

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PREVISÃO DE VAZÕES DE AFLUÊNCIA PARA O
SETOR ELÉTRICO POR MEIO DE MODELOS
LINEARES E NÃO LINEARES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Acássio Valente Feliciani

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

PREVISÃO DE VAZÕES DE AFLUÊNCIA PARA O SETOR ELÉTRICO POR MEIO DE MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES

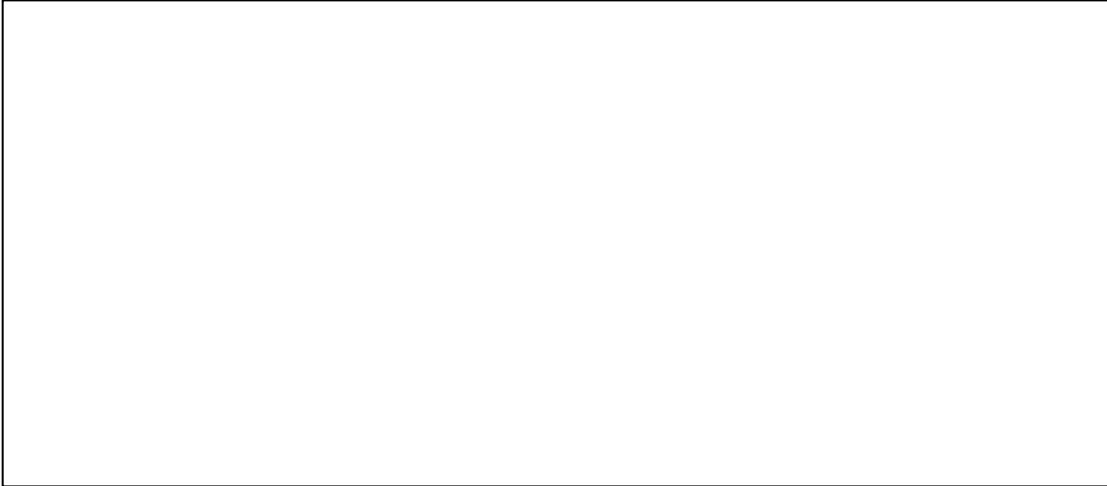
Acássio Valente Feliciani

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof^o. Dr. Adriano Mendonça Souza
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Roselaine Ruviaro Zanini

Santa Maria, RS, Brasil
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for entering cataloging data. It occupies the central portion of the page below the title.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de
Mestrado**

**PREVISÃO DE VAZÕES DE AFLUÊNCIA PARA O SETOR ELÉTRICO
POR MEIO DE MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES**

elaborado por
Acássio Valente Feliciani

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

Adriano Mendonça Souza, Dr.
(Presidente/Orientador)

Leoni Pentiado Godoy, Dr^a. (UFSM)

Wesley Vieira da Silva, Dr. (PUCPR)

Santa Maria, RS, 24 de Julho de 2013.

“Não basta colocar a face nos livros para entender tudo, é preciso compreender o mundo para entender os livros”. (Stênio Garcia)

Deus costuma usar as pessoas corretas a ensinar!

Por isso, dedico esta pesquisa a Francisca Mendonça Souza e Adriano Mendonça Souza, pelos ensinamentos, paciência e contribuições dadas. Meu muito obrigado pelo companheirismo, incentivo e, principalmente, por acreditar na minha capacidade. Vocês são os principais responsáveis por este sonho;

Também a meus pais e a minha irmã pela confiança e estímulo dedicados.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde e alegria em acordar todos os dias com fé e coragem, e estar pronto para receber mais um dia de vida;

Ao Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza, pela orientação, paciência, disponibilidade dispensada a esta pesquisa; por ter sido mais do que um amigo, um companheiro nesta caminhada, uma pessoa na qual me espelho, pela sua humildade, ética, amizade e conhecimento;

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro;

Aos colegas e professores do PPGEP-UFSM, em especial a professora Roselaine Ruviaro Zanini pelos ensinamentos prestados e as colegas Lizandra Salau da Rocha, Meire Mezzomo, Bartolomeu Barcellos e Tatiana dos Santos pelo companheirismo no laboratório de pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelos conhecimentos, em especial, aos membros da Banca Examinadora, pelas suas contribuições.

As professoras do departamento de estatística em especial a Anaelena Bragança de Moraes, pelos ensinamentos e torcida na realização desta pesquisa.

Também à secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção na pessoa da senhora Márcia pela atenção e eficaz trabalho feito junto à secretaria.

À Universidade Federal de Santa Maria em especial ao Programa de Pós-graduação pelos ensinamentos e oportunidade concedida.

Aos meus pais, pessoas que possuo admiração e respeito, por ter me ensinado o valor que cada um possui.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria

PREVISÃO DE VAZÕES DE AFLUÊNCIA PARA O SETOR ELÉTRICO POR MEIO DE MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES

AUTOR: ACÁSSIO VALENTE FELICIANI
ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO MENDONÇA SOUZA
COORIENTADORA: ROSELAINÉ RUVIARO ZANINI
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de Julho de 2013.

O tema desta pesquisa é a utilização de modelos de previsão do tipo Autorregressivos Integrados e de Médias Móveis- ARIMA, juntamente com os modelos Autorregressivos de Heterocedasticidade Condicional- ARCH. A primeira classe de modelos tem a função de descrever o nível e o segundo, a volatilidade da série em estudo. Tem-se, como objetivo principal desta pesquisa, prever o nível e analisar a variabilidade da vazão de aflúências do rio Jaguari, por meio de modelos matemáticos lineares e não lineares, com o intuito de auxiliar na gestão dos recursos hídricos do referido rio e para a geração de energia da pequena central hidrelétrica Furnas do Segredo. A presente dissertação consta de dois artigos científicos que caracterizam o comportamento hidrológico do rio Jaguari, utilizando, para isso, modelos matemáticos que proporcionam realizar as previsões das vazões e a mensuração dos períodos considerados atípicos durante a série temporal. No primeiro artigo, selecionou-se o modelo SARMA (1,0,1)(1,0,1)₁₂-ARCH (1) capaz de representar a média e a variabilidade da série de vazões do rio Jaguari em m³/s no período de 1942 a 2006. No segundo artigo, utilizam-se modelos matemáticos de previsão, juntamente com aplicação da análise de intervenção, na averiguação do comportamento hidrológico das vazões em períodos mensais de janeiro de 1970 a dezembro de 2010. Para isso, adotaram-se modelos matemáticos: Alisamento exponencial de Holt-Winters (AEHW), modelos ARIMA genérico, modelos ARCH, e análise de intervenção, concluindo-se que o modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂-ARCH(1) foi o selecionado a representar o comportamento hidrológico médio e a variabilidade das vazões, para, assim, realizar as previsões, levando em conta critérios de seleção AIC e MAD. O modelo ARCH apresentou um grau de persistência menor do que um o que indica que as vazões, em um curto espaço de tempo, retornarão ao seu patamar usual. Na análise de intervenção, observaram-se acréscimos nas vazões de 15,68 m³/s e 18,47 m³/s, durante os períodos de novembro de 1994 e dezembro de 2009, possivelmente ocasionados por fenômenos climáticos. Conclui-se que a modelagem conjunta ARIMA-ARCH e a incorporação da análise de intervenção vêm como forma de auxiliar no planejamento energético da PCH, de modo a permitir satisfatórios níveis de geração de energia elétrica futura.

Palavras-chave: Previsão de vazões de aflúência; Séries temporais; Energia Elétrica.

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Master's Degree Program in Production Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

PREDICTION OF FLOW RATES FOR THE ELECTRICITY SECTOR: BY MEANS OF LINEAR AND NON-LINEAR MODELS

AUTHOR: Acássio Valente Feliciani
ADVISOR: PROF. DR. Adriano Mendonça Souza
CO-ADVISOR: Roselaine Ruviano Zanini
Date and place of Defense: Santa Maria, July 24th, 2013.

The theme of this research is the use of prediction models of Integrated Autoregressive and type of moving average- ARIMA, along with the Autoregressive models of Conditional Heterokedastic-ARCH. The first class of models is used to describe the level and the second, the volatility of the series. Has, as main objective of this research, predict and analyze the variability of the flow of inputs of the Jaguari River, by means of linear and non-linear mathematical models, in order to assist in the management of water resources of the river and for power generation of pinch Furnas do Secret. This dissertation consists of two scientific articles that characterize the hydrological behavior of the Jaguari River, using to this end, mathematical models that provide predictions of the flows and the measurement of the periods considered atypical for the time series. In the first article, have chosen the model SARMA (1,0,1)(1,0,1)₁₂-ARCH (1) able to represent the average and the variability of flows of the Jaguari River in m³s in 1942 to 2006 period. In the second article, we use mathematical models of forecasting, along with implementation of intervention analysis, investigation of hydrological behavior of flows in monthly periods January 1970 to December 2010. To do so, mathematical models adopted: Holt-Winters exponential smoothing (AEHW), ARIMA, ARCH models, and intervention analysis, concluding that the model SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂-ARCH(1) was selected to represent the average hydrological behavior and the variability of flows, in order to make forecasts, taking into account the selection criteria AIC and MAD. The ARCH model presented a degree of persistence is smaller than one, indicating that the flows, in a short time, will return to his usual level. Intervention analysis, increases were observed in the flows of 15,68 m³/s and 18,47 m³/s, during periods of November 1994 and December of 2009, possibly caused by climatic phenomena. However, it appears that the joint ARIMA modeling-ARCH and the incorporation of intervention analysis come to aid in the energy planning of PCH, in order to allow for great levels of power generation in the future.

Keywords: surging flow prediction; Time series; Electrical Energy.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 2

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Medidas de qualidade dos modelos de previsão. | 31 |
| Tabela 2- Medidas descritivas das vazões do rio Jaguari. | 32 |
| Tabela 3- Modelos concorrentes com referidos coeficientes e medidas de qualidade. | 33 |
| Tabela 4- Coeficientes do modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0) ₁₂ e respectivos desvios padrão. | 34 |
| Tabela 5- Previsões utilizando diferentes modelos. | 35 |
| Tabela 6- Medidas de qualidade das previsões de vazões. | 35 |

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Figure I -Temporal analysis of the city of Jaguari – RS..... | 20 |
| Figure II- Flow Hydrograph (A)..... | 20 |
| Figure III- Conditional Standard Deviation..... | 21 |

ARTIGO 2

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari. | 32 |
| Figura 2- Série original das vazões no período de 1970 a 2010..... | 32 |
| Figura 3- Função de autocorrelação amostral (FAC). | 33 |
| Figura 4- Função de autocorrelação parcial amostral (FACP). | 33 |
| Figura 5- Carta de controle de medidas individuais dos resíduos do modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0) ₁₂ | 34 |

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO | 11 |
| Tema da pesquisa | 12 |
| Justificativa | 12 |
| Objetivos..... | 13 |
| Limitação da pesquisa | 14 |
| Estrutura do trabalho | 14 |
| ARTIGO 1- ANALYSIS OF THE FLOW REGIME OF THE JAGUARI RIVER BY MEANS OF STOCHASTIC MODELS | 16 |
| Abstract | 16 |
| Introduction | 16 |
| Methodology..... | 17 |
| Results and Discussion | 19 |
| Final Remarks..... | 21 |
| References..... | 22 |
| ARTIGO 2- PREDICTION OF HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF FLOWS USING DIFFERENT MATHEMATICAL METHODS AND INTERVENTION ANALYSIS | 28 |
| Abstract | 28 |
| Introdução | 28 |
| Modelo de Holt- Winters..... | 29 |
| Modelos ARMA | 29 |
| Modelos ARIMA..... | 30 |
| Identificação | 30 |
| Análise de intervenção | 30 |
| Gráficos de controle..... | 31 |
| Modelos ARCH..... | 31 |
| Medida de qualidade | 31 |
| Rio Jaguari..... | 32 |
| Resultados | 32 |
| Modelagem e previsão | 32 |
| Modelagem ARIMA geral..... | 33 |
| Modelagem ARCH | 34 |
| Previsão | 35 |
| Conclusão | 35 |
| Referências | 35 |
| DISCUSSÃO | 28 |
| CONCLUSÃO | 42 |
| REFERÊNCIAS | 44 |

INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica no Brasil permite que objetivos econômicos, sociais e ambientais proporcionem um desenvolvimento mais sustentável, pois as utilizações de recursos naturais e renováveis constituem uma forma de preservação do meio ambiente e da diminuição das desigualdades sociais.

Visando a atender a crescente demanda energética por meio de fontes com baixo impacto ambiental, a implantação de usinas hidrelétricas vem ao encontro do plano de expansão 2009-2030, no Brasil, com fundamento em assegurar a oferta de eletricidade aos consumidores, conforme informações da (International Energy Agency- IEA, 2010).

O potencial de energia elétrica brasileira, em sua maioria, é gerado por hidrelétricas, assim sendo, a existência de recursos hídricos economicamente viáveis determina a participação majoritária das hidrelétricas entre as fontes de produção de forma limpa. No entanto, o risco hidrológico, como uma estiagem prolongada, sempre existe nesse tipo de sistema e as consequências de um déficit são incomensuráveis.

As grandes usinas hidrelétricas, juntamente com as pequenas centrais hidrelétricas existentes no Brasil e no mundo, impulsionam o progresso por utilizar energia limpa na geração de energia elétrica. Conforme Cesaretti (2010), no ano de 2009, do total de 467.400 MWh gerados de energia, 83,7% das participações energéticas na geração de eletricidade foram por meio de potenciais hidráulicos.

Embora o Brasil possua o registro de um dos principais potenciais hidrelétricos tecnicamente aproveitáveis do mundo, conforme ANELL (2008), o setor hidrelétrico vem enfrentando dificuldades relacionadas à capacidade das usinas em gerar energia para atender a demanda do país. Dentre as dificuldades, pode-se relacionar a crise que o Brasil enfrentou nas últimas décadas, com o acontecimento de “Blecautes”, conforme (Globo Ecologia, 2012).

Essa “crise” no setor hidrelétrico gerou uma discussão nacional em relação ao problema da falta de investimentos no setor e a carência de informações que visam a eliminar esses acontecimentos. Entre os vários problemas existentes no setor elétrico, podem-se relacionar: ausência de energia elétrica, falta de equipamentos atualizados, deficiência no treinamento dos técnicos, sobrecarga de trabalho, dentre outros, problemas que trazem prejuízos desmedidos a economia de um país.

Devido à grande demanda de energia elétrica no país, por setores residenciais, comércio, indústrias e serviços, e a utilização de energia elétrica para outros fins como irrigação de lavouras, pomares entre outras, prevalece à necessidade de desenvolver formas que possam reduzir tais incertezas relacionadas à geração de energia elétrica no Brasil. Conforme o relatório Key World Energy Statistics, da International Energy Agency - IEA (2008), entre os anos de 1973 e 2006, a participação da força das águas na produção total de energia passou de 2,2% para apenas 1,8%, demonstrando o esgotamento desse insumo no médio e longo prazo.

Uma das formas de conhecer a capacidade de geração elétrica de uma usina é dada pela análise da série natural de afluências de uma bacia hidrográfica, “vazões fluviais”. Essas vazões são aquelas providas pela própria natureza, ou seja, ocorreriam em uma seção do rio, caso não houvesse a operação de reservatórios a montante, nem a presença de lagos artificial, nem a retirada de água para o abastecimento e irrigação, corroborada por (Energisa, 2009).

Conhecida a vazão de afluências do leito do rio, é possível por meio de modelos matemáticos, o conhecimento futuro do volume de água disponível, visando, assim, auxiliar os gestores no planejamento energético de modo a permitir satisfatórios níveis de geração de energia elétrica.

Tema da pesquisa

O tema desta pesquisa é a utilização de modelos de previsão do tipo Autorregressivos Integrados e de Médias Móveis ARIMA, juntamente com os modelos Autorregressivos de Heterocedasticidade Condicional ARCH. A primeira classe de modelos tem a função de descrever o nível e, o segundo, a volatilidade da série em estudo.

Justificativa

As previsões de vazões de afluência de um rio são justificadas como estudo fundamental da operação do reservatório nos períodos de excesso hídrico e nos períodos de escassez, isso porque a potência de toda usina hidrelétrica é proporcional à vazão de água disponível em sua bacia hidrográfica. Entender o comportamento das vazões do rio e prevê-la a horizontes futuros

torna-se de positiva significância, pois permite auxiliar no controle e planejamento da energia gerada, auxiliando na gestão da usina de geração.

Salienta-se que esta pesquisa também proporcionará um estudo atualizado da capacidade de geração, visto que a energia assegurada foi formalizada por meio da série de vazões médias mensais, compreendidas entre os anos 1942 a 1998, estabelecendo a energia assegurada da PCH Furnas do Segredo de 4,74 MW médios, segundo a carta JAG-013/02, de quatro de julho de 2002.

Dessa forma, as previsões de vazões de afluência por meio de modelos lineares e não lineares trará uma nova avaliação das vazões, podendo, assim, contribuir com os cálculos da capacidade de geração da PCH no instante atual.

Objetivos

Nesta seção, serão apresentados o objetivo geral e os específicos da pesquisa.

Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal prever o nível e analisar a variabilidade da vazão de afluências do rio Jaguari por meio de modelos matemáticos lineares e não lineares, com o intuito de auxiliar na gestão dos recursos hídricos do referido rio e na geração de energia da pequena central hidrelétrica Furnas do Segredo.

Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa sinalizam, principalmente, em: Ressaltar uma discussão técnica, com base na teórica, em descrever o comportamento da média do rio, juntamente com os níveis de oscilação que as vazões possam apresentar, tendo como objetivos peculiares.

- Realizar a projeção da oferta de energia através da vazão medida mensalmente em metros cúbicos do posto 120, por meio da utilização de modelos ARIMA e verificar a capacidade preditiva.

- Estimar a volatilidade da série de vazões de afluência no período selecionado por meio dos modelos da família ARCH, bem como realizar a interpretação dos parâmetros de persistência.
- Determinar os períodos anômalos de geração de energia captados por meio da análise de intervenção, e assim buscar uma explicação plausível para as intervenções.

Limitação da pesquisa

Esta pesquisa fica limitada a prever apenas as vazões de afluência do rio Jaguari, em busca de informações que possam auxiliar na operação da PCH, Furnas do Segredo, por meio dos modelos lineares ARIMA sendo o responsável por modelar a média da série de vazões e os modelos não lineares ARCH, responsável pela modelagem da variância condicional da série, bem como determinar os períodos considerados atípicos pela análise de intervenção, não fazendo referência a outros rios, nem a outras organizações gerativas de energia.

Estrutura do trabalho

Esta dissertação segue o modelo proposto para a confecção de trabalhos acadêmicos no formato de artigos científicos. Para atender às exigências, divide-se em cinco seções. A primeira seção apresenta a introdução da pesquisa.

A segunda seção traz o primeiro artigo científico, intitulado “Analysis of the flow regime of the Jaguari river by means of stochastic models”, o qual auxilia na tomada de decisões no setor hidroelétrico e na gestão de recursos hídricos do caso estudado. Este artigo foi publicado na Revista Espacios Digital, volume 34, número 4, de 2013. O segundo artigo é apresentado como terceira seção, intitulado “Previsão do comportamento hidrológico de vazões utilizando diferentes métodos matemáticos e análise intervenção”, encaminhado para publicação – Revista IEEE - Latin American Transactions – em 18 de abril de 2013. Dado que foram apresentados dois artigos, é realizada, na quarta seção, uma discussão deles, de modo a revelar a relação das duas pesquisas. Todavia, busca-se apresentar os resultados das pesquisas de forma individual, de

maneira a atender com mais efeito o objetivo geral desta dissertação. A quinta e última seção apresenta as conclusões da pesquisa.

ARTIGO 1 – Publicado na revista Espacios. Vol 34(4) 2013.

ANALYSIS OF THE FLOW REGIME OF THE JAGUARI RIVER BY MEANS OF STOCHASTIC MODELS

Acássio Valente Feliciani - PPGE/UFMS
acassiofeliciani@gmail.com

Adriano Mendonça Souza - PPGE/UFMS
amsouza@smail.ufsm.br

Francisca Mendonça Souza - ISCTE/IUL
kikamatcom@gmail.com

José Fernando Gomes Requeijo- UNL
jfgr@fct.unl.pt

Abstract

The main purpose of this study is to analyze the average scheme and the flow variability of the Jaguari River, by means of ARIMA stochastic models (Auto-Regressive Integrated Moving Average), and ARCH models (Auto-Regressive Conditional Heterokedastic). SARMA and ARCH models were employed, which were able to capture the effects of seasonality in the series, revealing periods of higher and lower amplitude of flows. ARCH models showed that although there is a volatility effect, it does not have a high persistence yet, what makes the variability of flow rates rapidly returns to its usual level. Results showed that it is possible by means of SARMA (1,1)(1,1)₁₂-ARCH (1) models to represent the series generating process of the affluence flows of the Jaguari River, thus helping in the decision-making of the hydroelectric sector and the water resources management.

Keywords: Time Series Models, ARCH, Electricity, Jaguari River.

1. Introduction

The growing demand for electricity and the depletion of freshwater resources in the world make clear the need for the inclusion of analytical methods able to represent and/or simulate the hydrologic behavior of a watershed in order to provide the natural water resources management, corroborates Yilmaz and Harmancioglu (2010); Tucci (1998).

The gradual increase in the predominance of hydroelectricity, in recent decades in Brazil and in the world, is related to the liberalization of energy markets, according to Lienert and Lochner (2012), given that the generating capacity, investment and energy prices, imply the energy potential of each hydroelectric power plant, where the information of the natural affluent flow of a watershed is a key input for planning and operating the hydroelectric park, according to Guilhon, Rocha e Moreira (2007).

The understanding, diagnosing and/or simulating the behavior of the confluence flow of a river, corroborated by Costa et al. (2007); Fadiga *et al.* (2008) is based on the use of hydrological models, whether stochastic or deterministic, empirical or conceptual, continuous or discrete,

accurate or distributed, statistical or dynamical, if they configure as an additional support, in the optimization, operation and control of a hydroelectric power plant.

Xiong and Guo's verifications (1999), in flow simulations of 70 sub-basins in southern China, reached good results, just as Lucas *et al.* (2009), for presenting a two-parameter monthly deterministic hydrologic model with a simpler structure compared to a four-parameter model used by Guo (1995). However, in each study region the evaluation of results by means of representative models is related not only to the ability of the model to capture the generating process of the time series, but also to factors such as: location of the watershed, soil texture, climatic, physical and biological properties.

According to Lucas *et al.* (2009), the application of stochastic and deterministic models to Brazilian hydrological series appeared to be efficient in planning and/or water resources management, efficiently simulating the monthly average flows of the region under study, where the deterministic model obtained a lower performance compared to the ARIMA stochastic model (Auto-Regressive Integrated Moving Average) in all seasons studied.

The investigation of the affluence flow of the Jaguari River is necessary due to its representativeness with the electricity generation in the region where it is located, since several agro-industries, manufacturing industries and other trade in general, beyond the urban and rural population who are assisted with the electricity generated through this watershed. The knowledge of its hydrological behavior subsidizes decision-makings in the water resources management, since this study will show the periods considered anomalous to the generating process.

Therefore, this study aims to analyze the average scheme and the flow variability of the Jaguari River, responsible for providing 6.2 MW-hour-month, by means of ARIMA stochastic models (Auto-Regressive Integrated Moving Average), and ARCH models (Auto-Regressive Conditional Heterokedastic), seeking information to assist hydroelectric generating and management, as well as to perform the interpretation of the persistence of anomalous periods if they occur.

Controlling variables involved in the production process, due to the high competitiveness in industry has made energy efficiency techniques to be adopted in national and international markets with the aim of strengthening the growing concern about environmental degradation and the energy matrix, where the adoption of statistical methods to process control is an efficient way to reduce waste and to maintain full capacity, corroborating that investment decisions can be based on significant processes, this idea and supported by Jasemi and Kimiagari (2012); Jacobi, Souza and Pereira (2002); Silva, and Jabbour (2012).

This study is organized as follows: First section will present the importance of the study, the objectives and some prominent studies about the importance of the affluence flow in determining the potential of a hydroelectric power plant and the regional water resources management. Second section will present methodology, emphasizing the use of ARIMA and ARCH models and third section will present the results and discussions on the possible contributing factors to the variation of the affluence flow of the Jaguari River-RS.

2. Methodology

This study was made through the collection of the monthly historical series of flows in m^3/s from 1942 to 2006, based on the database system of the 120 station, Southeast system, latitude: 29:21:32, longitude: 54:30:7, provided by the National System Operator (ONS). The Jaguari River is located between the geomorphologic units of the southern plateau and the

southern depression, characterized by neossolo soils (sandy areas and hard fields) and planossolos (floodplains), respectively, with subshrubby field areas, remaining forest areas grassland areas, agricultural areas with extensive culture of soybean (summer) and soybean / wheat (winter) interspersed with pastures, according Corede (2009); Righi and Robaina (2008).

Initially, the behavior of the original series is graphically inspected, and then the descriptive statistics regarding asymmetry, kurtosis, stationary, normality, trend and seasonality are calculated. Later, the Augmented Dickey-Fuller (1984) - (ADF) and Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992) - (KPSS) unitary root tests are applied, seeking to find a stationary series able to reflect the behavior of the affluence flow series.

The identification of the type and the order of the models are made through the autocorrelation function (FAC) and partial autocorrelation function (FACP), according to Morettin (2008); Lucas *et al* (2009), where FAC measures the degree, that is, how a value observed in period t is influenced by the value observed in period $t-1$. However, the FACP is defined by the following correlations over time $(Z_t; Z_{t-1})$, (Z_t, Z_{t-2}) , (Z_t, Z_{t-p}) , with constant previous lag effects over Z_t . Once the stationarity of the series under study is checked, linear modeling takes place, following the iterative cycle proposed by Box and Jenkins (1970): identification; estimation; verification, according to Gujarati, (2000).

Among the models able to capture the behavior of the series under study Jacobs and Costa (2011), are the general ARIMA models, which exploit the structure of the autocorrelation between the affluence flows in consecutive stages, defined by:

$$\Delta^d \tilde{Z}_t = \phi_p \tilde{Z}_{t-p} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Wherein ϕ represents the autoregressive part of the filter and θ represents the moving averages and ε_t represents the random error. Given that Δ^d represents the differences (d) to turn the series into stationary, if necessary.

If the series presents autocorrelation in seasonal periods, according to Marchezan and Souza (2010), represented by a repetition period equal to $S = 3, 6, 12$, the ARIMA seasonal models are used, represented by SARIMA $(p, d, q) (P, D, Q)_s$, where d is the representative part of simple differentiation and D is the representative part of seasonal differentiation, according to equation 2.

$$\phi(B)\Phi(B^S)\Delta^d \Delta_S^D Z_t = \theta(B)\Theta(B^S)\varepsilon_t \quad (2)$$

Wherein Φ and Θ represents the parameters of the seasonal model.

For the selection of competing models that explain the behavior of the affluence flow series, AIC criterion statistics are used (*Akaike Information Criteria*), according to Souza *et al.* (2010); Menezes, Souza and Souza (2011), choosing the lower statistic value model.

As the linear model showing residues with characteristics of white noise $RB(0, \sigma^2)$ is found, the presence of conditional heteroscedasticity in the quadratic residuals of the linear model by means of the ARCH-LM statistic test is verified.

If the presence of conditional heteroscedasticity is evident, and in order to capture the intrinsic variability of the series, ARCH models proposed by Engle (1982) are applied, according to Ceretta *et al.* (2010), and it is considered that the conditional variance may change over time and is predicted by past errors squared, capturing an important stylized fact called groupings or volatility *clusters*. According to Morettin (2006); Souza, Souza and Menezes (2012), the ARCH model (m) is defined as follows:

$$\varepsilon_t^2 = \alpha + \varepsilon_{t-1}^2 + a_t \quad (3)$$

Thus, it can be seen that the conditional variance of the error ε_t with regard to the available information for period (t-i) is distributed, according to equation 4.

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \sum_{i=1}^q \varepsilon_{t-i}^2 + a_t \quad (4)$$

In the case of an ARCH (1) model, the conditional variance is defined by equation 5.

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \sum_{i=1}^q \varepsilon_{t-i}^2 + a_t \quad (5)$$

Thus, it is expected that ARCH (1) modeling supposes residues identically distributed *i.i.d.*, which were shown in equation 6.

$$\varepsilon_t \approx N(0; \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2) \quad (6)$$

The study made to assess the average level of the Jaguari River-RS, by means of *Auto-Regressive Integrated Moving Averages* (ARIMA) models, consists in exploring and/or capturing the behavior of serial correlation or autocorrelation among the affluence flows in successive stages, according to (Vicini and Souza, 2007). However, the *Autoregressive Conditional Heterokedastic* (ARCH) models aim to characterize and analyze the monthly intrinsic volatility of the affluence flow series, in scope to estimate how long the oscillation, that is, the variability will take to return to its usual behavior. Therefore, it is intended to provide subsidies to the delineation of appropriate strategies for the regional water resources management under study and to analyze the potential flow for hydroelectric generation.

3. Results and Discussion

According to the hydrometeorological network of the National Water Agency (ANA), the annual spatial temporal variation rainfall of the Jaguari River, under code 02954005 ranged from 1136.3 mm to 2923 mm, from February to May 1991, and from July to December 2002. However, in the station under code 02954007, variation ranged from 963.5 mm in 2004, to 2797.7 mm in 2002, marking the same periods under code 02954005.

The oscillations of the affluence flows of the Jaguari River are related to the climatic, physical and biological characteristics of its ecosystems, according to Gldal and Tongal (2010). The amount of water that is lost through evapotranspiration, the nature and extent of geological formations, natural vegetation and interaction of species also contribute to the oscillation of the affluence flows of a watershed, corroborates Barros and Amin (2007), Rodrigues *et al.* (2010).

Among the probable causes of the increase and decrease of flow affluences of the Jaguari River are the effects of soil conservation, given that the techniques used for this purpose reflects an increase in groundwater recharge directly in the water source flows over the year, according to Gomes *et al.* (2012); human-induced actions can also change the water balance in local and regional scale as deforestation, irrigation projects, food and feed, among others.

This rainfall oscillation is related to the movement of the confluence flows of the Jaguari River, as shown in Figure 1, periods of high and low amplitude peaks, being linked to extreme weather, warm phase (El Niño) and cold phase (La Niña), which influences the climatic rhythm of Rio Grande do Sul, acting under the rhythm of displacement of the fronts, according to Britto *et al.* (2008).

According to Prina and Monguilhott (2011), a decrease by 16% of the total green area on the banks of the Jaguari River was observed, as shown in Figure 1, this decrease is possibly due

to flooding and agricultural activities that damage the soil, for conservation practices are not being used, occasioning thus silting and decrease of the volume raised and reducing thus the affluence flow of the Jaguari River.

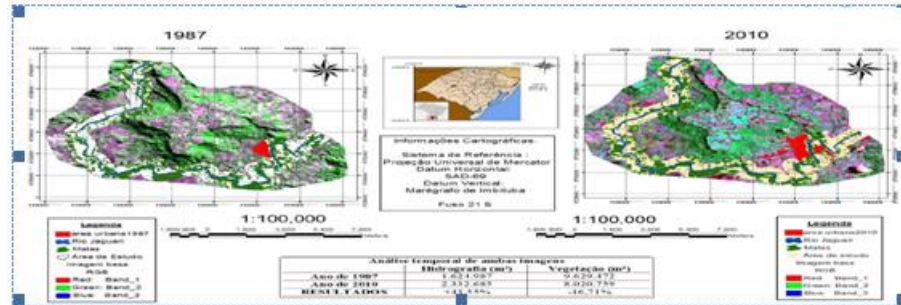


Figure I- Temporal analysis of the city of Jaguari – RS

Flows rates in southern Brazil show significant connections with the amount and distribution of rainfall, according to Silva, Lermen and Nery (2001); cold fronts in southern Brazil are mainly due to the El Niño Southern Oscillation (ENOS) through the warming that occurs in the waters of the Tropical Pacific Ocean, which result in changes in large-scale circulation of the atmosphere, this idea is also corroborated by Marengo (2008). Teixeira (2006) pointed out a rapid trend of rainfall events in southern Brazil and their main cause is El Niño.

As shown in Figure 2, periods of occurrence of affluence flows above average and decrease periods may be related to the seasonal effects of rainfall occurred during the period under study.

The descriptive statistics of the series under analysis showed a kurtosis higher than 3.46 and nonzero asymmetry, and it is possible to observe that the series does not follow a normal distribution and probably will present volatility characteristics, such as volatility grouping periods, known as *clustering*, according to Campos (2007); Ceretta *et al.* (2010).

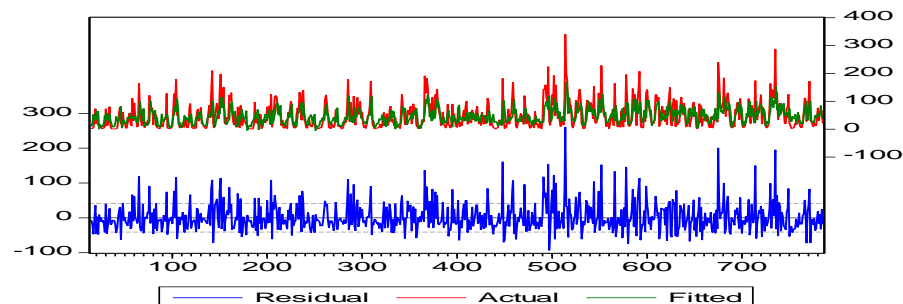


Figure II- (A) Flow Hydrograph

ARIMA and SARIMA general class filters have been used for modeling time series, according to Noakes, McLoad and Hipel (1985); Fill, Oliveira and Santos (2008); Andradóttir, Rueda, Armengol, Marcé (2012). By analyzing the autocorrelation function and the unit root tests, the historical affluence flow series is stationary at level $I(0)$, showing a seasonal autocorrelation of 12 order. From this stage on, several linear filters were tested and the ARIMA seasonal filter showed to be the best filter able to capture the behavior of the average flow

regime of the river Jaguari, represented by a SARMA(1,1)(1,1)₁₂, being considered the most parsimonious model when compared with other competing filters, as shown in equation 7.

$$Z_t = \underset{(8.65)}{0.5785} Z_{t-1} - \underset{(-2.28)}{0.183} \varepsilon_{t-1} + \underset{(168,38)}{0,9973} Z_{t-12} - \underset{(-58,02)}{0,918} \varepsilon_{t-12} + \varepsilon_t \quad (7)$$

The values in parentheses are corresponding to statistics, "t", calculated, where is possible to verify that all parameters are significant and modeling showed the *white noise* characteristic.

Aiming to analyze the flow series variability, the presence of volatility was tested by means of LM-ARCH test, in the quadratic residues of the linear model, where it showed that a *p-value* < 0.05 evidences that the conditional heterokedastic is present in the linear modeling residues, then equation (8) provides volatility estimate by means of ARCH modeling.

$$a_t = 1469.445 + \underset{(23,49633)}{0.12063} a_{t-1}^2 + \xi_t \quad (8)$$

It is noticed that the parameter value shown by ARCH (1) volatility model is equal to 0.120633, which is relatively low and do not represent a lasting persisting, this idea is corroborated by Casarin *et al.* (2012), where is shown that an ARCH (1) parameter close to 1 shows to be persistent, that is the process variability should converge to the historical average, after a long period of time, affecting subsequent periods. Figure 3 shows the conditional volatility of the series under study.

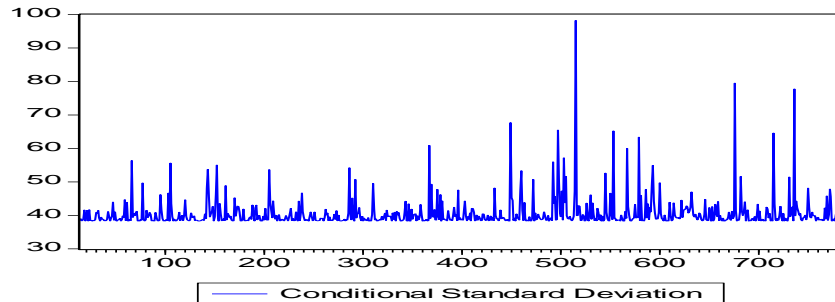


Figure III- Conditional Standard Deviation

Figure 3 shows the intrinsic variability during the time series, showing periods of lower and higher variability amplitudes. It may be concluded that with a low parameter (0.12063) the affluence flow will not remain for a long period, thus converging to the historical average in a short time, where nature effects will directly influence oscillation.

4. Final Remarks

Results showed that it is possible by means of SARMA(1,1)(1,1)₁₂ - ARCH (1) filters represent the generating process series of the affluence flow of the Jaguari River, thus helping in the decision-making in hydroelectric sector and water resources management. It is observed that the ARIMA modeling was able to capture the effects of seasonality in this series and to understand the periods of higher and lower amplitude of the flows.

ARCH models also showed that although there is a volatility effect, it does not have a high persistence, which makes the variability period quickly returns to its usual variability level. According to Perrin *et al* (2003), the model structure and mathematical functions set applied are factors that should represent the behavior of the basin and the complexity level in the model structure to ensure the best result, thus stochastic models used methods prevail as able to understand the average level and the volatility of the time series flows.

It is also noticed that in addition to seasonal periods presented by the watershed, ARCH models were able to capture the periods of lowest and highest variability amplitudes, these periods that should serve as a warning for the future, because they are already being captured by probabilistic models employed. Although the effect is not lasting, a sign can be considered as an alert.

This research does not refers to the physical modeling in the study of the behavior of affluence flows approached by Formaggio, Campos and Amaral (2009), which showed that the soil texture, geomorphology, geology, hydrogeology and rainfall, respectively, are associated with the ease degree of water infiltration into the soil, causing the water variability water in free aquifers.

It is suggested for future research the employing of other methods to explain the behavior of the flows, as well as the inclusion of new variables to compose the study, in order to establish a dynamic system that represents the watershed as a whole, therefore establishing new practical results to the hydroelectrical sector.

Acknowledgements

The authors thank CAPES - Foundation, Brazilian Ministry of Education, the Laboratory of Statistical Analysis and Modeling - LAME - CCNE - UFSM and the anonymous reviewers for their contributions to the improvement of this study.

References

ANA. (2012) Séries históricas. Available in: <
<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=true&CriArq=false&TipoArq=0&SerieHist=true>>. Accessed 28 Aug 2012.

Andradottir, H. Ó., F. J. Rueda, J. Armengol, and R. marcé. (2012); Characterization of residence time variability in a managed monomictic reservoir. *Water Resour. Res.* doi: 10.1029/2012WR012069, in press. Available in: <
<http://www.agu.org/journals/wr/papersinpress.shtml>>. Accessed 8 Sept 2012.

Barros, N, G, F; Amin, M, M.(2008); Água: Um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. Rev. Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 4, n. 1, p. 75-108, SP. Available in: < <http://www.rbgdr.net/012008/artigo4.pdf>>. Accessed 2 Sept 2012.

Box, G. E. P.; Jenkins, G. M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. San Francisco: Holden-Day, 1970.

Britto, P, F; Barletta, R; Mendonça, M. (2008); Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. Rev. Brasileira de Climatologia. Available in:< <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/viewFile/25408/17040>>. Accessed 28 Aug 2012.

Campos, K. C. (2007); Análise da volatilidade de preços de produtos agropecuários no Brasil. Revista de Economia de Agronegócio. v. 5, n. 3. p. 303-328. Available in:< http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/54589/2/1_artigo.pdf>. Accessed 12 Aug 2012.

Casarin, A, V; Souza, M, A; Spim, A, J. (2012); Continuons casting process stability evaluated by means of residuals control charts in the presence of cross-Correlation and autocorrelation. International Journal of Academic Research, Vol.4. No.3. Available in:< http://content.ebscohost.com/pdf27_28/pdf/2012/AY08/01May12/80224244.pdf?T=P&P=AN&K=80224244&S=R&D=aph&EbscoContent=dGJyMNXb4kSeprE4zdnyOLCmr0qep7ZSsqu4Sq%2BWxWXS&ContentCustomer=dGJyMPGssk2xqLJNuePfgeyx44Hy>. Accessed 27 Sept 2012.

Ceretta, S, P; Barba, G, F; Vieira, M, K; Casarin, F. (2011); Previsão da volatilidade Intradiária: Análise das distribuições alternativas. Rev. Bras. Finanças, Rio de Janeiro, Vol. 9, No. 2, pp. 209–226. Available in: < <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbfin/article/viewFile/2586/2216>>. Accessed 29 Aug 2012.

Cervilha, B, G; Filho, S, C, A. (2011); Métodos estocásticos e não-estocásticos para a previsão da vazão em rios. II Congresso de iniciação científica-2011. Available in: <

<http://legacy.unifacef.com.br/novo/publicacoes/IIforum/Textos%20IC/Guilherme%20Cervilha.pdf>>. Accessed 29 July 2011.

Costa, S, F; Maceira, P, E, M; Damázio, M, J. (2007); Modelos de previsão hidrológica aplicados ao planejamento da operação do sistema elétrico Brasileiro. Rev. Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 12 n.3. Available in: <
http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/2fc27ad97d3ddc4d28cd5b35c92052fc_75e3d74c7c6e3571fb08def3b76ca8c6.pdf>. Accessed 29 Aug 2012.

Engle, R. F. (1982); Autoregressive Conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of U.K. inflation. *Econometrica*. 50: 987-1008.

Fadiga, M, F; Lopes, G, E, J; Martins, S, R, J; Barros, L, T, M; Santos, P, C, R. (2007); Modelos de previsão de vazões para a bacia incremental à UHE Itaipu. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 12 n.3. Available in: <
<http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=277&t=Modelos+de+Previs%3o+de+Vaz%F5es+para+a+Bacia+Incremental+%E0+UHE+Itaipu>>. Accessed 29 Aug 2012.

Fill, D, H; Oliveira, B, F; Santos, P. (2008); Avaliação de cheias considerando distribuições sazonais. Rev. Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 13 n.2, p.5-13. Available in: <
<http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=271&t=Avalia%7%E3o+de+Cheias+Considerand+Distribui%7%F5es+Sazonais>>. Accessed 4 Sept 2012.

Fuller, D, A. W.A. (1981); Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49:1057-1072.

Gomes, A, M; Lani, L, J; Costa, M, L; Pontes, M, L; Figueredo, A, N; Bardales, G, N. (2012); Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa – MG. Revista *Árvore* vol.36 no.1 Viçosa. Available in: <
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010067622012000100011&script=sci_arttext>. Accessed 31 Aug 2012.

Güldal, V; Tongal, H. (2010); Comparison of Recurrent Neural Network, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Stochastic Models in Eğirdir Lake Level Forecasting. *Water Resources*

Management, Volume 24, Number 1, Pages 105-128. Available in: <
<http://link.springer.com/article/10.1007/s11269-009-9439-9?null>>. Accessed 20 Sept 2012.

Guo, S. (1995); Impact of climatic change on hydrological balance and water resource systems in the Dongjiang Basin, China: Modeling and Management of Sustainable Basin-Scale. Water Resource. Proceedings of a Boulder Symposium, LAHS Publication, n. 231. Available in: <
http://iahs.info/redbooks/a231/iahs_231_0141.pdf>. Accessed 4 Sept 2012.

IEA International Energy Agency. (2010); Perspectivas em Tecnologias Energéticas. 2010. Available in: <
<http://www.iea.org/techno/etp/etp10/PortugueseExecutiveSummary.pdf>>. Accessed 29 Aug 2012.

Jacobs, W; Costa, M. (2011); Previsão da demanda de um produto industrial utilizando a metodologia de Box-Jenkins. Rev. Destaques Acadêmicos, ano 3, n. 4, cetec/univates. Available in:<
<http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/253/210>>. Accessed 3 Sept 2012.

Jasemi M, Kimiagari MA (2012); An investigation of model selection criteria for technical analysis of moving average. *Journal of Industrial Engineering International* 2012, 8:5 doi:10.1186/2251-712X-8-5. Available in: <
<http://www.jiei-tsb.com/content/8/1/5>>. Accessed 22 de Sept 2012.

Kwiatkowski, D, P.C.B. Phillips, P. Schmidt, Y. Shin. (1992); Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root. *Journal of Econometrics*, 54, pp. 159-178, North-Holland.

Lienert, M; Lochner, S. (2012); The importance of market interdependencies in modeling energy systems-The case of the European electricity generation market. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 34, Issue 1, Pages 99-113. Available in: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014206151100216X>>. Accessed 4 Sept 2012.

Lucas, M, W, E; Sousa, S, A, F; Silva, S, D, F; Lucio, S, P. (2009); Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingu – Pará. *Rev. Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.3, pp 308-322. Available in:<
<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v24n3/a05v24n3.pdf>>. Accessed 1 Sept 2012.

Marchezan, A; Souza, M, A. (2010); Previsão do preço dos principais grãos produzidos no Rio Grande do Sul. Cienc. Rural vol.40 no.11 Santa Maria. Available in: < <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782010001100019&script=sciarttext>>. Accessed 3 Sept 2012.

Marengo, A, J. (2008); Água e mudanças climáticas. Rev. Estudos Avançados, vol.22 no. 63. São Paulo. Available in: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142008000200006>. Accessed 2 Sept 2012.

Morettin, P, A; Tolo, C, M, C. (2006); Análise de séries temporais. Associação Brasileira de Estatística. São Paulo: Edgard Blücher, 2.ed.,2006.538p.

Noakes, J, D; Mcleod, A; Hipel, W, K. (1985); Forecasting monthly river flow time series. International Journal of Forecasting, Volume 1, Issue 2, Pages 179-190. Available in: <<http://www.sciencedirect.com/science?ob=ArticleListURL&method=list&ArticleListID=2100541881&sort=r&st=13&view=c&acct=C000037899&version=1&urlVersion=0&userid=687358&md5=efcabfe742bd6b232be7bbc3554793b6&searchtype=a>>. Accessed 4 Sept 2012.

ONS- Operador nacional do sistema elétrico. (2012). Available in: < <http://www.ons.org.br/operacao/vazoesnaturais.aspx>>. Accessed 5 July 2012.

Prina, Z, B; Monguilhot, M. (2011); Análise das transformações da paisagem de áreas próximas ao rio Jaguari aplicando técnicas de sensoriamento remoto em imagens do satélite TM Landsat-5. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.3812. Available in: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1036.pdf>>. Accessed 31 Aug 2012.

Righi, E; Robaina, S, E, L. (2008); Estudos Geoambientais: Mapeamento de bacias hidrográficas no oeste do Rio Grande do Sul. Rev. Geografia, V. 17, n.1. Available in:< <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/5456>>. Accessed 1 Sept 2012.

Rodrigues, L, S, A; Malafaia, G; Castro, A, T, P. (2010); A importância da avaliação do habitat no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos: Uma revisão. Rev. Saúde e Biol, v. 5, n. 1, p. 26-42. Available in: <

<http://www.revista.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios2/article/viewFile/537/302>>.

Accessed 24 Aug 2012.

Silva, J, É; Jabbour, C, J, C. (2012); Gestão para eficiência energética: Levantamento e análise da produção científica divulgada em alguns periódicos das áreas de engenharia de produção e administração (2001-2011). *Espacios*. Vol. 33 (5). Pág. 5. Available in: < <http://www.revistaespacios.com/>>. Accessed 15 Sept 2012.

Souza, M, A; Souza, M, F; Menezes. R. (2012); Procedure to Evaluate Multivariate Statistical Process Control using ARIMA-ARCH Models. Japan Industrial Management Association. Vol.63.No. 2E. Available in: < <http://www.jimnet.jp/journal/journal-of-jima/paper/vol63>>. Accessed 24 Aug 2012.

Teixeira, S, M. (2006); Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. *Mon Wea Rev.*, n.135, p.598-617. Available in: < <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/MWR3302.1> >. Accessed 31 Aug 2012.

Tucci, C, E, M.(1998); Modelos Hidrológicos. Editora Universitária UFRGS - Porto Alegre.

Vicini, L; Souza, A. M. (2007); Geração de subsídios para a tomada de decisão na cadeia produtiva da bovinocultura do Brasil. *Gestão de Produção, Operações e Sistemas*, 4, 49-64. Available in:< <http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/168>>. Accessed 28 Sept 2012.

Xiong, L; Guo, S, A. (1999); A two-parameter monthly water balance model and its application. *Journal of hydrology*, V.216, n.1, p.111-123. Available in: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169498002972>>. Accessed 4 Sept 2012.

Yilmaz, B; Harmancioglu, N,B. (2010); Multi-criteria decision making for water resource management: a case study of the Gediz River basin, Turkey. *Water SA (Online)*. vol.36, n.5, pp. 563-576. Available in: < <http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/viewFile/61990/50041>>. Accessed 12 Aug 2012.

ARTIGO 2 – Encaminhado para publicação – Revista IEEE - Latin American Transactions – em 18 abril 2013

Prediction of Hydrological Behavior of Flows Using Different Mathematical Methods and Intervention Analysis

A. V. Feliciani, A. M. Souza, F. M. Souza, R. R. Zanini

Abstract—The objective of this research is to assess and predict by using different mathematical models and techniques of intervention analysis the behaviour of flows of the Jaguari River, during the period from 1970 to 2010, with the intention of contributing to energy optimization or operation of hydrological future events of the small hydroelectric plant (PCH) installed on Jaguari River. The methodology uses the method of Holt-Winters exponential smoothing (AEHW), ARIMA and ARCH models. It is concluded that models that capture the volatility of the series obtained best results to make predictions within the sample. The technique of intervention analysis corroborated as increased evaluation of flows, pointing the periods November 1994 and December 2009 with increases in flows of 15,68 m³/s and 18,47 m³/s, respectively. Predicted flow values in this way contribute to decision-making and operation of hydroelectric development process.

Keywords— Models of HOLT-WINTERS, ARIMA Models, Models ARCH, intervention Analysis.

I. INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica, no Brasil, vem passando por várias reestruturações, ao longo do tempo, com vistas a atender as novas perspectivas e necessidades dos consumidores frente à locação de

investimentos no mercado hidroelétrico.

A relação oferta de energia e crescimento econômico possui correlação, pois a maior oferta de energia estabelece condições para o crescimento econômico e o crescimento incorpora mais energia ao processo produtivo. Ou o sentido contrário: menor oferta de energia provoca déficit, ou seja, gargalos para com a produção. Todavia, para que se assegure a demanda por energia elétrica de forma satisfatória, torna-se necessária a incorporação de técnicas capazes de auxiliar no gerenciamento e gestão dos recursos hídricos.

Baseado nisso, vem-se empregando a metodologia proposta por Box & Jenkins (1976), Engle (1982) e Campbell (1963) na avaliação e previsão do comportamento de rios, córregos e lagos, evidenciando características dinâmicas associadas ao tempo por meio de modelos de séries temporais e mudanças do nível e/ou inclinação ocorrida em um determinado período de tempo, conforme (Honar *et al.*, 2010); (Sáfadi, 2004); (Costa *et al.*, 2007), (Li, Chen, 2007), (Xiong, Guo, 1999), (Noakes *et al.*, 1985).

De acordo com Martinez e Zamprogno (2003); Souza *et al.* (2012), a utilização da metodologia proposta por Box & Jenkins (1976) constitui uma modelagem paramétrica que consiste em ajustar modelos autorregressivos e/ou de médias móveis ARIMA (p,d,q) a uma série temporal. O modelo considera efeitos como tendência hidrológica, sazonalidade climática, ciclo hidrológico e variações aleatórias, dado que a previsão assume posição não só da tendência hidrológica, mas também julga importante a componente sazonal, onde incorpora à modelagem ARIMA a componente sazonal, por meio do modelo SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s.

Uma série temporal, além de explorar e/ou captar o comportamento da correlação seriada ou autocorrelação entre as vazões, pode deter em seu comportamento a presença de variabilidade ao longo do tempo, constituindo em uma série com caudas pesadas, que, muitas vezes, é revelado pelo excesso

A. V. Feliciani, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, acassiofeliciani@gmail.com

A. M. Souza, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, amsouza.sm@gmail.com

F. M. Souza, Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), Lisboa, Portugal, kikamatcom@gmail.com

R. R. Zanini, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, rrzanini@terra.com.br

de curtose que a série apresenta. Desta forma, o emprego de modelos da família Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARCH) visa a apontar e analisar a volatilidade intrínseca na série de vazões, com intuito de estimar-se a persistência da volatilidade, que representa quanto tempo há oscilação, ou seja, a variabilidade da variância contemporizará para retornar ao seu comportamento usual.

O propósito de estudar o comportamento das vazões do rio Jaguari vem ao encontro do crescimento econômico e sustentável do município e região, pois, além de fomentar o abastecimento de água para a população urbana do município e irrigação de lavouras, contribui igualmente para o fornecimento de 6,2 MGW hora mês de energia elétrica, atendendo acerca de 30 mil usuários por meio do funcionamento da pequena central hidrelétrica instalada no rio Jaguari.

O objetivo desta pesquisa é avaliar e prever, por meio de diferentes modelos matemáticos e da técnica de análise de intervenção, o comportamento das vazões do rio Jaguari, no período de 1970 a 2010, com a finalidade de contribuir para operação e/ou otimização energética de eventos hidrológicos futuros da pequena central hidrelétrica (PCH) instalada no rio Jaguari.

Este estudo está organizado da seguinte forma: na primeira seção, apresentam-se algumas pesquisas ligadas à importância econômica e social de realizar-se estudos no campo hidroelétrico, da mesma forma a importância que o rio Jaguari possui para o município. Logo, apresenta-se a aplicação de séries temporais, por meio da metodologia de Box & Jenkins (1970), Engle (1982) e Campbell (1963).

A seguir, apresenta-se a análise descritiva dos dados, seguida da modelagem e, por fim, as conclusões, seguidas das revisões bibliográficas utilizadas para esta pesquisa.

II. Modelo de HOLT- WINTERS

Vários são os modelos capazes de explicar e/ou prever o comportamento da série em estudo, dentre eles, destacam-se os modelos de Alisamento Exponencial de Holt-Winters (AEHW). Segundo Corrar e Theóphilo (2004), “é um método destinado ao tratamento de séries temporais que apresentam tendência e sazonalidade”. Quando se realiza previsões, duas formas devem ser analisadas em relação à natureza da série, sendo elas: aditiva ou multiplicativa, na qual se tornam necessários estimar o nível e a tendência da série no período atual, e os valores do fator sazonal.

Conforme Morettin e Tolo (2004), a variante mais usual do método de Holt-Winters a que considera o fator sazonal F_t como sendo multiplicativo (quando a amplitude da variação sazonal aumenta com o tempo) enquanto a tendência permanece aditiva (quando a amplitude da variação sazonal mantém-se constante) dada pela seguinte Eq.1.

$$Z_t = \mu_t F_t + T_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

As equações de suavização aditiva e multiplicativa, em relação ao nível, tendência, sazonalidade e previsão, são dadas pela Eq.2 até 9.

Suavização Holt-Winters Aditivo.

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3)$$

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (4)$$

$$F_{t+m} = (L_t + b_{t-m})S_{t-s+m} \quad (5)$$

Suavização Holt-Winters Multiplicativo.

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (6)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (7)$$

$$S_t = \gamma \left(\frac{Y_t}{L_t} \right) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (8)$$

$$F_{t+m} = (L_t + b_{t-m})S_{t-s+m} \quad (9)$$

Sendo L_t o nível da série; α a constante de ponderação exponencial, Y_t o valor observado; S_t a componente sazonal, β a constante ponderada da componente tendência; S o comprimento da sazonalidade; γ a constante sazonal e F_{t+m} a previsão para o período m.

III. Modelos ARMA

As aplicações destes modelos seguem as características de que a série comporte-se estacionária, ou seja, sem a influência das componentes: tendência, sazonalidade, ciclo e variáveis aleatórias. Os modelos ARMA (p,q), desenvolvidos por Box & Jenkins (1976), conforme Marchezan e Souza (2010), são aconselháveis a modelar uma série temporal de dados originais, sendo a forma geral do modelo ARMA (p, q), dada pela Eq.10.

$$Z_t = \xi + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (10)$$

Onde: $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ são parâmetros autorregressivos e $\theta_1, \theta_2, \theta_q$ são parâmetros de médias móveis, onde, ε_t , considera-se um processo puramente aleatório, com média zero e variância constante σ_ε^2 .

ξ é um parâmetro relacionado ao nível ou à média da série.

Conforme Bayer, Castro (2012); Morettin e Tolo (2006), um processo é dito estacionário quando ele oscila em torno de uma média μ constante e com uma variância σ^2 também constante, representado pelas Eq. 11.

$$\phi(B)Z_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (11)$$

Onde, B é um operador retroativo, ϕ é o polinômio autorregressivo de ordem p , θ é o polinômio de médias móveis de ordem q , e $\varepsilon_t \approx N(0, \sigma^2)$ são características de ruído branco.

IV. Modelos ARIMA

Os modelos ARIMA são chamados de modelos autorregressivos integrados de médias móveis por possuir uma parte autorregressiva (p), caracterizados quando uma variável aleatória está relacionada com os próprios valores passados e com os erros aleatórios, é uma parte de médias móveis (q), que vem do fato de que Z_t é escrito como a soma algébrica ponderada dos ε_t que se movem no tempo.

A metodologia proposta por Box & Jenkins (1976), aplica-se a casos em que a série apresente características não estacionárias, sendo necessário tomar uma ou mais diferenças para estacionarizar, nomeada d a ordem de integração, conforme Sartoris (2004). Segundo (Souza, Souza, Menezes, 2012), o modelo ARIMA é representado por meio da Eq.12.

$$\phi(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (12)$$

Onde (B) é operador retroativo ou operador de defasagens, d é inteiro positivo e representa a diferença, conforme a ordem de integração; ϕ e θ são os parâmetros dos processos autorregressivos e de média móvel de ordem p e q , respectivamente e $\varepsilon_t \sim RB(0, \sigma^2)$ é ruído branco.

Segundo Sáfiadi (2004); Souza (2010), caso a série apresente componente sazonal, ou seja, um comportamento periódico, no máximo de 12 meses, pode ser representado por meio dos modelos SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s, representado pela Eq.13.

$$\phi_p(B)\Phi_q(B^s)\Delta^d\Delta_s^D Z_t = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (13)$$

em que $\Phi_q(B)$ e $\Theta_q(B)$ são polinômios sazonais autorregressivos e de médias móveis de ordens P e Q , respectivamente, e D corresponde ao número de diferenças de “lags” S necessárias para retirar o efeito sazonal da série temporal.

V. Identificação

Na fase de identificação da modelagem a ser empregada, conforme Casarin *et al.* (2012) e Souza *et al.* (2010) utilizam-se as funções de autocorrelação (FAC) e de autocorrelação parcial (FACP), na qual apontam a ideia e a ordem do modelo a ser selecionado.

Para observância do nível da série de vazões, realizam-se os testes de raiz unitária Augmented Dickey-Fuller (1984) - (ADF) e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992) - (KPSS). Verificada a presença ou não de raiz unitária, parte-se para escolha do modelo probabilístico a representar o comportamento da série de vazões do rio Jaguari, onde é admitido pela estatística AIC (*Akaike Information Criteria*), referindo-se à medida de qualidade do modelo, segundo Hipel (1981), representado por:

$$AIC = -2 \ln \left[L \left(\hat{\xi} \right) \right] + 2K, \quad (14)$$

Em que L é função de verossimilhança, ξ são as estimativas de máxima verossimilhança do vetor paramétrico ξ e K são os números de parâmetros do modelo.

VI. Análise de intervenção

Segundo Box & Tiao (1975), a análise de intervenção tem como objetivo avaliar o impacto de tal evento no comportamento da série, podendo manifestar-se por um intervalo de tempo subsequente, que afeta temporária (Função Impulso) ou permanentemente (Função Degraus) a série em estudo, conforme Morettin e Tolo (2004); e Carvalho *et al.* (2011). As mudanças podem manifestar-se como abruptas e ou imediatas, ou, então, só ocorrer depois de algum tempo de iniciada a intervenção (demorada ou defasada). Do mesmo modo, pode ser temporária ou permanente, podendo tornar a série mais estável ou aumentar a variabilidade, conforme (Souza 1991); (Guimarães *et al.* 2012).

As variáveis de intervenção, Z_{tj} , são variáveis binárias, fazendo a mesma função que variáveis *dummy* em regressão e têm a função de mostrar que se aqueles pontos atípicos detectados pelos gráficos de controle a uma distância de 4 desvios-padrões são significativos e qual o seu impacto. As séries Z_{tj} são chamadas indicadoras de intervenção e podem estar

associadas a efeitos como enchentes ou estiagens, ou atreladas a ações antrópicas, corroboram (Angelini *et al.* 2008) e (Groppo *et al.* 2005).

Conforme Morettin e Toloi (2004), o modelo proposto para análise de intervenção é dado conforme Eq. 15.

$$Z_t = \sum_{j=1}^k \nu_j(B)Z_{j,t} + N_t \quad (15)$$

Em que Z_t é a variável resposta do modelo; k é o número de intervenções da série; ν_j é o valor da função transferência; $Z_{j,t}$ é a variável binária e N_t é o ruído do modelo, representado pelo modelo autorregressivo, é de médias móveis geral (ARIMA).

VII. Gráficos de controle

Trata-se de um método preventivo de comparar, continuamente, os resultados de um processo com padrões, identificando, a partir de dados estatísticos, as tendências para variações significativas, a fim de eliminar e/ou controlar essas variações.

Conforme Zulema e Pereira (2008), após a modelagem de um processo que foi autocorrelacionado, é possível a aplicação das cartas de controle tradicional nos resíduos no modelo selecionado, pois, sendo os resíduos com características de ruído branco, a sua distribuição apresenta valor esperado igual à zero e uma variância igual σ_ε^2 . Dessa forma, realiza-se a aplicação dos gráficos de controle de medidas individuais nos resíduos do modelo estocástico encontrado, com o intuito de analisar os pontos caracterizados como períodos atípicos, ou seja, fora de controle $\mu_{MR} \pm 4\sigma_{MR}$, indicando a presença de *outliers*.

VIII. Modelos ARCH

Segundo Souza *et al.* (2012) e Santos (2006), os modelos autorregressivos, com heterocedasticidade condicional – ARCH, trazem como ideia principal que seus resíduos ε_t não possuam correlação serial, todavia, dependente, sendo esta dependência descrita por uma função quadrática de seus valores passados. Segundo Morettin (2006), o modelo ARCH (m) definido pela Eq.16.

$$\varepsilon_t^2 = \alpha + \varepsilon_{t-1}^2 + a_t \quad (16)$$

Dessa forma, pode-se observar que a variância condicional do erro ε_t com a informação disponível para o período (t-i) é distribuída, de acordo com Eq. 17.

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \sum_{i=1}^q \varepsilon_{t-i}^2 + a_t \quad (17)$$

No caso de um modelo ARCH (1), tem-se a variância condicional definida pela Eq. 18.

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \sum_{i=1}^q \varepsilon_{t-i}^2 + a_t \quad (18)$$

Assim, espera-se que a modelagem ARCH (1) possua resíduos identicamente distribuídos *i.i.d.*, características estas mostradas na Eq. 19.

$$\varepsilon_t \approx N(\mathbf{0}; \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2) \quad (19)$$

IX. Medida de qualidade de ajustamento.

Mostra-se, nesta fase, a aplicação das estatísticas de qualidade, MAD, MAPE e EQM a serem utilizadas para observância do melhor modelo predito, onde γ_i e $\hat{\gamma}_i$ representam os valores observados e previstos.

TABELA I

MEDIDAS DE QUALIDADE DOS MODELOS DE PREVISÃO.

| Medida | Descrição | Notação |
|--------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------|
| Erro Percentual Absoluto Médio | MAPE | $\frac{1}{h} \sum_{i=1}^h \frac{ y_i - \hat{y}_i }{y_i}$ |
| Erro Quadrado Médio | EQM | $\frac{1}{h} \sum_{i=1}^h (y_i - \hat{y}_i)^2$ |
| Erro Percentual Absoluto Médio | MAPE | $\frac{1}{h} \sum_{i=1}^h \frac{ y_i - \hat{y}_i }{y_i}$ |
| Akaike Information Criteria | AIC | $-2 \ln \left[L\left(\hat{\xi}\right) \right] + 2K$ |

X. Rio Jaguari

A microbacia hidrográfica do Rio Jaguari localiza-se na mesorregião centro ocidental, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Uruguai, apresenta a sua foz na margem superior do rio Ibicuí no estado do Rio Grande do Sul, conforme Fig.1.

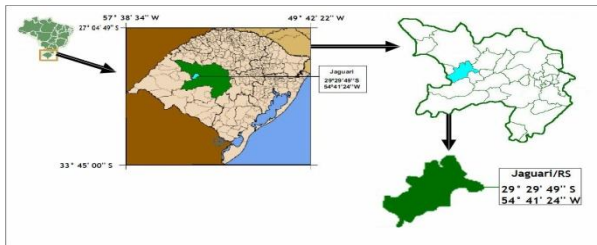


Figura 1- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari.

Para realização desta pesquisa, foram consultadas as vazões do rio Jaguari em (m^3/s) fornecidas por meio do Operador Nacional de Energia Elétrica (ONS) com coletas mensais no período de janeiro de 1970 a dezembro de 2010, junto ao banco de dados do posto 120 sistema Sudeste, latitude - 29:21:32, longitude - 54:30:7, composta por 491 observações.

XI. RESULTADOS

Constata-se, por meio das estatísticas descritivas, conforme Tabela II, o comportamento das vazões durante o período analisado com a finalidade de verificar se há modificações em relação às medidas de posição e dispersão.

TABELA II

MEDIDAS DESCRITIVAS DAS VAZÕES DO RIO JAGUARI.

| Estatísticas | (m^3/s) |
|---------------|-------------|
| Média | 26,52 |
| Desvio Padrão | 14,25 |
| CV (%) | 53,73 |
| Valor máximo | 98 |
| Valor mínimo | 7 |

Conforme Tabela II, nota-se que as vazões observadas no rio Jaguari variam de $7 m^3/s$ a $98 m^3/s$, sendo que a menor vazão aconteceu no mês de setembro do ano de 1975, e a máxima, no mês de fevereiro de 1995. As medidas descritivas indicam que a média é pouco representativa, o que sugere a presença de variabilidade intra-anual caracterizada como comportamento sazonal, como corroborado pela Fig. 2. Conforme Britto *et al.* (2008), o que influencia no ritmo climático do Rio Grande do Sul, atuando sob o ritmo de deslocamento das frentes,

possui relação aos fenômenos climáticos El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria).

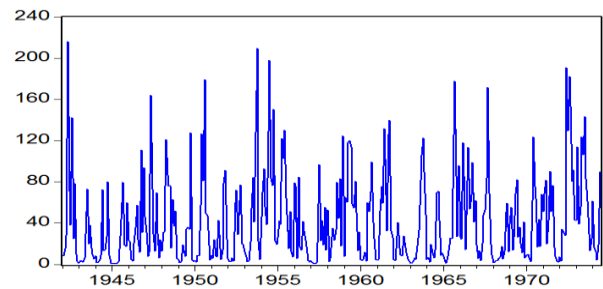


Figura 2. Série original das vazões no período de 1970 a 2010.

Na Fig. 2, representa-se a série das vazões do Rio Jaguari, na qual se percebe aleatoriedade das vazões, também, como aspecto importante, a propriedade sazonal definida, possuindo caracterização com o clima e a hidrologia, com períodos ou épocas de ocorrência de chuvas acima da média e períodos de estiagem. Estes períodos de alta e baixa amplitude, que ocorrem frequentemente, podem ser considerados como períodos de agrupamento de volatilidade denominado de “clustering”, conforme (Cavaleri e Ribeiro, 2011) e (Campos, 2007).

Igualmente é possível perceber pela Fig.1, segundo Makridakis (1998), que as flutuações sugerem um efeito aditivo pela razão de que os picos de alta e baixa vazão não dependem de outras componentes.

XII. Modelagem e previsão

Consideradas as características da série de vazões, aplica-se o algoritmo proposto por Holt e Winters que trata as componentes tendência e sazonalidade, sendo a estimação do coeficiente de alisamento escolhido de forma automática com intuito de minimizar a soma dos erros quadráticos de previsão.

De acordo com os resultados das constates de alisamento, observou-se que a constante ponderada da componente tendência $\beta = 0,000$ indica que a série não apresenta tendência. Todavia, a constante de ponderação exponencial $\alpha = 0,452$ indica que o maior peso de alisamento é atribuído às vazões passadas do que às vazões recentes, constituindo-se, assim, com um menor poder de reação a mudanças de nível das vazões. Em relação à constante sazonal $\gamma = 0,011$, ela indica a presença de sazonalidade na série em estudo, conforme (Afonso *et al.* 2011).

XIII. Modelagem ARIMA geral

Nesta etapa, parte-se para o processo de identificação e estimação do modelo, por meio da função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial amostral (FACP), conforme Fig. 3 e 4.

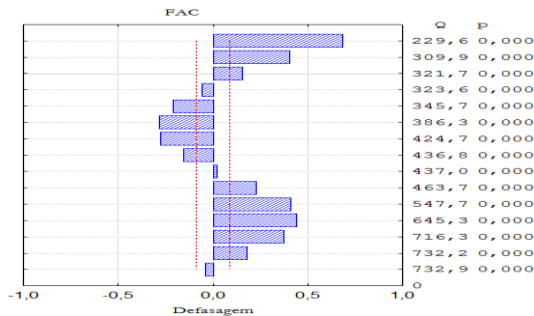


Figura 3. Função de autocorrelação amostral (FAC).

Percebe-se pela Fig. 3 a existência de autocorrelação significativa diferente de zero nas defasagens 1 e 2 a ser modelada, da mesma forma, um comportamento estacionário pelo decaimento rápido dos lag's, juntamente com um comportamento senoidal e autorregressivo. Estas características, conforme Martinez e Zamprogno (2003) seguem um processo autorregressivo e sazonal, confirmada pela relação pluviométrica ocorrida no período analisado, dado que as vazões do sul do Brasil, de acordo com Marengo (2008), apresentaram significativas conexões com o volume das precipitações, principalmente relacionável ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e pelo aquecimento que ocorre nas águas no Oceano Pacífico Tropical, gerando, assim, mudanças de circulação de grande escala na atmosfera.

A função de autocorrelação parcial (FACP), Fig. 4, indica um processo autorregressivo de ordem 1, o que sugere que as vazões do rio Jaguari estão relacionadas como os próprios valores passados.

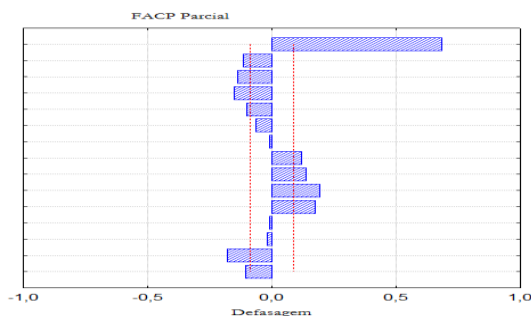


Figura 4. Função de autocorrelação parcial amostral (FACP).

Logo, para confirmar a informação da Fig. 2, realizam-se os testes de raiz unitária, ADF e KPSS, conforme Sartoris *et al.* (2000), que apontaram, respectivamente, em seus resultados a um nível de 5% de significância, p-valor < 0,001 e p-valor = 0,192. Desse modo, considera-se que a série de vazões apresenta-se estacionária em nível.

Verificado o tipo e a ordem da modelagem a ser utilizada, parte-se para a etapa de estimação dos modelos, conforme Tabela IV.

TABELA III
MODELOS CONCORRENTES COM REFERIDOS
COEFICIENTES E MEDIDAS DE QUALIDADE.

| Modelos | AIC | MAD |
|------------------------------------------|-------------|--------------|
| ARMA (1,0,0) | 4.87 | 24.85 |
| SARMA (1,0,0)(1,0,0) ₁₂ | 4.84 | 24.59 |
| SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂ | 4.78 | 24.18 |
| SARMA (2,0,0)(2,0,0) ₁₂ | 4.75 | 24.63 |
| SARMA (2,0,0)(2,0,1) ₁₂ | 4.55 | 25.84 |

Conforme Tabela III, os modelos estocásticos apresentaram resíduos com características $RB(0, \sigma^2)$, onde, para seleção dos modelos, levou-se em conta os critérios de penalidade e qualidade AIC e MAD.

Os modelos selecionados possuem medidas de qualidade próximas, sendo que o modelo SARMA (2,0,0)(2,0,1)₁₂ apresentou-se com o menor AIC. Todavia, o modelo que se apresentou mais parcimonioso foi o modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂, sendo o escolhido para realizar as previsões e explicar o comportamento da série estudada.

O modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂ apresenta-se em sua dinâmica ordinal com $p = 1$, o que indica que a vazão (Q_t), possui dependência da vazão no instante Q_{t-1} , com relação positiva de $\phi_1 = 0,779$ com o mês

anterior. Entretanto, a parte sazonal apresentou ordem $p=2$, o que indica que a vazão (Q_t) é função múltipla de Q_{t-12} e Q_{t-24} , mostrando que o efeito de maiores e menores amplitudes ocorrem de 12 em 12 meses.

Na etapa de validação do modelo estocástico, observou-se que a autocorrelação existente na série original, agora, passa a ser não autocorrelacionada, por meio da análise dos resíduos do modelo estocástico SARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$, concluindo-se que o modelo escolhido é um bom modelo para realizar-se as previsões de vazões.

Com o propósito de detectar os períodos considerados especiais ou atípicos, ou seja, períodos que ultrapassam os limites de controle $\mu_{MR} \pm 4\sigma_{MR}$, realizou-se a aplicação das cartas de controle de medidas individuais nos resíduos do modelo SARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$. Caso forem detectados pontos além desses limites, estes pontos serão utilizados para realizar-se a análise de intervenção. Isto só foi possível porque a série de vazões que foi autocorrelacionada, agora, passa a ser independente e identicamente distribuída (não autocorrelacionada) em relação a seus resíduos, conforme Zulema e Requeijo (2008), de acordo com a Fig. 5.

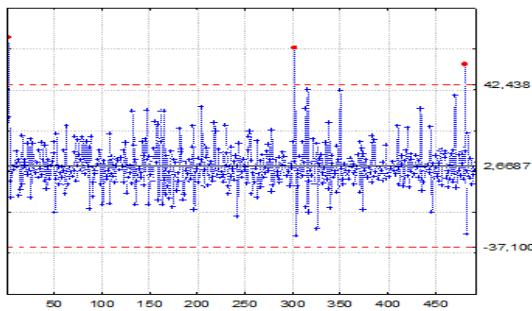


Figura 5. Carta de controle de medidas individuais dos resíduos do modelo SARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$

Na análise dada pela Fig. 5, observa-se que dois períodos ultrapassam os limites de controle, o que pode estar associado à alta precipitação pluviométrica ocorrida neste período, segundo (Prina e Monguilhott, 2011); (Marengo, 2008).

Para isso, ajustou-se o modelo SARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$ com intervenção, onde apresentou como significativo os períodos, ou *lags*, de novembro de 1994 e dezembro de 2009, conforme Tabela IV a seguir, considerada quanto a sua manifestação abrupta e quanto a duração temporária, conforme Glass *et al.* (1975), Mc Dowall *et al.* (1980). O modelo com intervenção produziu resíduos que foram considerados com características de ruído branco.

Logo, conforme Tabela IV, realiza-se a modelagem com a incorporação dos períodos considerados como fora dos limites de $\mu_{MR} \pm 4\sigma_{MR}$, o que indica a presença de *outliers*.

TABELA IV

COEFICIENTES DO MODELO SARMA $(1,0)(2,0)_{12}$ E RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO.

| Intervenções /lags | Variáveis | Coefficient es. | Desvio padrão |
|--------------------|----------------|-----------------|---------------|
| | ϕ_1 | 0,7194 | 0,054 |
| | Φ_1 | 0,2678 | 0,553 |
| | Φ_2 | 0,3350 | 0,554 |
| 300 | W ₁ | 15,68 | 6,57 |
| 481 | W ₂ | 18,47 | 7,40 |

O modelo ARIMA geral com intervenção, com seus coeficientes estimados, pode ser escrito por:

$$Y_t = 15,68x_{1,t} + 18,47x_{2,t} \frac{(1-B)}{(1-B)^{300}(1-B)^{481}(1-0,267B^{12} + 0,335B^{24})(1-0,719B)} \varepsilon_t$$

Onde, para variável *dummy*, tem-se:

$$x_{1,t} = \begin{cases} 0 & t \neq 300 \\ \omega_0 = 15,68, & t = 300 \end{cases}$$

$$x_{2,t} = \begin{cases} 0 & t \neq 481 \\ \omega_0 = 18,47, & t = 481 \end{cases}$$

De acordo com as estatísticas demonstradas, a vazão do Rio Jaguari, no período de novembro de 1994 e dezembro de 2009, apresentou acréscimo de $15,68 \text{ m}^3/\text{s}$ e $18,47 \text{ m}^3/\text{s}$. Segundo Britto *et al.* (2008), ocorreu uma ligeira tendência no número de eventos extremos de chuva, com maiores frequências em anos como: 1993-1994 e 1997-1998, que foram anos de El Niño.

XIV. Modelagem ARCH

Selecionado o modelo Sazonal – ARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$, parte-se para a observância dos resíduos quadráticos do modelo escolhido com vistas a analisar de heterocedasticidade condicional, por meio do teste LM-ARCH, que apontou a estatística $F_{calculada} = 6,36$ e cujo $F_{tabelado(1,492)} = 6,30$ indicando a presença de variabilidade significativa, ou seja, a presença de volatilidade condicional.

Indicados vários modelos de acordo com os critérios de qualidade e penalidade, obteve-se como resultado que o modelo Sazonal – ARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$ – ARCH(1) foi o escolhido para também realizar as previsões.

XV. Previsão

Para realização da previsão, utilizou-se o algoritmo exponencial de Holt-Winters (AEHW), considerado com efeito aditivo. Na previsão das vazões, utilizando modelos lineares, o modelo SARMA (1,0,0) (2,0,0)₁₂ foi o escolhido. Na etapa de modelagem não linear, utilizou-se o modelo SARMA (1,0,0) (2,0,0)₁₂- ARCH (1), conforme Tabela V.

TABELA V

PREVISÕES UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS.

| Data | Vazões | AEHW | SARMA | SARMA-ARCH (1) |
|---------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2010-07 | 25 m ³ /s | 24,20m ³ /s | 17,92 m ³ /s | 21,33 m ³ /s |
| 2010-08 | 15 m ³ /s | 21,42m ³ /s | 15,91 m ³ /s | 21,18 m ³ /s |
| 2010-09 | 15 m ³ /s | 20,45m ³ /s | 14,00 m ³ /s | 15,07 m ³ /s |
| 2010-10 | 14 m ³ /s | 20,27m ³ /s | 15,11 m ³ /s | 14,65 m ³ /s |
| 2010-11 | 17 m ³ /s | 20,03m ³ /s | 17,72 m ³ /s | 13,18 m ³ /s |
| 2010-12 | 33 m ³ /s | 28,21m ³ /s | 28,85 m ³ /s | 28,45 m ³ /s |

TABELA VI

MEDIDAS DE QUALIDADE DAS PREVISÕES DE VAZÕES.

| MAPE AEHW | EQM AEHW | MAPE SARMA | EQM SARMA | MAPE SARMA- ARCH(1) | EQM SARMA- ARCH(1) |
|--------------|-------------|---------------|--------------|---------------------------|--------------------------|
| 0,264 | 24,09 | 0,172 | 18,28 | 0,167 | 14,97 |

De acordo com a Tabela VI, observa-se a superioridade do modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂-ARCH(1) na previsão a longo prazo, apresentando menor erro em relação ao critérios de qualidade.

XVI. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a série em nível do rio Jaguari apresenta uma variabilidade alta, indicando que a média é pouca representativa, sendo a incorporação da análise de intervenção uma técnica capaz de averiguar quais observações apresentaram mudanças de comportamento, assim como o impacto denotado por estas intervenções.

Além disso, partiu-se para a modelagem, utilizando-se os diferentes modelos matemáticos de previsão. Selecionado o modelo linear SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂, utilizou-se os resíduos do modelo para a incorporação dos gráficos de controle a fim de detectar os pontos caracterizados como *outliers* e, assim, realizar a análise de intervenção, que apontou acréscimos de 15,68 m³/s e 18,47 m³/s em novembro de 1994 e dezembro de 2009.

Em seguida, partiu-se para a seleção dos modelos matemáticos a fim de realizar as previsões de vazões, apontando para o modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂-ARCH(1) com melhor acurácia frente aos outros modelos dentro do intervalo de valores observados.

A modelagem ARCH permitiu estimar o grau de persistência (0,111) aos choques promovidos na volatilidade, o que indica que a variabilidade apresentada terá um efeito não tão duradouro, conforme Casarin, Souza e Spim (2012); Bueno (2008), transmitindo-se por poucos períodos de tempo, ou seja, as vazões retornarão ao seu padrão usual em um curto espaço de tempo.

Conclui-se que o modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂-ARCH(1) corroborou para previsões satisfatórias, podendo ser utilizado para descrever o comportamento das vazões do rio Jaguari e a incorporação de parâmetros de intervenção foi dotada como um incremento para com a análise. Verifica-se que o presente estudo pode ser utilizado como ferramenta de apoio à tomada de decisão e na gestão dos recursos hídricos do rio Jaguari, analisando tendências, efeitos sazonais e a variabilidade das vazões mensais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao trabalho anônimo dos revisores, por auxiliarem na melhoria da qualidade do texto. Também agradecem ao auxílio financeiro proporcionado pela CAPES. Ao Laboratório de Análise e Modelagem Estatística – LAME e por fim a gerência da PCH instalada no Rio Jaguari - RS.

REFERÊNCIAS

- A, J. Marengo, “Água e mudanças climáticas”. Rev. Estudos Avançados v.22 n. 63. São Paulo. 2008.
- A. M. Souza, “Aplicação e performance da análise de intervenção em séries macroeconômicas brasileiras”.(Monografia ao CPGEMQ-UFSM, Santa Maria.1991.
- A. Marchezan, M. A. Souza, “Previsão do preço dos principais grãos produzidos no Rio Grande do Sul”. Cienc. Rural v.40 n.11 Santa Maria. 2010.
- A. V. Casarin, M. A. Souza, A. J. Spim, “Continuons Casting Process stability Evaluated By Means Of Residuals Control Charts In The Presence Of Cross-Correlation And Autocorrelation”. International Journal of Academic Research, v.4, n.3, 2012.
- C. D. Guimarães, S. J. Jesus, L. S. Russo, “Aplicação dos modelos de intervenção em dados de perfilagem”. I CONEST – Congresso de Estatística e V SEMAEST – Semana Acadêmica de Estatística. 2012.
- C. L. P. Carvalho, T. Sáfadi. G. E. L. Correio, “Análise do comportamento do preço da série de

- cana-de-açúcar”. Revista Contemporânea de Economia e Gestão. v. 9, n. 2. 2011.
- C.W.J.Granger, P. Newbold, “Forecasting Economic Time Series, Academic Press, San Diego, (Second edition).heteroscedasticity-consistent covariance matrix estimators”. Biometrika, 87: p.907-918. 1986.
- D. A. W.A. Fuller, “Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root”. Econometrica, 49:p.1057-1072. 1981
- D. J.Groppo, M. J. Moraes, E C. Beduschi, A L Martinelli,”Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas”. Geociências, v.24, n.2, p.181-193.2005.
- D. P.C.B. Kwiatkowski, P. Phillips, Y. S. Schmidt. “Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root”. Journal of Econometrics, v.54, p. 159-178, North-Holland. 1992.
- D. T. Campbell, “From description to experimentation: interpreting trends as quasi-experiments”. In: Harris, C. W. (Ed.). Problems of measuring change: proceedings. Madison: University of Wisconsin, p.259. 1963.
- G. E. P Box, G. M Jenkins, “Time Series Analysis: Forecasting and Control”. San Francisco: Holden-Day. 1976.
- G. E. P. Box, G. C. Tiao, “Intervention analysis with applications to economic and environmental problems”. Journal of the American Statistical association, v. 70, p.70–79, 1975.
- J. D. Noakes, A. Mcleod, W. K. Hipel, Forecasting monthly river flow time series. International Journal of Forecasting, v 1, n 2, p 179-190. 1985.
- K. C. Campos, “Análise da volatilidade de preços de produtos agropecuários no Brasil”. Revista de Economia de Agronegócio. v. 5, n. 3, p. 303-328. 2007.
- K. W. Hipel,” Geophysical Model Discrimination Using
- K.W. Hipel, “Geophysical model discrimination using the Akaike information criterion”. IEEE Transactions on Automatic Control, AC-26(2), p. 358-378. 1981.
- L. J. Corrar, C. R. Theóphilo, “Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração: Contabilometria”. São Paulo, SP: Atlas, 2004.
- L. Xiong, S. A. Guo, “A two-parameter monthly water balance model and its application”. Journal of hydrology, v.216, n.1, p.111-123. 1999.
- M. A. Souza, M. F. Souza, R. Menezes, “Procedure to Evaluate Multivariate Statistical Process Control using ARIMA-ARCH Models”. Japan Industrial Management Association. v.63. n. 2. 2012.
- M. D. Bayer, R. M. N. Castro, M. F. Bayer, “Modelagem e Previsão de Vazões Médias Mensais do Rio Potiribu Utilizando Modelos de Séries Temporais”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.17 n.2. p.229-239. 2012.
- M. R. Honar, “Simulation and Modeling of Monthly Discharge Using Time Series Analysis (Case Study: Firouzabad River, Iran)”.International Conference on Environmental Engineering and Applications. 2010.
- O. R. Martinez, B. Zamprogno, “Comparação de algumas técnicas de previsão em análise de séries temporais”. Revista Colombiana de Estadística. v.26, n.002, Bogotá-Colombia., p.129-157.2003.
- ONS- “Operador nacional do sistema elétrico”. 2012.
- P. A. Morettin, “Econometria financeira- Um curso em Séries Temporais Financeiras”. Ed Blucher. 2008.
- P. A. Morettin, C. M. C. Toloí, “Análise de séries temporais”. Associação Brasileira de Estatística. São Paulo: Edgard Blücher, 2.ed; p. 100. 2004.
- P. F. Britto, R. Barletta M. Mendonça,”Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviual no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño oscilação Sul”. Rev. Brasileira de Climatologia. 2008
- P.L.Zulema, J.G.Requeijo, ”Planejamento e controle estatístico de processos de qualidade” Coedição FCT-Fundação da faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. 2008.
- Q. LI, R. Sun, C. Tricaud, Q. Y. Chen, “Great salt lake surface level forecasting using figarch modeling”. International Design Engineering Technical Conferences & Computers and information in Engineering Conference. p 4-7. 2007.
- R. Angelini, M. L. Bini, M. R. L. F. Starling, “Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do lago Paranoá (Brasília- DF)”. Oecol. Bras.v.12, n.3, p. 564-571. 2008.
- R. Cavaleri, E. P. Ribeiro, “Combinação de Previsões de Volatilidade: Um Estudo”. Revista Economia. 2011
- R. F. Engle, “Autoregressive Conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of U.K. inflation”. Econometrica. 50: p.987-1008. 1982.
- S. F. Costa, P. E. M. Maceira, M. J. Damázio, “Modelos de previsão hidrológica aplicados ao planejamento da operação do sistema elétrico Brasileiro”. Rev. Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12 n.3. 2007
- S. G. Makridakis, S. C. Wheelwright, R. J. Hyndman. “Forecasting: methods and applications”. 3. ed. New York: John Willey & Sons, Inc. 1998.
- T. F. M. S. Santos, “Valor em risco auto-regressivo condicional: O caso de índices Brasileiros”. (Dissertação de Mestrado em Estatística)-Universidade Federal de Pernambuco, p.94, Recife. 2006.
- T. Sáfadi, “Uso de séries temporais na análise de vazão de água na represa de Furnas”. Ciênc.agrotec.,Lavras, v.28, n.1.p.142-148. 2003.

W. M. Afonso, M. M. R. Filho, O. L. M. Novaes, “Aplicação de modelos de previsão de demanda em uma farmácia hospitalar”, *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção* v. 11, n. 4. 2011.

Z. B. Prina, M. Monguilhot, “Análise das transformações da paisagem de áreas próximas ao rio Jaguari aplicando técnicas de sensoriamento remoto em imagens do satélite TM Landsat-5”. *XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, 2011.



Acássio Valente Feliciani possui graduação em tecnologia em Irrigação e Drenagem pelo Instituto Federal Farroupilha (IFF), São Vicente do Sul, em 2006. Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil. Tendo como áreas de atuação e de interesse gerência de produção, series temporais, controle de qualidade e análise multivariada.



Adriano Mendonça Souza possui graduação em Matemática (FIC Faculdade Imaculada Conceição Santa Maria), Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa (UFSM Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria) e Mestrado em Engenharia de Produção (UFSM). Doutorado em Engenharia de Produção (UFSC Universidade Federal de Santa Catarina - SC) e neste período atuou como pesquisador na Texas A & M University (TX USA), realizou post-doc no Instituto Superior da Ciência do Trabalho e da Empresa - ISCTE - Business School - Linsbon

Institute - Portugal. Atualmente é Professor Associado do Departamento de Estatística (UFSM) atuando nos curso de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa (UFSM) e no Mestrado em Engenharia de Produção (UFSM). A partir de 2007 passou a avaliador de curso e avaliador institucional do MEC, além de ser referri de várias revistas científicas. Faz parte do corpo editorial da Revista Ciência e Natura. As áreas de interesse são estatística aplicada, controle de qualidade, análise de séries temporais, análise multivariada, pesquisa operacional e gerência.



Francisca Mendonça Souza possui graduação em Matemática Aplicada Computacional pelo Centro Universitário Franciscano (2004), Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa UFSM - Universidade Federal de Santa Maria (2005), Mestrado em Engenharia de Produção - UFSM (2011) e doutoranda em estatística pelo Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL). As áreas de interesse são estatística aplicada, controle de qualidade, análise de séries temporais, análise multivariada, pesquisa operacional e gerência. Atuando principalmente nos seguintes temas: estatística, matemática, qualidade e gerência de produção, ferramentas estatísticas e análise exploratória.



Roselaine Ruviano Zanini possui graduação em Matemática - habilitação em Física pela Faculdade Imaculada Conceição (1988), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (2006) e doutorado em Epidemiologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2007). Atualmente é adjunto III da Universidade Federal de Santa Maria. Tem experiência na área de Probabilidade e Estatística, com ênfase em Probabilidade e Estatística Aplicadas, atuando principalmente nos seguintes temas: fatores de risco, epidemiologia, estatística, gráficos estatísticos de controle e modelos

Box e Jenkins.

DISCUSSÃO

Este capítulo mostra a relação que as pesquisas já referenciadas mostram em torno de um objetivo comum. Portanto, tem-se o interesse em apresentar, por meio desta discussão, quais foram os resultados obtidos, dada a utilização de diferentes técnicas matemáticas no atendimento do objetivo geral da dissertação que é prever o nível e analisar a variabilidade da vazão de aflúncias do rio Jaguari, por meio de modelos matemáticos lineares e não lineares, com o intuito de auxiliar na gestão dos recursos hídricos do rio Jaguari e na geração de energia da pequena central hidrelétrica Furnas do Segredo.

O primeiro artigo teve como objetivo analisar o regime médio e a variabilidade da vazão do Rio Jaguari, responsável pelo provimento elétrico de 6,2 MGW hora mês, por meio de modelos estocásticos ARIMA geral (Autorregressivos integrados e de médias móveis), e modelos ARCH (Autorregressivos heterocedásticos condicionais). Os resultados do artigo mostraram que a série cronológica de vazões em m^3/s no período de 1942 a 2006 apresentam, em sua totalidade, oscilações ao longo do tempo. A essas oscilações, dois fenômenos possuem ligação: a variabilidade intra-anual ocorrida no tempo observado, ou seja, variação temporal-espacial-anual de precipitações pluviométricas no leito do rio, variando de 1136,3 mm a 2923 mm e as características de conservação do solo ocasionada por razões antrópicas.

A região onde se situa o rio Jaguari apresenta, em sua superfície, solos arenosos, campos duros, várzeas, áreas de floresta e áreas de produção agrícola, na qual se utiliza da água do rio para fins de irrigação de lavouras, fazendo com que as vazões do rio sejam comprometidas.

Esta predominância agrícola ocasiona a alteração do balanço hídrico em escala local e regional por meio de ações como: desmatamentos, não preservação da mata ciliar, manejo inadequado dos solos, implantação de lavouras em encostas de cerros, queimadas, excesso de animais nas pastagens, o que contribui para a degradação natural do meio ambiente.

A conexão de fenômenos climáticos e ações antrópicas refletem negativamente no funcionamento da pequena central hidrelétrica instalada no rio, ocasionando problemas de operação, geração e transmissão de energia elétrica. Para que esses problemas não acarretem dificuldades à gerência e, principalmente, ao consumidor, o qual necessita dessa energia para sobrevivência e produção comercial, vêm sendo utilizadas metodologias matemáticas com o intuito de auxiliar no controle e planejamento do parque hidroelétrico.

Na presente pesquisa, utilizaram-se modelos matemáticos capazes de captar o comportamento da série temporal de vazões durante o período analisado. Para tanto, foram empregados vários modelos até o resultado final, observando a eficácia positiva do modelo selecionado. Encontrou-se que o modelo capaz de mostrar o comportamento médio das vazões foi o modelo autorregressivo e de médias móveis e sazonal SARMA (1,0,1)(1,0,1)₁₂, selecionado por conta do critério de qualidade AIC (*Akaike Information Critéria*) e critérios de parcimônia.

Observou-se uma relação positiva com o primeiro mês, o que conclui que as vazões dependem do instante anterior e da média dos erros passados. Também se verificou a presença de sazonalidade de ordem 12.

Por meio do teste ARCH-LM, constatou-se a existência de heterocedasticidade condicional nos resíduos quadráticos do modelo selecionado. Logo, buscou-se estimar, por meio dos modelos da família ARCH, a volatilidade, que mostra uma oscilação significativa da variância das vazões, o que se caracteriza um importante fator estilizado.

A volatilidade condicional foi representada pelo modelo ARCH (1), que apontou grau de persistência igual a 0.120633, o que sinaliza relativamente baixo, indicando que a variabilidade, em um curto espaço de tempo, retornará à média histórica das vazões, refletindo, assim, que os rios que, após uma cheia ou uma seca, tendem a retornar ao seu padrão anual de variabilidade.

Portanto, o modelo estocástico capaz de representar à média e a variabilidade da série de vazões do rio Jaguari foi o modelo SARMA (1,0,1)(1,0,1)₁₂-ARCH (1). Esse modelo proporciona auxiliar na tomada de decisões, dada à capacidade de integrar as características presentes na série temporal de vazões, o que vem atender ao objetivo geral desta pesquisa.

No segundo artigo intitulado “Prediction of Hydrological Behavior of Flows Using Different Mathematical Methods and Intervention Analysis” é apresentada uma abordagem ainda mais completa da série de vazões do rio Jaguari, durante o período mensal de janeiro de 1970 a dezembro de 2010, utilizando-se diferentes modelos matemáticos e da técnica de análise de intervenção a representação e previsão das vazões do rio Jaguari. Para isso, usaram-se os modelos de alisamento exponencial de Holt-Winters (AEHW), modelos ARIMA genérico e modelos ARCH, também a incorporação da técnica de análise de intervenção, sejam elas antrópicas ou geradas por eventos naturais.

Na presente pesquisa, obtiveram-se novamente diferentes etapas para conquistar o modelo que melhor represente o comportamento das vazões do rio Jaguari e, assim, prever as vazões a horizontes futuros com o menor erro possível.

Observou-se que o modelo de alisamento exponencial apresentou, em seus resultados, a componente não tendenciosa representada por $\beta = 0,000$, o que indica que a série de vazões no período analisado, que foi de janeiro de 1970 a dezembro de 2010, não evidenciou tendência. Em relação a constante de ponderação exponencial $\alpha = 0,452$, indica que há um menor poder de reação a mudanças de nível, visto que o peso de alisamento de 0,452 revela maior ponderação às vazões passadas e não as recentes. Todavia, na indicação da presença de sazonalidade, a constante sazonal dada por $\gamma = 0,01$ apontou positiva.

Logo, partiu-se para a prática da modelagem de Box & Jenkins (1976), de modo a obter um modelo estocástico a representar o comportamento médio das vazões. Para isso, foi verificado, por meio da função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial, o comportamento dos *lags*, em relação ao seu decaimento exponencial, para, assim, obter uma ideia melhor de que tipo de modelagem empregar.

Visto isto, observou-se que a série de vazões apresentava-se estacionária, o que atende as pressuposições da utilização de séries temporais. Do mesmo modo, a presença de parâmetros autorregressivos e sazonal o que infere para a modelagem ARMA-SAZONAL. Para tanto, foram testados vários modelos que apresentaram resíduos com média zero e variância constante, ou seja, modelos que apresentem características de *ruído branco*. O critério de seleção do modelo levou em conta critérios de parcimônia, qualidade e penalidade AIC e MAD, apontando para o modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂ a representar e prever o comportamento hidrológico das vazões médias do rio Jaguari.

Logo, utilizou-se do emprego de gráficos de controle de medidas individuais, aplicados aos resíduos do modelo SARMA (1,0,0)(2,0,0)₁₂ com intuito de identificar os períodos caracterizados como atípicos e, dessa forma, apontar quais foram os impactos para com as vazões do rio estudado.

Observaram-se, como significativo os períodos, ou *lags*, de novembro de 1994 e dezembro de 2009, o que considera, quanto a sua manifestação como abrupta, é quanto à duração temporária indicando acréscimos nas vazões de 15.68 m³/s e 18.74 m³/s, respectivamente. A esse

acréscimo, infere-se concluir, de acordo com pesquisas ligadas ao comportamento pluviométrico da região, a fenômenos ligados ao El Niño Oscilação Sul (ENOS).

Encontrado o modelo linear e feita a incorporação de intervenções na série de vazões, partiu-se para a análise da presença da variabilidade das vazões, utilizando o teste ARCH-LM que indicou a presença de variabilidade nos resíduos quadráticos do modelo SARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$.

Partiu-se, então, para a modelagem proposta por Engle (1982), modelos ARCH, que obtiveram resultados positivos, com o modelo ARCH (1) apontando que os choques sofridos como exemplo, estiagens, excessos de chuvas, ações antrópicas refletiram na volatilidade, que apresentou um grau de persistência baixo, bem menor do que um, indicando que as vazões retornarão ao seu patamar usual em um curto espaço de tempo.

Lembra-se que as velocidades das vazões estão diretamente proporcionais à quantidade de geração de energia elétrica, pois a velocidade e a quantidade de água que o rio possui proporcionam a transformação da energia cinética em energia elétrica por meio de um gerador que está acoplado às turbinas da PCH.

Em relação às previsões, observou-se que o modelo estocástico SARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$ -ARCH(1) apontou resultados melhores de previsões em relação aos demais modelos. A incorporação da técnica de análise de intervenção foi utilizada para determinar o impacto dos períodos de acréscimos das vazões, que foram detectados pelos gráficos de controle de medidas individuais.

Diante disso, o artigo 2 vem a corroborar com o objetivo principal desta dissertação, pois a utilização modelos matemáticos e análise de intervenção auxilia no planejamento da pequena central hidrelétrica Furnas do Segredo, sendo a média e a variância medidas necessárias para o bom ajuste dos modelos de avaliação e previsão de séries temporais.

CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões da dissertação acerca do objetivo geral e dos objetivos específicos da pesquisa, respondidos em cada artigo integrante do estudo. O objetivo geral desta dissertação é prever o nível e analisar a variabilidade da vazão de aflúências do rio Jaguari, por meio de modelos matemáticos lineares e não lineares, com o intuito de auxiliar na gestão dos recursos hídricos do rio Jaguari e na geração de energia da pequena central hidrelétrica Furnas do Segredo.

O objetivo da primeira pesquisa teve êxito, pois a utilização de modelos matemáticos foi capaz de captar o comportamento da média e da variância condicional das vazões do rio Jaguari, por meio do modelo SARMA $(1,0,1)(1,0,1)_{12}$ - ARCH (1).

Na segunda pesquisa, procurou-se incorporar outros modelos matemáticos que auxiliassem a gerência de produção na tomada de decisões da pequena central hidrelétrica Furnas do segredo. Observou-se que a modelagem SARMA $(1,0,0)(2,0,0)_{12}$ - ARCH (1) proporcionou previsões mais acuradas dentro da amostra em relação aos demais modelos. A incorporação da técnica de análise de intervenção, que possui propósito de identificar as mudanças de regime, indicou um acréscimo nas vazões do rio de 15,68 m³/s e 18,74 m³/s durante os períodos de novembro de 1994 e dezembro de 2009. Dessa forma, se é capaz de mensurar o impacto que cada período detectado como fora do padrão pode influenciar na geração de energia elétrica.

Dado que o estudo foi realizado com a série cronológica das vazões entre os anos 1942 a 1998, e as técnicas utilizadas foram capazes de refletir o comportamento da média, da volatilidade e dos pontos atípicos das vazões ocorridas neste período, cria-se, então, um conjunto de ferramentas capazes de serem utilizadas no momento atual da PCH, de modo a proporcionar um maior entendimento da vazão do rio e auxiliar no aumento de geração de energia.

Diante disso, a atualização da base de dados e o uso de equações para compreender o comportamento e prever as vazões mensais do rio Jaguari possibilita vislumbrar um futuro promissor, pois, realizando previsões com eficiência, é possível buscar o avanço econômico da PCH, garantindo, assim, o fornecimento de forma ininterrupta de energia elétrica para os consumidores locais e da região.

Aponta-se como limitação desta pesquisa a impossibilidade do modelo estocástico em captar com eficiência as mudanças ocorridas no longo prazo, pois os modelos utilizados possuem a característica de realizar previsões no curto prazo. Por esta característica dos modelos de memória curta ou ARIMA as enchentes e/ou estiagens que ocorreram em períodos muito posteriores não causam grande influência nas previsões atuais.

Observa-se que os modelos de previsão empregados são úteis no planejamento de compra e venda da energia gerada, pois no caso de períodos de estiagem a PCH – Furnas do Segredo necessita realizar a compra de energia para manter a demanda de abastecimento da região. No caso do excesso de vazões a PCH poderia gerar um excedente de energia e repassar ao SIN (Sistema Interligado Nacional) gerando receitas para a PCH, o que poderia ser um contraponto, quando a mesma necessita realizar a compra do SIN, dado que o sistema brasileiro é interligado.

Sugerem-se para estudos futuros que sejam aplicados modelos autorregressivos de heterocedasticidade condicional na série analisada, com o intuito de verificar se a variabilidade dos dados é significativa e apresenta persistência na volatilidade.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL. **Atlas de energia elétrica 3º edição**, p.56, 2008. Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em 18 de julho de 2012.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. San Francisco: Holden-Day. 1976.

BRASIL. Resolução N° 544, de 8 de outubro de 2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 outubro. 2002. Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002544.pdf>>.

CESARETTI, A. M. **Análise comparativa entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do ABC, Santo André, 2010.

GERAÇÃO ENERGISA. **Sobre PCH**, 2009. Disponível em:< <http://187.0.209.234/Geracao/oqueeuapch/default.aspx>>. Acesso em 15 de julho de 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY- IEA. **Perspectivas em Tecnologias Energéticas**. 2010. Disponível em: http://www.iea.org/techno/etp/etp10/Portuguese_Executive_Summary.pdf>. Acesso em 05 de agosto de 2012.

RELEMBRE os apagões que ocorreram no Brasil nas últimas décadas. **Globo Ecologia**, 06 Abril. 2013.