



ISSN: 0976-3376

Available Online at <http://www.journalajst.com>

ASIAN JOURNAL OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Asian Journal of Science and Technology
Vol. 11, Issue, 04, pp.10927-10931, April, 2020

RESEARCH ARTICLE

PREVISÃO DE VAZÃO UTILIZANDO O MODELO AUTORREGRESSIVO INTEGRADO MÉDIA MÓVEL: RESERVATÓRIO DE ITUTINGA/MG

¹Pamela Bilhafan Disconzi, ¹Marcelo Crestani Mota, ²Rita de Cássia Fraga Damé and
²Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra

¹Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Campus Universitário, Universidade Federal de Pelotas. s/n, Caixa Postal 354, Cidade de Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

²Centro de Engenharias, Curso de Engenharia Agrícola, Benjamin Constant, 989, CEP 96010-020 Cidade de Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th January, 2020

Received in revised form

19th February, 2020

Accepted 14th March, 2020

Published online 30th April, 2020

Key words:

Time series; Stochastic process;
Annual average flows.

ABSTRACT

Abstract: The hydrologic modeling is an important tool for planning and management of river basins water resources, mainly when this tool intended to provide hydroelectric power stations. In this work the hydrological stochastic model was used, ARMA (p,q), to adjust the Itutinga reservoir annual average flows in the state of Minas Gerais/Brazil which, together with the Camargos reservoir contributes to the Furnas hydroelectric power station that is located in the municipality of Lavras/MG/Brazil. The objective of this study was to simulate the reservoir annual month average flow using flow data from the ONS database (02144067, Agência Nacional de Águas-ANA), for the historical series of 1931-2010, and there foreto verify the existence of similarity between the observed data and the ones simulated-adjusted by the model. The stochastic model ARMA (p,q), has shown its capacity to capture the time series dynamics, presenting satisfying results on the simulation of annual average flows to the observed data in the Itutinga reservoir.

Citation: Pamela Bilhafan Disconzi, Marcelo Crestani Mota, Rita de Cássia Fraga Damé and Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra 2020. "Previsão de vazão utilizando o modelo autorregressivo integrado média móvel: reservatório de Itutinga/MG", *Asian Journal of Science and Technology*, 11, (04), 10927-10931.

Copyright © 2020, Pamela Bilhafan Disconzi et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUÇÃO

Tendo em vista que o consumo de energia elétrica cresceu mais do que a oferta interna de energia em 2011 - 3,6 e 1,3%, respectivamente – se comparado ao ano anterior e, que cerca de 81% desta energia é de origem hidráulica (EPE, 2011), torna-se imprescindível destinar atenção aos recursos hídricos brasileiros, em especial àqueles que sofrem ação antrópica dos grandes centros urbanos (ARAGÃO *et al.*, 2011). Em decorrência disso, o planejamento dos recursos hídricos ganha dimensão, pois através dele se estabelecem diretrizes para um melhor aproveitamento, controle e conservação dos mesmos. Para tanto, com o objetivo de prever a distribuição dos recursos hídricos sob diferentes cenários, faz-se necessário à utilização de modelos que possam quantificar, qualificar e gerenciar a água disponível no ciclo hidrológico. De modo geral, a previsão hidrológica pode ser feita mediante dois tipos de modelos: os modelos determinísticos, que usam equações com base conceitual ou empírica para descrever os processos físicos; e os estocásticos, que baseiam-se na análise da estrutura de dependência temporal das séries de aflúncias e cujos processos são controlados por leis probabilísticas.

Ao analisar uma série temporal busca-se compreender a sua estrutura, bem como identificar os ciclos e tendências, caso estes venham a existir. A previsão a partir de série temporal consiste em construir um modelo matemático, a partir do qual seja possível conhecer de forma sintética os valores que a variável assumirá no futuro (CHECHI & BAYER, 2012). Anteriormente à escolha do modelo a ser utilizado, é comum aplicar testes estatísticos (Mann-Kendall, Cox-Stuart, Mann-Whitney) aos dados observados, para determinar o modelo que melhor se adéqua aos mesmos (DETZEL *et al.*, 2011). O teste de Mann-Kendall considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). No teste, a tendência é significativa quando os valores absolutos de $u(t)$ são maiores que os limites de confiança e o início da mesma pode ser localizado pela interseção das curvas, se esta ocorre dentro dos valores críticos do intervalo de confiança (SILVA *et al.*, 2010). O mesmo pode adotar um nível de significância por exemplo de 5%, e assim a hipótese de nulidade (H_0) deve ser rejeitada sempre que o valor de $u(t)$ estiver fora do intervalo de confiança [-1,96; +1,96] (BLAIN,

2011). Da mesma forma, busca-se conhecer a Função de Autocorrelação, pois a mesma avalia o grau de dependência entre as sucessivas variáveis da série temporal. O coeficiente de autocorrelação, no caso de séries de valores independentes, para distintas defasagens, flutua em torno de zero, seguindo uma distribuição normal com um intervalo de confiança ao nível de 95% (SILVA *et al.*, 2011). Uma vez utilizada a análise gráfica, os testes estatísticos, as Funções de Autocorrelação e Autocorrelação parcial, os dados observados, têm-se os elementos para a escolha do modelo que melhor se ajusta aos mesmos. De acordo com BAYER & SOUZA (2010), a classe de modelos tradicionalmente mais utilizados em análise de séries temporais é a dos modelos ARMA, devido aos seus bons resultados e facilidade de aplicação. Este modelo possui termos auto-regressivos e termos de médias móveis, simultaneamente. Devido as características inerentes ao modelo ARMA (p,q), o mesmo permite, por exemplo, a estimativa das vazões afluentes aos reservatórios hidrelétricos, possibilitando, assim, o planejamento e a operação destes (SIQUEIRA *et al.*, 2010). O objetivo do presente trabalho foi simular as vazões médias anuais afluentes ao Reservatório de

Itutinga (MG), utilizando o modelo estocástico ARMA (p,q), de modo a avaliar seu desempenho na simulação das vazões, na expectativa de que o mesmo possa se revelar uma ferramenta útil de suporte ao planejamento e/ou gerenciamento dos recursos hídricos da região em estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Reservatório de Itutinga, localizado no Sul de Minas Gerais, a 950 m de altitude, cujas coordenadas geodésicas são 21°17'35"S e 44°37'30"W. O referido reservatório integra a Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande (Figura 1) e abastece a Usina Hidrelétrica Itutinga, situada no município de mesmo nome. Foram utilizados dados de vazões médias anuais obtidas a partir do banco de dados do Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS, 2010), uma vez que este disponibiliza, em seu sítio, séries históricas atualizadas de vazões naturais médias diárias e mensais, no formato de planilhas eletrônicas, para os reservatórios das usinas hidrelétricas em operação e integrantes do Sistema Interligado Nacional (SIN). Para analisar a existência ou não

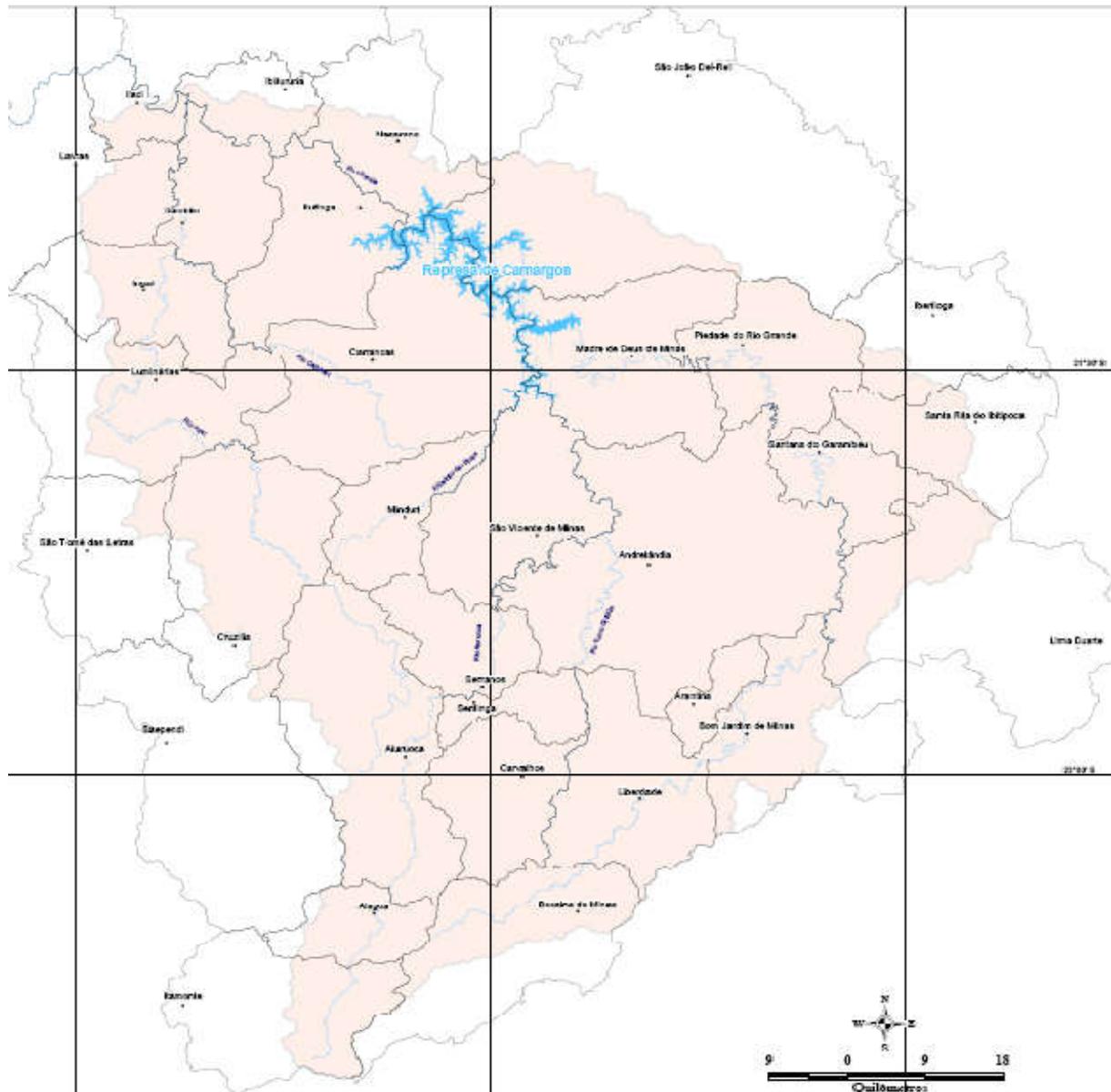


Figura 1. Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande (IGAM, 2006)

de estacionariedade na série foi aplicado o teste de Mann-Kendall, que utiliza a estatística S para fazer a contagem do número de valores antecedentes, maiores e menores do que um determinado valor, conforme a equação 1.

$$\text{sing}(x_i - x_j) = 1 \text{ se } x_i > x_j; \quad (1)$$

em que:

$$\text{sing}(x_i - x_j) = 1 \text{ se } x_i > x_j;$$

$$\text{sing}(x_i - x_j) = 0 \text{ se } x_i = x_j;$$

$$\text{sing}(x_i - x_j) = -1 \text{ se } x_i < x_j;$$

Sendo $i > j$ (ordem) e n o número de elementos da amostra.

A estatística S possui média (E) e variância (var) dadas pelas equações 2 e 3, respectivamente, seguindo teoricamente uma distribuição normal.

$$E(S) = 0 \quad (2)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(2n + 5)(n - 1)}{18} \quad (3)$$

Calcula-se, então, o valor da estatística (u) através da equação 4:

$$u = \frac{S - E(S)}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad (4)$$

A hipótese de estacionariedade ficará confirmada caso o resultado do teste de Mann-Kendall para os dados observados estejam dentro do limite de confiança (-1,96; 1,96), bem como o valor de u calculado, se comparado com o valor de u crítico, proveniente da distribuição normal padrão, para o nível de significância adotado, e o módulo de u calculado for maior que u crítico, assim a série apresenta indícios de não-estacionariedade. Para os dados analisados oriundos da série de vazões médias anuais foi determinada também a Função de Autocorrelação, bem como a análise da estacionariedade da série verificada mediante aplicação do teste de Mann-Kendall. A Função de Autocorrelação está representada na equação (5), bem como o intervalo de confiança para a mesma está descrita na Equação (6), ambas listadas abaixo:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (5)$$

em que:

- r_k – coeficiente de correlação para o lag k ;
- n – número de dados da série;
- x_t – t-ésimo dado da série.

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1,96\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (6)$$

A hipótese de nulidade (H_0) será aceita quando r_k calculado for menor que $r_k(95\%)$, ou seja, concluindo-se que não existe autocorrelação entre os dados. Após a obtenção dos resultados gerados pela análise de dados, verificou-se sua dependência e estacionariedade, optando assim pelo emprego do modelo ARMA (1,1) (Equações 7 e 8):

$$x_t = \mu + \varphi(x_{t-p} - \mu) + a_t \quad (7)$$

$$x_t = \mu + \varphi(x_{t-p} - \mu) + a_t - (\theta \cdot a_{t-p}) \quad (8)$$

em que:

x_t - valor da variável;

μ - média de X_t ;

φ - coeficiente autorregressivo;

θ - coeficiente de média móvel;

a_t - valor do ruído aleatório no instante t .

Após o ajuste dos parâmetros do modelo foi aplicado o teste de Qui-Quadrado (Equação 9), que compara os dados históricos com os obtidos a partir do modelo. Sendo que H_0 será confirmado se a soma dos lags, da autocorrelação, elevados ao quadrado for maior do que o resultado do teste.

$$\chi^2 = \sum \left[\left(\frac{o - e}{e} \right)^2 \right] \quad (9)$$

em que:

o - valor observado da variável;

e - valor estimado da variável.

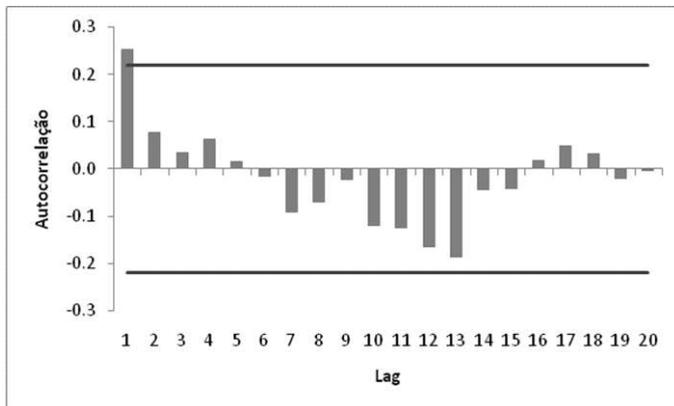
Uma vez ajustados os parâmetros do modelo foi realizada a previsão das vazões afluentes ao reservatório. Para tanto, o valor de $x(t-p)$ para o início da previsão, é o último valor da série histórica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vazões médias anuais do reservatório Itutinga na seção estudada apresentam valor médio de $133 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, desvio padrão de $35,09 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e coeficiente de variação (CV) de 1231,02 (adimensional). O alto valor do CV é devido, provavelmente, a vazão de $185,98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ocorrida no ano de 1984, onde a diferença percentual em relação a média é de 28,5%, enquanto que o valor mínimo, $115,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ocorreu no ano de 1972, cuja diferença percentual é de 13,53%. Os valores de vazões médias anuais são considerados homogêneos pelo teste de Mann-Kendall (Tabela 1), visto que o valor da estatística calculada, $Z_{mk} = -0,9828$, encontra-se dentro do intervalo de confiança para $-1,96 < Z_{mk} < 1,96$. Quanto a Função de Autocorrelação – FAC - (Figura 2) observa-se que apenas o coeficiente de autocorrelação de retardo 1, encontra-se fora do intervalo de confiança. Este resultado, bem como a gênese da FAC permite inferir sobre a escolha do modelo ARMA, para o ajuste e a previsão das vazões.

Tabela 1. Resultados do teste de homogeneidade das vazões da série e resultados do teste de normalidade sobre o modelo

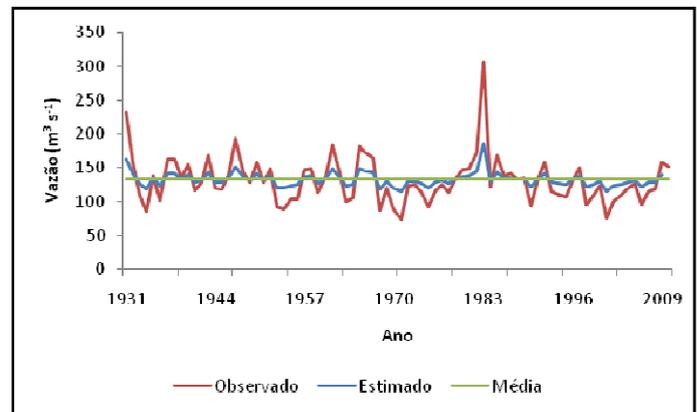
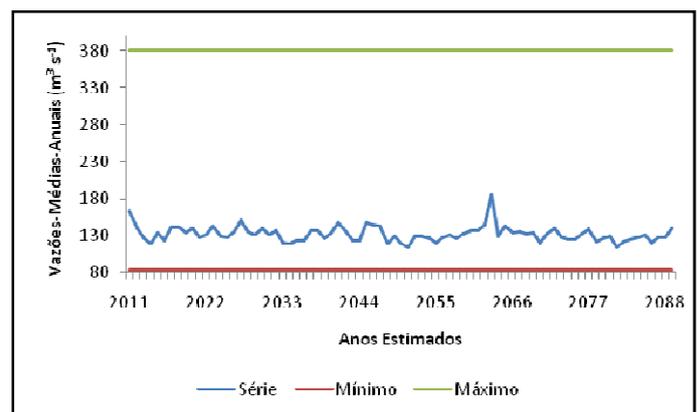
Teste	Estatística	Valor Crítico	Resultado
Mann-Kendall	$Z_{mk} = -0,9828$	$Z_{\alpha} = -1,96$; 1,96	Como $-1,96 < Z_{mk} < 1,96$, os dados são homogêneos
Qui-quadrado	$\chi^2 = 0,097$	$\chi^2_{(\alpha, k-2)} = 28,87$	O modelo ajusta-se a uma distribuição normal

**Figura 2. Função de Autocorrelação da série temporal de vazões médias anuais do reservatório Itutinga para o período observado de 1931 a 2010**

PENEIREIRO & FERREIRA (2012) pesquisando precipitações e vazões de alguns rios distribuídos pelo estado de São Paulo, ao utilizarem o teste de Mann-Kendall para identificar tendência em séries temporais, verificaram que o mesmo pode ser empregado para o determinado fim. Porém, MESCHIATTI *et al.* (2012) estudando a tendência de séries temporais relativas aos índices anuais de precipitação pluvial, temperatura média e vazão, em sub-bacias do estado de São Paulo, comentam que o teste de Mann-Kendall isolado não é robusto o suficiente para confirmar a existência de tendência. Por isso é necessário usar o teste de Mann-Kendall combinado a outro teste, ou seja, realizar análises em conjunto, para identificar uma possível tendência da variável em estudo. BAYER & CASTRO (2012) apresentam uma análise de séries temporais de dados de vazões médias mensais utilizando modelos do tipo SARIMA, que é um modelo da classe ARIMA, e que incorpora a sazonalidade da série, e obtiveram um bom ajuste do modelo. Já BECKER (2010) utilizou o modelo SARIMA para previsão de séries temporais através da análise de dados reais, e observou que o modelo não se ajustou de forma adequada, uma vez que os valores simulados apresentaram-se distantes dos valores observados. No presente trabalho foi observado que o teste de Mann-Kendall adequou-se para determinar a homogeneidade dos dados observados. Para a previsão de séries de vazões médias anuais o modelo selecionado foi o ARMA.

Na tabela 1, observa-se que com base no teste de Qui-quadrado, a série de dados de vazão média anual de Itutinga apresenta distribuição normal e o modelo ajustou-se adequadamente aos dados. Na análise dos dados observados (Figura 2), para o período de 80 anos (1931-2010), verifica-se uma autocorrelação significativa no retardo 1 ($lag_1 = 0,253$), resultado este gerado pela função de Autocorrelação, a qual pode ser definida como a sequência de correlações de uma série temporal. Observa-se que para os demais valores de lag não apresentam dependência, sendo esta comprovada pelos valores observados dentro dos limites (limite superior = 0,219;

limite inferior = -0,219). Observa-se que os dados simulados (Figura 3) representam o comportamento das vazões médias anuais. Tal informação é relevante, pois o reservatório de Itutinga, juntamente com o de Camargos, contribuem para o abastecimento da Usina Hidrelétrica de Furnas, localizada no município de Lavras-MG. Com o ajuste adequado dos dados de vazões médias anuais é possível observar que o reservatório tende a manter o seu nível dentro dos limites mínimo e máximo (Figura 4) (TUPINAMBÁS *et al.*, 2011).

**Figura 3. Vazões médias mensais anuais observadas e estimadas utilizando o modelo ARMA (1,1)****Figura 4. Vazões médias mensais anuais estimadas, relacionadas com os valores de vazão máxima e mínima do reservatório de Itutinga**

Conclusão

O modelo hidrológico estocástico ARIMA aplicado a série de vazões médias anuais foi capaz de capturar a dinâmica da série temporal histórica e pode ser utilizado no planejamento e/ou gerenciamento dos recursos hídricos do reservatório de Itutinga/MG.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J.A.P.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na bacia do rio Japarutuba, SE, via SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 15, n.7, p. 731-740. 2011.
- BAYER, D.M.; CASTRO, N.M.R. 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, Abr/Jun. 2012.
- BAYER, F. M.; SOUZA, A. M. Wavelets e modelos tradicionais de previsão: um estudo comparativo. Revista Brasileira de Biometria. v. 28, n. 2, p. 40-61. 2010.
- BECKER, M.H. Modelos para previsão em Séries Temporais: uma aplicação para a taxa de desemprego na região metropolitana de Porto Alegre. 2010. 46 f. Monografia (Bacharelado em Estatística) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Matemática, departamento de Estatística, Porto Alegre, 2010.
- BLAIN, G.C. Totais decendiais de precipitação pluvial em Campinas, SP: persistência temporal, periodicidades e tendências climáticas. Ciência Rural, Santa Maria. v. 41, n. 5, p. 789-795. Maio, 2011.
- CHECHI, L.; BAYER, F.M. Modelos univariados de séries temporais para previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.12, p.1321–1329, 2012.
- DETZEL, D.H.M.; BESSA, M.R.; VALLEJOS, C.A.V.; SANTOS, A.B.; THOMSEN, L.S.; MINE, M.R.M.; BLOOT, M.L.; ESTRÓCIO, J.P. Estacionariedade das Afluências às Usinas Hidrelétricas Brasileiras. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 16, n. 3, p. 95-111. Jul/Set. 2011.
- EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2012 – Ano base 2011: Resultados Preliminares. p. 21, 31. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2012.
- IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Mapa de unidades de planejamento e Gestão de recursos hídricos, 2006. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/unidades.php>>. Acesso em: 11 dez. 2012.
- MESCHIATTI, M.C.; FONTOLAN, M.R.; PENNEREIRO, J.C.; FERREIRA, D.H.L. Caracterização Estatística se tendências em séries anuais de dados Hidro-Climáticos no estado de São Paulo. Revista Geográfica Acadêmica, v.6, n.1, p. 52-64. 2012.
- ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Série de Vazões Naturais Médias Mensais do Reservatório - 1931-2010. Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 12 dez. 2012. 2010.
- PENEIREIRO, J.C.; FERREIRA, D.H.L. A Modelagem Matemática Aplicada às Questões Ambientais: Uma abordagem didática no estudo da precipitação pluviométrica e da vazão de rios. Revista Millenium, 42. p. 27-47. Jan/Jun. 2012.
- SILVA, R.A.; SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E.P.; SANTOS, D.N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.5, p.501–509, 2010.
- SILVA, V.P.R.; PEREIRA, E.R.R.; AZEVEDO, P.V.; SOUSA, F.A.S.; SOUSA, I.F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.2, p.131–138, 2011.
- SIQUEIRA, H.V.; ATTUX, R.; LYRA FILHO, C. Exploração de alternativas lineares para previsão de séries de vazões. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Buenos Aires, Argentina. Mecánica Computacional, v. XXIX, p.9629-9644. Disponível em: <http://www.amcaonline.org.ar>. Acesso em: 12/02/2013.
- TUPINAMBÁS, T. H.; CASTRO, D.M.P.; FRANÇA, J.S.; CALLISTO, M. (2011). Alterações de vazão em comunidades bentônicas: subsídio ecológico para parametrização de vazões ambientais. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. Anais da Associação Brasileira dos Recursos Hídrico
