

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ESTIMATIVA DO PERÍODO DE RETORNO DE VAZÕES MÁXIMAS OCORRIDAS EM AIMORÉS - MG

Alberto Varotto Rinco Dutra¹; Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira²; Laís Turato Ballerini Silva³; Leonardo Montes Furtado⁴; Martiniano Alves da Silva Filho⁵; Lucas Cordeiro Ribeiro⁶; Lorena Senra Campos⁷; Moysés Mendes Gomes da Cruz⁸ & Anderson Ravik dos Santos⁹

RESUMO – Todos os anos muitas cidades enfrentam problemas com inundações. Um exemplo é Aimorés – MG, município localizado na bacia do Rio Doce. As três piores enchentes registradas na cidade foram nos anos de 1979, 1997 e 2013. Como em períodos de chuva a população aimoreense está sempre preocupada e como vários locais do município necessitam de obras hidráulicas, as quais melhorariam os problemas causados por inundações, o presente trabalho teve como intuito estimar os períodos de retorno das vazões máximas ocorridas nas três principais enchentes, para que eles sirvam na elaboração de futuros projetos hidráulicos. De posse de uma série histórica de vazões máximas anuais, utilizando-se a distribuição de Gumbel, obtiveram-se os períodos de retorno para as três vazões de enchentes. Para os anos de 1979, 1997 e 2013, os períodos de retorno encontrados foram 12,52; 51,72 e 8,35 anos, respectivamente.

ABSTRACT– Every year many cities face problems with flooding. An example is Aimorés - MG, a municipality located in the Rio Doce watershed. The three worst floods recorded in the city were in the years of 1979, 1997 and 2013. As the population of Aimorés is always concerned during the raining seasons and as several places of the municipality need hydraulic works, which would improve the problems caused by floods, the present work had the purpose of estimating the return periods of the maximum flows occurred in the three main floods, so that they can be helpful in the elaboration of future hydraulic projects. With a historical series of maximum annual flows, using the Gumbel distribution, the return periods for the three flood flows were obtained. For the years of 1979, 1997 and 2013, the return periods found were 12.52; 51.72 and 8.35 years, respectively.

Palavras-Chave – Distribuição de Gumbel; Análise hidrológica.

INTRODUÇÃO

Entre os meses de novembro e março é comum se ter um alto índice pluviométrico no Brasil, de modo que enchentes e, conseqüentemente, possíveis inundações ocorrem. Pode-se definir

1) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 99998-4515, albertovarotto20@gmail.com
2) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 98716-1876, emmanuel.teixeira@ufsj.edu.br
3) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 99890-6715, laishmhp@gmail.com
4) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (32) 98835-2656, leo-montes@hotmail.com
5) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 99776-0476, martinalvesfilho@gmail.com
6) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 99574-3824, lucascordeiro93@gmail.com
7) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 98505-4702, lorena-senra@hotmail.com
8) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 99776-0476, moysesacruz_92@hotmail.com
9) Universidade Federal de São João del-Rei, Rod. MG 443 km 07, Ouro Branco MG, (31) 99776-0476, andersonravik@ufsj.edu.br

enchentes ou cheias como temporárias elevações do nível d'água normal da drenagem, devido ao aumento da vazão. Já a inundação é uma categoria peculiar de enchente, na qual a elevação do nível d'água normal atinge tal magnitude que as águas não se limitam à calha principal do rio, extravasando para áreas marginais. Desse modo, o estudo da precipitação e da vazão torna-se um fator relevante, já que pode prever possíveis adversidades causadas pelas inundações.

Neste contexto, a cidade de Aimorés - MG, localizada na região da bacia do rio Doce, enfrenta vários problemas, cabendo destacar as inundações que ocorreram nos anos de 1979, 1997 e 2013, as quais causaram grandes perdas para a população, não só da cidade, mas em toda a região.

Dentre as adversidades na região do vale do rio Doce, evidencia-se a inundação ocorrida no ano de 1979, sendo esta tragédia com repercussão mundial. Na ocasião, 47.776 pessoas ficaram desabrigadas e houve 74 vítimas fatais. Após 18 anos, em 1997, outra inundação de grande magnitude atingiu a região, afetando 175 municípios, onde 11750 casas foram danificadas e 82 vítimas fatais. Já em 2013, a região foi atingida novamente. Nessa época, as principais cidades afetadas foram Aimorés e Mantena, ambas no estado mineiro, onde o número de desabrigados foi em torno de 13 mil pessoas.

Analisando as inundações citadas anteriormente, pode-se diferenciar a forma como ocorreram, visto que nos anos de 1979 e 1997 as inundações ocorreram devido ao extravasamento do rio Doce, já em 2013 foram os córregos que atravessam a cidade que transbordaram.

Como em períodos de chuva a população aimoreense está sempre preocupada e como vários locais do município necessitam de obras hidráulicas, as quais melhorariam os problemas causados por inundações, o presente trabalho teve como intuito estimar os períodos de retorno das vazões máximas ocorridas nas três principais enchentes, 1979, 1997 e 2013, para que eles sirvam na elaboração de futuros projetos hidráulicos.

DESCRIÇÃO DA BACIA DO RIO DOCE

A bacia hidrográfica do rio Doce possui uma área de drenagem de aproximadamente 83.431 km², sendo 86% de seu território localizado na região centro-leste do estado de Minas Gerais e 14% na região centro-norte do Espírito Santo (PIRH, 2013). O rio Doce é o principal da bacia. Ele é formado no município de Ressaquinha (MG), onde recebe o nome de rio Piranga, e no município de Ouro Preto (MG), onde é denominado rio Carmo. A sua foz está localizada no povoado de Regência, situado no município de Linhares (ES). As nascentes de tais rios estão situadas na serra do Espinhaço e na serra da Mantiqueira, respectivamente, onde a altitude chega a 1200 m. São 853 km da nascente até a foz, passando por 228 municípios (202 dos quais situados no estado de Minas Gerais e 26 no estado do Espírito Santo).

A região da bacia do rio Doce engloba uma população em torno de 3,1 milhões de habitantes, sendo esta predominantemente urbana. Os principais afluentes no estado de Minas Gerais são os rios Santo Antônio, Piracicaba, Suaçuí Grande, Manhuaçu, Casca, Caratinga-Cuieté e Matipó. Já no estado do Espírito Santo, têm-se os rios Pancas, São José e Guandu. O clima que predomina na região é o tropical de altitude, com precipitação média variando de 900 a 1500 mm.

A água captada na bacia é utilizada principalmente para irrigação, uso industrial, abastecimento público e geração de energia elétrica. Pode-se citar também a parte de mineração, que inclui a extração de ferro, ouro, bauxita, manganês, rochas calcárias e pedras preciosas.

Recentemente, a bacia virou notícia em todas as mídias, devido ao impacto que a lama de rejeito de mineração da empresa Samarco causou em boa parte dela, inclusive em Aimorés, cidade de estudo desse trabalho.

No rio Doce foi construída a Usina Hidrelétrica Eliezer Batista (UHE), abrangendo os municípios de Resplendor, Aimorés e Itueta, em Minas Gerais, e Baixo Guandu, no Espírito Santo. O eixo da barragem situa-se no município de Aimorés. A usina possui uma barragem principal com vertedouro de altura de 18,0 m e cota da soleira igual a 76,0 m, e sistema de adução com comprimento total de 11,9 km de extensão. O reservatório da UHE acumula aproximadamente $158,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de água (USINA DE AIMORÉS, 2013). Na Figura 1 é apresentada a área de abrangência da UHE.

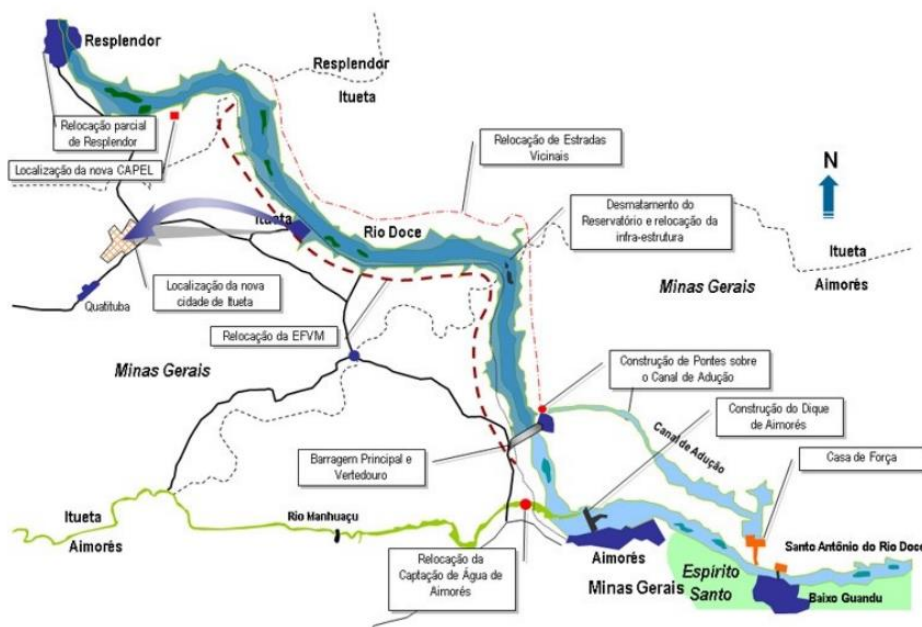


Figura 1 – Esquema da UHE no rio Doce (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, 2015)

METODOLOGIA

Obteve-se no *website* da Organização Nacional de Sistemas Elétricos (ONS) a série histórica de vazões diárias do rio Doce na cidade de Aimorés. De posse dessa série, construiu-se uma série

anual de dados formada pelas vazões máximas anuais ($Q_{m\acute{a}x}$), a qual pode ser observada na Tabela 1. Nessa tabela também estão apresentadas em **negrito** as vazões máximas nos anos de 1979, 1997 e 2013, sendo que se percebe que a maior vazão ocorreu em 1997.

Tabela 1 – Valores extremos de vazões entre os anos de 1939 a 2013

Ano	$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /s)	Ano	$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /s)	Ano	$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /s)	Ano	$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /s)	Ano	$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /s)	Ano	$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /s)
1939	5811	1952	3916	1965	3126	1978	3458	1991	4470	2004	3592
1940	2258	1953	3004	1966	4056	1979	6294	1992	5042	2005	5072
1941	3046	1954	3011	1967	2359	1980	3836	1993	3314	2006	3239
1942	4920	1955	3237	1968	3430	1981	4586	1994	2980	2007	2518
1943	9853	1956	5644	1969	2724	1982	3895	1995	3657	2008	3651
1944	4120	1957	4958	1970	3227	1983	4748	1996	4066	2009	5631
1945	4495	1958	2772	1971	3622	1984	3936	1997	8064	2010	6147
1946	3598	1959	2032	1972	2854	1985	7776	1998	2427	2011	4674
1947	3457	1960	3236	1973	3730	1986	3905	1999	2576	2012	5720
1948	5036	1961	5139	1974	2207	1987	3012	2000	2498	2013	5773
1949	5070	1962	4517	1975	2453	1988	3056	2001	2187	-	-
1950	3862	1963	2438	1976	2611	1989	3786	2002	3421	-	-
1951	2861	1964	2902	1977	3842	1990	1399	2003	5474	-	-

Para o cálculo do período de retorno foram utilizados ajustes de distribuições estatísticas. Utilizando-se o *software* SisCAH, verificou-se qual distribuição de probabilidade melhor se ajustou aos dados da série histórica, sendo a distribuição de Gumbel a melhor.

Segundo Tomaz (2002), o método de Gumbel é baseado na teoria dos extremos de amostras ocasionais. Gumbel demonstrou que, levando-se em conta o número real de anos de observação, a maioria das funções de frequência aplicáveis em Hidrologia pode ser resolvida pela Equação 1.

$$x = \bar{x} + \sigma k \quad (1)$$

Em que: “ x ” é o valor extremo para um determinado período de retorno; “ \bar{x} ” é o valor médio da amostra; “ σ ” é o desvio padrão da amostra e “ k ” é o fator de frequência, que depende do número de amostras e do período de retorno, o qual pode ser calculado pela Equação 2.

$$k = (y - \bar{y}_n) / \sigma_n \quad (2)$$

Em que: “y” é a variável reduzida; “ \bar{y}_n ” é a média reduzida, em função do número “n” de dados da série (Tabela 2) e “ σ_n ” é o desvio padrão reduzido, em função do número de dados da série (Tabela 3).

Tabela 2 – Média reduzida em função do número (n) de dados

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	0,5635	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	0,5672	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3 – Desvio padrão reduzido em função do número (n) de dados

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0493	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	1,2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	1,2360	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Substituindo a Equação 2 na Equação 1, obtém-se a Equação 3.

$$x = \bar{x} + (\sigma/\sigma_n)(y - \bar{y}) \quad (3)$$

Gumbel demonstrou também que, se o número de vazões máximas anuais tende para infinito, a probabilidade de uma dada vazão ser superada por um determinado valor da variável aleatória é dada pela Equação 4.

$$P = e^{-e^{-y}} \quad (4)$$

Em que: “P” é a probabilidade de ocorrência do evento. Por meio da Equação 04, e sabendo-se que o período de retorno (T) é o inverso da probabilidade (P), a variável reduzida (y) pode ser obtida pela Equação 5.

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (5)$$

Por meio das Tabelas 2 e 3, para “n” igual a 75 (número de anos da série anual de vazões), determinou-se o valor do desvio padrão reduzido e da média reduzida. Por fim, utilizando-se a Equação 3 e a Equação 5, calculou-se o período de retorno das vazões máximas dos três anos de enchentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4, estão apresentados os valores das variáveis utilizadas na distribuição de Gumbel.

Tabela 4 – Valores das variáveis utilizadas na distribuição de Gumbel

\bar{x} (m ³ /s)	σ (m ³ /s)	\bar{y}	σ_n
3938,0	1452,5	0,5559	1,1898

Com base nos valores mostrados na Tabela 4, para os valores de vazões máximas dos três anos analisados, obtiveram-se os valores da variável reduzida (y) e o período de retorno (T). Tais valores são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Período de retorno para as vazões dos três anos analisados

Ano	y	T (anos)
1979	2,49	12,5
1997	3,94	51,7
2013	2,06	8,4

Como se observa, o maior período de retorno está associado ao ano de 1997, valor que foi de 51,7 anos. Este resultado já era esperado, pois neste ano ocorreu a maior vazão máxima (8064,0 m³/s). Entretanto, na enchente ocorrida em 1979, cujo período de retorno foi de 12,5 anos e a vazão máxima foi menor (6294,0 m³/s), os danos causados foram muito maiores aos que ocorreram em

1997, ao ponto dessa enchente ser considerada a maior já ocorrida não só em Aimorés, mas praticamente em todas as cidades que ficam na bacia do rio Doce, como, por exemplo, na cidade de Colatina – ES, a qual fica a jusante de Aimorés a, aproximadamente, 50,0 km. Castilho *et al.* (1999) analisaram o período de retorno das vazões máximas ocorridas em uma série histórica da estação fluviométrica do rio Doce localizada em Colatina – ES. Estes autores também analisaram os anos de 1979 e 1997, sendo as vazões máximas encontradas, respectivamente: 12508,0 e 8805,0 m³/s. Para a série histórica composta por 47 anos de dados, os autores ajustaram a distribuição estatística Generalizada de Valores Extremos (GEV). Os períodos de retorno encontrados foram 208 e 38 anos, respectivamente.

Em Aimorés, uma justificativa que pode explicar o fato de ter ocorrido maiores estragos em 1979 do que em 1997 é o fato de que, como a cidade foi construída ao lado do rio Doce, em 1979 não existia um muro beira cais para conter grandes vazões, o qual existe hoje, visto que, após esta inundação, realizaram-se obras hidráulicas visando à proteção da cidade.

Outro ponto a ser analisado é que embora a vazão máxima do ano de 1997 seja a maior entre os três anos, a precipitação acumulada no período da enchente, que foi de 395,4 mm, é menor que dos outros dois anos, que foi 638,9 mm em 1979 e 842,1 mm em 2013. Sendo assim, o que pode ter acontecido é que a precipitação acumulada em outros locais que ficam a montante de Aimorés contribuiu para a vazão de tal magnitude em 1997.

Já no ano de 2013, no qual houve maior precipitação acumulada (638,9 mm), tem-se que a vazão máxima de 5773,0 m³/s é a menor dos três anos, possuindo, conseqüentemente, menor período de retorno, o qual foi de 8,4 anos. Uma justificativa para essa incoerência é o fato do rio Doce ter sido desviado devido à construção da UHE, de forma que atualmente apenas parte da vazão do rio Doce escoar na periferia da cidade de Aimorés. Além disso, a usina contribuiu para diminuição da vazão no rio, pois ela possui grande reservatório a montante da cidade, pois uma barragem acumulando a água em seu reservatório por ocasião de uma chuva intensa, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação para jusante.

Com o objetivo de certificar os resultados encontrados, utilizando-se o *software* SisCAH, entrou-se no programa com cada período de retorno encontrado pelo método de Gumbel. Assim, obtiveram-se os valores de vazões máximas (Q_{calc}) associadas aos períodos. Ressalta-se que os valores foram aproximados visto que o *software* não admite a entrada de valores de período de retorno fracionados. Na Tabela 6 estão apresentados os resultados.

A partir dos resultados obtidos, nota-se que os períodos de retorno encontrados pelo método de Gumbel, para as vazões reais, forneceram valores aproximados de vazões máximas encontrados pelo SisCAH.

Tabela 6 – Vazões máximas para os períodos de retorno das chuvas de 1979, 1997 e 2013 calculados pelo

SisCAH

Ano	T (anos)	Q _{calc.} (m ³ /s)	Q _{reais} (m ³ /s)
1979	13	6358,0	6294,0
1997	52	8099,0	8064,0
2013	9	5884,0	5773,0

CONCLUSÃO

A partir do cálculo do período de retorno dos três anos de maiores enchentes em Aimorés, geraram-se subsídios para futuras obras hidráulicas na cidade, as quais têm como base de projeto as vazões para um determinado período de retorno, sendo essas vazões utilizadas no dimensionamento de estruturas hidráulicas. Para os anos em que ocorreu inundação na cidade de Aimorés, 1979, 1997 e 2013, os períodos de retorno encontrados foram 12,5; 51,7 e 8,4 anos, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de São João del-Rei por ter dado aporte técnico e financeiro a esse trabalho.

REFERÊNCIAS

Ação civil pública - Ministério público federal - Nº 2006.38.13.010224-2. 2015.

CASTILHO, A.S.; SILVA E.A., RODRIGUES V.V. (1999). “*Estimativa do período de retorno associado às cotas de alerta de inundação e de grandes cheias na bacia do rio Doce*” in anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Belo Horizonte, Nov. 1999.

PIRH – Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce. Mar. 2013.

TOMAZ, P. (2002). *Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais*. Ed. Navegar, São Paulo, 452 p.

USINA DE AIMORÉS. Página da web compilada. Disponível em <http://www.uheaimores.com.br>. Acesso em: 18 de fev. 2018.