

**DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS
PARA O RIO ITAPEMIRIM - ESPÍRITO SANTO**

EWERTON FELIPE DO PRADO MACHADO¹, LEANDRO CAMPOS PINTO², MARCELO
CORRÊA PEREIRA³, ANTÔNIO MARCIANO DA SILVA⁴

RESUMO

A determinação e o estudo de vazão máxima diária anual em uma rede de drenagem é uma ferramenta que ajuda a dimensionar seguramente obras hidráulicas com custo mais baixo. Neste trabalho procurou-se estimar as vazões máximas diárias para diversos períodos de retorno da estação fluviométrica Usina Paineiras do Rio Itapemirim localizado no estado do Espírito Santo utilizando as distribuições de probabilidade Gumbel, Log-normal a 2 e 3 parâmetros. A série de vazões máximas diárias anuais trabalhada esta compreendida entre os anos de 1969 e 2006 resultando em boa série com 37 anos de dados. Para verificar a aderência das distribuições de probabilidade foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling sendo estes muito aplicados em situações nas quais os dados apresentam assimetria nas suas distribuições de frequência. Observou-se que todas as distribuições estão adequadas de acordo com os testes de aderência utilizados, no entanto a distribuição que mostrou mais precisa apresentando o menor erro relativo médio percentual foi a distribuição Log-Normal 2 parâmetros.

Palavras-chaves: Distribuição de Probabilidade, Vazões Máximas, Rio Itapemirim.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas – ANA a bacia do rio Itapemirim tem uma área de drenagem de aproximadamente de 6014 km², compreendendo os estados do Espírito Santo e Minas Gerais. No estado do Espírito Santo ela abrange 19 municípios e em Minas Gerais apenas um. A nascente do rio Itapemirim situa-se Parque Nacional do Caparaó e os seus principais afluentes são os rios Castelo, Muqui do Norte, Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo.

A bacia hidrográfica do Itapemirim possui topografia acidentada. Ao longo dos seus divisores de oeste localiza-se o Pico da Bandeira com altitude de 2890 m e o Pico do Norte que é circundado por um conjunto de montanhas onde a altitude, frequentemente ultrapassa a 1000 m. É interessante observar que o rio Itapemirim não divide a bacia simetricamente. De um modo geral, o curso, na parte média, se aproxima do contorno meridional, enquanto, na parte alta, do ocidental. Apesar de estreita perto da foz, a bacia expande-se na parte central, chegando a ocupar praticamente toda a faixa latitudinal entre os paralelos 20° e 21°. Sendo uma unidade relativamente pequena, a resposta das vazões às precipitações é rápida, de modo que o regime fluvial coincide com o pluvial. Os níveis máximos ocorrem em dezembro e janeiro, enquanto os mínimos em agosto e setembro. Devido ao grande desmatamento e a supressão da cobertura vegetal na bacia, ao longo dos anos, tem-se agravado os problemas de cheias, diminuindo os tempos de concentração e acentuando os níveis das enchentes.

Com intuito de minimizar estes problemas e determinar mais precisamente as vazões máximas objetivou-se neste trabalho realizar uma análise estatística das distribuições de probabilidade verificando qual se adéqua melhor ao cálculo das vazões máximas diárias anuais para serem utilizadas como subsídios de vazões de projeto em obras hidráulicas nesta região.

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, felipeufla@hotmail.com.

² Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/ UFLA, leandcampos@yahoo.com.br.

³ Graduando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, marceloengufla@gmail.com.

⁴ Professor Titular, DEG/UFLA, marciano@ufla.br.

MATERIAL E MÉTODOS

A série de vazões utilizada foi a da estação fluviométrica Usina Paineiras localizada no rio Itapemirim, cujas coordenadas geográficas são 20° 57' 18" S e 40° 57' 0" O e a área de drenagem 5166 km². Os dados de vazões máximas anuais estão compreendidos entre os anos de 1969 e 2006 resultando em uma série histórica de 37 anos. Para a análise estatística foram utilizadas as distribuições de probabilidade Gumbel, Log-Normal a 2 e 3 parâmetros.

Distribuição de Probabilidade de Gumbel

A distribuição de probabilidade de Gumbel é aplicada às séries históricas de valores extremos. De acordo com Tucci (2002), sua Função Densidade de Probabilidade pode ser obtida com a equação 1.

$$FDP : f(x) = \alpha \cdot e^{-\alpha(x-\mu) - e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (1)$$

em que x é a variável (vazão máxima diária anual em m³/s); μ e α são os parâmetros da distribuição de probabilidades. A equação 2 e 3 mostra como estimar os parâmetros da equação 1.

$$\alpha = \frac{1,2926}{s} \quad (2)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,45 \cdot s \quad (3)$$

em que \bar{x} e s correspondem à média e o desvio padrão da série histórica.

Distribuição de Probabilidade Log-normal 2 parâmetros

A distribuição Log-Normal (2 parâmetros) é descrita pela Função Densidade de Probabilidade (FDP), da seguinte forma (NAGHETTINI & PINTO, 2007):

$$FDP : f(x) = \frac{1}{X \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-0,5 \left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad (4)$$

em que μ e σ são os parâmetros da distribuição, correspondendo a média e o desvio padrão dos logaritmos das informações. A equação base para estudos hidrológicos, utilizando-se a distribuição Log-Normal 2 parâmetros, é adaptada da equação geral de Ven te Chow (HAAN, 2002):

$$X_{tr} = e^{\mu + \sigma \cdot K_{tr}} \quad (5)$$

Distribuição de Probabilidade Log-normal 3 parâmetros

A distribuição Log-Normal (3 parâmetros) tem sua FDP representada pela seguinte equação:

$$FDP : f(x) = \frac{1}{(x - \beta) \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-0,5 \left(\frac{\ln(x - \beta) - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad (6)$$

Os parâmetros da FDP podem ser estimados pelas seguintes equações segundo Naghettini & Pinto (2007):

$$\beta = \mu n - \frac{\sigma n}{\eta y} \quad (7)$$

$$\eta y = \frac{\left(1 - \phi^{\frac{2}{3}}\right)}{\phi^{\frac{1}{3}}} \quad (8)$$

$$\phi = \frac{\left[-y + (y^2 + 4)^{0,5}\right]}{2} \quad (9)$$

$$y = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})}{s^3} \quad (10)$$

$$X_{TR} = e^{\mu n + K_{TR} \cdot \sigma n} + \beta \quad (11)$$

Para constatar a aderência das distribuições adotadas foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov sendo este segundo (Silvino et al., 2007) comumente utilizado na literatura e considerado como um dos mais apropriados para variáveis aleatórias contínuas e o de Anderson-Darling, mais sensível do que o primeiro, usual para os métodos de máxima verossimilhança e mínimos quadrados ao nível de 5% significância, seguindo orientações de Ferreira (2005) e Naghettini & Pinto (2007). Para verificar a precisão das distribuições de probabilidades trabalhadas utilizou-se o erro relativo médio percentual representado pela equação abaixo:

$$E\% = \frac{\sum (|F_{estimada} - F_{observada}|)}{n} \times 100 \quad (12)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 podem-se observar as vazões máxima, mínima, média, desvio padrão e o coeficiente de variação das vazões máximas diárias anuais da estação fluviométrica em estudo. A figura 1 mostra-se a variação temporal das vazões máximas da estação fluviométrica Usina Paineiras.

Tabela 1 – Vazões mínima, máxima, média, desvio padrão e o coeficiente de variação das vazões máximas diárias anuais da estação fluviométrica Usina Paineiras.

Vazões (m ³ /s)			Desvio padrão	Coeficiente de variação
Mínima	Máxima	Média		
251,1	725,3	461,9	128,58	27,84

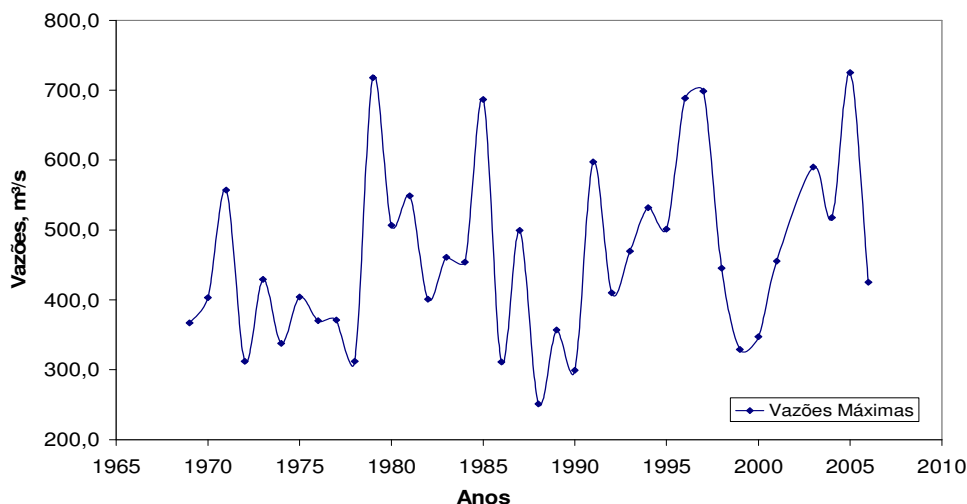


Figura 1 – Variação temporal vazões máximas para a estação fluviométrica Usina Paineiras

De acordo com a tabela 2 abaixo é possível verificar que ocorreu aderência a todos os modelos probabilísticos adotados por ambos os testes, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. A distribuição de Gumbel foi a que apresentou o maior erro relativo médio percentual e a distribuição Log-normal 2 parâmetros o menor. Como todas as distribuições foram consideradas adequadas estatisticamente, pôde-se em seguida calcular as vazões máximas por meio dos modelos (m^3/s) para diversos períodos de retorno (TR) com seus respectivos limite superior e inferior como mostra a tabela 3.

Tabela 2 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições de probabilidade utilizadas para estimativas das vazões máximas

Distribuição de probabilidade	Kolmogorov-Smirnov		Anderson-Darling		Erro Médio(%)
	DFmáx cál.	DF tabelado	A ² corrigido	A ² tab	
Gumbel	0,074 ^A	0,22	0,266 ^A	0,757	8,93
Log-Normal 2p	0,075 ^A	0,22	0,246 ^A	0,752	8,2
Log-Normal 3p	0,078 ^A	0,22	0,306 ^A	0,752	8,4

A – Adequabilidade do teste

Tabela 3 – Vazões máximas (m^3/s) estimadas pelas distribuições de probabilidades para diferentes períodos de retorno (anos)

Período de Retorno (anos)	Gumbel	Log-Normal 2p	Log-Normal 3p
5	554,49	560,51	563,50
10	629,75	632,32	631,33
25	724,85	719,23	710,65
50	795,39	780,85	765,30
100	865,42	843,11	819,33

Como produto final, na figura 2 apresentam-se os modelos de probabilidades ajustados aos dados observados de vazões máximas da estação fluviométrica Usina Paineiras do rio Itapemirim.

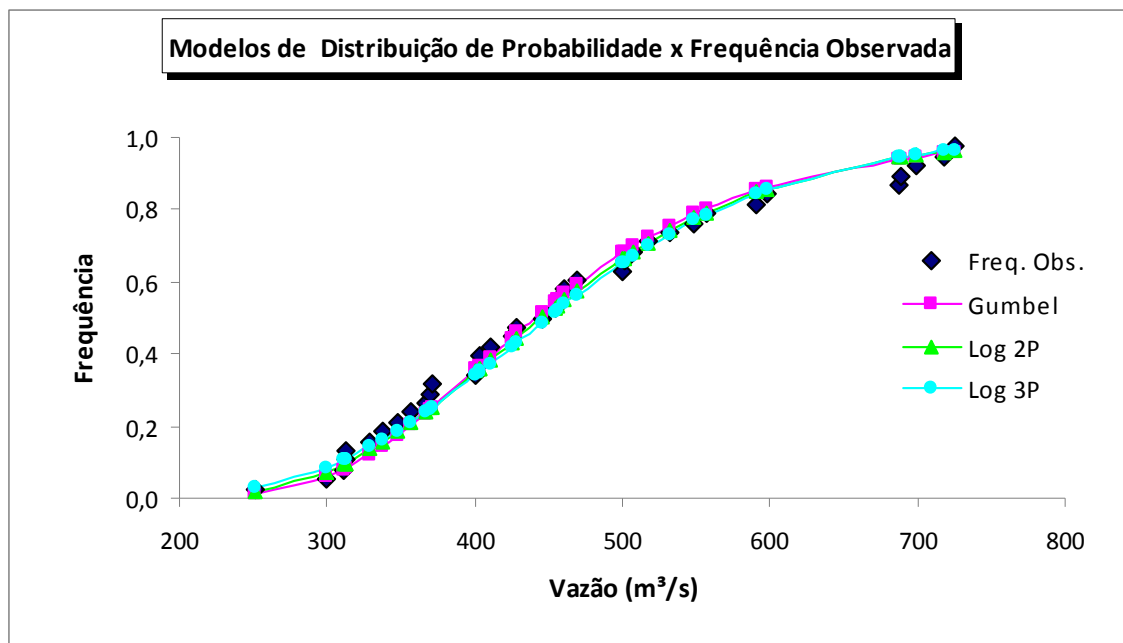


Figura 2 - Modelos de probabilidades ajustados aos dados observados de vazões máximas da estação fluviométrica Usina Paineiras do rio Itapemirim.

CONCLUSÃO

Todos os modelos de probabilidades obtiveram resultados satisfatórios, no entanto pode-se concluir que a melhor distribuição de probabilidade a ser utilizada para o cálculo de vazões máximas diárias anuais para esta estação fluviométrica é a Log-Normal 2 parâmetros pois a mesma apresentou o menor erro relativo percentual médio em relação a diferença da frequência observada e a frequência calculada.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654 p.

HAAN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. Ames: The Iowa State University, 2002. 2ª edição. 377 p.

HIDROWEB, Banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

SILVINO, A. N. O.; SILVEIRA, A.; MUSIS, C. R.; WYREPKOWSKI, C. C. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o Rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociências**, v. 26, n.4, p. 369-378, 2007. São Paulo, UNESP.

STEGINGER, J. R., VOGEL, R. M. e FOUFOULA-GEORGIU, E. (1992). Frequency Analysis of Extreme Events. In Maidment, D.R.(ed), **Handbook of Hydrology**.

Sistema de Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas – ANA, cd4, Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste.

TUCCI, Carlos E.M. 2002. **Regionalização de vazões**. Editora da Universidade. UFRGS. 1ª edição. Porto Alegre.