

## CADERNOS DO IME – Série Estatística

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
ISSN 1413-9022 / v. 27, p. 01 - 12, 2009

# USO DOS MODELOS PREVIVAZM E PREVIVAZ PARA PREVISÃO DE AFLUÊNCIAS MENSIS AOS APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS TUCURUÍ E CURUÁ-UNA

Maria Teresa Chico Rivera Quintão  
ELETRONORTE Centrais Elétricas do Norte do Brasil  
mteka@eln.gov.br

Saulo Aires de Souza  
CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica  
Saulo@cepel.br

Fernanda da Serra Costa  
CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica  
UERJ Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
fernanda@cepel.br

Jorge Machado Damázio  
CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica  
UERJ Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
damazio@cepel.br

### Resumo

*O planejamento da operação de aproveitamentos hidroelétricos envolve a obtenção e previsões de afluências para diferentes horizontes e discretização temporal. Em tempo real podem ser necessárias previsões a nível horário para o horizonte de 24 horas, enquanto que para um planejamento de médio prazo utiliza-se a previsão de afluências mensais com horizonte de alguns meses, sendo o maior interesse na previsão para o próximo mês. Para o último caso, a abordagem de modelagem clássica, consiste em se adotar um modelo estatístico que considere os efeitos da sazonalidade climática e da tendência hidrológica, como é o caso dos modelos auto-regressivos e média móvel adotados nos modelos PREVIVAZM e PREVIVAZ. Este artigo apresenta um estudo do uso do modelo PREVIVAZM para prever as afluências mensais um passo a frente para os aproveitamentos hidroelétricos de Tucuruí e Curuá-Una acoplado ao uso do PREVIVAZ para completar o total afluente do mês em curso.*

**Palavras-chave:** Planejamento da Operação de Hidroelétricas, Previsão de Afluências, Modelos Estocásticos.

## 1. Introdução

O planejamento da operação de aproveitamentos hidroelétricos envolve a obtenção e previsões de aflúências para diferentes horizontes e discretização temporal. Em tempo real podem ser necessárias previsões a nível horário para o horizonte de 24 horas, enquanto que para um planejamento de médio prazo utiliza-se a previsão de aflúências mensais com horizonte de alguns meses, sendo o maior interesse na previsão para o próximo mês. Para o último caso, a abordagem de modelagem clássica, consiste em se adotar um modelo estatístico que considere os efeitos da sazonalidade climática e da tendência hidrológica, como é o caso dos modelos auto-regressivos e média móvel utilizados adotados nos modelos PREVIVAZM e PREVIVAZ (COSTA *et al.*, 2007).

Quando a tendência hidrológica é utilizada uma dificuldade é a sua atualização a partir dos dados mais recentes de aflúência. Em geral, no momento de realização da previsão, a vazão correspondente ao último intervalo de tempo da tendência hidrológica ainda não está disponível, por exemplo, quando se deseja prever a aflúência do mês seguinte antes do mês corrente terminar. Uma forma de estimar a vazão do mês em curso consiste em utilizar previsões a intervalos de tempo menores para o mês.

Este artigo apresenta um estudo do uso do modelo PREVIVAZM para prever as aflúências mensais um passo a frente para os aproveitamentos hidroelétricos de Tucuruí e Curuá-Una acoplado ao uso do PREVIVAZ para completar o total aflúente do mês em curso.

## 2. Modelos PREVIVAZ e PREVIVAZM

Os modelos PREVIVAZ e PREVIVAZM utilizam o componente determinístico de modelos de séries temporais que representam tanto o comportamento sazonal do clima quanto a tendência hidrológica, esta última conhecida na terminologia de séries temporais como estrutura de dependência temporal. Essencialmente, qualquer estrutura de dependência temporal sazonal pode ser reproduzida por modelos de séries temporais lineares do tipo PARMA(p,q), sendo este tipo de modelo uma abordagem bastante flexível, e bastante popular para a modelagem estocástica de vazões fluviais (HIPEL e MCLEOD, 1994). O PREVIVAZ e o PREVIVAZM utilizam modelos lineares do tipo PARMA(p,q) (BOX & JENKINS, 1970), acoplado a diferentes pré-transformações das séries históricas, tipo Box&Cox ou logarítmicas (BOX & COX, 1964) e a diferentes

formas de estimação de parâmetros dos modelos, para obtenção de previsões de vazões semanais e mensais respectivamente.

Nos modelos PREVIVAZ, e PREVIVAZM os algoritmos de previsão, definidos por um modelo, método de estimação específico e transformação da série de vazões, são testados por um esquema onde cada série é dividida em duas partes. Inicialmente, apenas a primeira parte da série é utilizada para a estimação dos parâmetros (estimação) e a segunda parte apenas para o cálculo de erros de previsão (verificação). Em seguida, a estimação dos parâmetros passa a ser feita com a segunda parte da série, ficando a primeira parte apenas para cálculo de erros de previsão. Para cada parte da série é computado o erro padrão de previsão (raiz quadrada da média dos quadrados dos erros de previsão - EQM) um passo à frente obtendo-se, a seguir, a média dos dois valores. A cada semana/mês escolhe-se o algoritmo de menor erro médio quadrático de previsão um passo a frente.

### **3. Metodologia Adotada**

Para a avaliação do uso dos modelos PREVIVAZ e PREVIVAZM simulou-se a obtenção de previsões mensais um passo a frente considerando-se quatro situações:

- 1- a vazão do mês corrente é conhecida (situação mais favorável, considerada como controle),
- 2- desconsidera-se todas as informações do mês corrente e utiliza-se o PREVIVAZM para fazer a previsão dois passos a frente (situação mais desfavorável),
- 3- a vazão do mês corrente é estimada, de forma expedita pela média das vazões diárias já registradas no mês,
- 4- a vazão do mês corrente é formada pelas vazões semanais observadas do mês corrente, com excessão da vazão da última semana que é obtida pelo modelo PREVIVAZ.

As previsões foram comparadas com os valores observados através da média do erro percentual absoluto para todo o período disponível e para os períodos úmido, seco, e de transição.

### **4. Estudo de Caso**

O aproveitamento hidroelétrico de Tucuruí, inaugurado em 1985, está localizado na região Norte do País, imediatamente a montante da cidade de Tucuruí as margens rio Tocantins. O rio Tocantins nasce no Planalto Central Brasileiro e tem sua foz no

estuário do rio Amazonas. A área da bacia de captação é de aproximadamente 758.000 km<sup>2</sup> e a afluência média ao local do aproveitamento é 11.000 m<sup>3</sup>/s. O volume útil de seu reservatório é de 38.982 hm<sup>3</sup>. A potência instalada é 8.370 MW.

O aproveitamento hidroelétrico de Curuá-Una localizado também na região Norte do País, à 70 Km ao sul da cidade de Santarém, no rio Curuá-Una afluente da margem direita do rio Amazonas, a área de drenagem associada é de 153.000 km<sup>2</sup> e a afluência média ao local do aproveitamento é 188 m<sup>3</sup>/s. Foi inaugurado em 1977 e interligado ao aproveitamento de Tucuruí em 1999. Seu reservatório possui um volume útil de 400 hm<sup>3</sup>. A potência instalada é 30 MW.

Estavam disponíveis, para os dois aproveitamentos, séries históricas de vazões mensais e diárias abrangendo o período de 1931 à 2006. As figuras 1 e 2 apresentam hidrogramas das vazões mensais para alguns anos do histórico para os aproveitamentos de Tucuruí e Curuá-Una, respectivamente. Pode-se observar que nos dois casos o regime hidrológico é bem definido com estação seca ocorrendo entre os meses de Julho e Novembro para Tucuruí e entre os meses de Setembro e Dezembro para Curuá-Una e estação úmida ocorrendo entre os meses de Fevereiro e Abril para Tucuruí e entre os meses de Março e Junho para Curuá-Una.

Figura 1. Hidrogramas de vazões mensais - Tucuruí

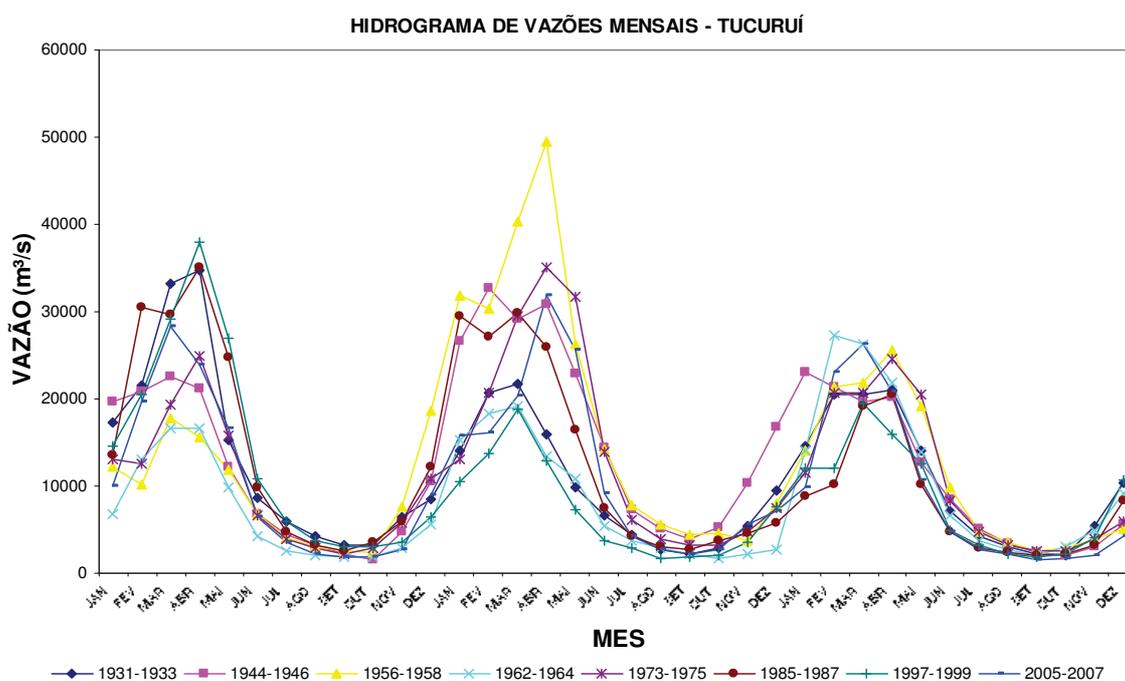
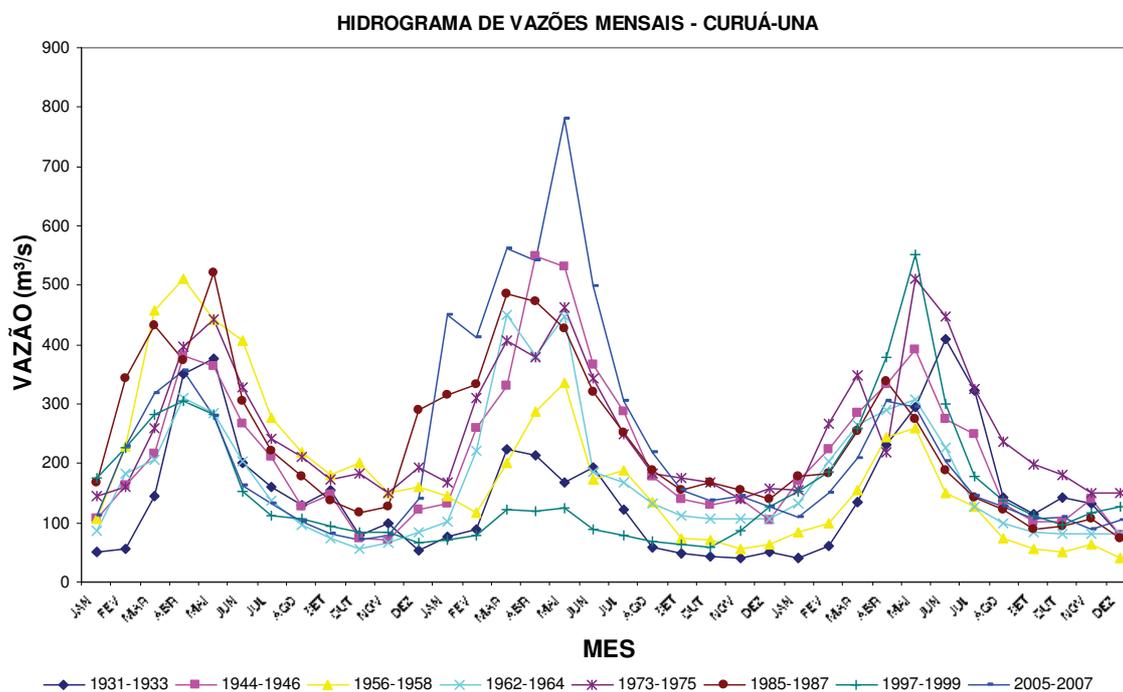


Figura 2. Hidrogramas de vazões mensais - Curuá-Uma



A partir das séries históricas de vazões diárias foram construídas séries de vazões semanais, considerando as semanas do PMO (Programa Mensal de Operação), necessárias para aplicação do modelo PREVIVAZ na situação 4, descrita no item 3. O período de 1931 a 1995 foi utilizado para a estimação dos parâmetros dos modelos PREVIVAZM e PREVIVAZ. A simulação das previsões de aflúências mensais foi feita para o período de 2004 a 2006, que corresponde ao período de disponibilidade das estimativas expedidas da situação 3 descrita no item 3.

## 5. Resultados

### - Caso Tucuruí

Na figura 3 são comparadas as previsões mensais obtidas nas quatro situações com as vazões observadas. Na figura 4 são apresentados os erros percentuais absolutos das previsões mensais obtidas em cada situação. Pode-se observar que a situação 1 é que fornece as melhores previsões e a situação 2, conforme esperado, é a que fornece as piores previsões. As situações 3 e 4 são similares e se aproximam da situação 1.

Figura 3. Comparação entre a vazão mensal observada e prevista - Tucuruí

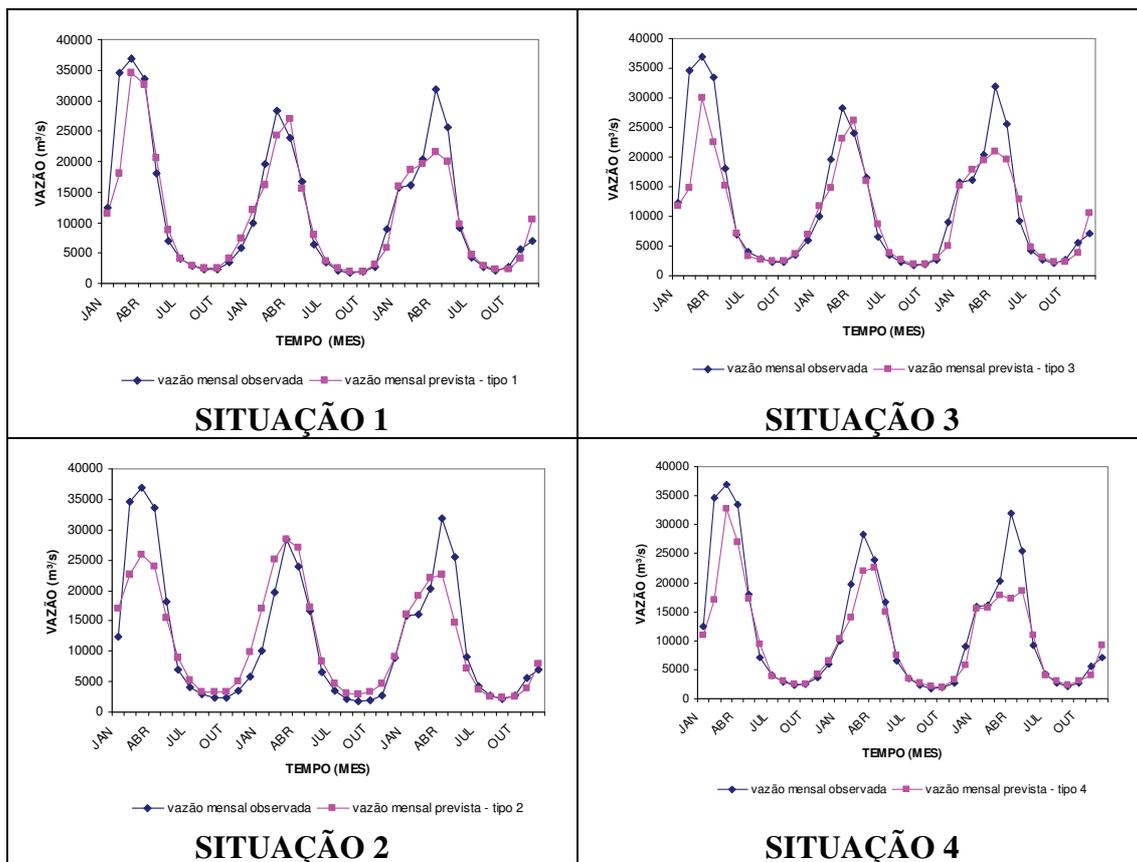
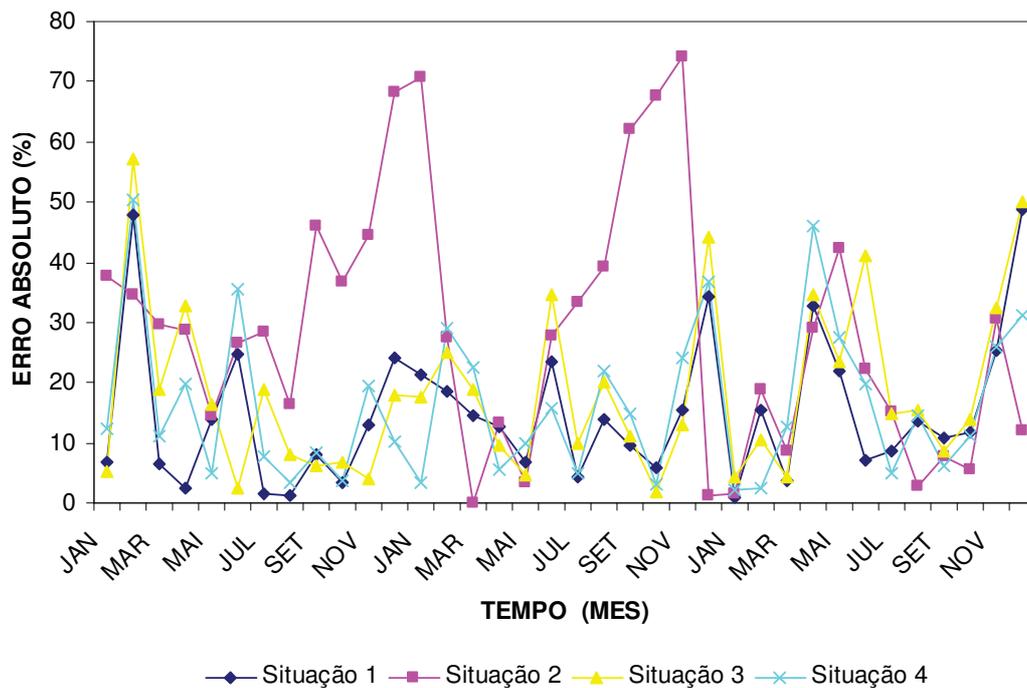
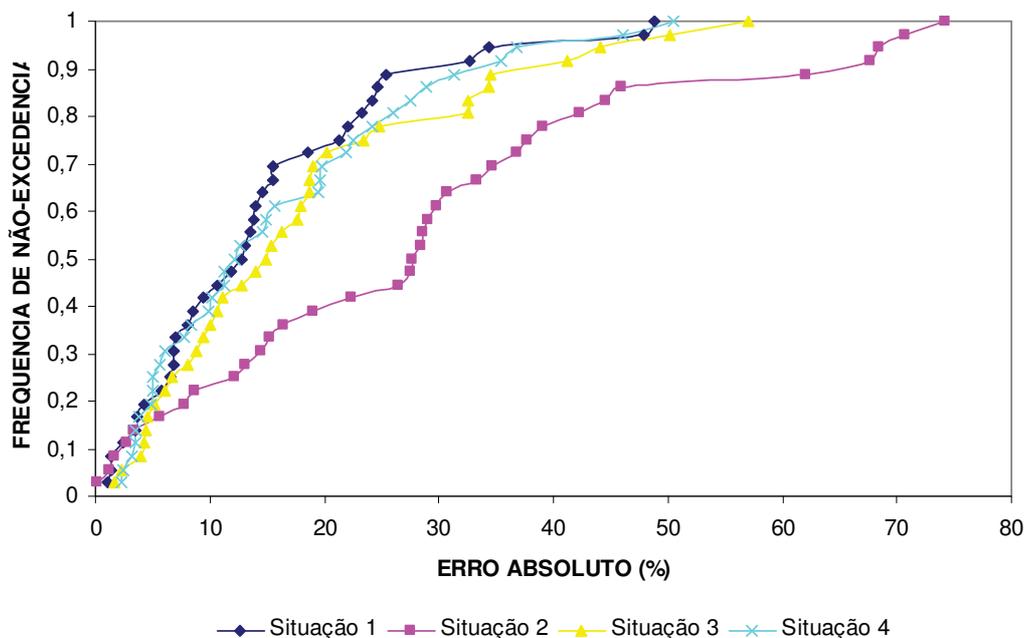


Figura 4. Erros Percentuais Absolutos da previsão da vazão mensal – Tucuruí



A figura 5 compara as distribuições de frequência dos erros percentuais absolutos das previsões de afluências mensais de cada situação. Pode-se observar que a maior proximidade da distribuição de frequência da situação 4 à curva da situação 1.

Figura 5 – Distribuições de frequência dos erros percentuais absolutos da previsão de afluência mensal - Tucuruí



A tabela 1 apresenta as médias dos erros percentuais absolutos das previsões mensais para cada mês do ano, para os períodos seco, úmido e de transição e para o ano todo para cada uma das quatro situações.

Tabela 1 – Média dos erros percentuais absolutos para Tucuruí

MÊS	SITUAÇÃO			
	1	2	3	4
JAN	9,73	36,69	8,98	6,01
FEV	27,33	27,04	30,82	27,28
MAR	8,22	12,82	14,08	15,46
ABR	15,98	23,61	25,53	23,76
MAI	14,31	20,01	14,73	14,13
JUN	18,35	25,55	25,98	23,63
JUL	4,71	25,64	14,57	5,92
AGO	9,56	19,42	14,53	13,29
SET	9,41	38,58	8,65	9,81
OUT	7,05	36,69	7,46	6,05
NOV	18,00	49,83	16,42	23,20
DEZ	35,82	27,27	37,39	26,12

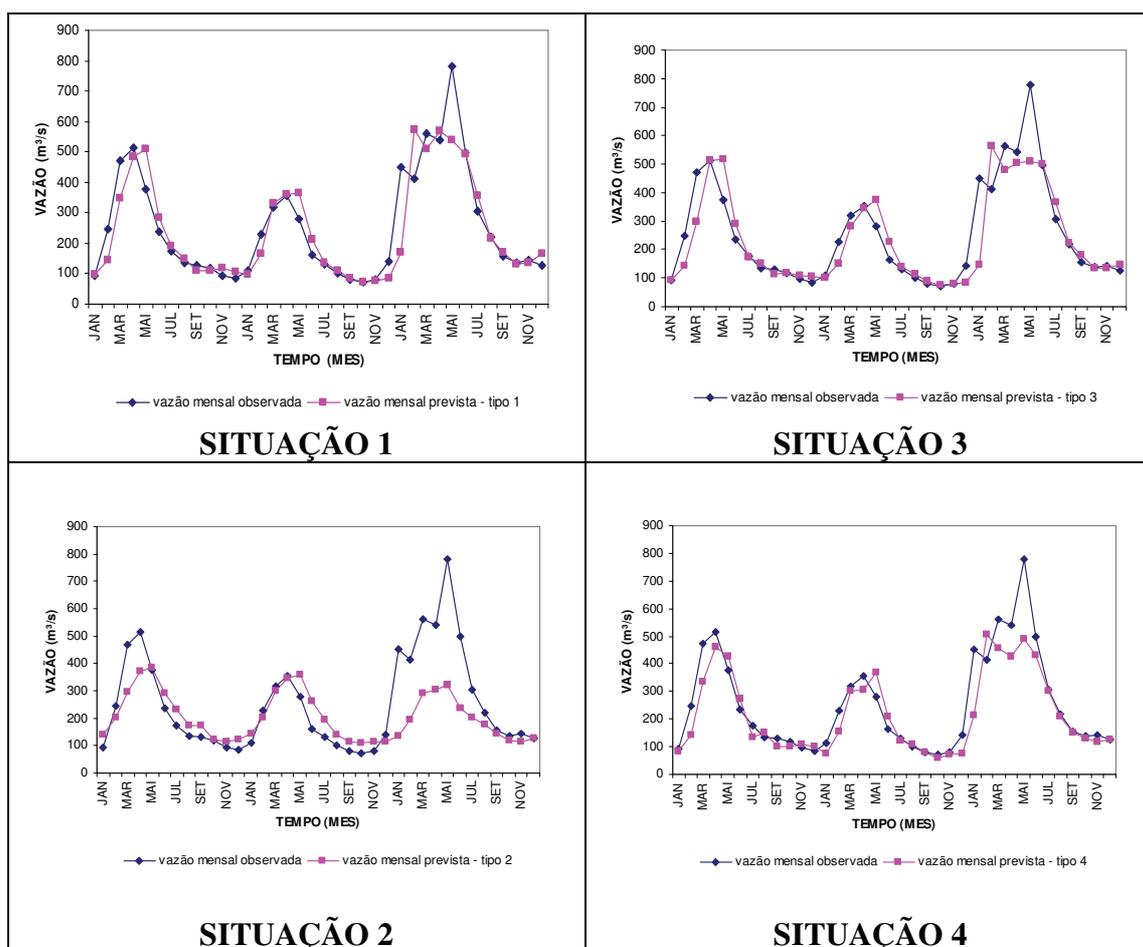
PERÍODO				
JUL-NOV (SECO)	9,75	34,03	12,33	11,65
FEV-ABR (ÚMIDO)	17,18	21,16	23,48	22,17
MAI-JUN (TRANS UMIDO-SECO)	16,33	22,78	20,36	18,88
DEZ-JAN (TRANS SECO-UMIDO)	22,78	31,98	23,18	16,07
JAN-DEZ	14,87	28,60	18,26	16,22

Observa-se que para a maioria dos meses e para todos os períodos a situação 1, conforme esperado, apresentou os menores valores. A situação 4 aparece como a melhor alternativa viável na maioria dos meses e em todos os períodos.

- Caso Curuá-Una

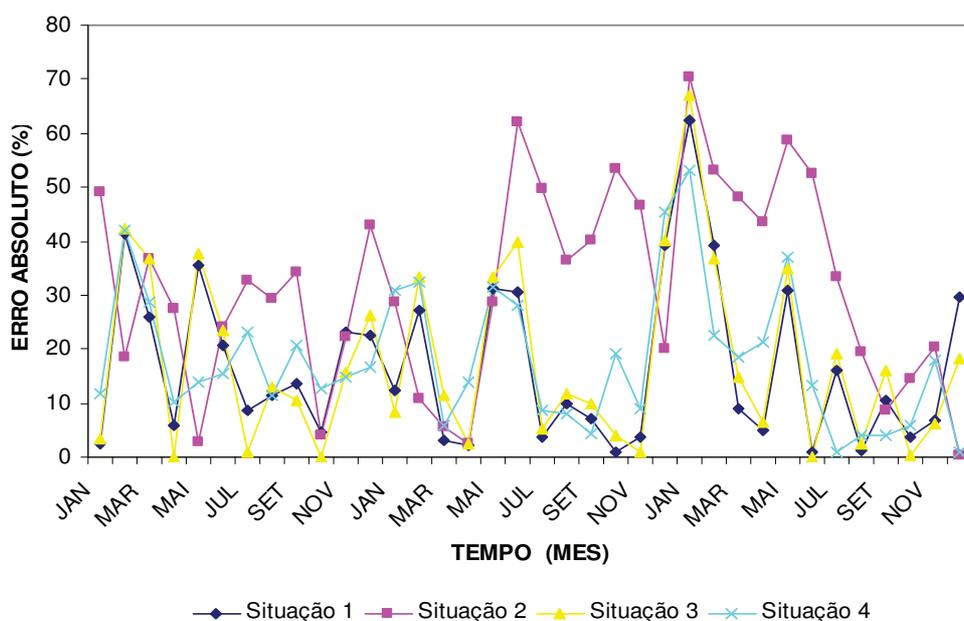
Na figura 6 são comparadas as previsões mensais obtidas nas quatro situações com as vazões observadas.

Figura 6 – Comparação entre a vazão mensal observada e prevista – Curuá-Una



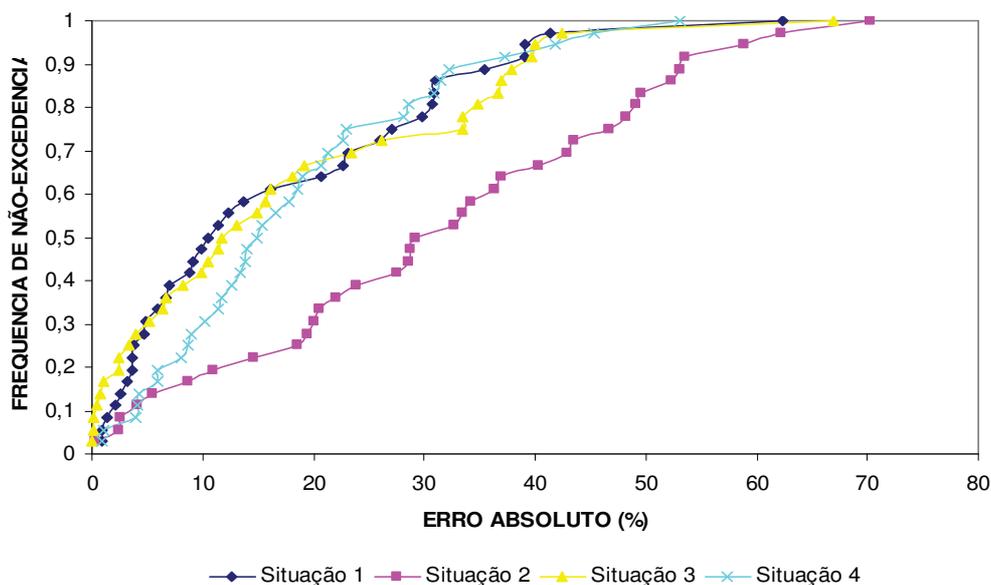
Na figura 7 são apresentados os erros percentuais absolutos das previsões mensais obtidas em cada situação. Novamente, pode-se observar que a situação 1 é que fornece as melhores previsões e a situação 2, mais uma vez, é a que fornece as piores previsões. As situações 3 e 4 são similares e se aproximam da situação 1.

Figura 7 – Erros Percentuais Absolutos da previsão da vazão mensal – Curuá-Una



A figura 8 compara as distribuições de frequência dos erros percentuais absolutos das previsões de afluências mensais de cada situação.

Figura 8 – Distribuições de frequência dos erros percentuais absolutos da previsão de afluência mensal – Curuá-Una



Pode-se observar que a maior proximidade da distribuição de frequência da situação 3 à curva da situação 1 para erros menores que 20%. Para os erros maiores a situação 4 é a que mais se aproxima da situação 1.

A tabela 2 apresenta as médias dos erros percentuais absolutos das previsões mensais para cada mês do ano, para os períodos seco, úmido e de transição e para o ano todo para cada uma das quatro situações. Observa-se que para a maioria dos meses e para todos os períodos a situação 1, conforme esperado, apresentou os menores valores. As situações 3 e 4 aparece como equivalentes.

Tabela 2 – Média dos erros percentuais absolutos para Curuá-Una

MÊS	SITUAÇÃO			
	1	2	3	4
JAN	25,74	49,41	26,18	31,88
FEV	35,83	27,54	37,57	32,29
MAR	12,77	30,19	20,97	17,66
ABR	4,29	24,47	3,04	15,17
MAI	32,47	30,02	35,41	27,55
JUN	17,42	46,16	21,10	18,95
JUL	9,57	38,58	8,37	10,90
AGO	7,52	28,33	9,07	7,84
SET	10,38	27,72	12,18	9,65
OUT	3,14	24,03	1,49	12,53
NOV	11,13	29,77	7,67	13,90
DEZ	30,50	21,04	28,09	20,98
PERÍODO				
SET-DEZ (SECO)	13,79	25,64	12,36	14,27
MAR-JUN (ÚMIDO)	16,74	32,71	20,13	19,83
JAN-FEV (TRANS UMIDO-SECO)	8,54	33,46	8,72	9,37
JUL-AGO (TRANS SECO-UMIDO)	30,79	38,47	31,87	32,08
JAN-DEZ	16,73	31,44	17,60	18,27

## 6. Conclusões

Foi apresentada neste artigo uma aplicação do modelo PREVIVAZM com o objetivo de obtenção de previsões de afluências médias mensais um passo a frente para os aproveitamentos hidroelétricos de Tucuruí e Curuá-Una, onde se comparou a situação ideal, na qual a vazão do mês em curso é conhecida (situação 1), com três formas de estimar esta vazão:

Situação 2: desconsideram-se todas as informações do mês corrente e utiliza-se o PREVIVAZM para fazer a previsão dois passos a frente (situação mais desfavorável),

Situação 3: a vazão do mês corrente é estimada, de forma expedita pela média das vazões diárias já registradas no mês,

Situação 4: a vazão do mês corrente é formada pelas vazões semanais observadas do mês corrente, com excessão da vazão da última semana que é obtida pelo modelo PREVIVAZ.

No caso de Tucuruí o uso do modelo PREVIVAZ (situação 4) mostrou-se levemente superior a situação 3. No caso Curuá-Una as situações 3 e 4 para o ano todo foram equivalentes.

## Referências

COSTA, F.S., MACEIRA, M.E.P., DAMÁZIO, J.M., (2007), Modelos de Previsão Hidrológica Aplicados ao Planejamento da Operação do Sistema Elétrico Brasileiro, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 12, nº 3, pgs 21-30.

HIPEL, K.W. A.; MACLOAD, I.; **Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems**, Elsevier, 1994.

BOX G.E.P., COX, D.R., An Analysis of Transformations, **Journal of the Royal Statistical Society**, A127, pgs 211-252, 1964.

BOX, G. E. P., JENKINS, G. M., **Time Series Analysis-Forecasting and Control**, Holden-Day, 1970.

## USE OF PREVIVAZM AND PREVIVAZ MODELS FOR FORECASTING MONTHLY INFLOWS TO TUCURUÍ AND CURUÁ-UNA HYDROPOWER PLANTS

### Abstract

*Planning the operation of hydroelectric plants involves the acquisition of inflow forecasts for different time horizons and discretization. For real time planning, in general, it needs inflow forecasts for each hour for a time horizon of 24 hours, while for a medium-term planning, it is used a monthly time discretization aiming at time horizon of a few months, where the main interest is the anticipation for next month. For the latter case, the classical modeling approach is to adopt a statistical model that considers the effects of seasonal climate and hydrological trend, such as the autoregressive and moving average formulations used in the PREVIVAZM and PREVIVAZ models. This article presents a study of the use of PREVIVAZM model to forecast the monthly inflow one step forward for the Tucuruí and Curua Una hydroelectric plants coupled with the use of PREVIVAZ in order to complete the total inflow in the current month.*

**Key words:** *Hydropower plant operation planning, Inflow forecasting,, Stochastic Modelling*