

## **ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA DETERMINAÇÃO DA $Q_{7,10}$ NA BACIA DO RIO SÃO MATEUS-ES**

***Eduardo Morgan Uliana<sup>1</sup>, Camila Aparecida da Silva Martins<sup>1</sup>, José Geraldo Ferreira da Silva<sup>2</sup>, Edvaldo Fialho dos Reis<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Alto Universitário s/nº, Alegre-ES, CEP.: 29.500-000, Caixa Postal 16, morganuliana@gmail.com; camila.cca@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural/Meteorologia e Recursos Hídricos, Rua Afonso Sarlo, 160, Bento Ferreira, Vitória-ES, CEP.: 29.052-010, jgeraldo@incaper.es.gov.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário s/nº, Alegre-ES, CEP.: 29.500-000, Caixa Postal 16, edreis@cca.ufes.br

**Resumo-** O conhecimento da disponibilidade hídrica no âmbito de uma bacia hidrográfica é parte fundamental dos estudos hidrológicos. Neste sentido, este trabalho teve o objetivo de realizar uma análise estatística para determinar o melhor modelo probabilístico para a determinação da vazão de referência  $Q_{7,10}$  na bacia do Rio São Mateus-ES. Foram utilizados dados de cinco localidades da bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES, para a determinação da vazão de referência  $Q_{7,10}$  pela distribuições: Normal, Weibull, Log-Normal, Gama Incompleta e Gumbel. Para verificar o ajustamento das distribuições de probabilidade da série de dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade. Pelos resultados obtidos, conclui-se que a distribuição Log-Normal é adequada para a determinação da  $Q_{7,10}$  para a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES em relação aos modelos probabilísticos: Normal, Weibull, Gama Incompleta e Gumbel analisados.

**Palavras-chave:** Vazão, recursos hídricos, período de retorno.

**Área do Conhecimento:** Engenharias

### **Introdução**

Segundo Ribeiro, Marques e Silva (2005), o conhecimento da disponibilidade hídrica no âmbito de uma bacia hidrográfica é parte fundamental dos estudos hidrológicos. Pode-se compreender a bacia hidrográfica como sendo a unidade, onde são modelados os processos físicos sob a perspectiva de gestão dos recursos hídricos e do planejamento urbano e regional.

A bacia do Rio São Mateus possui grande variabilidade espacial das características físicas, que associada à carência de informações da rede hidrométrica para os estudos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, evidência a importância dos estudos estatísticos de vazões, que por meio de metodologias específicas, otimizam as informações fluviométricas existentes, extrapolando-as por semelhanças das dinâmicas ambientais para os locais que possuem dados insuficientes ou inexistentes. Nesse contexto, a vazão de referência  $Q_{7,10}$  tem sido utilizada em diversas legislações ambientais de proteção da qualidade dos recursos hídricos, bem como em estudos de abastecimento de água e outorga pelo uso da água.

A vazão  $Q_{7,10}$  pode ser entendida como o valor anual da média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma só vez a cada dez anos, ou seja, período de retorno de 10 anos (VON SPERLING, 2007). Dentre os estudos recentes sobre a vazão  $Q_{7,10}$  destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Ribeiro, Marques e Silva (2005) na bacia do Rio Doce; Silva et al. (2006) na região do Alto Rio Grande em Minas Gerais; Pereira et al. (2007) na bacia do Rio Dourados; e Reis et al. (2008) na bacia hidrográfica do Rio Itabapoana.

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise estatística para determinar o melhor modelo probabilístico para a  $Q_{7,10}$  na bacia do Rio São Mateus-ES.

### **Metodologia**

A bacia hidrográfica do Rio São Mateus tem 188 km que vai desde sua nascente, a 1000m de altitude, em São Félix de Minas-MG, até a foz no Município de Conceição da Barra-ES, a 3 m de altitude abrangendo, total ou parcialmente, 25 municípios que ocupam uma área de 10.355 km<sup>2</sup>.

De acordo com o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA (2011), ao longo do trajeto, desde a nascente até a foz, o rio São Mateus apresenta basicamente, dois tipos climáticos: o tropical úmido (chuvoso), nas proximidades do litoral, e o tropical sub-úmido, com estação seca no inverno, nas cabeceiras. Dessa forma, o índice pluviométrico anual médio varia de 1300 mm, na faixa litorânea, a 800 mm, perto das nascentes. A largura máxima aproximada do rio São Mateus é de 310 metros. A classificação no sistema de Ottobacias é número 7598-ES.

Foram utilizados dados de cinco localidades da bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES, para a determinação da vazão de referência  $Q_{7,10}$ . Das quais, o local 1 corresponde a Fazenda São Mateus situada em Ecoporanga com o código 55800005, com série histórica de 24 anos; local 2 equivale a Barra de São Francisco, na Barra de São Francisco-ES sob o código 55900000, com série histórica de 30 anos; local 3 corresponde a Boca da Vala em São Mateus com o código 55960000, com série histórica de 25 anos; local 4 representa São João da Cachoeira Grande em São Mateus sob o código 55850000, com série histórica de 33 anos; e o local 5 que corresponde o Córrego da Boa Esperança em Nova Venécia, com série histórica de 29 anos.

As séries históricas foram obtidas por meio de downloads no site de informações hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas - ANA.

Na Tabela 1 apresentam-se informações das estações fluviométricas e a área de drenagem (A) da bacia hidrográfica do Rio São Mateus em estudo.

Tabela 1 - Informações das estações fluviométricas e área de drenagem (A) da bacia hidrográfica do Rio São Mateus em estudo

Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)	A (km <sup>2</sup> )
1*	-18°07'23"	-40°52'59"	190	4266
2	-18°45'11"	-40°53'33"	192	344
3	-18°39'04"	-40°05'20"	12,5	11973
4	-18°33'50"	-40°20'10"	38	6732
5	-18°42'02"	-40°26'31"	62	4186

\*1= Rio São Mateus/Braço Norte (Ecoporanga); 2= Rio São Francisco (Barra de São Francisco); 3= Rio São Mateus (São Mateus); 4= Rio São Mateus/Braço Norte (São Mateus); e 5= Rio São Mateus/Braço Sul (Nova Venécia).

Para cada ano das séries históricas das cinco localidades em estudo foi realizada a análise de 365 médias diárias de vazão. Foi selecionado em cada ano o período de sete dias consecutivos que resultou na menor média de sete dias.

Para finalizar o cálculo da  $Q_{7,10}$  é necessário fazer uma análise estatística, com os valores anuais da menor média de 7 dias consecutivos, que permita encontrar o valor da vazão para o período de retorno de 10 anos. Para encontrar este valor de vazão são utilizadas distribuições de probabilidade que melhor se ajuste aos dados observados. De acordo com Von Sperling (2007) as distribuições que têm sido utilizadas para este fim são as de Weibull, Gumbel para valores mínimos, Log-Normal e Log-Pearson tipo III.

Antes da escolha de uma distribuição de probabilidade para cálculo da  $Q_{7,10}$  é preciso saber se esta distribuição se ajusta aos dados observados. Neste trabalho foi verificada a aderência de cinco distribuições de probabilidades para a série de dados em estudo. As distribuições utilizadas foram:

A distribuição Normal cuja função densidade é expressa por:

$$f_x(x) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \exp \left[ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} \right], -\infty < x < \infty$$

Onde:

$m$  e  $\sigma$  são parâmetros da distribuição, com  $\sigma > 0$ .

A distribuição de Weibull cuja função densidade de probabilidade é dada pela seguinte equação:

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1} \exp \left[ -\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta \right], \text{ para } x > 0; \beta > 0; \delta > 0$$

Onde:

$\beta$  e  $\delta$  são os parâmetros de forma e escala, respectivamente.

A Log-Normal cuja função densidade é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln(x)}\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{\ln(x) - \mu_{\ln(x)}}{\sigma_{\ln(x)}} \right]^2 \right\} \text{ para } x > 0$$

Em que:

$\sigma_{\ln(x)}$  e  $\mu_{\ln(x)}$  são parâmetros da distribuição.

A Gama Incompleta com função densidade:

$$f(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}; \beta > 0, \gamma > 0$$

Onde:

$\beta$  e  $\gamma$  são os parâmetros de escala e forma, respectivamente.

\*2= Rio São Francisco (Barra de São Francisco).

A função gama  $\Gamma(\gamma)$  é dada pela equação:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} t^{\gamma-1} e^{-t} dt$$

E por último a distribuição de Gumbel para valores mínimos cuja função densidade é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp\left\{\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) - \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right\}$$

para  $x = (-\infty, +\infty)$ ,  $\mu = (-\infty, +\infty)$  e  $\sigma > 0$ .

Onde:

$\sigma$  e  $\mu$  são parâmetros da distribuição.

Para verificar o ajustamento das distribuições de probabilidade da série de dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade. Todos os cálculos estatísticos foram realizados com o auxílio do software R 2.10.

## Resultados

Nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 são apresentados os resultados da análise estatística para os Locais 1, 2, 3, 4 e 5 pertencentes a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES.

Tabela 2 - Resultado da análise estatística para o Local 1 pertencente a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES

Local 1*				
Distribuição	Parâmetros		Valor-P	$Q_{3,10}^{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )
Normal	3,681	2,346	0,286	0,674
Weibull	1,666	4,140	0,658	1,073
Log-Normal	1,095	0,679	0,931	1,252
Gama Inc.	2,556	1,440	0,759	1,206
Gumbel	1,869	4,758	0,080	0,553

\*1= Rio São Mateus/Braço Norte (Ecoporanga).

Tabela 3 - Resultado da análise estatística para o Local 2 pertencente a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES

Local 2*				
Distribuição	Parâmetros		Valor-P	$Q_{3,10}^{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )
Normal	0,496	0,353	0,036	0,046
Weibull	1,573	0,558	0,199	0,134
Log-Normal	-0,894	0,601	0,586	0,189
Gama Inc.	2,736	0,181	0,513	0,171
Gumbel	0,280	0,657	0,003	0,027

Tabela 4 - Resultado da análise estatística para o Local 3 pertencente a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES

Local 3*				
Distribuição	Parâmetros		Valor-P	$Q_{3,10}^{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )
Normal	23,190	14,336	0,637	4,818
Weibull	1,684	26,064	0,805	6,850
Log-Normal	2,921	0,711	0,940	7,462
Gama Inc.	2,396	9,676	0,857	7,222
Gumbel	11,408	29,775	0,2463	4,1028

\*3= Rio São Mateus (São Mateus).

Tabela 5 - Resultado da análise estatística para o Local 4 pertencente a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES

Local 4*				
Distribuição	Parâmetros		Valor-P	$Q_{3,10}^{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )
Normal	7,055	5,973	0,127	-0,599
Weibull	1,282	7,665	0,771	1,325
Log-Normal	1,622	0,849	0,970	1,706
Gama Inc.	1,654	4,265	0,828	1,542
Gumbel	4,730	9,785	0,014	-0,859

\*4= Rio São Mateus/Braço Norte (São Mateus).

Tabela 6 - Resultado da análise estatística para o Local 5 pertencente a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES

Local 5*				
Distribuição	Parâmetros		Valor-P	$Q_{3,10}^{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )
Normal	6,583	4,062	0,081	1,377
Weibull	1,763	7,455	0,290	2,082
Log-Normal	1,721	0,563	0,783	2,713
Gama Inc.	3,215	0,488	0,428	2,529
Gumbel	3,223	8,443	0,008	1,190

\*5= Rio São Mateus/Braço Sul (Nova Venécia).

## Discussão

Pelos resultados apresentados nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 observa-se que os dados da vazão de referência  $Q_{7,10}$  dos locais em estudo se ajustaram melhor para a distribuição Log-Normal considerando somente o valor-P. Além disso, verifica-se que os modelos probabilísticos Gama Incompleta e Weibull também se ajustaram aos dados.

Analisando as Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 nota-se que o modelo probabilístico de Gumbel para valores mínimos se ajustou para os locais 1 e 3. Enquanto, que a distribuição Normal se ajustou aos dados dos locais 1, 3, 4 e 5. No entanto, tal fato não justifica a utilização da distribuição Normal, pelo fato da mesma não apresentar resultados satisfatórios para determinação da vazão de referência  $Q_{7,10}$  na bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES.

Resultados semelhantes foram obtidos por Baena et al. (2004) ao realizarem a regionalização de vazões máxima, mínima e média de longo período para a bacia do Rio Paraíba do Sul, que abrange parte dos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, com área de drenagem de 57.000 km<sup>2</sup>, com base em um modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC).

Os valores da vazão de referência  $Q_{7,10}$  determinada pela distribuição Log-Normal variaram de 0,189 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> a 7,462 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, devido as características dos cursos d'água dos locais em estudo.

## Conclusão

Com base no Valor-P pode-se afirmar que a distribuição Log-Normal é adequada para a determinação da  $Q_{7,10}$  para a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES em relação aos modelos probabilísticos: Normal, Weibul, Gama Incompleta e Gumbel analisados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de mestrado ao primeiro autor e de doutorado ao segundo autor, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio técnico e científico e a Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização dos dados.

## Referências

- BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D. da.; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do Rio Paraíba do Sul, Jaboticabal, SP, **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.612-624, 2004.
- HIDROWEB. Sistema de Informações Hidrológicas. **Séries Históricas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 28 de Julho de 2010.

- INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Região hidrográfica dos afluentes dos rios São Mateus Braço Norte e Braço Sul no Espírito Santo**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 28 de Julho de 2011.

- PEREIRA, S. B.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; PEIXOTO, P. P. P.; BONACINA, R. Variação temporal do comportamento hidrológico na bacia do Rio Dourados no período de 1973 a 2002, Jaboticabal, SP, **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.560-568, 2007.

- R Development Core Team (2010). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <<http://www.R-project.org>>.

- REIS, J. A. T. dos.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itabapoana, São Paulo, SP, **Geociências**, v. 27, n. 4, p. 509-516, 2008.

- RIBEIRO, C. B. de M.; MARQUES, F. de A.; SILVA, D. D. da. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce, **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.13, n.2, p. 103-117, 2005.

- SILVA, A. M.da.; OLIVEIRA, P. M. de.; MELLO, C. R. de.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais, Campina Grande, PB, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.374-380, 2006.

- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 7. Ed. Belo Horizonte, MG: Ed. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588p.

XVINIC

Encontro Latino Americano  
de Iniciação Científica

XI EPG

Encontro Latino Americano  
de Pós Graduação

VINIC Jr

Encontro Latino Americano  
de Iniciação Científica Júnior