

## AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DA $Q_{7,10}$ NO RIO TIJUCO, EM MINAS GERAIS

Pedro Corsino Durant (\*), Giulia Faria Shimamoto 2, Yasmim Twanne de Cássia Silva 3, Márcia Regina Batistela Moraes 4, Hudson de Paula Carvalho 5

\* Universidade Federal de Uberlândia, pedro.cd@ufu.br

### RESUMO

O gerenciamento dos recursos hídricos é essencial para garantir o equilíbrio dos ciclos ecológicos e permitir o uso múltiplo da água. Por meio das vazões de referência estima-se a disponibilidade hídrica de um curso d'água e, esta, por sua vez, é relevante para a concessão de outorgas. Este trabalho visa calcular a vazão mínima anual de 7 dias consecutivos em 10 anos de recorrência, no Rio Tijuco, a partir de métodos estatísticos, utilizando uma série histórica da Estação Fluviométrica Ituiutaba, em Minas Gerais, e compará-los com o estimado pelo Manual de Deflúvios Superficiais de Minas Gerais. Os valores encontrados através dos métodos estatísticos de Gumbel e Log-Pearson Tipo III foram semelhantes entre si e substancialmente discrepantes ao valor encontrado com uso da metodologia proposta em Deflúvios Superficiais de Minas Gerais.

**PALAVRAS-CHAVE:** gestão de recursos hídricos, disponibilidade hídrica, vazões de referência.

### INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Tijuco está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) PN3 – Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (IGAM, 2010). Devido a sua importância para a bacia hidrográfica do rio Paranaíba e com o avanço da degradação ambiental na região, justifica-se a preocupação para conservação e manutenção dos parâmetros hídricos qualiquantitativos.

As principais alterações da disponibilidade hídrica de afluentes são decorrentes da variação do regime de precipitação e da crescente demanda de uso consultivo por água (ANA, 2016). Assim, diante da atual conjuntura de eventuais cenários que favorecem a redução da disponibilidade hídrica, os levantamentos de dados reais para avaliação de regimes hídricos são essenciais para subsidiar a gestão e a conservação das águas.

A liberação do uso da água para captação superficial de um tributário está condicionada a sua disponibilidade hídrica que, por sua vez, é estimada por meio das vazões mínimas de referência. Em Minas Gerais, a vazão mínima de referência utilizada para determinar a situação mais crítica de escassez é a  $Q_{7,10}$ . Apesar de existirem diferentes metodologias na literatura para cálculo da mínima anual de 7 dias consecutivos em 10 anos de recorrência, neste estudo optou-se por trabalhar com dois métodos estatísticos e a metodologia proposta na bibliografia Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), sendo esta utilizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, órgão responsável pela emissão de outorgas do Estado de Minas Gerais.

### OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo foi calcular os valores de  $Q_{7,10}$  a partir de dados diários de vazão da Estação Fluviométrica Ituiutaba, localizada no Rio Tijuco, Minas Gerais. Além disso, com os valores de vazão de referência calculados por meio de métodos estatísticos frequentes em hidrologia, buscou-se realizar um comparativo entre os citados valores com aqueles estimados por meio da bibliografia Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993).

### METODOLOGIA

O Rio Tijuco, um dos principais afluentes mineiros do Rio Paranaíba, localiza-se entre as latitudes 18°40'S e 19°47'S e longitudes 47°53'O e 50°13'O. Sua bacia apresenta uma área de aproximadamente de 14.240 km<sup>2</sup>, compondo a mesorregião geográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. Para o levantamento de dados optou-se por trabalhar com a Estação Fluviométrica Ituiutaba, localizada no Rio Tijuco, código ANA 60845000, área de drenagem

de 6.310 km<sup>2</sup>, latitude 18°56'27"S e longitude 49°26'59"O. A série histórica de vazão diária dessa estação, disponível no Sistema Hidroweb pelo período de 1942 a 2016, devido a inconsistência de dados em alguns anos, foi mantida com 55 anos no total. A partir da série de dados selecionada foi calculada a mínima vazão média consecutiva de sete dias com tempo de retorno de 10 anos - Q<sub>7,10</sub>. Para isso, foram utilizados os métodos estatísticos de Gumbel, Log-Person Tipo III e a metodologia proposta em Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993).

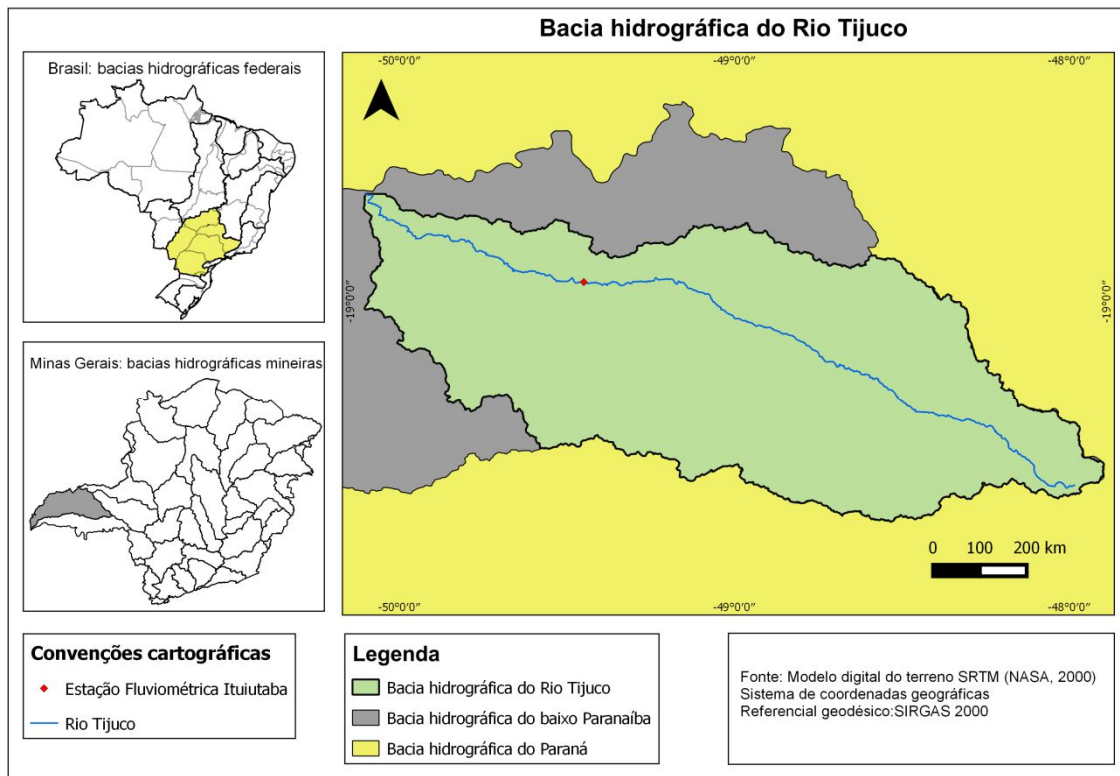


Figura 1: Localização do Rio Tijuco na Bacia Hidrográfica do Baixo Paranaíba - MG e da Estação Fluviométrica.

#### Estimativa de Q<sub>7,10</sub> pela metodologia Gumbel

Os dados de vazão diária da série histórica serviram de base para o cálculo de mínima vazão anual. Os valores de Q<sub>7,10</sub> foram estimados por meio da distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos (Equações 1 a 3), segundo parametrização proposta por Mello e Silva (2013). O modelo de distribuição de probabilidade foi submetido ao teste de adequacidade de Kolmogorov-Smirnov, com  $\alpha = 0,01$ . A frequência observada foi estimada pela metodologia de Weibull, conforme descrito em Mello e Silva (2013), e a frequência calculada pelo método empírico de excedência (Equação 4).

$$Q_{7,10 \text{ Gb}} = \frac{\text{LN}[-\text{LN}(1 - \frac{1}{\text{TR}})]}{\sigma} + \mu \quad \text{equação (1)}$$

$$\sigma = \frac{1,282s}{s} \quad \text{equação (2)}$$

$$\mu = \bar{Q}_{7, \text{Anual}} + 0,45 \cdot s \quad \text{equação (3)}$$

$$\text{Fexc} = 1 - e^{-e^{-(\sigma(x - \mu))}} \quad \text{equação (4)}$$

Em que: Q<sub>7,10 Gb</sub> é a menor vazão média consecutiva de 7 dias, com tempo de retorno de 10 anos, estimada pelo método probabilístico de Gumbel para mínimos, em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>; TR corresponde ao tempo de retorno de 10 anos;  $\sigma$  e  $\mu$  são os parâmetros da distribuição Gumbel para mínimos, em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>; s é o desvio padrão amostral, em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>;  $\bar{Q}_{7, \text{Anual}}$  se refere à vazão mínima anual de sete dias consecutivos, em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>; e Fexc é a frequência empírica de excedência, sendo adimensional.

#### Estimativa de Q<sub>7,10</sub> por Log-Pearson Tipo III

Obtidos os valores de vazão mínima anual, utilizou-se a distribuição Log-Pearson Tipo III para cálculo da  $Q_{7,10}$  (Equação 5). Para diminuir a amplitude entre os dados de vazão aplicou-se a função logaritmo neperiano para os 55 valores mínimos de vazão anual da série histórica. A partir da transformação foi calculado o coeficiente de assimetria pelo comando DISTORÇÃOP do Excel® 2017. O modelo de distribuição Log-Pearson também foi submetido ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, com  $\alpha = 0,01$ . A frequência observada foi estimada pela metodologia de Weibull, conforme descrito em Mello e Silva (2013), e a frequência calculada pelo comando DIST.NORMP do Excel® 2017 para o fator de frequência  $K_{(T,G)}$  (Equações 6 e 7).

$$Q_{7,10 LP} = e^{\ln \bar{x} + K_{(T,G)} \cdot LNS} \quad \text{equação (5)}$$

$$K_{(T,G)} = Z + (Z^2 - 1) \cdot f + \frac{1}{3} \cdot (Z^3 - 6 \cdot Z) \cdot f^2 - (Z^2 - 1) \cdot f^3 + Z \cdot f^4 + \frac{1}{3} \cdot f^5 \quad \text{equação (6)}$$

$$f = \frac{Ca}{6} \quad \text{equação (7)}$$

Em que:  $Q_{7,10 LP}$  é a menor vazão média consecutiva de 7 dias, com tempo de retorno de 10 anos, estimada pelo método probabilístico de Log-Pearson Tipo III para mínimos, em  $m^3 s^{-1}$ ;  $K_{(T,G)}$  se refere ao valor do fator de frequência, adimensional;  $f$  é a frequência, também adimensional; e  $Ca$  é o coeficiente de assimetria.

#### Estimativa de $Q_{7,10}$ pela metodologia Deflúvios Superficiais de Minas Gerais

A obra Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993) traz equações para a estimativa de vazões mínimas de referência por meio de modelos indicados nas equações 8 a 10. Tais equações consideram alguns parâmetros pela caracterização da tipologia homogênea e rendimento específico da região de inserção da estação fluviométrica.

$$Q_{7,10} = F_{D,T} \cdot Q_{M,10} \quad \text{equação (8)}$$

$$F_{D,T} = (\alpha + \beta \cdot \gamma^D) \cdot (\log T)^{-(r \cdot \log T + s)} \cdot D^{(m+n \cdot \log^2 T)} \quad \text{equação (9)}$$

$$Q_{M,10} = Re \cdot Ad \quad \text{equação (10)}$$

Em que:  $F_{D,T}$  é o Fator de proporção, adimensional;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $m$ ,  $n$  são parâmetros da função de inferência, variáveis de acordo com a Tipologia Homogênea e Rendimento Específico (Tabela 1), adimensional;  $D$  é o número de dias que compõem a média consecutiva, em dias;  $T$  trata do tempo de retorno, em anos;  $Q_{M,10}$  se refere à vazão mínima de duração mensal e tempo de retorno de 10 anos, em  $m^3 s^{-1}$ ;  $Re$  é o rendimento específico, em  $m^3 s^{-1} km^{-2}$ , descrito na Tabela 1; e  $Ad$  demonstra a área de drenagem, delimitada a partir da seção de controle, em  $km^2$ .

**Tabela 1- Parâmetros da função de inferência para cálculo de  $Q_{7,10}$  proposto na publicação Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (Souza, 1993).**

Estação Fluviométrica Ituiutaba		Parâmetros da Tipologia						
Tipologia	Rendimento específico	A	B	Y	R	S	M	N
231	$1,0 < Re \leq 5,0$	0,49184	0,403638	1,006399	0,257943	0,286102	-0,0167119	-0,040345

A diferença entre os valores de vazão encontrado pelo emprego da metodologia Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), com aqueles calculados a partir dos dados reais observados na série histórica, foi avaliada estatisticamente com emprego de Erro Absoluto (Equação 11) e Erro Relativo Percentual (Equação 12).

\*

Em que: EA se refere ao erro absoluto, em  $m^3 s^{-1}$ ; ERP é o erro relativo percentual, em %;  $Q_{obs}$  é a vazão observada calculada com dados observados na estação fluviométrica, em  $m^3 s^{-1}$ ;  $Q_{est}$  demonstra a vazão estimada com base em Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), em  $m^3 s^{-1}$ .

## RESULTADOS

Para melhor avaliação dos dados observados, considerados reais e base de parâmetro na avaliação de erro entre as metodologias aplicadas, executou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. O intuito do teste foi verificar a aderência dos dados

observados de  $Q_{7Anual}$  às distribuições de probabilidades Gumbel e Log-Pearson Tipo III, sendo a avaliação positiva como está demonstrado na Tabela 2.

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi realizado, com nível de significância a 1 %, a fim de verificar a aderência dos dados obtidos de  $Q_{7Anual}$  nas metodologias adotadas, nota-se, portanto, que as probabilidades utilizadas são adequadas ao propósito desta pesquisa.

**Tabela 2: Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de mínima vazão anual média de sete dias de duração ( $Q_{7Anual}$ ), observados na Estação Fluviométrica Ituiutaba.**

$N^1$	$\Delta ftabelado^2 (\alpha = 0,01)$	Distribuição de probabilidade	$\Delta f_{máximo}^3$	Conclusão
55	0,220	Gumbel <sup>4</sup>	0,185	Aceita
		Log-Pearson Tipo III <sup>5</sup>	0,166	Aceita

Nota: <sup>1</sup> tamanho da amostra; <sup>2</sup> valor crítico para a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov (tabelado); <sup>3</sup> maior diferença entre as frequências observadas e calculadas; <sup>4</sup> distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos (Assintótica de Valores Extremos do Tipo I); <sup>5</sup> distribuição de probabilidade Log-Pearson Tipo III.

Os valores de  $Q_{7,10}$  calculados pelo modelo de distribuição Gumbel e Log-Pearson Tipo III, foram respectivamente de 15,472  $m^3 s^{-1}$  e 15,143  $m^3 s^{-1}$ , não demonstrando diferença relevante nos resultados (Tabela 3). Há muitos trabalhos que evidenciam que dentre as distribuições Gumbel, Log-Normal a 2 e 3 parâmetros, Pearson e Log-Pearson Tipo III, os cálculos estatísticos pelo método Gumbel se ajustam na maior parte das séries de dados (BACK, 2001; SILVA et al., 2003). No entanto, Caldeira et al. (2015) afirmam que esta distribuição também pode não ser adequada aos dados estudados. Segundo Finkler (2015), na análise de vazões mínimas, a distribuição Log-Pearson Tipo III se mostrou mais adequada. Para a realização da escolha do método mais adequado deve-se avaliar o tamanho da amostra e a quantidade de dados que estão sendo trabalhados.

Ao avaliar valores de  $Q_{7,10}$  calculados por meio do referencial bibliográfico Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, o valor obtido de 5,77  $m^3 s^{-1}$  apresentou erro absoluto em relação ao teste Gumbel equivalente a 9,70  $m^3 s^{-1}$  subestimados, referente a 62,7% (Tabela 3). Comparando com o erro absoluto de Log-Pearson Tipo III, obteve subestimativa de 9,37  $m^3 s^{-1}$ , equivalente a 61,89% (Tabela 3). Com esses resultados fica visível a diferença nos valores de  $Q_{7,10}$  para o Rio Tijuco quando são comparados valores das vazões de referência obtidas por métodos estatísticos e pela metodologia proposta em Deflúvios Superficiais de Minas Gerais. Em razão disso, podemos inferir que a metodologia proposta pela citada obra é o método, entre os estudados neste trabalho, com maiores incertezas para representar os valores próximos dos reais referente à vazão no Rio Tijuco, Minas Gerais.

**Tabela 3: Valores de  $Q_{7,10}$ , métodos empregados e erros de estimativa verificados na Estação Fluviométrica Ituiutaba.**

Método de Estimativa de $Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Erro de estimativa			
		Em relação a Gumbel		Em relação a Log Pearson Tipo III	
		Absoluto ( $m^3/s$ )	Relativo (%)	Absoluto ( $m^3/s$ )	Relativo (%)
Gumbel <sup>1</sup>	15,47	...	...	...	...
Log-Pearson III <sup>2</sup>	15,14	...	...	...	...
Deflúvios <sup>3</sup>	5,77	9,70	- 62,70	9,37	- 61,89

Nota: <sup>1</sup> estimativa de  $Q_{7,10}$  a partir dos dados observados de  $Q_{7Anual}$ , usando a distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos; <sup>2</sup> estimativa de  $Q_{7,10}$  a partir dos dados observados de  $Q_{7Anual}$ , usando a distribuição de probabilidade Log-Pearson Tipo III; <sup>3</sup> Deflúvios Superficiais de Minas Gerais; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível.

Deve-se levar em consideração que o rendimento específico adotado para os cálculos da  $Q_{7,10}$  pela metodologia Deflúvios Superficiais de Minas Gerais foi 1, pois estimou-se a vazão mínima de referência do curso hídrico, sendo que a tipologia fornece escala de rendimento específico de 1 a 5. Este fato pode justificar o baixo valor da  $Q_{7,10}$  estimada pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais frente aos valores calculados pelos métodos estatísticos com base em dados da série histórica.

Tal condição pode estar contribuindo para o aumento das áreas de conflito no Estado de Minas Gerais e transtornos para obtenção de outorgas, caso a metodologia adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM em cálculo de disponibilidade hídrica nos processos de outorga para uso de água, esteja subestimando os valores reais de vazão de referência dos afluentes superficiais de Minas Gerais.

A Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março de 2008, define que para o estado de Minas Gerais, a vazão máxima outorgável não deve ser superior a 50% da  $Q_{7,10}$ , para atender aos usos múltiplos dos recursos hídricos. Adotando-se essa diretriz, a vazão mínima superficial que deve ser mantida no recurso hídrico após as retiradas autorizadas, definida como vazão residual, conforme explicam Benetti et al. (2003), deve ser de pelo menos 50% da  $Q_{7,10}$ .

## CONCLUSÃO

Constatou-se elevada discrepância entre os valores calculados de  $Q_{7,10}$  com base em dados da série histórica por meio das distribuições estatísticas de Gumbel e Log-Pearson Tipo III, comparados com o valor encontrado por intermédio da metodologia Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, quando trabalhados dados da Estação Fluviométrica Ituiutaba, presente no Rio Tijuco, em Minas Gerais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Back, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Meteorologia, v.16, p.211-222, 2001.
2. Benetti, A.D., Lanna, A.E., Cobalchini, M.S. (2003). Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 8: 149-169.
3. Caldeira, T. L.; Beskow, S.; Mello, C. R.; Faria, L. C.; Souza, M. R.; Guedes, H. A. S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 19, n. 3, p.197-203, 2015. SOUZA, S. M. T. (1993). Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais. Hidrossistemas - Belo Horizonte - MG. 264p.
4. Finkler, N. R.; Mendes, L. A.; Schneider, E. H. M.; Bortolin, T. A.; Schneider, V. E. Comparação de funções de distribuição de probabilidades na determinação de vazão mínima anual e sazonal. Scientia cum Industria, v. 3, n. 2, p. 42-49, 2015.
5. Mello, C. R.; Silva, A. M. (2013). Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Editora UFLA - Lavras - MG. 455 p.
6. Silva, D. D.; Pereira, S. B.; Pruski, F. F.; Filho, R. R. G.; Lana, A. M. Q.; Baena, L. G. N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins. Engenharia na Agricultura, v.11, p.7-14, 2003.
7. Souza, S. M. T. (1993). Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais. Hidrossistemas - Belo Horizonte - MG. 264p.