

# Análise do volume útil do reservatório de Furnas via modelos de séries temporais

Cristina Henriques Nogueira <sup>1 3</sup>

Thelma Sáfyadi <sup>2</sup>

## 1 Introdução

A energia elétrica é, sem dúvida, um recurso indispensável para o desenvolvimento socioeconômico. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia de 2012, a contribuição da energia hidráulica na matriz energética nacional é de, aproximadamente, 82%. Apesar da tendência de aumento de outras fontes geradoras de energia, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil.

Entre os principais motivos que influenciam os dados analisados, os fatores climáticos destacam-se como os principais responsáveis pelos níveis de um reservatório. Assim, a época de estiagem acarreta a redução desses níveis, podendo, com isso, comprometer a produção elétrica. Além disso, é necessário um monitoramento contínuo dos níveis do reservatório para, com isso, decidir sobre a quantidade de água que se retém ou libera do mesmo, trazendo impactos diretos na usina e também para a população que mora no entorno da represa.

Desse modo, esse trabalho teve o intuito de analisar e descrever as observações sobre os níveis de água do reservatório de Furnas, o qual abastece a usina hidrelétrica desse local.

Porém, por se tratar de observações obtidas ao longo do tempo, é natural pensar que as observações mais próximas sejam mais semelhantes do que as mais distantes e, por isso, resultam em análises cujos erros apresentam uma estrutura de dependência temporal definida. Esse fato impossibilita a aplicação de métodos convencionais como, por exemplo, modelos de regressão, os quais dependem da suposição de que as observações adjacentes sejam independentes e identicamente distribuídas.

Diante do que foi exposto, entende-se que a utilização de técnicas de séries temporais é de grande importância para a avaliação dos níveis de um reservatório, uma vez que podem auxiliar em ações que influenciam na geração de energia e, conseqüentemente, no consumo da mesma.

Com isso, após descrever o comportamento dos níveis desse reservatório por meio do ajuste de um modelo de séries temporais, o mesmo foi ainda utilizado para fazer previsões para os níveis do volume útil do reservatório de Furnas referentes aos meses de fevereiro à dezembro de 2014.

<sup>1</sup>DEX - UFLA. Doutoranda em Estatística e Exp. Agropecuária. e-mail: [cris.hnogueira@yahoo.com.br](mailto:cris.hnogueira@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>DEX - UFLA. Professor Associado. e-mail: [safadi@dex.ufla.br](mailto:safadi@dex.ufla.br)

<sup>3</sup>Agradecimento à FAPEMIG e Capes pelo apoio financeiro.

## 2 Materiais e métodos

A série em estudo consta de observações referentes às médias mensais do volume útil do reservatório de Furnas, dado em porcentagem do volume útil máximo do mesmo, abrangendo o período de janeiro de 2000 à janeiro de 2014. O seu reservatório possui um volume total útil que chega a 17,217 bi  $m^3$  de água. Esses dados foram fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Antes de inferir sobre as componentes da série, foi necessário verificar se o modelo é aditivo ou multiplicativo e se apresenta variância não constante e, em caso afirmativo, utilizar transformações adequadas. Essa verificação foi realizada com base no gráfico da amplitude *versus* a média.

No intuito de analisar a existência de tendência na série investigou-se o gráfico de autocorrelação da série, cujo decaimento lento para zero indica indícios da presença da mesma. Para confirmar a significância dessa componente utilizou-se o teste do Sinal (Cox-Stuart), cuja hipótese nula é de ausência de tendência.

O teste utilizado para a confirmação de presença da componente sazonal foi o Teste de Fisher, o qual utiliza as informações do periodograma, para testar a periodicidade da série.

Após identificação e remoção, através de diferenças simples e (ou) sazonais, dessas componentes do modelo obteve-se uma série estacionária. A esta série foram ajustados modelos da classe SARIMA (ARIMA sazonal).

A especificação de modelos que se ajustavam à série foi realizada com o auxílio dos gráficos das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial. Após a definição dos modelos, estimou-se os parâmetros dos mesmos, através do método de máxima verossimilhança.

O teste de Box-Pierce foi utilizado para verificar a adequação dos modelos ajustados, ou seja, se os mesmos resultavam em resíduos independente e indenticamente distribuídos, denominados ruído branco. Os modelos ajustados, cujos resíduos são ruído branco, foram comparados por meio do Critério de Informação de Akaike (AIC). Segundo esse critério, o melhor modelo ajustado é aquele que apresenta o menor valor para o AIC.

Após escolher e ajustar um modelo de acordo com as etapas anteriores, este será utilizado para fazer previsões sobre observações futuras que, conforme afirma Morettin & Toloí (2006), são definidas como a esperança condicional de  $Z_{t+h}$  dados todos os valores passados.

É importante ressaltar que todas as análises foram realizadas com o auxílio no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

## 3 Resultados e discussões

Na Figura 1 tem-se o gráfico que descreve o comportamento do volume útil do reservatório da usina hidrelétrica de Furnas, considerando-se a porcentagem de sua capacidade máxima, ao longo do tempo. De acordo com esse gráfico da Figura 2, é possível observar que a amplitude

independe da média. Aplicando-se o teste  $t$ , o qual testa a hipótese nula de que o coeficiente de inclinação da reta é zero, obteve-se um valor  $p$  de 0,7433, confirmando, assim, que não existe necessidade de transformação dos dados.

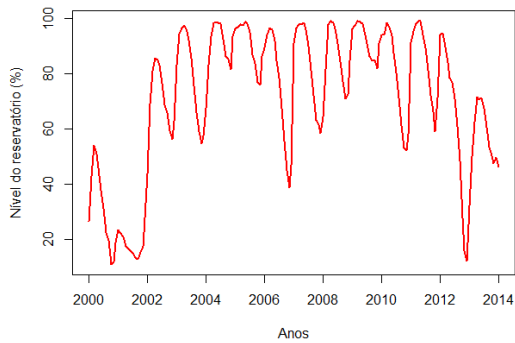


Figura 1: Série do nível mensal do reservatório de Furnas ( $Z_t$ ) a partir de 2000.

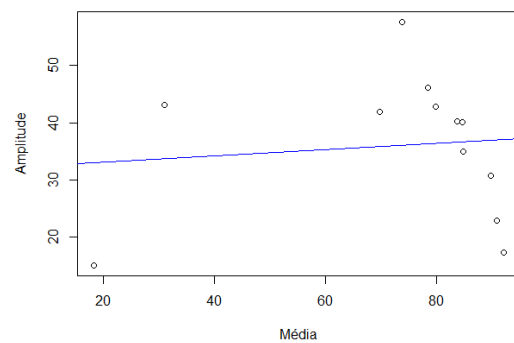


Figura 2: Gráfico de amplitude *versus* média da série ( $Z_t$ ).

Aplicando-se o teste do sinal (Cox-Stuart) para verificar a presença da componente tendência, obteve-se os valores  $T = 36$  e  $n = 84$ , sendo a estatística  $t$  dada por  $t = -1,2002$ . Com um valor  $p$  de 0,2301, conclui-se que a componente tendência não está presente no modelo.

Analisando o periodograma da série foi possível observar um pico no período  $p=12$ . Ao aplicar o teste de Fisher, obteve-se os valores de  $g = 0,2804$  e  $z = 0,0852$ . Como  $g > z$ , confirma-se a presença da componente sazonal na série. Com o objetivo de eliminar esta componente, deve-se aplicar uma diferença sazonal de ordem 12 à série.

Após aplicar as diferenças necessárias, obtém-se uma série estacionária, cujo gráfico das funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP) são apresentados na Figura 3.

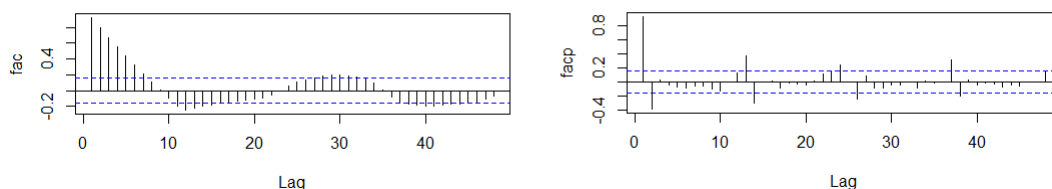


Figura 3: Função de autocorrelação e autocorrelação parcial da série estacionária.

Com base no correlograma da série estacionária, foi possível propor alguns modelos para a mesma. Entre os modelos cujos resíduos eram ruído branco, elegeu-se como o melhor modelo aquele que apresentou o menor valor para o Critério de Informação de Akaike. Esses modelos, e seus respectivos valores de AIC, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Modelos adequados aos dados e seus respectivos valores de AIC.

Modelo	AIC
SARIMA(1, 0, 1)(3, 1, 0) <sub>12</sub>	1005,24
SARIMA(1, 0, 1)(3, 1, 1) <sub>12</sub>	991,30
SARIMA(1, 0, 1)(3, 1, 2) <sub>12</sub>	989,98
SARIMA(1, 0, 1)(1, 1, 4) <sub>12</sub>	1001,69

De acordo com esse critério, o modelo ajustado que melhor se adequa aos dados foi um modelo SARIMA(1,0,1)(3,1,2)<sub>12</sub>. O gráfico da função de autorrelação dos resíduos, apresentado na Figura 4, indica que os resíduos do modelo ajustado são um ruído branco.

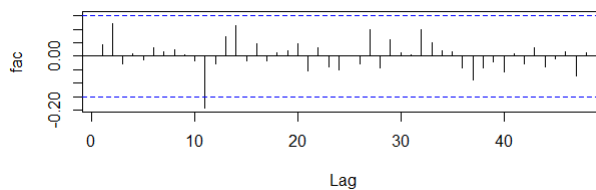


Figura 4: Função de autocorrelação dos resíduos.

O teste de Box-Pierce para esse modelo, considerando o lag 48, resultou em um valor  $p = 0,8887$ , confirmando que o resíduo do modelo ajustado é ruído branco.

Com base nas estimativas desse modelo, denominando por  $Z_t$  a porcentagem de volume útil do reservatório de Furnas, o modelo ajustado pode ser escrito como:

$$Z_t = \frac{(1 + 0,7711B^{12} - 0,3368B^{24})(1 - 0,3025B)a_t}{(1 - 0,9898B)(1 + 0,3439B^{12} + 0,4697B^{24} + 0,5797B^{36})(1 - B^{12})};$$

em que  $a_t$  é um erro aleatório independente e identicamente distribuído.

Considerando o ajuste desse modelo, foi possível fazer previsões para os níveis do volume útil do reservatório de Furnas referentes aos meses de fevereiro à dezembro 2014, cujas estimativas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Valores previstos para os níveis do volume útil do reservatório de Furnas de Fevereiro de 2014 à Janeiro de 2014

Meses	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Previsão	44,73	48,40	46,50	44,55	40,47	34,77	28,01	21,75	15,98	14,11	22,07

A Figura 5 apresenta uma comparação entre os valores observados e os valores estimados, ao longo do tempo, pelo modelo ajustado. Além disso, pode-se observar, ainda, o comportamento previsto da série para as observações futuras. A região sombreada do gráfico representa o intervalo de confiança, a um nível de 95% confiança, para os valores previstos.

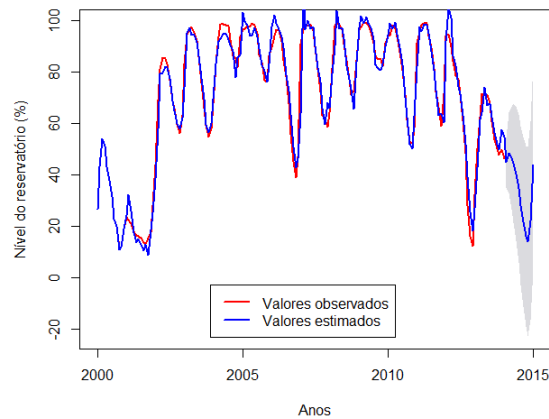


Figura 5: Valores observados e estimados ao longo do tempo, juntamente com a previsão para valores futuros.

## 4 Conclusões

Os modelos de séries temporais foram adequados para descrever a série do volume útil do reservatório da usina hidrelétrica de Furnas, sendo que, entre os modelos sugeridos, o modelo SARIMA(1,0,1)(3,1,2)<sub>12</sub> foi considerado o modelo mais adequado para descrever comportamento da série.

O modelo prevê baixos níveis do reservatório durante todo o ano de 2014. Essas previsões devem ser consideradas como um sinal de alerta, indicando uma possível redução na geração de energia da usina hidrelétrica de Furnas durante o ano em percurso.

## Referências

- [1] BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day, 1976, 575p.
- [2] MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: E. Blucher. 538p, 2006.
- [3] ORGANIZAÇÃO NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>. Acesso em: Janeiro de 2014.
- [4] R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Versão 2.14.2. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: Março de 2013.