atendida. Em caso afirmativo, a partir do próximo mês, a vazão defluente deverá ser a própria vazão planejada. Mas em caso contrário, ou seja, se a condição imposta para a duração for atendida, mas não para a frequência, não se faz necessário continuar acumulando água em quantidade maior do que a planejada. Assim, a proposta é que seja mantido constante o nível do reservatório até que a frequência desejada seja alcançada. Isso será possível, fazendo com que a vazão que chega ao reservatório seja a mesma que sai. Vale ressaltar que essa regra somente possui validade, enquanto a condição para a duração estiver sendo atendida, mas a de frequência não. Deve-se observar, que se trabalha com uma janela móvel de dez anos, mas a projeção é feita mensalmente, sendo esse conceito, fundamental para a eficácia da metodologia que está sendo aplicada.

9º) Para a projeção das vazões defluentes, considerou-se a série sintética gerada pelo método do Conti - Varlet. A escolha por essa série não se faz obrigatória. Assim sendo, outra série de dados, ou aplicação metodológica poderia ter sido utilizada.

10º) Neste trabalho, estaremos lidando com um horizonte de planejamento de 30 anos. Assim, a projeção de cotas datará de janeiro de 2004 até dezembro de 2033. Se nesse período, os valores de duração e frequência desejados não forem alcançados, deve ser aumentada a porcentagem de vazão defluente que deve ficar armazenada. Neste trabalho específico, inicialmente adotou-se 10%, repetindo-se para um acúmulo de 15%, 20% e 30% da vazão defluente planejada.

Durante a aplicação metodológica, pode ser verificado que devido ao fato de se acumular muita água no início do processo e se trabalhar com uma janela móvel, o reservatório volta a trabalhar com a vazão planejada do conti, entretanto nos meses de estiagem, mesmo que fosse necessário evitar um deplecionamento, isso não será possível. A figura 6 mostra como seria o comportamento de cota, caso essa proposta fosse implementada.

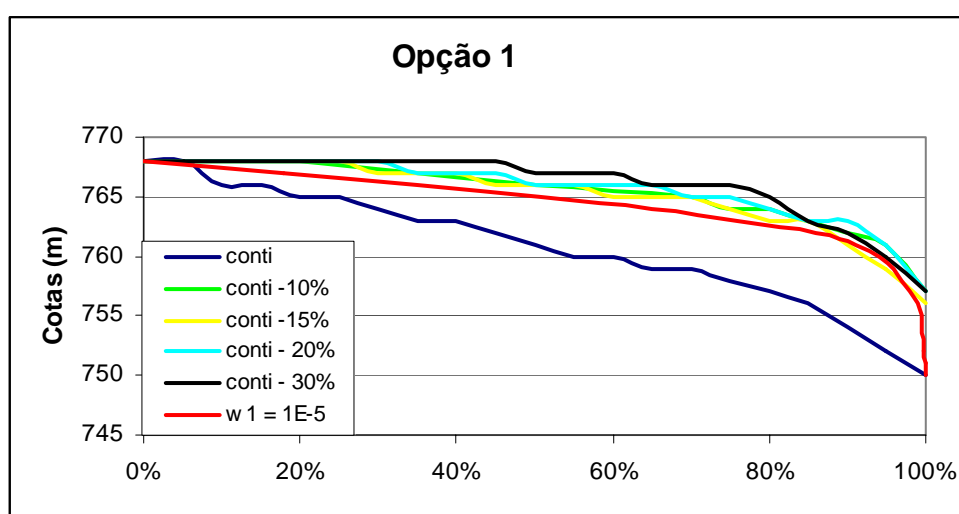


Figura 6 - Curva de duração de alturas para a 1ª opção considerando 30 anos de planejamento

## OPÇÃO 2

A segunda opção foi desenvolvida em função da operação desenvolvida anteriormente, de tal modo que, nessa nova proposta, o reservatório não viesse a esvaziar quando as condições de duração e frequência não fossem atendidas. Assim teríamos a seguinte manobra de intervenção:

1º: Caso atendidas as condições de duração e frequência requeridas a vazão defluente planejada deverá ser a projetada pelo método do Conti-Varlet.

2º Se as condições para a duração forem atendidas e frequência não, deve ser mantido o nível de água no reservatório, ou seja, a vazão defluente deve igual a afluente.

3º Se as condições de duração e frequência não forem atendidas, teremos duas possibilidades:

1 – Se a vazão afluente for maior que a defluente planejada, deve ser armazenado um percentual desse valor previsto, de tal modo que o lago irá encher mais do que o planejado.

2 – No caso de a vazão afluente ser menor do que a defluente planejada não será permitido o esvaziamento do reservatório. Assim, será mantido o nível de água no lago, fazendo com que a vazão que entra seja igual a que sai. Essa restrição, não estava adaptada ao caso anterior.

Da mesma maneira que no exemplo anterior, foi realizada a projeção até o ano de 2033, para os mesmos percentuais de vazões acumulados, sempre considerando uma janela móvel de dez anos. Essa nova maneira de se obter os valores de frequência e duração desejados foi denominado opção 2. A figura 7, apresenta a variação de altura do reservatório para essa metodologia.

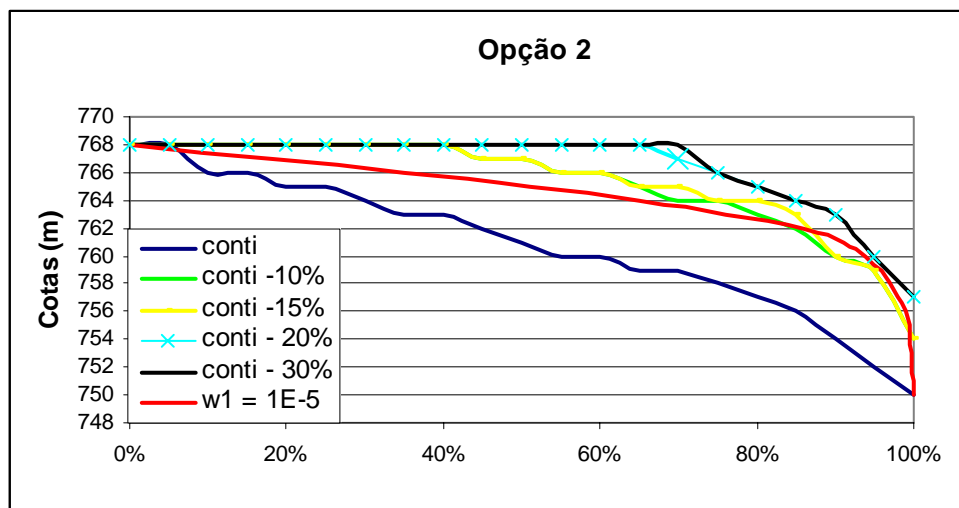


Figura 7 - Curva de duração de alturas para a 2ª opção considerando 30 anos de planejamento

### OPÇÃO 3

A última metodologia utilizada, opção 3, adotou por princípio de que para se atingirem as durações e frequências requeridas, deve se trabalhar em função da vazão afluente ao invés de se trabalhar com a defluente, seguindo a seguinte rotina de cálculo, conforme figura 8.

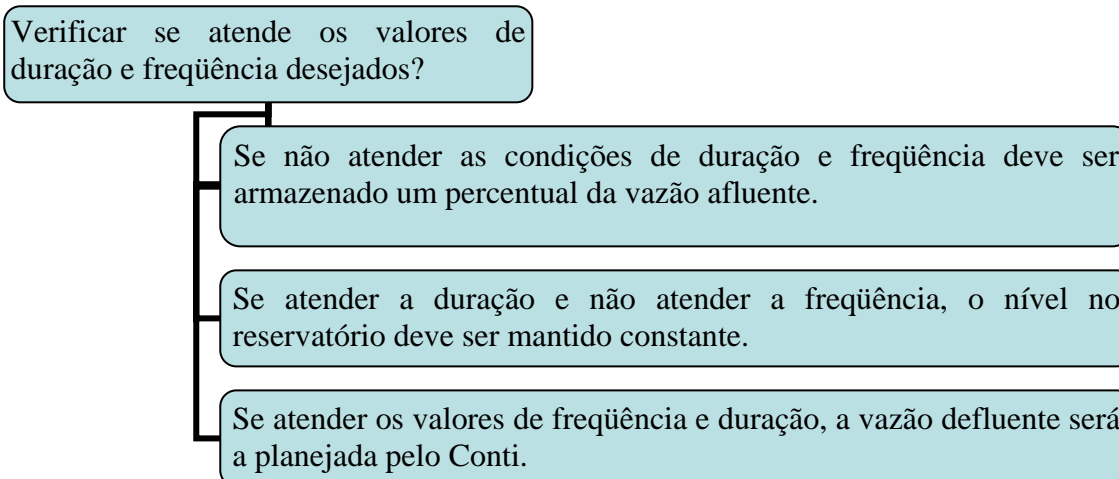


Figura 8 - Organograma da terceira opção

Deve ser observado que, para esse caso, também se trabalhará com um horizonte de planejamento de 30 anos, levando em consideração uma janela móvel de dez anos e os mesmos percentuais de vazão acumulados, ou seja, 10%, 15%, 20% e 30%.

Diferentemente dos outros dois casos, essa alternativa de operação trabalha em função da vazão afluente, ao invés da planejada pelo Conti – Varlet. Se comparado com as outras duas opções

nos períodos de estiagem o reservatório continuará enchendo, ao contrario das outras duas condições que nesta situação mantinha o nível do reservatório. Assim, ao se aplicarem os conceitos desenvolvidos, considerando os mesmos percentuais acumulados que anteriormente, tivemos os seguintes resultados, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Número de vezes que as durações e frequências foram atingidas para as três opções

Percentual	Opção 1	Opção 2	Opção 3
10%	50	99	97
15%	83	99	97
20%	125	125	98
30%	99	99	98

Ao serem analisados os dados da tabela acima, pode -se verificar que não houve grande variação no que diz respeito ao número de vezes que a duração e frequência desejadas foram atingidas. O diferencial, está no comportamento da vazão defluente e na permanência de cotas. Assim, se a busca pela melhor solução fosse baseada nos dados da tabela acima, poder-se ia concluir que o acúmulo excessivo de água não representaria grandes ganhos do ponto de vista dos usuários do lago, entretanto pode representar grande perda no que diz respeito a geração de energia.

Ao ser analisada a frequência, ou seja, o número de vezes que o lago permaneceu abaixo, verificou -se que para o caso das opções 1 e 2, as restrições desejadas não atingiram os valores esperados para as cotas mais baixas. Isso ocorreu principalmente porque não houve restrição para esses níveis. No entanto para as cotas mais altas, as frequências calculadas são bem próximas das desejadas porque as vazões planejadas pelo conti, são bem próximas da escolhida pelo “trade – off”. Conforme esperado, do ponto de vista da frequência, a opção 3 se mostrou melhor que as outras duas, isso se deve ao fato de se trabalhar em função da vazão afluente e não permitir um esvaziamento tão intenso do lago. A figura 9 apresenta o resultado da aplicação dessa opção.

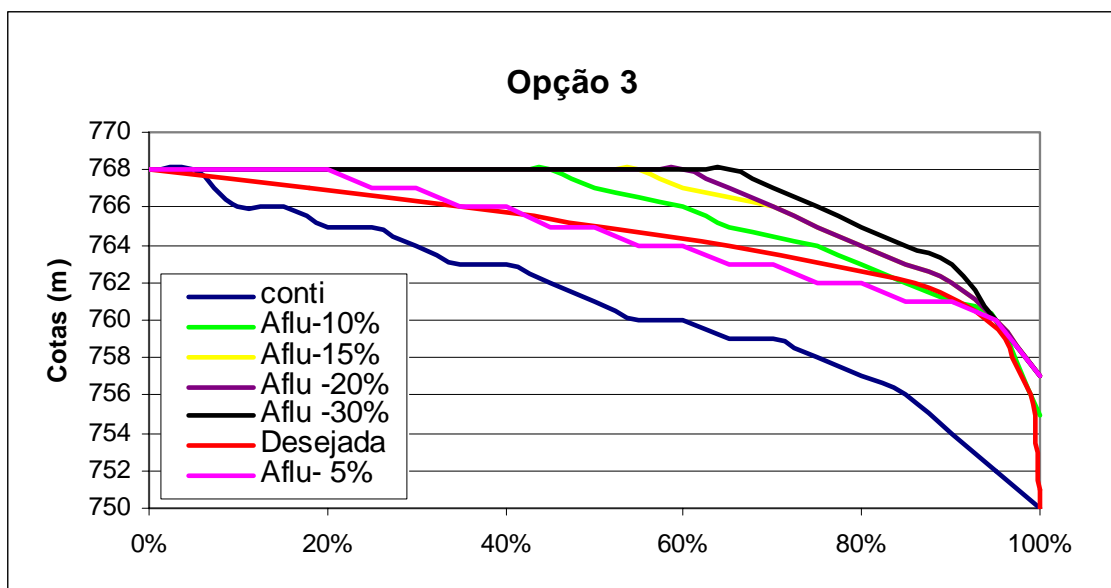


Figura 9 - Curva de duração de alturas para a 3ª opção

## CONCLUSÕES

O crescimento da população brasileira promoveu um aumento considerável nas demandas hídricas que, associado à expansão desordenada, modificou o ciclo hidrológico, gerando enchentes urbanas frequentes e degradou tanto as águas superficiais como as subterrâneas. A busca por um desenvolvimento organizado fez com que as legislações e restrições ambientais tivessem um grande impulso nas últimas décadas. No entanto sua incipiente aplicação vem apresentando conceitos equivocados, principalmente aqueles que se referem ao setor hidroelétrico, que por um lado não minimizam impactos, mas retardam o desenvolvimento, possibilitando a ocorrência de danos irreparáveis a atuais e futuras gerações.

Desse modo, em busca de um melhor desenvolvimento dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos, encontrou-se na outorga de direito de uso uma das principais ferramentas para que haja o planejamento e a gestão das águas e que vem se destacando nos últimos anos, ganhando forte amparo legal com a lei nº 9433. Desta maneira, este trabalho, se desenrolou motivado pela hipótese de se desenvolver critérios que pudessem dar aos órgãos gestores alternativas no que se refere à tomada de decisões, referente a questão água e energia.

Os estudos desenvolvidos e aplicados a UHE de FURNAS, mostram que é possível fazer uma modificação na operação do sistema elétrico brasileiro, de tal forma que se atenuem os grandes impactos sócio-econômico oriundos de grandes deplecionamentos. Neste estudo, não foi considerado o impacto dessa regularização de vazões, sobre a cascata do rio Paraná e os efeitos energéticos.

A metodologia desenvolvida teve por princípio a escolha de uma regra operativa, que melhor pondere os interesses de jusante e montante em função de penalizações para variações significativas de cota e vazão, prosseguindo, para fixação de duração e frequência de transgressão para alguns níveis, fixando assim alguns parâmetros que possam ser exigidos através de uma outorga. O passo seguinte foi a proposição da maneira como os reservatórios devem trabalhar, de forma a atingir os interesses propostos. Assim, foi sugerido o armazenamento de percentuais de vazões afluentes e defluentes, considerando um horizonte de planejamento de dez anos, sendo recomendável também que outros estudos se desenvolvam, considerando horizontes de planejamento menores, com objetivo de dar continuidade aos patamares desejados, assim que os mesmos sejam encontrados pela primeira vez.

Conforme apresentado, pode-se concluir que é de suma importância o fortalecimento e a capacitação técnica dos comitês de bacias hidrográficas, que são agentes adequados para o auxílio das discussões de questões como aqui apresentadas. O comitê de bacia, por meio de sua agência técnica, poderá monitorar o cumprimento daquelas condicionantes apresentadas nas Portarias, Decretos, e Resoluções de Outorga, no que se refere à manutenção das vazões residuais, altura de



referência, qualidade da água nos mananciais e até mesmo orientar no que se diz respeito a uso múltiplo da água dos reservatórios. Poderá também propor aos órgãos gestores, quando necessário, a alteração de vazões residuais ou até mesmo a altura de referência, sendo um alavancador para que se encontre o desenvolvimento sustentável.

### **BIBLIOGRAFIA**

ENGEL, E. (2002). “*Conflitos De Uso Das Águas De Furnas*”,.in O Estado das Águas no Brasil, pág.107 a 109.

RIBEIRO JUNIOR, L.U. (2005). “*Contribuições metodológicas visando a outorga do uso de recursos hídricos para geração hidrelétrica*”. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. 169p.

SANTOS, A. H. M, ALMEIDA, R. A., CABRAL, R. S., LIMA, A. M. (2001). “*Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos*” in Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS.

SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C.; RIBEIRO JUNIOR, L.U.; GARCIA, M.A.R.A;(2003). “*A exploração de reservatórios e os comitês de bacia: uma análise prospectiva para o caso da UHE de Furnas*” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR.