

Modelo de Previsão de Vazões Diárias PREVIVAZH

Manual de Metodologia Versão 3.3.3

Dezembro 2012

SUMÁRIO

I. Introdução	3
II. Metodologia	5
II.1. Geração de seqüências sintéticas condicionadas	5
II.1.1. Condicionamento das distribuições dos incrementos	7
II.2. Algoritmo de Desagregação	9
II.2.1. Horizonte de 7 dias	9
II.2.2. Previsões diárias após o início do PMO	10
II.2.3. Previsões para o PMO com antecedência de X dias	13
II.3. Atualização da Previsão Semanal	14
II.3.1. Grau de Discrepância e Atualização da Previsão Semanal ..	14
II.3.2. Correção da Tendenciosidade do Erro da Previsão Semanal ..	16
III. Referências	18

I. Introdução

O planejamento da operação do sistema hidrotérmico interligado brasileiro, SIN, devido a sua complexidade, é atualmente feito em etapas com o auxílio da cadeia de modelos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL (Maceira et al., 2002). Em cada etapa os modelos utilizados possuem diferentes horizontes de planejamento, discretização do tempo, e graus de detalhamento em suas representações, em particular das afluições hidrológicas futuras.

No topo desta hierarquia, o planejamento da operação de médio prazo constrói uma política para ser usada ao início de cada mês para decidir quanto da demanda total de energia do próximo mês será atendida pelo parque térmico e quanto será atendida por cada sub-conjunto de hidroelétricas agrupadas por regiões (modelo NEWAVE). Nesta etapa do planejamento a incerteza hidrológica é considerada através de cenários sintéticos de seqüências de energias naturais afluentes (ENAs) às sub regiões para os próximos 5 anos. Estas seqüências são geradas por uma modelagem autorregressiva linear adotada pelo modelo GEVAZP (Maceira e Mercio, 1997, Jardim et al., 2001) tomando-se como condição inicial as afluições verificadas até nos últimos 11 meses. O número de afluições verificadas utilizadas como condição inicial varia conforme o mês e a sub-região.

No planejamento de curto prazo, os blocos de geração hidráulico e térmico definidos pela política de longo prazo para o primeiro mês são desagregados em metas semanais de geração para cada usina do sistema (modelo DECOMP). A hidrologia é considerada parte determinística e parte estocástica. Para cada semana do primeiro mês as afluições são consideradas conhecidas utilizando-se previsões obtidas pelos modelos PREVIVAZ (Maceira et al., 1994) e CPINS (Acioli et al., 2004). Para os demais meses do horizonte do estudo considera-se cenários de afluições mensais gerados pelo modelo GEVAZP. Hoje é considerado um horizonte de apenas 2 meses.

Na programação diária (modelo DESSEM, ainda em teste) a hidrologia é considerada de forma determinística, através da previsão de afluições diárias para um horizonte de 7 a 13 dias.

Este relatório consiste no manual de metodologia do modelo PREVIVAZH (Costa et al., 2000, Livino et al., 2001) versão 3.3. Que poderá ser utilizada para realizar as previsões de afluições diárias para o horizonte de 1 a 14 dias, ou para a previsão da afluição semanal para a primeira semana do planejamento de curto prazo. Entre os aprimoramentos implementados nesta

versão, destaca-se a possibilidade de considerar a informação de precipitação observada e/ou prevista.

II. Metodologia

O PREVIVAZH é um modelo de natureza estocástica, baseado na desagregação em intervalos diários das previsões semanais utilizadas na elaboração do Programa Mensal da Operação Energética, PMO (em geral, obtidas pelo modelo PREVIVAZ).

O modelo utiliza as previsões das afluições semanais e seqüências sintéticas de vazões diárias (geradas pelo modelo DIANA, Kelman et al., 1983) para o horizonte desejado (1 a 14 dias), condicionada às últimas afluições diárias observadas e às informações quantitativas de precipitação média diária na bacia no dia a ser previsto e também nos dois dias que antecedem ao dia da previsão.

II.1. Geração de seqüências sintéticas condicionadas

A formulação do modelo DIANA baseia-se na idéia que as vazões diárias podem ser decompostas em duas parcelas: uma parcela dependente de fatores externos (por exemplo, precipitação) e outra que representa o contínuo esvaziamento da bacia. Considera-se que a vazão no dia t da hidrógrafa de um dado posto fluviométrico é dada pela soma de dois componentes:

$$Q(t) = U(t) + O(t), t = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Idealmente, $U(t)$ dependeria principalmente de fatores externos (ex.: precipitações), cuja natureza intermitente ocasionariam na hidrógrafa pulsos irregularmente espaçados no tempo. Por outro lado, $O(t)$ representaria o contínuo esvaziamento da água armazenada na bacia hidrográfica. Considera-se a ocorrência de $u(t)$ positivo sempre que $q(t) > \lambda q(t-1)$, onde $0 \leq \lambda \leq 1$ é uma taxa de recessão característica do posto fluviométrico. Para qualquer λ a opção implica que:

$$\begin{aligned} u(t) &= 0 && \text{se } q(t) \leq \lambda q(t-1) \\ u(t) &= q(t) - \lambda q(t-1) && \text{se } q(t) > \lambda q(t-1) \end{aligned} \quad (2)$$

Nos dias em que atuam fatores externos ($u(t) > 0$), a vazão total é dada por:

$$q(t) = \lambda q(t-1) + u(t), \quad u(t) > 0 \quad (3)$$

e, portanto:

$$O(t) = \lambda q(t-1), \quad u(t) > 0 \quad (4)$$

Nos dias em que não atuam fatores externos ($u(t) = 0$), a vazão total é dada simplesmente por $O(t)$, o qual pode ser considerado como a soma das defluências de dois reservatórios lineares, cada parcela dependendo de $q(t-1)$ através de uma equação probabilística. Esta abordagem pode ser simplificada considerando-se apenas um reservatório linear de comportamento estocástico. Assim, quando $u(t) = 0$, $O(t)$, e, portanto, $q(t)$, é uma fração $k(t) \leq \lambda$ da vazão anterior:

$$q(t) = O(t) = k(t) q(t-1), \quad k(t) \leq \lambda; \quad u(t) = 0 \quad (5)$$

Juntando-se as equações (1), (3) e (5) o modelo pode ser escrito por:

$$\begin{cases} q(t) = u(t) + k(t) q(t-1) \\ u(t) = 0 \Rightarrow k(t) \leq \lambda \\ u(t) > 0 \Rightarrow k(t) = \lambda \end{cases} \quad (6)$$

Existem dois aspectos a serem considerados na modelagem do processo $U(t)$: a definição de sua distribuição de probabilidade marginal ou de distribuições condicionadas às classes de precipitação média na bacia, levando-se em conta que existe uma probabilidade finita p_{classe} de que $U(t)$ seja exatamente igual a zero, e a preservação da eventual dependência entre valores sucessivos de $U(t)$.

Originalmente o modelo adotava a distribuição marginal empírica, a partir da versão 3.0 pode-se adotar as distribuições empíricas condicionadas às classes de precipitação média na bacia, $F_{U/\text{classe}}(\cdot)$. Neste relatório será considerada a distribuição condicionada de $U(t)$.

Quanto a questão da dependência entre $U(t-1)$ e $U(t)$, o modelo, assume a existência de um processo autoregressivo normal de ordem 1 com censura, cujo coeficiente de autocorrelação ρ deve ser preservado. Este processo é mapeado em $U(t)$ através de uma transformação não-paramétrica que deve preservar as distribuições empíricas $F_{U/\text{classe}}(\cdot)$, conforme a seguir exposto. Seja o processo markoviano $Z(t)$ definido por:

$$z(t) = \rho z(t-1) + \varepsilon(t) \sqrt{1-\rho^2} \quad (7)$$

onde $\varepsilon(t)$ é um ruído normal padrão e ρ a correlação lag-1 do processo markoviano.

Seja o processo $Y(t)$ resultado de uma censura imposta ao processo $Z(t)$ definida por:

$$\begin{aligned}
 y(t) &= z(t) & \text{se} & & z(t) > \beta_{\text{classe}} \\
 y(t) &= \beta_{\text{classe}} & \text{se} & & z(t) \leq \beta_{\text{classe}}
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\beta_{\text{classe}} = \Phi^{-1}(p_{\text{classe}})$$

onde β_{classe} define o intervalo de censura $(-\infty, \beta_{\text{classe}})$, $\Phi(\cdot)$ é a distribuição acumulada normal, e $p_{\text{classe}} = P[u(t)=0|\text{classe}]$.

A relação entre $U(t)$ e $Y(t)$ é obtida resolvendo-se $F_{U|\text{classe}}(u) = \Phi(y(t))$.

Para a modelagem da série de $k(t)$'s assume-se que seja suficiente simplesmente usar para a geração de valores sintéticos a distribuição empírica de $k(t)$ menor que λ , $F_K(\cdot)$, sempre que $u(t) = 0$, e $k(t) = q(t) / q(t-1)$.

O algoritmo de geração de seqüências sintéticas pode ser descrito resumidamente por:

- i. calcula-se $z(0)$ a partir de $q(-1)$, $q(0)$ (vazões diárias observadas nos dias anteriores ao primeiro dia a ser previsto) e a classe da precipitação no dia $t=0$
- ii. fazer $t = 1$
- iii. identifica-se a classe da precipitação média para o dia t
- iv. sortear um ruído $\varepsilon(t)$ da distribuição normal padrão $\Phi(\cdot)$
- v. calcular $z(t) = \rho z(t-1) + \varepsilon(t)\sqrt{1-\rho^2}$ e fazer $y(t) = \text{Max}(\beta_{\text{classe}}, z(t))$
- vi. obter $u(t)$ resolvendo $F_{U|\text{classe}}(u) = \Phi(y(t))$
- vii. se $u(t) > 0$ obter $q(t) = u(t) + \lambda q(t-1)$. Se $u(t) = 0$ sortear $k(t)$ de $F_K(\cdot)$ e obter $q(t) = k(t) q(t-1)$
- viii. fazer $t = t + 1$ e retornar a (iii)

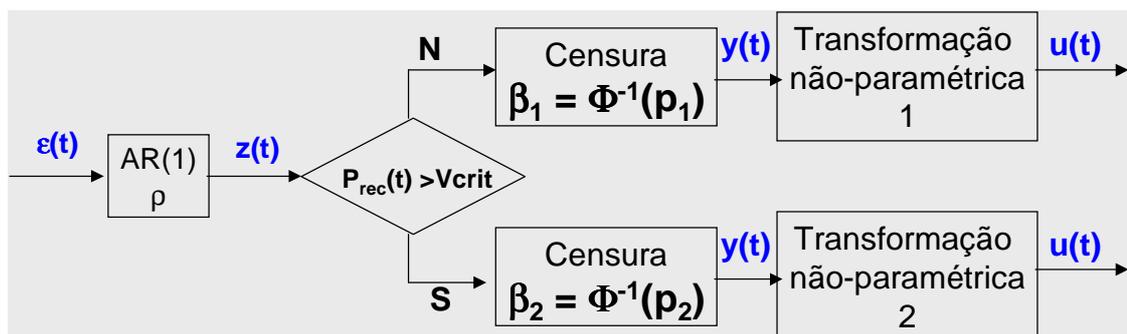


Figura 1 – Esquema para obtenção de $u(t)$ considerando a informação quantitativa de precipitação. V_{crit} é o valor limite de precipitação para uma dada classe de precipitação. $P_1 = P_{\text{classe } 1}$.

II.1.1. Condicionamento das distribuições dos incrementos

O condicionamento da distribuição de $U(t)$ pressupõe a definição das classes de precipitação média diária na bacia. A informação de precipitação utilizada para condicionar a distribuição do processo $U(.)$ no dia t , pode ser na sua forma mais simples, a precipitação ocorrida para o dia $t-1$ ou a previsão da precipitação para o dia t . Outras alternativas incluem o uso de médias ponderadas de precipitações ocorridas recentemente de forma a modelar uma variação do tempo de viagem no interior da área de drenagem (maiores detalhes ver Costa et al, 2004, 2005 e 2006).

À medida que se deseja fazer previsões para horizontes maiores (mais de um dia de antecedência), as precipitações ocorridas em $t-1$, $t-2$, ... não estariam ainda disponíveis, neste caso adotam-se previsões de precipitação para estes dias. Assim é necessário a disponibilização de previsões de precipitação para todos os dias do horizonte da previsão de vazões.

Seja qual for a definição da informação quantitativa de precipitação, para a estimação da distribuição condicionada dos incrementos de vazão, considera-se possível calcular para cada dia do histórico o valor correspondente $prec(t)$. Se definirmos um valor crítico próximo de zero, e se dividirmos a amostra disponível de $u(t)$ em duas sub-amostras, a primeira incluindo apenas os dias em que $prec(t)$ não excedesse o valor crítico selecionado e a segunda incluindo os dias em que $prec(t)$ o excedesse, é de se esperar que a probabilidade de que $U(t)$ seja exatamente igual a zero varie em cada sub-amostra, apresentando valores maiores na primeira. Da mesma forma, espera-se que as distribuições empíricas de $U(t) > 0$ das duas sub-amostras difiram significativamente entre si.

O valor crítico para esta repartição da amostra deve ser obtido através de uma calibração com o histórico, procurando obter o valor que fornecesse previsões de aflúências com menor erro médio absoluto.

Este esquema de uso da informação de $prec(t)$ pode ser desdobrado dividindo-se a amostra em mais de duas sub-amostras e os valores críticos das repartições devem ser também calibrados de forma similar à calibração do valor crítico usado na primeira repartição da amostra (maiores detalhes ver Costa et al, 2004, 2005 e 2006).

O número de distribuições de incrementos de vazão condicionadas a precipitação depende do número de classes definidas no estudo. O modelo PREVIVAZH permite considerar até três classes. Ressalta-se que se deve garantir um número mínimo de incrementos em cada classe para preservar a qualidade da distribuição condicionada estimada. Caso se opte pelo não condicionamento das distribuições dos incrementos, isto é, adote-se a distribuição marginal dos incrementos, todos os incrementos de vazão obtidos na série histórica serão utilizados para a estimação da distribuição marginal.

II.2. Algoritmo de Desagregação

O modelo PREVIVAZH permite a realização de previsões para horizontes de 1 a 14 dias. Dependendo do horizonte o algoritmo de desagregação sofre pequenas alterações. Introduziremos o algoritmo considerando o horizonte de previsão de 7 dias, as alterações referentes aos demais horizontes são apresentadas nos itens II.2.2 e II.2.3.

II.2.1. Horizonte de 7 dias

De forma bastante resumida o processo de desagregação da previsão da afluência semanal QS_1 , em previsões para os 7 dias da semana, adotado no PREVIVAZH pode ser descrito da seguinte forma:

Consideram-se disponíveis a vazão semanal prevista para a semana que se inicia no dia $i = 1$, QS_1 , as duas últimas vazões diárias observadas, referentes aos dias $i = -1$ e $i = 0$, respectivamente QD_{-1} e QD_0 , e as previsões de precipitação para os dias $i = 1, \dots, 7$. Para cada dia através do valor das precipitações previstas define-se a classe de precipitação, figura 2.

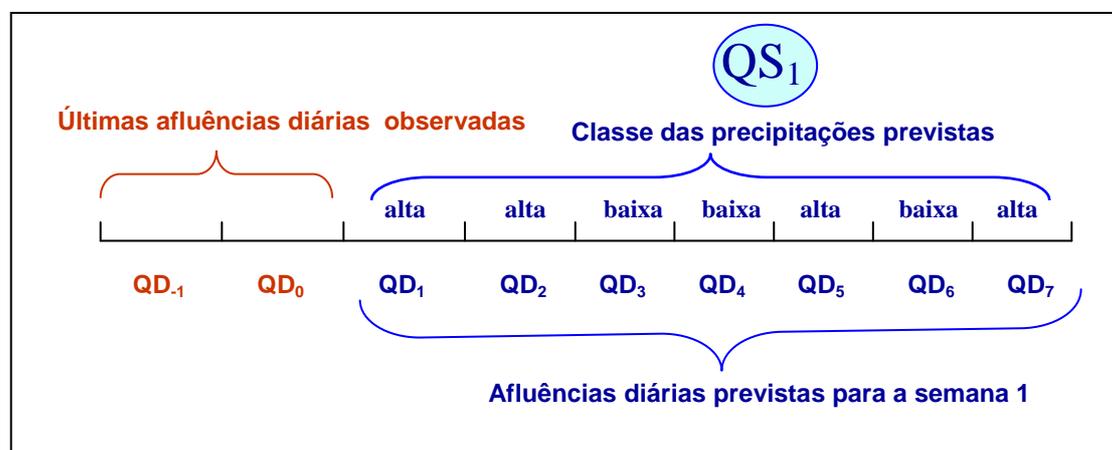


Figura 2 - Desagregação da previsão semanal QS_1 em vazões diárias QD_i $i=1, \dots, 7$

Passo 1: Gera-se com o modelo DIANA, condicionado às últimas duas afluências diárias observadas e às informações sobre a classe das precipitações médias diárias na bacia para os próximos $D=7$ dias, um conjunto de M seqüências sintéticas de D vazões diárias, QD^m_i , $i=1, \dots, D$; $m=1, \dots, M$.

Passo 2: Do conjunto de M seqüências, seleciona-se aquela cuja vazão média semanal seja a mais próxima à QS_1 para formar a previsão das vazões dos dias $i=1, 2, \dots, D$.

Previsões para outros horizontes podem ser necessárias. As duas principais situações são:

- ♦ Para a realização da programação diária eletro-energética pode ser necessário previsões diárias ao longo das duas primeiras semanas do PMO, após o início da 1ª semana, quando já estão disponíveis vazões diárias verificadas durante os primeiros dias do PMO. Denominaremos “previsões diárias após o início do PMO”,
- ♦ Previsão para a semana do PMO com antecedência 1 a 5 dias, o que conduz a previsões diárias com horizontes de 8 a 12 dias. Denominaremos “previsões para o PMO com antecedência de X dias”.

II.2.2. Previsões diárias após o início do PMO

À medida que os dias vão passando pode ser necessário, para a realização da programação diária eletro-energética, previsões diárias ao longo das duas primeiras semanas do PMO, após o início da 1ª semana, quando já estão disponíveis as vazões diárias verificadas durante os primeiros dias do PMO. Nesta situação a definição do horizonte da previsão depende de dois fatores: o número de semanas do PMO consideradas na previsão (uma ou duas semanas) e o número de dias já transcorridos para os quais se conhece a afluência diária (de 1 a 6 dias). Desta forma, duas situações são possíveis:

- Caso 1 - Horizonte de 1 a 6 dias:** Previsão dentro da 1ª semana do PMO. Neste caso o horizonte pode variar de 6 dias (quando apenas transcorreu o 1º dia e sua afluência é conhecida, portanto a previsão será do 2º ao 7º dia), a 1 dia (quando já transcorram os 6 primeiros dias e suas afluências são conhecidas, portanto a previsão será apenas para o 7º dia)
- Caso 2 – Horizontes de 8 a 13 dias:** Previsão considerando as duas primeiras semanas do PMO. Neste caso o horizonte pode variar de 13 dias (quando apenas transcorreu o 1º dia e sua afluência é conhecida, portanto a previsão será do 2º ao 14º dia), a 8 dias (quando já transcorram os 6 primeiros dias e suas afluências são conhecidas, portanto a previsão será do 7º ao 14º dia)

Observa-se que nos dois casos os dias cujas vazões já foram observadas pertencem à primeira semana. As afluências observadas no decorrer desta semana podem indicar que a previsão de afluência semanal está muito descolada da realidade, levando a uma correção ou até à desconsideração da mesma. Para melhor entendimento desta situação, apresentamos a Tabela 1. Quanto maior o número de dias observados dentro da semana considerada, maior a influência sobre a previsão de afluência semanal. A medida desta influência, dos dias observados no decorrer da semana, na previsão da afluência semanal, é dada por um fator de correção aplicado à

previsão de afluência semanal. A descrição do procedimento adotado neste caso é apresentada a seguir:

Tabela 1 – Procedimento para previsão da afluência para os dias restantes da semana.

<i>MQOBS</i>		<i>QS₁</i>						
<i>QD₋₁</i>	<i>QD₀</i>	<i>QD₁</i>	<i>QD₂</i>	<i>QD₃</i>	<i>QD₄</i>	<i>QD₅</i>	<i>QD₆</i>	<i>QD₇</i>
último dia da semana (<i>H₇</i>)								
<i>MQOBS</i>		<i>QS₁</i>						
<i>QD₋₂</i>	<i>QD₋₁</i>	<i>QD₀</i>	<i>QD₁</i>	<i>QD₂</i>	<i>QD₃</i>	<i>QD₄</i>	<i>QD₅</i>	<i>QD₆</i>
primeiro dia da semana (<i>H₆</i>)								
<i>MQOBS</i>		<i>QS₁</i>						
<i>QD₋₃</i>	<i>QD₋₂</i>	<i>QD₋₁</i>	<i>QD₀</i>	<i>QD₁</i>	<i>QD₂</i>	<i>QD₃</i>	<i>QD₄</i>	<i>QD₅</i>
segundo dia da semana (<i>H₅</i>)								
<i>MQOBS</i>		<i>QS₁</i>						
<i>QD₋₄</i>	<i>QD₋₃</i>	<i>QD₋₂</i>	<i>QD₋₁</i>	<i>QD₀</i>	<i>QD₁</i>	<i>QD₂</i>	<i>QD₃</i>	<i>QD₄</i>
terceiro dia da semana (<i>H₄</i>)								
<i>MQOBS</i>		<i>QS₁</i>						
<i>QD₋₅</i>	<i>QD₋₄</i>	<i>QD₋₃</i>	<i>QD₋₂</i>	<i>QD₋₁</i>	<i>QD₀</i>	<i>QD₁</i>	<i>QD₂</i>	<i>QD₃</i>
quarto dia da semana (<i>H₃</i>)								
<i>MQOBS</i>		<i>QS₁</i>						
<i>QD₋₆</i>	<i>QD₋₅</i>	<i>QD₋₄</i>	<i>QD₋₃</i>	<i>QD₋₂</i>	<i>QD₋₁</i>	<i>QD₀</i>	<i>QD₁</i>	<i>QD₂</i>
quinto dia da semana (<i>H₂</i>)								
<i>MQOBS</i>		<i>QS₁</i>						
<i>QD₋₇</i>	<i>QD₋₆</i>	<i>QD₋₅</i>	<i>QD₋₄</i>	<i>QD₋₃</i>	<i>QD₋₂</i>	<i>QD₋₁</i>	<i>QD₀</i>	<i>QD₁</i>
sexto dia da semana (<i>H₁</i>)								

Adotando as seguintes considerações:

- ✓ Horizonte de previsão: H_k , $k = 1,7$; onde k = número de dias de previsão;
- ✓ Valor da previsão de afluência semanal previsto pelo PREVIVAZ como QS_1 ;
- ✓ Novo valor de previsão de afluência semanal corrigido: $qsemcorr$;
- ✓ Fator de correção utilizado para corrigir a previsão como *fator*;
- ✓ Dias observados na semana considerada QD_i , $i = 0, -1, -2, -3, -4, -5, -6$
- ✓ *MQOBS*, afluência semanal observada

✓ QD_i: i=1,2,...previsões de aflúências diária fornecidas pelo PREVIVAZH

Obtemos o seguinte procedimento para correção da previsão da aflúência semanal para cada diferente horizonte de previsão τ :

$$H_{\tau} : fator = \frac{QD_0}{QS_1} e \quad (8)$$

$$qsemcorr = \left(\frac{(QS_1 \times 7) - QD_0}{6} \right) \times fator \quad (9)$$

$$H_5 : fator = \frac{QD_0 + QD_{-1}}{2 \cdot QS_1} e \quad (10)$$

$$qsemcorr = \left(\frac{(QS_1 \times 7) - QD_0 - QD_{-1}}{5} \right) \times fator \quad (11)$$

$$H_4 : fator = \frac{QD_0 + QD_{-1} + QD_{-2}}{3 \cdot QS_1} e \quad (12)$$

$$qsemcorr = \left(\frac{(QS_1 \times 7) - QD_0 - QD_{-1} - QD_{-2}}{4} \right) \times fator \quad (13)$$

$$H_3 : fator = \frac{QD_0 + QD_{-1} + QD_{-2} + QD_{-3}}{4 \cdot QS_1} e \quad (14)$$

$$qsemcorr = \left(\frac{(QS_1 \times 7) - QD_0 - QD_{-1} - QD_{-2} - QD_{-3}}{3} \right) \times fator \quad (15)$$

$$H_2 : fator = \frac{QD_0 + QD_{-1} + QD_{-2} + QD_{-3} + QD_{-4}}{5 \cdot QS_1} e \quad (16)$$

$$qsemcorr = \left(\frac{(QS_1 \times 7) - QD_0 - QD_{-1} - QD_{-2} - QD_{-3} - QD_{-4}}{2} \right) \times fator \quad (17)$$

$$H_1 : fator = \frac{QD_0 + QD_{-1} + QD_{-2} + QD_{-3} + QD_{-4} + QD_{-5}}{6 \cdot QS_1} e \quad (18)$$

$$qsemcorr = ((QS_1 \times 7) - QD_0 - QD_{-1} - QD_{-2} - QD_{-3} - QD_{-4} - QD_{-5}) \times fator \quad (20)$$

É importante ressaltar que o resultado desta correção da previsão de afluência semanal pode apresentar um resultado negativo, o que deve ser evitado, portanto existe um tratamento para este caso, que consiste em desconsiderar a correção e utilizar a previsão semanal de afluência, sem correção.

O procedimento descrito acima para atualização da previsão da afluência para os dias restantes da 1ª semana é o mesmo no caso 1 e 2. As diferenças entre os procedimentos (item II.2.1) para a realização das previsões de afluências diárias para horizonte de 1 a 6 dias (caso 1) e de 8 a 13 dias (caso 2) são: (a) no número de afluências diárias geradas, D , no passo 1 do item II.2.1, que poderá variar de 1 a 13 dias dependendo do horizonte desejado e na forma de escolha da seqüência que representará a previsão de afluências diárias, e (b) no critério para escolha da seqüência que representará as previsões de afluências diárias no passo 2 do item II.2.1.

O critério de escolha da seqüência que representará as previsões de afluências diárias é:

- ♦ **Horizonte da previsão for de 1 a 6 dias:** escolhe-se a seqüência cuja média das D afluências diárias geradas for mais próxima de $q_{semcorr}$
- ♦ **Horizonte da previsão for de 8 a 13 dias:** a escolha é feita em duas etapas. Primeiro seleciona-se as cinqüenta seqüências cujas médias dos D dias contido na 1ª semana sejam mais próximos de $q_{semcorr}$. Deste conjunto de cinqüenta seqüências escolhe-se aquela cuja média das afluências diárias dos 7 dias da 2ª semana seja mais próximo da previsão semanal, oriunda do PREVIVAZ, para esta semana.

II.2.3. Previsões para o PMO com antecedência de X dias

A semana do PMO começa sempre no sábado, porém, a previsão da afluência semanal para o PMO é realizada com alguma antecedência, em geral, na quarta-feira. Assim, as afluências diárias correspondentes aos 3 dias antes do término da semana corrente ainda não são conhecidas e, portanto, são estimadas. Uma forma de estimar estas afluências diárias é realizar um previsão com horizonte que englobe estes dias, por exemplo, acrescentar os 3 dias da semana corrente aos 7 dias da semana a ser prevista, resultando num horizonte de 10 dias para as previsões de afluências diárias.

Para obter estas previsões o passo 1 do procedimento do item II.2.1 é alterado para geração de seqüências de afluências de $D=10$ dias. Além disto, a seqüência escolhida, no passo 2, para representar a previsão será aquela cuja média das afluências diárias do 4º ao 10º dia seja mais próxima de QS_1 .

Caso deseje-se realizar a previsão na segunda ou terça-feira, o horizonte da previsão será de 11 ou 12 dias, e o procedimento é basicamente o mesmo, alterando-se apenas o valor de D para 11 e 12 dias e a média das afluições diária que será comparada com QS_1 , que corresponderá à média das afluições do 5º ao 11º dia ou do 6º ao 12º dia, conforme o caso.

II.3. Atualização da Previsão Semanal

Vale observar que a previsão semanal, QS_1 , é obtida a partir de valores médios de afluições para semanas. É possível que as últimas afluições diárias observadas, QD_{-1} e QD_0 , e as informações de precipitação média diária na bacia para os dias da semana a prever, estejam sinalizando que a previsão QS_1 (ou $qsemcorr$) esteja bastante descolada da realidade. Eventuais discrepâncias devem ser consideradas no processo de escolha da seqüência sintética a ser utilizada como previsão das afluições diárias para os dias da semana em curso.

II.3.1. Grau de Discrepância e Atualização da Previsão Semanal

No modelo PREVIVAZH o grau de discrepância entre QS_1 (previsão semanal) e as afluições diárias observadas e a informação de precipitação, é avaliado através da distribuição de freqüência das vazões semanais estimadas para esta semana. Esta distribuição de freqüência é construída utilizando-se os valores das médias das vazões diárias das M seqüências sintéticas geradas no passo 1 do algoritmo de desagregação, $\{\overline{QD}^m, m=1, \dots, M\}$.

$$\overline{QD}^m = \frac{\sum_{i=1}^7 QD_i}{7} \quad m = 1, \dots, M \quad (21)$$

Considera-se ou não a necessidade de atualização do valor de QS_1 , dependendo da sua localização na distribuição de freqüência das M médias semanais, $\{\overline{QD}^m, m=1, \dots, M\}$.

Sejam os valores de vazões médias semanais obtidos na distribuição de freqüência de \overline{QD}^m (a, b, QM, c, d), conforme a figura 3 a seguir, tais que:

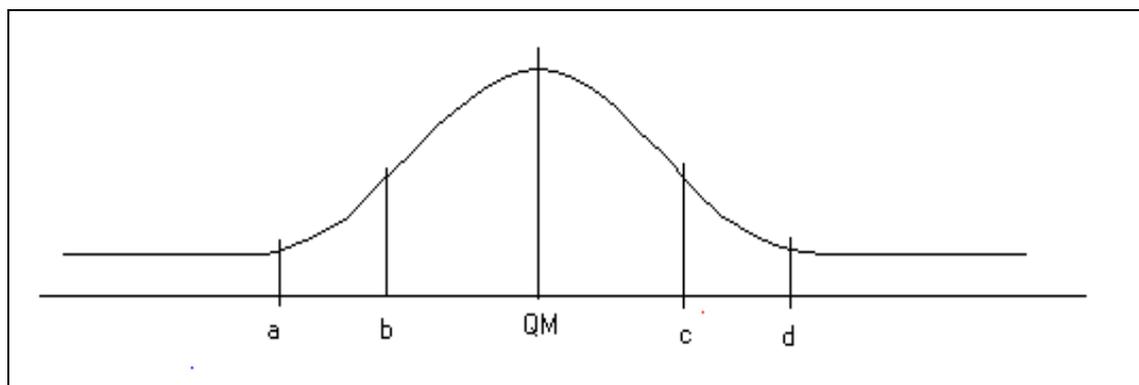


Figura 3 - Distribuição das frequências das M médias semanais.

$$\Pr[\overline{QD}^m \leq a] = \alpha_1, \quad (22)$$

$$\Pr[\overline{QD}^m \leq b] = \alpha_2, \quad (23)$$

$$QM = \sum_{i=1}^m \frac{\overline{QD}^m}{m} \quad (24)$$

$$\Pr[\overline{QD}^m \geq c] = \alpha_2, \quad (25)$$

$$\Pr[\overline{QD}^m \geq d] = \alpha_1 \quad (26)$$

onde α_1 e α_2 , são níveis de tolerância, tais que:

$$\alpha_1 \leq \alpha_2. \quad (27)$$

Sempre que o valor de QS_1 estiver contido no intervalo $[b,c]$, considera-se que não há discrepância entre QS_1 e as afluências diárias já ocorridas e as previsões de precipitação para os dias do horizonte da previsão das afluências diárias, e seleciona-se o segmento com média mais próxima de QS_1 .

Caso o valor de QS_1 esteja fora deste intervalo, considera-se que há discrepância entre QS_1 e as informações mais recentes (afluências diárias já ocorridas e as previsões de precipitação), segue-se então o seguinte procedimento:

- ♦ $QS_1 \in [a,b] \Rightarrow$ o valor de média usado para seleção da seqüência sintética é obtido interpolando-se na reta definida pelos pontos (a, QM) e (b, QS_1) .

- ♦ $QS_1 \in (c, d] \Rightarrow$ o valor da média semanal usado para seleção da seqüência sintética é obtido interpolando-se na reta definida pelos pontos (c, QS_1) e (d, QM) .
- ♦ $QS_1 > d$, ou $QS_1 < a$ e se $\alpha_1 < \alpha_2$ utiliza-se QM para seleção da seqüência sintética.
- ♦ $\alpha_1 = \alpha_2$, $QS_1 < a$, o valor de média usado para seleção da seqüência sintética é obtido interpolando-se na reta definida pelos pontos $(\min\{\overline{QD}^m, m=1, \dots, M\}, QM)$ e (a, QS_1) .
- ♦ $\alpha_1 = \alpha_2$, $QS_1 > d$, o valor de média usado para seleção da seqüência sintética é obtido interpolando-se na reta definida pelos pontos $(\max\{\overline{QD}^m, m=1, \dots, M\}, QM)$ e (d, QS_1) .

Inicialmente, conforme descrito em COSTA et al (2000), foi testado somente o valor 5% para α_1 e α_2 . No decorrer do desenvolvimento do modelo PREVIVAZH (Livino, 2001), novos pares de níveis de tolerância (α_1, α_2) foram testados para as diferentes séries de afluências diárias utilizadas e chegou-se à conclusão de que a escolha do melhor procedimento a adotar na atualização de QS_1 , varia de série para série e pode ser feita testando-se as seis opções da tabela 2 que foram implementadas no modelo PREVIVAZH.

Tabela 2 – Opções implementadas de atualização da previsão semanal e seus respectivos níveis de tolerância.

Opções de atualização	Níveis de tolerância
0	Sem atualização: o modelo adota sempre QS_1 .
1	$\alpha_1 = \alpha_2 = 5\%$
2	$\alpha_1 = 5\%$ e $\alpha_2 = 10\%$
3	$\alpha_1 = 10\%$ e $\alpha_2 = 20\%$
4	$\alpha_1 = 10\%$ e $\alpha_2 = 25\%$
5	$\alpha_1 = 10\%$ e $\alpha_2 = 30\%$

Este procedimento de atualização pode também ser aplicado a *qsemcorr*, no caso de previsão diária após o início do PMO, item II.2.2.

II.3.2. Correção da Tendenciosidade do Erro da Previsão Semanal

Quando a previsão para a 1ª semana do PMO considera todos os sete dias, o que ocorre no caso de previsão para o horizonte de 7 dias (item II.2.1) e previsão para a semana do PMO com antecedência de X dias (item II.2.3), depois de escolhida a melhor opção de atualização da previsão semanal,

como alternativa para melhorar a previsão, ainda pode ser aplicado um fator de correção da tendenciosidade da previsão semanal. Este fator é calculado a partir do valor escolhido como previsão semanal final, isto é depois de atualizado, ou não, conforme descrito no item II.3.1.

O fator de correção da tendenciosidade da previsão semanal é calculado da seguinte forma:

Seja $QS_1^{j,k}$, valor da previsão semanal da semana j , ano k , atualizado ou não, adotado para cálculo da previsão diária;

$MQOBS_{i,j}$, média das afliências diárias observadas na semana j do ano k .

f_{corr_tend} : fator de correção da tendenciosidade da previsão semanal;

$$f_{corr_tend} = \frac{1}{\frac{1}{N} \frac{1}{52} \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{52} QS_1^{j,k}} \quad (28)$$

$$\frac{1}{N} \frac{1}{52} \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{52} MQOBS_{j,k}$$

Depois de calculado este valor e constatada a relevância da tendenciosidade¹, este fator é multiplicado pelo valor de QS_1 (ou $qsemcorr$) em cada semana estudada e as previsões são feitas a partir deste valor corrigido.

¹ Nesta Relatório, foram consideradas relevantes as tendenciosidade superiores a 1%, isto é fatores de correção maiores ou iguais que 1,01 ou inferiores a 0,99.

III. Referências

- ACIOLI, G.C.L., GOMES, L.F.C. e MAGALHÃES, J.K.M. (2004): Previsão de vazões diárias ao reservatório de Sobradinho, VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luiz, Brasil.
- COSTA, F. S.; DAMÁZIO J. M., LIVINO de Carvalho, A. R. e DANTAS, H. M.; “PREVIVAZH – Modelo Estocástico de Previsão de Vazões Diárias”, In: *Trabalhos Tecnicos do Seminário Internacional sobre Hidrologia Operativa* , CIER; Tema 3 – RT41 - Salto Grande, A.R., Maio 2000.
- COSTA, F. S., DAMÁZIO J. M., LIVINO DE CARVALHO, A. R. e DANTAS, H. M. (2000): *PREVIVAZH – Modelo Estocástico de Previsão de Vazões Diárias*, Seminário Internacional sobre Hidrologia Operativa , CIER.
- COSTA F.S., DAMÁZIO J.M. e SOUZA M.D.S. (2004): Uso de Informação Quantitativa de Precipitação na Previsão de Vazões Diárias Através de uma Abordagem Estocástica, *Proceedings of the XXI Congresso Latino americano de Hidráulica São Pedro*, São Paulo, Brasil.
- COSTA, F. DA S., DAMÁZIO, J.M., SOUZA, M.D.S. e MACEIRA, M.E.P. (2006): Previsão de Afluência Semanais para a Elaboração do Planejamento da Operação de Curto Prazo considerando a informação de Precipitação e as últimas afluências diárias observada, X Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Florianópolis, Brasil.
- COSTA, F. DA S., DAMÁZIO, J.M. e SOUZA, M.D.S. (2005): Previsão de vazões diárias na programação eletro-energética do Sistema Interligado Brasileiro, *Proceedings of the XVIII SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Curitiba, Brasil.
- JARDIM, D.L.D.D., MACEIRA, M.E.P. e FALCÃO, D.M. (2001): Stochastic Streamflow Model for Hydroelectric Systems Using Clustering Techniques, In *Anais do IEEE Porto Power Tech Conference*, vol.3, Porto, Portugal.
- KELMAN J., DAMÁZIO J.M. e COSTA J.P. (1983): Geração de Séries Sintéticas de Vazões Diárias – Modelo Diana, *Revista Brasileira de Engenharia – Caderno Recursos Hídricos*, vol 1, no 2, Brasil.
- LIVINO DE CARVALHO A.R. (2001): Previsão de Afluências Diárias Considerando Horizonte de 1 a 7 Dias Através de Uma Abordagem

Estocástica – Modelo Previvazh. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

LIVINO DE CARVALHO, A. R., COSTA, F. S., DAMÁZIO, J. M. e GUILHON, L. G. F. (2001): Previsão de Vazões Diárias através de uma Abordagem Estocástica – Modelo PREVIVAZH, In XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, SE, Brasil.

MACEIRA, M.E.P., TERRY, L.A., COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M. e MELO, A.C.G. (2002): Chain of Optimization Models for Setting the Energy Dispatch and Spot Price in the Brazilian System, in Anais do XIV Power Systems Computation Conference, session 43, paper 1, Sevilla, Spain.

MACEIRA, M.E.P. e MERCIO, C.M.V.B. (1997): Stochastic Streamflow Model for Hydroelectric Systems, in Anais do V International Conference PMAPS - Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Vancouver, Canada.

MACEIRA M.E.P., DAMÁZIO J.M., GHIRARDI A.O. e DANTAS H. (1999): Periodic ARMA Models Applied to Weekly Streamflow Forecasts. Proceedings of the 1999 IEEE Powertech, Budapest.