

DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE APLICADA AO ESTUDO DE VAZÃO DE REFERÊNCIA Q_{7.10} PARA A REGIÃO DE IBITIRAMA, ES.

GUILHERME EURIPEDES ALVES¹, MATEUS MARQUES BUENO²; CARLOS ROGÉRIO DE MELLO³, PEDRO LUÍZ TERRA LIMA⁴, MICHAEL SILVEIRA THEBALDI⁵, MATHEUS DE FIGUEIREDO BRAGA COLARES⁶

RESUMO

O presente trabalho analisa a aplicação dos modelos de distribuição de probabilidades aos dados de vazão mínima média de sete dias consecutivos do rio Itumirim, situado no município de Ibitirama, ES. Estimou-se o valor da vazão mínima em sete dias consecutivos, com um tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7.10}$), com intuito de se obter informações quantitativas sobre a disponibilidade hídrica do local. Os dados da série histórica de vazão mínima média de sete dias consecutivos foram ajustados aos modelos de probabilidade Log-normal 2 P, Weibull, Log-normal 3 P e Gumbel. A distribuição Log-normal 3 parâmetros mostrou-se mais precisa para representar os dados desta série histórica. Quanto à estimativa do valor da $Q_{7.10}$, o melhor ajuste foi dado pela distribuição Log-normal a 2 parâmetros ($1,62 \text{ m}^3/\text{s}$), que apresentou diferença de 5,52% em relação a $Q_{7.10}$ da série ($1,71 \text{ m}^3/\text{s}$).

Palavras-chaves: disponibilidade hídrica, série histórica, vazão de referência.

INTRODUÇÃO

O conflito entre a proteção do habitat dos organismos aquáticos e a crescente demanda para a captação de água nos rios, para diferentes usos, é um problema para a gestão dos recursos hídricos. Hoje a competição entre a necessidade de captações de água e os requerimentos da fauna e flora aquática é uma realidade. Os métodos para a determinação da vazão de mínimas de captação são usados para minimizar o impacto dessa supressão de água nos recursos aquáticos (Collischonn, 2005). No ano de 1976 foi elaborado o Método do $Q_{7.10}$, o qual recomenda vazões ecológicas baseado numa série histórica de vazão, mais especificamente a vazão mínima que se observa durante sete dias consecutivos, para um período de retorno de dez anos (Chiang e Jonhson, 1976, citado por Loar e Sale, 1981). A $Q_{7.10}$ é adotada pelos Estados de Minas Gerais e Paraná como referência no estabelecimento das vazões outorgáveis (Silva et al., 2006). A determinação da $Q_{7.10}$ é feita em duas etapas. Na primeira, calcula-se o valor do Q_7 para todos os anos do registro histórico considerado, a partir da média móvel mínima. A segunda etapa resume-se na aplicação de uma distribuição estatística de vazões mínimas para o ajuste dos Q_7 calculados, sendo as distribuições de Gumbel e Weibull as mais comuns. Estudos probabilísticos de variáveis hidrológicas são de extrema importância para o planejamento de atividades em bacias hidrográficas por ser o ponto de início para o plano diretor da bacia (Silveira et al, 2006). Os processos hidrológicos são aleatórios e como tal não podem ser previsto e sim devem sofrer tratamentos estatísticos com intuito de, assumindo uma margem de erro, estabelecer modelos que representem aquela variável estudada. Diversos modelos de ajuste estatístico são usados em estudos hidrológicos, sendo que o tipo de dado (vazão máxima, mínima ou média) leva à escolha do melhor modelo. Tucci, 1986 afirma uma que os dados hidrológicos devem ser reunidos em uma amostra e posteriormente submetidos a uma análise estatística, visando à definição de probabilidades. Esta análise deve se ajustar melhor possível à amostra, a fim de baseado em seus parâmetros, criar modelos teóricos de probabilidade. Esta convergência teórica e prática geram bons resultados e facilita o processo de criação de plano de uso d'água da bacia hidrográfica. A vazão de referência tem papel fundamental em processos de gestão de bacia, pois, é a partir dela que se

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, DEG/ UFLA, guialves@gmail.com

² Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/UFLA, mateusjruaia@hotmail.com

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

⁴ Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/ UFLA, pedroterralima@yahoo.com.br

⁵ Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/ UFLA, mksilva@gmail.com

⁶ Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/ UFLA, matheus-colares@homail.com

programa os usos múltiplos da água. Com o presente trabalho, objetivou-se comparar distribuições de probabilidade aplicada à série histórica anual de vazões diárias e estimar a vazão média mínima de duração de sete dias ($Q_{7,10}$) e a partir destas determinar o ajuste mais adequado para a série. O período de estudo compreende os anos de 1968 a 2007, resultando em séries de vazões com 40 anos de observações. As distribuições utilizadas foram: log-Normal 2 parâmetros, Weibull, log-Normal 3 parâmetros e Gumbel.

MATERIAL E MÉTODOS

Fonte de Dados

O trabalho foi desenvolvido a partir dos dados do site Hidroweb, gerido e abastecido pela ANA – Agência Nacional de Águas. A estação fluviométrica é a nº 57420000, localizada no município de Ibitirama, ES. O ponto de captação dos dados está localizado no ponto Lat. - 20:32:26 e Long. - 41:39:56. A área de drenagem a montante deste ponto é de 342 Km².

Município de Ibitirama

Os dados analisados pertencem à estação 57420000, localizada no município de Ibitirama, ES. Este município possui uma população de 9.238 hab. (IBGE, 2009) e está inserido em região montanhosa do estado (altitude média de 770m, podendo chegar a 2.892 m de altitude no Pico da Bandeira). O clima preponderante é o Tropical de Altitude (Cwa e Cwb, segundo Thornthwaite). Os rios principais que cortam o município são os que fazem parte da bacia do rio Itapemirim, destacando-se os rios Braço Norte Direito e Santa Clara, além do Rio Preto.

Manipulação dos dados

Inicialmente calculou-se a média móvel de sete dias consecutivos, para tal não se considerou o ano hidrológico (Set/Ago) e sim o calendário civil. Na passagem de ano computaram-se os valores de maior representabilidade para o ano, ou seja, como a média leva em consideração sete dias, o valor de 03 de janeiro do ano seguinte foi considerado no ano inferior. Com estas médias obteve-se o valor mínimo, este valor representa a vazão média mínima de sete dias do respectivo ano. De posse destes valores passou-se a análise estatística através das distribuições Log-normal 2 Parâmetros, Weibull, Gumbel para Mínimos e Log-normal 3 Parâmetros, descritas abaixo. O período de retorno em todas as simulações foi de 10 anos. Aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado, considerando um nível de significância de 5%, para avaliação qualitativa e adequabilidade dos modelos. No teste de Kolmogorov-Smirnov, fez-se a comparação entre o máximo desvio em módulo resultante da diferença entre os valores de frequências observadas e teóricas (ΔF) com o valor tabelado, com base no tamanho da amostra e nível de significância. No teste de Qui-quadrado, a comparação foi feita entre a soma do quadrado dos desvios entre as frequências observadas e teóricas (λ^2 calculado) e o valor obtido em tabela (λ^2 tabelado), em função do número de graus de liberdade (nº de classes – nº de parâmetros – 1) e do nível de significância. Obteve-se o número de classes de agrupamento pela raiz quadrada do número de dados. Para avaliar a adequação do modelo de probabilidades, consideraram-se os valores calculados menores ou iguais aos tabelados para cada teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série histórica de vazão mínima média de sete dias, no ponto de coleta de dados, e os modelos de probabilidades ajustados aos dados observados com seus respectivos parâmetros está apresentada na tabela 01. Os parâmetros de ajuste de cada distribuição também estão apresentados na parte inferior da referida tabela.

Analisando-se o ajuste dos dados de vazão aos modelos de probabilidades aplicados, verifica-se pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, que o valor de ΔF tabelado, com nível de significância de 5%, foi de 0.2132. Com relação ao teste de Qui-quadrado, observa-se que os graus de liberdade para os modelos Weibull e Gumbel, foram igual a 4, já para os modelos Log-Normal 2 e 3 parâmetros o grau de liberdade foi igual a 3. Estes dados foram obtidos após o agrupamento dos dados em classes. Assim, considerando um nível de significância de 5%, o valor de λ^2 tabelado foi de 14.86 e 7.82, respectivamente.

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

Tabela 01. Série histórica ordenada, frequência observada e calculada para diferentes distribuições e parâmetros destas distribuições.

Ano	Posição	Q7min [m³/s]	Fobs	Log-Normal 2 P		Weibul		Gumbel Mínimos		Log-Normal 3 P	
				P(X≤xi)	ΔF	P(X≤xi)	ΔF	P(X≤xi)	ΔF	P(X≤xi)	ΔF
1968	1	1.24	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.05	0.03	0.03	0.00
2001	2	1.29	0.05	0.02	0.03	0.04	0.01	0.06	0.01	0.03	0.01
1985	3	1.40	0.07	0.04	0.04	0.05	0.02	0.07	0.00	0.05	0.02
1995	4	1.71	0.10	0.14	0.04	0.13	0.03	0.14	0.04	0.14	0.05
2002	5	1.76	0.12	0.16	0.04	0.15	0.02	0.15	0.02	0.16	0.04
2000	6	1.79	0.15	0.18	0.04	0.16	0.01	0.16	0.01	0.18	0.03
1999	7	1.83	0.17	0.20	0.03	0.17	0.00	0.17	0.00	0.19	0.02
1976	8	1.87	0.20	0.23	0.03	0.19	0.01	0.18	0.01	0.21	0.02
1996	9	1.89	0.22	0.23	0.01	0.20	0.02	0.19	0.03	0.22	0.00
1990	10	1.91	0.24	0.25	0.01	0.21	0.04	0.19	0.05	0.23	0.01
1975	11	1.95	0.27	0.28	0.01	0.23	0.04	0.21	0.06	0.26	0.01
1974	12	1.96	0.29	0.28	0.02	0.23	0.06	0.21	0.08	0.26	0.04
1969	13	1.96	0.32	0.28	0.04	0.23	0.09	0.21	0.11	0.26	0.06
2003	14	1.98	0.34	0.29	0.05	0.24	0.10	0.22	0.12	0.27	0.07
1971	15	1.98	0.37	0.29	0.07	0.24	0.13	0.22	0.15	0.27	0.10
1977	16	1.99	0.39	0.30	0.09	0.25	0.14	0.22	0.17	0.28	0.11
1986	17	2.03	0.41	0.32	0.09	0.27	0.15	0.24	0.17	0.30	0.12
1988	18	2.14	0.44	0.39	0.05	0.32	0.11	0.29	0.15	0.36	0.08
2007	19	2.14	0.46	0.40	0.07	0.33	0.14	0.29	0.17	0.36	0.10
1998	20	2.27	0.49	0.48	0.01	0.40	0.08	0.36	0.13	0.44	0.05
1987	21	2.31	0.51	0.50	0.01	0.43	0.08	0.38	0.13	0.47	0.04
1981	22	2.40	0.54	0.56	0.02	0.49	0.05	0.43	0.10	0.52	0.02
1989	23	2.44	0.56	0.58	0.02	0.51	0.05	0.46	0.10	0.55	0.02
2006	24	2.44	0.59	0.58	0.00	0.52	0.07	0.46	0.12	0.55	0.04
2004	25	2.55	0.61	0.64	0.03	0.59	0.02	0.54	0.07	0.61	0.00
1997	26	2.55	0.63	0.64	0.01	0.59	0.04	0.54	0.10	0.61	0.02
1994	27	2.63	0.66	0.68	0.02	0.64	0.02	0.60	0.06	0.66	0.00
1984	28	2.71	0.68	0.72	0.04	0.69	0.01	0.65	0.03	0.70	0.02
1983	29	2.78	0.71	0.75	0.04	0.73	0.03	0.70	0.00	0.74	0.03
1973	30	2.87	0.73	0.78	0.05	0.78	0.05	0.77	0.03	0.78	0.05
1978	31	2.95	0.76	0.81	0.06	0.82	0.07	0.82	0.06	0.81	0.05
1982	32	2.99	0.78	0.82	0.04	0.84	0.06	0.84	0.06	0.82	0.04
1972	33	3.24	0.80	0.89	0.09	0.93	0.13	0.95	0.15	0.90	0.10
1992	34	3.24	0.83	0.89	0.06	0.93	0.10	0.95	0.12	0.90	0.07
1993	35	3.25	0.85	0.89	0.04	0.94	0.08	0.95	0.10	0.90	0.05
1991	36	3.40	0.88	0.92	0.04	0.97	0.09	0.98	0.11	0.93	0.06
1979	37	3.43	0.90	0.92	0.02	0.97	0.07	0.99	0.09	0.94	0.04
2005	38	3.44	0.93	0.92	0.00	0.97	0.04	0.99	0.06	0.94	0.01
1980	39	3.45	0.95	0.93	0.02	0.97	0.02	0.99	0.04	0.94	0.01
1970	39	3.54	0.98	0.94	0.04	0.98	0.01	1.00	0.02	0.96	0.02
					0.09		0.15		0.17		0.12
Série			Log-Normal 2 P		Weibul		Gumbel Mínimos		Log-Normal 3 P		
μ	2.363228974	μ - ln(x)	0.8377	μ	2.399	μ	2.39904	μ - ln(x)	1.98		
σ²	0.626099923	σ² - ln(x)	0.0788	σ²	0.426	σ²	0.42596	σ² - ln(x)	0.08		
				β	2.765	α _{est.}	1.9652	β	-4.89		
				σ² _{est.}	0.88	μ _{est.}	2.69274				
				λ	0.064						

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

A tabela 02 resume os valores de $\Delta F_{\text{máx}}$ e λ^2 para os 4 modelos de distribuição propostos.

Tabela 02. Série histórica ordenada, frequência observada e calculada para diferentes distribuições e parâmetros destas distribuições.

Modelo	Vazão Mínima Média em Sete Dias Consecutivos	
	$ \Delta F _{\text{Calc. máx.}}$	λ^2 Calculado
Log-Normal 2 P	0.09	0.46
Weibull	0.15	0.31
Gumbel Mínimos	0.17	0.53
Log-Normal 3 P	0.12	0.04

Verifica-se que o modelo Log-normal (2 parâmetros), apresentou menor valor de $|\Delta F|_{\text{Calc.}}$ pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. No teste Qui-quadrado o menor valor de $\lambda^2_{\text{Calc.}}$ foi dado pela distribuição Log-normal (3 parâmetros). Consta-se superioridade da distribuição Log-normal (3 parâmetros), para a série histórica estudada devido ao fato de o teste de Qui-quadrado ser considerado mais rigoroso que o Kolmogorov-Smirnov, segundo Silva et al. (2006).

Na Figura 01 apresentam-se os modelos de probabilidades ajustados aos dados observados de vazão mínima média de sete dias estudada.

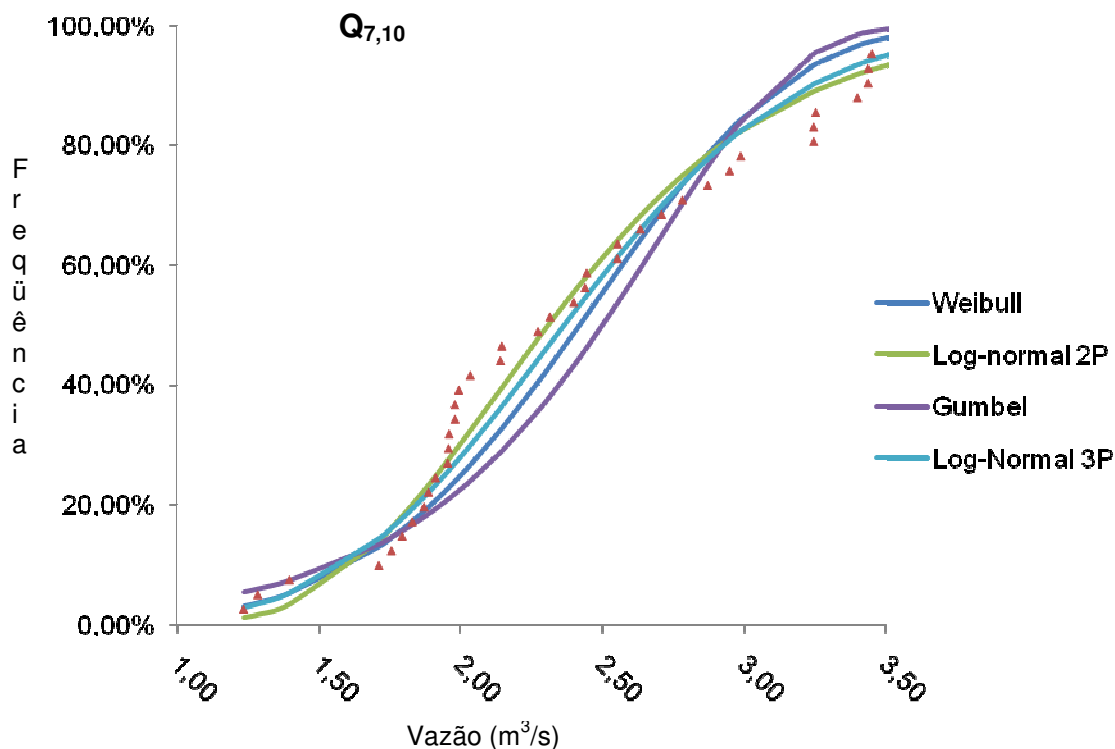


Figura 01. Gráfico das distribuições de frequências estudadas.

De acordo com Tabela 01 e a Figura 01, nota-se que a vazão mínima em sete dias consecutivos com tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), a partir da série histórica foi de 1,71 m³/s. Apesar do modelo Log-normal 3 P ter se mostrado mais preciso para estimar os dados de vazão mínima média de 7 dias, quando comparado com o valor real de $Q_{7,10}$ da série, apresenta erro de 7.25%. O menor erro obtido foi pelo modelo Log-normal (2 parâmetros), cujo valor foi de 5,52%, conforme pode ser verificado na Tabela 03, que apresenta os valores obtidos pelos testes de adequacidade de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado, ao nível de significância de 5%, para os diferentes modelos aplicados.

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

Tabela 03. Valores de $Q_{7,10}$ obtidos pelos modelos de distribuição de probabilidade aplicados e respectivos erros cometidos.

Modelo	Vazão Mínima Média em Sete Dias Consecutivos (m^3/s)	
	Calculada	Erro
Log-Normal 2 P	1.62	5.52%
Weibul	1.61	5.78%
Gumbel Mínimos	1.55	9.42%
Log-Normal 3 P	1.59	7.25%

CONCLUSÃO

Conclui-se que os três modelos aplicados à série histórica de vazão mínima média de 7 dias foram adequados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e pelo teste de Qui-quadrado. O modelo de distribuição Log-normal 3 P mostrou-se mais preciso para série estudada, evidenciado pelo menor valor de Qui-Quadrado calculado (0.04). Na estimativa do valor da $Q_{7,10}$, o modelo de distribuição Log-normal (2 parâmetros) apresentou um menor erro cometido (5,52%) em relação ao valor observado dos dados da série histórica (1,71 m^3/s).

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

COLLISCHONN, W. ; SOUZA, C. F. , FREITAS, G. K. ; PRIANTE, G. R. ; AGRA, S. G. ; TASSI, R., 2005 . **Em Busca do Hidrograma Ecológico**. Recursos Hídricos: Jovem Pesquisador, Fortaleza: ABRH.

HAAN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. Ames: The Iowa State University, 1979. 377 p.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidade. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2001. p. 79-176.

LOAR, J.M., SALE, M.J., 1981. Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric development. v. instream flow needs for fisheries resources. **Environmental Sciences Division Publication** n. 1829. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.

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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.10, n.2, p.374–380, 2006.

SILVEIRA, A.; MOURA, R. M. P. de; ANDRADE, N. L. R. de. Determinação da $Q_{7,10}$ para o rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil e comparação com a vazão regularizada após a implantação do reservatório de Aproveitamento Múltiplo de Manso. In: **XXX CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**, Punta del Este – Uruguay, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2001. p. 79-176.