

**COMPARAÇÕES DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE PARA UMA SÉRIE DE
VAZÕES MÁXIMAS PARA CURSO D'ÁGUA RIO DO VEADO, ES**

MILLENA MIRELLA VIEIRA TAVEIRA¹; GEOVANE JUNQUEIRA ALVES²; ANTÔNIO
MARCIANO DA SILVA³; CARLOS ROGERIO DE MELLO⁴

RESUMO

Estudos probabilísticos de vazões máximas são utilizados na previsão de enchentes e em projetos de obras hidráulicas, tais como condutos, canais, bueiros, entre outras. Este trabalho teve como objetivo comparar distribuições de probabilidade ajustadas à série histórica de vazões máximas para o curso d'água Rio do Veado, ES. O trabalho foi desenvolvido a partir de dados de vazões diárias, no período de 1968 a 2007, resultando em uma série histórica com 40 anos de observações. Com base na série histórica de vazão diária foi desenvolvida uma série histórica de vazões máximas diárias anuais. Sendo aplicada as distribuições de probabilidade Gumbel para máximos, Log-Normal 2 parâmetros e 3 parâmetros e GEV. Para avaliar a adequabilidade das distribuições, nos períodos estudados, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste Qui-quadrado ao nível de 5% de significância. A distribuição Log-Normal 3P foi a que melhor se ajustou aos dados.

Palavras-chaves: Vazões Máximas, adequabilidade, Distribuição Log-Normal 3P

INTRODUÇÃO

O Rio do Veado, junto com seus afluentes, ribeirão Santa Catarina, São Tiago e São Romão, córregos Santa Cruz, São Felipe e da Antinha banham o município de Guaçuí, Espírito Santo. O Rio do Veado, quando se junta ao Rio Preto, dão forma à bacia do Itabapoana. Na micro bacia do Rio do Veado, pode ser encontrado um conjunto de cachoeiras e corredeiras, localizadas muito próximo da cidade, de grande importância para o turismo da região.

Os estudos hidrológicos contemplam o cálculo de diferentes tipos de vazão. A vazão máxima está associada às condições de inundação do local e é utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana, perímetro de irrigação, diques e extravasores de barragens, entre outros. A vazão média de longa duração permite quantificar a disponibilidade de água na bacia e calcular o volume de regularização. Já a vazão mínima é utilizada na avaliação da disponibilidade hídrica, na elaboração de projetos de irrigação e de energia elétrica e concessão de uso da água para uma dada finalidade (Pruski et al., 2006). A estimativa destes valores tem importância decisiva nos custos de segurança de projetos de engenharia (Tucci, 2001).

As vazões de enchentes trazem impactos negativos para a sociedade, causando perdas econômicas, danos ao desenvolvimento e até perdas de vidas humanas. Medidas de controle de enchentes estruturais e não estruturais são planejadas para diminuir os impactos negativos (Paiva, 2001).

A determinação de vazão máxima para uma pequena bacia, com precisão, é muito difícil. A maior dificuldade está na ausência de dados observados de vazão e de chuvas intensas para a bacia em estudo (Paiva, 2001). Nos estudos para aproveitamento dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, onde não existe série histórica de vazão ou, se existe, a extensão da série histórica observada é pequena, torna-se necessário aplicar técnicas, que permitem a transferência de informações de outros locais hidrológicamente semelhantes para a bacia hidrográfica, que se deseja estudar (Pierangeli, 2003).

¹ Mestranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/ UFLA, millenataveira@yahoo.com.br

² Aluno de Iniciação Científica, DEG/UFLA, geovanejunqueira@yahoo.com.br

³ Professor Titular, DEG/UFLA, marciano@deg.ufla.br

⁴ Professor Adjunto, DEG/UFLA, crmello@deg.ufla.br

Com o presente trabalho, objetivou-se comparar distribuições de probabilidade aplicadas a uma série histórica de vazões máximas, no período de 1968 a 2007, para o curso d'água Rio do Veado, ES.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados coletados

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas (ANA/HIDROWEB). O trabalho foi desenvolvido a partir de dados de vazões diárias, no período de 1968 a 2007, resultando em séries históricas com 40 anos de observações. As informações da estação fluviométrica utilizada neste estudo apresenta-se na Tabela I.

Tabela I- Estação fluviométrica analisada

| Estação | Município | Curso D'água | Latitude | Longitude | Área de Drenagem | Altitude |
|---------|-----------|--------------|-------------|-------------|---------------------|----------|
| Guaçuí | Guaçuí | Rio do Veado | 20° 46' 25" | 41° 40' 54" | 413 Km ² | 576 m |

Análise dos Dados

Com base na série histórica de vazão diária foi desenvolvida uma série histórica de vazões máximas diárias anuais. Sendo aplicada as seguintes distribuições de probabilidade à série histórica: Distribuição Gumbel para máximos, Log-Normal 2 parâmetros e 3 parâmetros e GEV:

-Distribuição de Gumbel para Máximos

A distribuição Gumbel para Máximos é descrita pela Função Cumulativa de Probabilidade (FCP) e a Função Densidade de Probabilidade (FDP), da seguinte forma (Lanna, 2001):

$$\text{FCP: } P(Y \leq y) = e^{-e^{-\alpha(y-\mu)}}$$
$$\text{FDP} = \alpha \cdot e^{-\alpha(y-\mu)} \cdot e^{-e^{-\alpha(y-\mu)}}$$

em que α é o parâmetro de escala e μ , o parâmetro de forma; y são valores de vazão máxima diária anual.

-Distribuição Log-Normal 2 parâmetros

A distribuição Log-Normal 2 parâmetros tem sua Função Densidade de Probabilidade (FDP), segundo Lanna (2001), como apresentada a seguir:

$$\text{FDP} = \frac{1}{x \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot \Pi}} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{\text{Ln}(x) - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2}$$

Em que μ_n e σ_n são os parâmetros da distribuição, correspondendo à média e o desvio padrão dos dados logaritimizados.

-Distribuição Log-Normal 3 parâmetros

Segundo Lanna (2001), a distribuição Log-Normal 3 parâmetros tem sua Função Densidade de Probabilidade (FDP) representada pela seguinte equação:

$$FDP = \frac{1}{(x - \beta) \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot \Pi}} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{\text{Ln}(x - \beta) - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2}, \text{ com } x \geq \beta$$

Os parâmetros da FDP podem ser estimados pelas seguintes equações:

$$\beta = \mu_n - \frac{\sigma_n}{\eta_y}$$

$$\eta_y = \frac{(1 - \phi^3)^{\frac{2}{3}}}{\phi^{\frac{1}{3}}}$$

$$\phi = \frac{[-\gamma + (\gamma^2 + 4)^{0.5}]}{2}$$

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3}$$

Deve-se primeiro calcular o γ (equação 8), que diz respeito à assimetria desta distribuição. Com isto, estima-se ϕ pela equação 7, η_y com a equação 8 e, com base neste último valor e na média (μ_n) e desvio padrão (σ_n) dos dados transformados em logaritmos, o parâmetro β (equação 5).

-Distribuição Generalizada de Valores Extremos - GEV

A Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), segundo Jenkinson (1955) é definida da seguinte maneira:

$$FCP: P(X \leq x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{-1}{\xi}} \right\}$$

definida em, $-\infty < x < \mu - \sigma/\xi$, para $\xi < 0$ e $\mu - \sigma/\xi < x < \infty$, para $\xi > 0$, sendo μ, σ e ξ os parâmetros de posição, escala e de forma respectivamente, com $\sigma > 0$.

Para avaliar a adequabilidade das distribuições, no período estudado, utilizaram-se os testes de Kolmogorov-Smimov e o Qui-Quadrado (λ^2), os quais apresentam as seguintes concepções:

-Teste de Kolmogorov-Smimov

É a comparação direta entre os valores de frequências observadas e teóricas (estimadas pelos modelos de probabilidade), calculando-se a diferença entre elas, em módulo:

$$\Delta F_{\text{calculado}} = |F_{\text{observado}} - F_{\text{teórico}}|$$

Adota-se a maior diferença do $\Delta F_{\text{calculado}}$ como referência e por meio da tabela específica do teste, seleciona-se o ΔF_{tabela} com base no tamanho da amostra e do nível de significância. Sendo o modelo de probabilidade adequado quando o $\Delta F_{\text{calculado}}^{\text{Maximo}}$ for menor que o ΔF_{tabela} .

-Teste Qui-Quadrado (λ^2)

Este teste é mais rigoroso que o anterior por agrupar os dados da série histórica em classes de frequência e acumular erros entre as frequências observadas e teóricas, com participação de todas as classes. A soma desses erros, que é obtida pela soma dos erros de todas as classes, gera um valor de $\chi^2_{\text{calculado}}$. E por meio de uma tabela específica de χ^2 , adota-se o valor tabelado com base nos graus de liberdade, que é o número de classes menos 1, e o nível de significância que no presente trabalho tem o valor de $\alpha = 5\%$. Para que o modelo de probabilidade tenha aderência aos dados, o valor de $\chi^2_{\text{calculado}}$

deve ser menor que o do valor encontrado na tabela. A seguir segue a formula utilizada para o calculo de $\chi^2_{\text{calculado}}$:

$$\chi^2_{\text{calculado}} = \sum_{i=1}^n \frac{(F_{\text{observado } i} - F_{\text{teorico } i})^2}{F_{\text{teorico } i}}$$

em que n é o número de classes, Fobservadoi é a frequência observada na classe i e Fteoricoi é a frequência teórica na classe i.

Além disto, foram calculadas as vazões prováveis anuais para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos, ou seja, considerando níveis de probabilidades de excedência de 50, 20 e 10%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série de vazões máximas anuais relativas aos anos estudados está apresentada na Figura I. De acordo com a série fluviométrica observou-se, para a estação em estudo, vazões máximas variando de 29 a 183,8 m³/s. Sendo que o ano que ocorreu o menor valor de vazão máxima foi em 1988 e o maior valor em 1995.

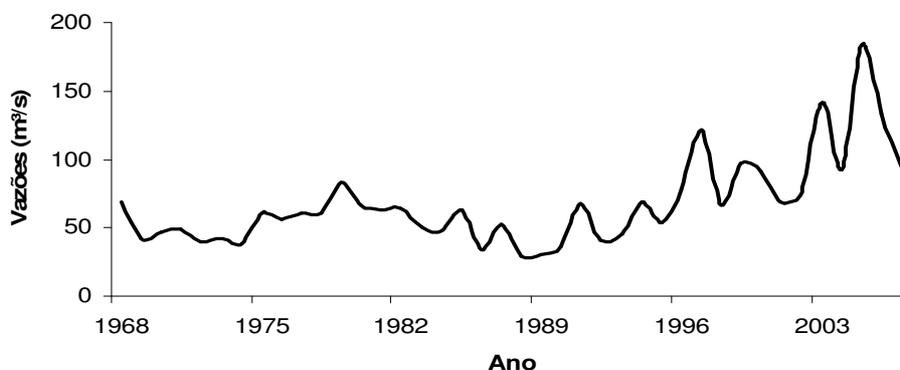


Figura I- Variação Temporal das vazões máximas para a estação fluviométrica do município de Guaçuí, ES.

Análise da adequabilidade dos modelos de probabilidades ajustados

Nas Tabelas II e III estão apresentadas os resultados dos testes de adequabilidade Kolmogorov-Smimov e Qui-Quadrado (χ^2) para os quatro modelos de probabilidade ajustados aos dados de vazões máximas. Verifica-se que todas as distribuições de probabilidade testadas podem ser aplicadas a série histórica de vazão estudada. Isto é importante, uma vez que na aplicação de distribuição de probabilidade a um conjunto de dados de natureza desconhecida, deve-se testar as distribuições e verificar qual possui o melhor ajuste, o que pode ser feito através do teste Qui-Quadrado. Desta forma, nota-se que o melhor ajuste foi obtido pela a distribuição Log-Normal 3P, seguida das distribuições Log- Normal 2P, Gumbel e GEV, pois seus valores de Qui-Quadrado calculados foram menores que os obtidos pelas outras distribuições. E segundo Clarke (1993), as distribuições que apresentaram maior aderência para vazões máximas são aquelas que normalmente representam vazões de cheia, Log-normal 2P e 3P.

Tabela II- Valores $\Delta F_{\text{calculado máximo}}$ para as distribuições Gumbel, Log-Normal 2 parâmetros, Log-Normal 3 parâmetros e GEV para o período estudado, segundo teste de Kolmogorov-Smimov.

| | Gumbel para Máximos | Log-Normal 2P | Log- Normal 3P | GEV |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\Delta F_{\text{calculado máximo}}$ | 0.11689 ^A | 0.09979 ^A | 0.08923 ^A | 0.11697 ^A |

XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

A: Valores de $\Delta F_{\text{calculado máximo}}$ menores que $\Delta F_{\text{tabela}} (\alpha= 0,05)$ - distribuição adequada.

Tabela III- Valores de Qui-Quadrado - χ^2 para as distribuições Gumbel, Log-Normal 2 parâmetros, Log-Normal 3 parâmetros e GEV para o período estudado.

| | Gumbel para Máximos | Log-Normal 2P | Log- Normal 3P | GEV |
|-----------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $\chi^2_{\text{Calculado}}$ | 0.0524 ^A | 0.0298 ^A | 0.0274 ^A | 0.0525 ^A |

A: Valores de χ^2 menores que $\chi^2_{\text{tabelado}} (\alpha= 0,05)$ - distribuição adequada.

Vazão provável estimada

Os valores estimados para as vazões máximas anuais, associadas aos tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos estão apresentados na Tabela IV. E na tabela V encontra-se o erro proporcionado por cada distribuição usada no estudo.

Tabela IV- Valores de vazões máximas anuais (m³/s) associadas aos tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos.

| Tempo de Retorno (anos) | Distribuição de Probabilidade | | | |
|-------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|--------|
| | Gumbel para Máximos | Log-Normal 2P | Log-Normal 3P | GEV |
| 2 | 62.40 | 61.83 | 60.62 | 62.41 |
| 5 | 90.91 | 87.84 | 88.54 | 90.92 |
| 10 | 109.79 | 105.57 | 108.52 | 109.79 |

Tabela V- Erro (%) proporcionado por cada distribuição.

| Tempo de Retorno (anos) | Erro (%) | | | |
|-------------------------|---------------------|---------------|---------------|-------|
| | Gumbel para Máximos | Log-Normal 2P | Log-Normal 3P | GEV |
| 2 | 2.13 | 1.20 | 0.78 | 2.14 |
| 5 | 0.25 | 3.63 | 2.86 | 0.25 |
| 10 | 10.01 | 13.47 | 11.05 | 10.01 |

Observa-se que para o tempo de retorno de 2 anos, o erro proporcionado pela distribuição Log-Normal 3P foi menor, e considerando-se esta distribuição, pode-se dizer, que em 2 anos irá ocorrer, pelo menos uma vez, uma vazão maior ou igual a 60.62 m³/s. Já para o tempo de retorno de 5 e 10 anos, observa-se que as distribuições Gumbel para Máximos e GEV foram as que melhor estimaram o valor de vazão, uma vez que apresentaram erro relativamente baixos, sendo de apenas 0,25% para 5 anos e 10,01% para 10 anos. Observa-se ainda que, para os três tempos de retorno as vazões máximas estimadas foram as maiores para ambos os testes de probabilidade, Gumbel para Máximos e GEV.

CONCLUSÃO

A distribuição Log-Normal 3P mostrou-se adequada para estimar as vazões máximas no curso d'água Rio do Veado, ES.

As vazões máximas prováveis com 10, 20 e 50% de probabilidade de ocorrência foram maiores para as distribuições Gumbel para Máximos e GEV.

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

CLARKE, R. T. Hidrologia Estatística. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS; ABRH. Cap. 17, 1993.

PAIVA, E.M.C.D. Vazões Máximas. In: **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Org. por PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D., Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 33-112.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.da; KOETZ, M. **Estudo da vazão em cursos d'água**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa. 2006. 151 p.

PIERANGELI, Cyntia. **Regionalização de vazões para a região do Alto Rio Grande a montante da represa da UHE-Camargos**. 2003 59 p.

TUCCI, C.E.M. Vazões máximas e hidrograma de projeto **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001.