



COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DE $Q_{7,10}$ EM QUATRO ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DE MINAS GERAIS

DOI: 10.19177/rgsav8e22019213-229

Márcia Regina Batistela Moraes¹
Fernando Justino Nascimento Matias²
Darione Alves Leal³
Plínio Victor Palmeziano de Velloso Vianna⁴
Roberto Terumi Atarassi⁵
Hudson de Paula Carvalho⁶

RESUMO

No Estado de Minas Gerais, a legislação que trata de outorga de uso de recursos hídricos tem como referência a menor vazão média consecutiva de sete dias com retorno de dez anos - $Q_{7,10}$, sendo fundamental haver confiabilidade em seu cálculo devido à interferência na concessão de direito de uso da água e na manutenção do potencial hídrico do corpo d'água. Diante deste fato, este trabalho teve como objetivo mensurar a discrepância entre os valores de $Q_{7,10}$ estimados por meio do Atlas Digital das Águas de Minas e do Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, com os calculados pelo método de Gumbel para mínimos e log normal a três parâmetros. Para isso, foram utilizados dados de vazão de cinco estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. Como principais resultados, cita-se a alta discrepância entre os valores calculados pela metodologia Gumbel e os estimados por meio do Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, com erro relativo de -15,44% a -87,18%. Quando comparado com os valores calculados pelo método log normal a três parâmetros, esse erro variou de -22,26% a -88,62%. A metodologia empregada no Atlas Digital das Águas de Minas apresentou erro relativo médio de +3,10% a -81,84% quando comparado com o resultado obtido pelo método de Gumbel para mínimos e, de -10,13 a -83,88% quando comparado com os dados estimados por log normal a três parâmetros.

Palavras-Chave: Escoamento superficial. Rendimento específico. Vazão de referência. Hidrometria.

¹ Eng. Agrônoma, Mestre em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: marcia.batistela@ufu.br

² Meteorologista, Mestrando em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), E-mail: Fernandomatias73@gmail.com

³ Bacharel em Química, Mestrando em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: darioneleal@hotmail.com

⁴ Engenheiro Ambiental pela Universidade de Uberaba (Uniube). E-mail: pliniopvv@gmail.com

⁵ Professor, Doutor, Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: robertota@ufu.br

⁶ Professor, Doutor, Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: hudsonpc@ufu.br

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de descrever e prever o comportamento hídrico estimula estudos e pesquisas sobre fatores hidrológicos, dentre eles, a vazão do corpo de água, retratando o resultado do balanço hídrico e a disponibilidade de água nas dimensões espacial e temporal.

Estudos focados em baixas vazões vêm sendo desenvolvidos, relacionados aos impactos antrópicos e às mudanças climáticas (RYU et al., 2011; PFANNERSTILL et al., 2014; TRUDEL et al., 2017), com crescente reconhecimento da importância deste tipo de estudo para manutenção de ecossistemas e sustentabilidade da economia (GOTTSCHALK et al., 2013).

Outros autores sugerem metodologias alternativas e complementares àquelas usualmente estabelecidas em cálculos de vazão. OUYANG (2012), estudando bacias hidrográficas na Flórida e Mississipi (EUA), propôs uma metodologia de baixas vazões garantidas em 80% do tempo, através de análise e programação de dados reais das últimas décadas, assegurando proteção e manutenção da biota, com vantagem de independência na composição temporal das séries históricas.

Dados de vazão são utilizados no gerenciamento de recursos hídricos, sendo base de cálculo de volumes disponíveis aos usuários. A disponibilidade hídrica é calculada através da vazão de referência, sendo uma cota destinada à captação de acordo com as legislações estaduais referentes à concessão de outorga. No Brasil, são normalmente utilizadas como vazão de referência a Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$.

A $Q_{7,10}$ é a menor vazão média consecutiva de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos, utilizada em Minas Gerais em assuntos que tratem de outorga de uso de recursos hídricos, sendo a vazão de referência no cálculo da disponibilidade hídrica superficial em bacias hidrográficas do Estado, normatizada na Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548 (MINAS GERAIS, 2012).

Segundo a citada resolução, o limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados, por cada seção considerada em condições naturais, limita-se a 50% da $Q_{7,10}$, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes ao valor citado.

A estimativa segura desta vazão de referência se torna primordial, pois o valor referente à vazão estabelecida para determinado corpo de água pode inviabilizar a

concessão de direito de uso da água ou extrapolar o potencial hídrico ofertado (SOUZA, 1993).

Nesta linha de raciocínio, Almeida et al. (2014) realizou um estudo de disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Rio Miranda em Mato Grosso do Sul. O objetivo foi analisar a utilização dos métodos de distribuição de probabilidade Normal, Log-Normal, Weibull, Gumbel e Log-Gumbel aos dados de vazões $Q_{7,10}$. A aderência das probabilidades estimadas às frequências observadas foi feita pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Como resultado, os autores verificaram que a distribuição Log-Gumbel apresentou o melhor desempenho no ajuste do valor da $Q_{7,10}$, porém, a distribuição Gumbel atingiu o segundo melhor desempenho.

As publicações Atlas Digital das Águas de Minas (EUCLYDES, 1993) e Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993) são base de consulta para estimativa de valores de vazão por parte de órgãos ambientais competentes, quando solicitadas concessões de outorga de uso de recursos hídricos, no Estado de Minas Gerais.

Peters et al. (2012) atribuem aos hidrólogos a função de determinar a quantidade de água necessária para sustentar o ecossistema aquático e serviços ecológicos, apoiando a distribuição sensata de água para uso agrícola. Esta preocupação se reflete neste trabalho após a verificação de subestimação de vazão por métodos quantitativos empregados por órgão oficiais ambientais. Esses autores relatam ainda a preocupação com fluxos mínimos definidos em volumes abaixo do necessário para a manutenção do ecossistema, porque os complexos requisitos de habitat da biota são fortemente influenciados por variações temporais previsíveis que possam interferir no fluxo, podendo a superexploração da água prejudicar a manutenção e viabilidade do corpo hídrico.

A necessidade de mensuração segura de mínimas vazões motivou a realização deste trabalho, com objetivo de determinar e quantificar a discrepância entre os valores de $Q_{7,10}$, estimados com base nas metodologias propostas nas citadas obras, com valores calculados dessa variável a partir dos dados observados em 5 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - MG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari está localizada entre as latitudes 18°21'S e 20°10'S e longitudes 46°00'O e 48°50'O, Estado de Minas Gerais (Figura 1). Drena uma área de 22091 km² e faz parte da mesorregião geográfica Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

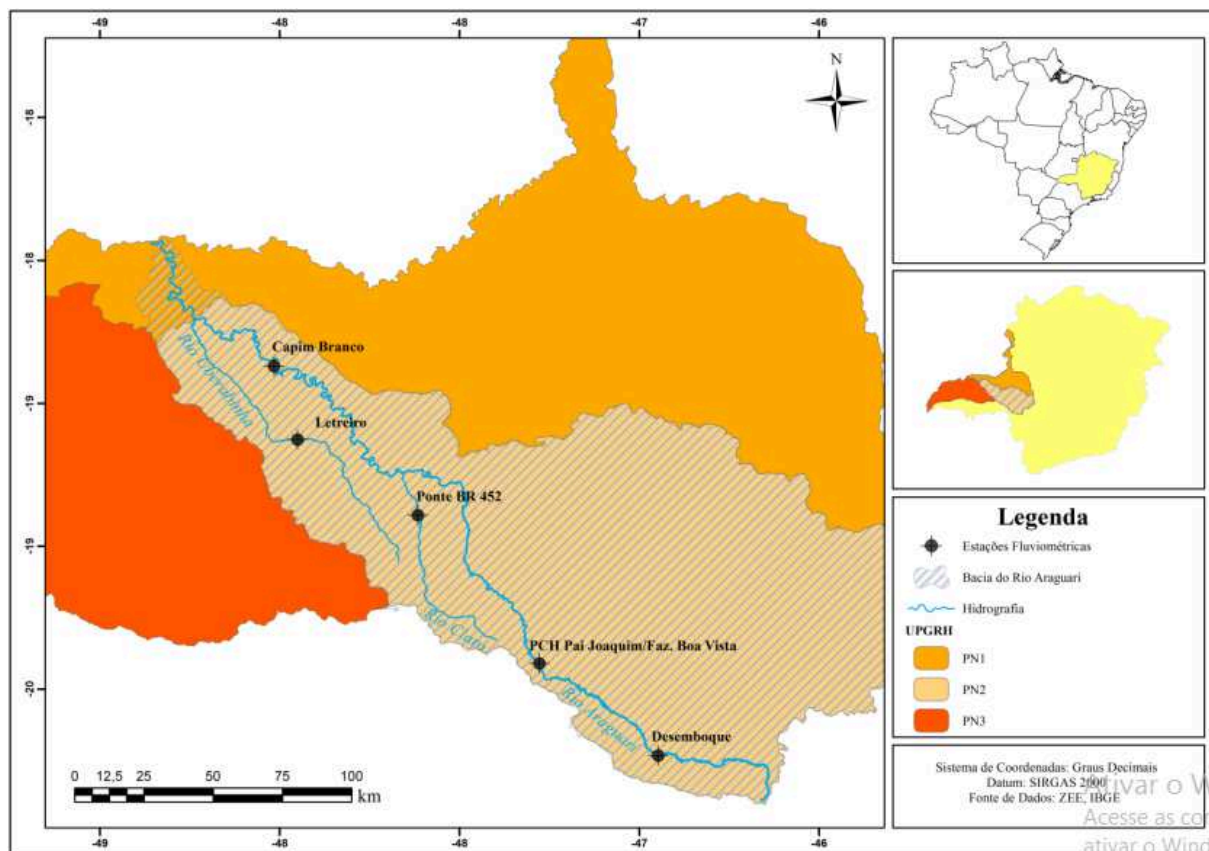
Com nascente em São Roque de Minas, a 1180 m de altitude, e foz no Rio Paranaíba, afluente do Rio Grande, o Rio Araguari ajuda a compor a Bacia Transnacional do Rio Paraná. Sua foz localiza-se na divisa entre os municípios de Araguari e Tupaciguara, a 510 m de altitude.

Os municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari são: Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Santa Juliana, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia.

O clima na região é classificado por Köppen e Geiger como Tropical Aw, apresentando estações chuvosa e seca bem definidas (SILVA et al., 2008). A estação chuvosa tem início em outubro e se estende até março, com destaque para os meses de novembro, dezembro e janeiro com maiores médias mensais de precipitação (entre 1400 e 1600 mm).

A vegetação predominante na região em estudo está inserida no bioma Cerrado (RIBEIRO & VALTER, 2008) e grande parte dos solos sob a vegetação deste bioma, especialmente Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, pertence à classe Latossolo (REATTO et al., 2008).

Figura 1. Imagem ilustrando a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari e destacando o posicionamento, na citada bacia, dos rios e das estações fluviométricas estudadas neste trabalho.



Neste trabalho foram utilizados dados diários de vazão de cinco estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Araguari, MG (Tabela 1), localizadas entre as latitudes $18^{\circ}45''S$ e $20^{\circ}08''S$ e longitudes $47^{\circ}11'O$ e $48^{\circ}16'O$ (Figura 1), selecionadas pela disponibilidade e longevidade das séries históricas, sendo: Desemboque, PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro.

Este trabalho abrangeu os rios Araguari, Claro e Uberabinha, sendo os dois últimos, importantes afluentes do primeiro, cujas águas abastecem parte dos municípios de Uberaba e Uberlândia, respectivamente.

Tabela 1. Informações das estações fluviométricas utilizadas neste trabalho

Código Hidroweb	Nome	Rio	Operadora ¹	Área de drenagem (km ²)	Coordenada geográfica
60220000	Desemboque	Araguari	CPRM	1.070	20°00'50"S 47°01'02"O
60228000	PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista	Araguari	CEMIG	2.970	19°48'53"S 47°24'19"O
60336000	Ponte BR 452	Claro	CEMIG	1.040	19°13'60"S 47°47'60"O
60360000	Capim Branco	Araguari	Furnas	18.700	18°45'00"S 48°16'00"O
60381000	Letreiro	Uberabinha	CPRM	777	18°59'18"S 48°11'25"O

¹CPRM = Serviço Geológico do Brasil; CEMIG = Companhia Energética de Minas Gerais; Furnas = empresa de economia mista, subsidiária da Eletrobrás e vinculada ao Ministério de Minas e Energia.

Dados diários de vazão das estações Desemboque, PCH Pai Joaquim - Fazenda Boa Vista e Letreiro foram coletados no sistema Hidroweb, administrado pela Agência Nacional de Águas - ANA. Dados diários de vazão das estações Ponte BR-452 e Capim Branco foram obtidos junto à Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG.

Na Tabela 2 estão dispostos os períodos das séries históricas de dados diários coletados no Hidroweb e junto aos órgãos operadores das estações. Alguns anos foram descartados, quando na análise visual da série de dados foram identificados valores de vazão exatamente iguais por longos períodos (meses).

Outro motivo de descarte de dados foi presença de queda brusca e acentuada nos valores de vazão do Rio Araguari, principalmente no mês de janeiro, repetidas vezes na estação Capim Branco, inferindo-se que tal fato se deve à manobra na comporta do vertedouro da usina hidroelétrica Amador Aguiar I, localizada à montante dessa estação e não por fatores hidrológicos.

Tabela 2. Períodos em anos das séries históricas das estações fluviométricas

Código e nome da estação fluviométrica	Período	Anos excluídos	Total da série (anos)
60220000 - Desemboque	1956 a 2014	1971, 1988, 2008 a 2010	53
60228000 - PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista	1990 a 2014	1999 e 2013	22
60336000 - Ponte BR-452	1955 a 2009	1962 a 1966, 1969, 1970, 1986 a 1988, 1991 a 1994 e 2003 a 2006	36
60360000 - Capim Branco	1970 a 2005	1977, 1993, 1994, 1997 e 1998	30
60381000 - Letreiro	1979 a 2014	1987 e 1988	33

Os dados foram organizados em planilha eletrônica, extraíndo-se o valor da vazão anual mínima de sete dias de duração ($Q_{7\text{Anual}}$) e a partir desta os valores de $Q_{7,10}$ foram calculados por meio dos modelos de distribuição de probabilidade Gumbel para mínimos ou Assintótica de Valores Extremos do Tipo I (Eqs 1 a 3) e log-normal a 3 parâmetros (LogNormal3P) (Eqs 4 a 10), seguindo parametrização (MELLO e SILVA, 2013).

Gerado o valor de $Q_{7,10}$ padrão, todos os parâmetros dos modelos de distribuição de probabilidade foram estimados pelo método dos momentos. Além disso, os modelos de distribuição de probabilidade também foram submetidos ao teste de adequacidade de Kolmogorov-Smirnov, com $\alpha = 0,05$. A frequência observada foi estimada pela metodologia de Weibull (MELLO e SILVA, 2013).

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

$$\sigma = \frac{1,2826}{s} \quad (2)$$

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

$$Q_{7,10 \text{ LN}} = e^{\mu_n + z \cdot \sigma_n} + \beta \quad (4)$$

$$\mu_n = \text{LN} \left(\frac{s}{\eta_y} \right) - 0,5 \cdot \text{LN} \quad (5)$$

$$\eta_y = \frac{(1 - \phi^{2/3})}{\phi^{1/3}} \quad (6)$$

$$\phi = \frac{[-\gamma + (\gamma^2 + 4)^{0,5}]}{2} \quad (7)$$

$$y = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (8)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\text{LN}(\eta_y^2 + 1)} \quad (9)$$

$$\beta = \bar{Q}_{7 \text{ Anual}} - \frac{s}{\eta_y} \quad (10)$$

Onde:

$Q_{7,10 \text{ Gb}}$ - menor vazão média consecutiva de 7 dias, com tempo de retorno de 10 anos, estimada pelo método probabilístico de Gumbel para mínimos, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

TR - tempo de retorno, considerou-se 10 anos;

σ e μ - parâmetros da distribuição Gumbel para mínimos, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

s - desvio padrão amostral, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

$\bar{Q}_{7 \text{ Anual}}$ - vazão anual mínima de sete dias consecutivos, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

$Q_{7,10 \text{ LN}}$ - menor vazão média consecutiva de 7 dias, com tempo de retorno de 10 anos, estimada pelo método probabilístico LogNormal 3P, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

μ_n , η_y , ϕ , σ_n e β - parâmetros da distribuição LogNormal 3P, adimensional;

β - parâmetro da distribuição LogNormal 3P, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

y - coeficiente de assimetria corrigido, adimensional.

A vazão $Q_{7,10}$ calculada por Gumbel e LogNormal 3P, a partir dos dados de $Q_{7 \text{ Anual}}$, estimada para cada estação, foi comparada com os resultados fornecidos pelas publicações Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e Atlas Digital das Águas de Minas.

Souza (1993), na obra Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, indica os modelos para estimativa de vazão, na área de estudo, detalhados nas Eqs 11 a 13, sendo os parâmetros determinados de acordo com a tipologia homogênea e rendimento específico da região de inserção da estação fluviométrica (Tabela 3).

$$Q_{7,10} = F_{D,T} \cdot Q_{M,10} \quad (11)$$

$$F_{D,T} = (\alpha + \beta \cdot \gamma^D) \cdot (\log T)^{-(r \cdot \log T + s)} \cdot D^{(m+n \cdot \log^2 T)} \quad (12)$$

$$Q_{M,10} = Re \cdot Ad \quad (13)$$

Onde:

$F_{D,T}$ - Fator de proporção, adimensional;

α , β , γ , r , s , m , n - parâmetros da função de inferência, variáveis de acordo com a Tipologia Homogênea e Rendimento Específico, adimensional;

D - Número de dias que compõem a média consecutiva, em dias;

T - Tempo de retorno, em anos;

$Q_{M,10}$ - Vazão mínima de duração mensal e tempo de retorno de 10 anos, em $m^3 s^{-1}$;

Re - Rendimento específico, em $m^3 s^{-1} km^{-2}$

Ad - Área de drenagem, delimitada a partir da seção de controle, em km^2

Tabela 3. Resultados da função de inferência para cálculo de $Q_{7,10}$ proposto em Souza (1993)

Estação fluviométrica		Estação ¹	Estação ²	Estação ³
Tipologia		321	331	332
Parâmetros ⁴	α	0,47559	0,48308	0,48318
	β	0,40698	0,41451	0,39846
	γ	1,00656	1,00589	1,00750
	r	0,18965	0,21611	0,27935
	s	0,18027	0,22627	0,34931
	m	-0,02649	-0,01650	-0,01022
	n	-0,04310	-0,04314	-0,03700
Rendimento específico		5,0 < Re ⁵ <= 10,0		1,0 < Re ⁵ <= 5,0

Nota: ¹Desemboque; ²PCH Pai Joaquim/Faz. Boa Vista, Ponte BR-452 e Capim Branco; ³Letreiro; ⁴Parâmetros estatísticos propostos na publicação Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993); ⁵Rendimento específico

Calculou-se a magnitude da $Q_{7,10}$, seguindo também a modelagem proposta na publicação Atlas Digital das Águas de Minas (EUCLYDES, 1993), descrita na equação 14, tendo como variável somente a área de drenagem da bacia - Ad (Tabela 1) a partir da seção de controle delimitadas a partir das estações fluviométricas.

$$Q_{7,10} = 0,0038 \cdot Ad^{0,9450} \quad (14)$$

A estatística usada na mensuração da discrepância entre valores de $Q_{7,10}$, estimados com base em Deflúvios Superficiais e Atlas Digital, com os valores calculados dessa variável a partir de dados observados em cada estação

(considerados como padrão) foi o Erro Absoluto (Eq 16) e o Erro Relativo Percentual (Eq 17).

O sinal negativo no valor do erro relativo percentual indica que o método subestima o valor da $Q_{7,10}$ em comparação com os dados observados na estação fluviométrica, ao passo que o sinal positivo indica superestimativa.

$$EA = Q_{est} - Q_{calc} \quad (16)$$

$$ERP = \frac{EA}{Q_{calc}} \cdot 100 \quad (17)$$

Onde:

EA - erro absoluto, em $m^3 s^{-1}$;

ERP - erro relativo percentual, em %;

Q_{calc} - vazão calculada com base em dados observados, em cada estação fluviométrica, em $m^3 s^{-1}$;

Q_{est} - vazão estimada por meio dos modelos matemáticos a serem gerados, pelo Atlas Digital das Águas de Minas (EUCLYDES, 1993) e pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais (SOUZA, 1993), em cada estação fluviométrica, em $m^3 s^{-1}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO



Aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência dos dados observados de Q_{7Anual} às distribuições de probabilidades. Conforme explicitado na Tabela 4, os modelos de distribuição de probabilidade Gumbel para mínimos e log-normal a 3 parâmetros foram aprovados nesse teste, onde se verificou que os $\Delta f_{tabelado}$ para a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov foi maior do que a maior diferença entre as frequências calculadas pelos modelos de distribuição de probabilidade usados neste trabalho e as frequências observadas.

Tabela 4. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de vazão anual mínima de sete dias de duração (Q_{7Anual}), observados nas cinco estações fluviométricas avaliadas neste trabalho

Estação fluviométrica	N ²	$\Delta f_{\text{tabelado}}^3$ ($\alpha = 0,05$)	Distribuição de probabilidade	$\Delta f_{\text{máx}}^1$
Desemboque	54	0,185	Gumbel ⁴	0,153
			LogNormal3P ⁵	0,078
Boa Vista	23	0,282	Gumbel	0,237
			LogNormal3P	0,152
Ponte BR-452	37	0,310	Gumbel	0,170
			LogNormal3P	0,255
Capim Branco	31	0,238	Gumbel	0,151
			LogNormal3P	0,052
Leteiro	34	0,238	Gumbel	0,157
			LogNormal3P	0,098

Nota: ¹ maior diferença entre as frequências observadas e calculadas; ² tamanho da amostra em anos; ³ valor crítico para a estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov (tabelado); ⁴ distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos (Assintótica de Valores Extremos do Tipo I); ⁵ distribuição de probabilidade Log-Normal a 3 parâmetros; ⁶ a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Os valores de $Q_{7,10}$ calculados e os estimados neste trabalho estão reunidos na Tabela 5. Nessa tabela estão compilados também as estimativas de Erro Absoluto e Erro Relativo Percentual. É importante destacar, que a comparação mais justa dos resultados obtidos por meio do Atlas Digital das Águas de Minas é com o modelo Log-Normal a 3 parâmetros (LogNormal3P), uma vez que a bibliografia citada não usa o método Gumbel como forma de estimativa de $Q_{7,10}$ em sua base de cálculos.

Ao se analisar os resultados da $Q_{7,10}$ calculada por Gumbel e LogNormal3P, na Estação Fluviométrica Desemboque (Tabela 5), verificam-se valores de 5,70 e 6,20 $m^3 s^{-1}$, respectivamente. Na avaliação dos resultados obtidos por meio das bibliografias Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e pelo Atlas Digital das Águas de Minas, os valores encontrados foram, respectivamente, de 4,82 e 2,77 $m^3 s^{-1}$. Notadamente para Atlas Digital das Águas de Minas, essa discrepância se refletiu nos erros absoluto e relativo, os quais foram, respectivamente, de 2,93 $m^3 s^{-1}$ e -51,40% quando comparado com Gumbel, e 3,43 $m^3 s^{-1}$ e -55,32% em relação à LogNormal3P.

Tabela 5. Valores de $Q_{7,10}$, métodos e erros de estimativa, verificados nas estações fluviométricas Desemboque, PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista, Ponte BR-452, Capim Branco e Letreiro

Estação	Método de estimativa de $Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$)	Erro de estimativa			
			Em relação a Gumbel		Em relação a LogNormal3P	
			Absoluto ($m^3 s^{-1}$)	Relativo (%)	Absoluto ($m^3 s^{-1}$)	Relativo (%)
Desemboque	Gumbel ¹	5,70	...	...	...	...
	LogNormal3P ²	6,20	...	...	...	...
	Deflúvios ³	4,82	0,88	-15,44	1,38	-22,26
	Atlas Digital ⁴	2,77	2,93	-51,40	3,43	-55,32
Boa Vista	Gumbel ¹	14,98	...	...	...	...
	LogNormal3P ²	16,87	...	...	...	...
	Deflúvios ³	1,92	13,06	-87,18	14,95	-88,62
	Atlas Digital ⁴	2,72	12,26	-81,84	14,15	-83,88
Ponte BR-452	Gumbel ¹	2,62	...	...	...	...
	LogNormal3P ²	3,00	...	...	...	...
	Deflúvios ³	0,95	1,66	-63,62	2,05	-68,29
	Atlas Digital ⁴	2,70	0,08	3,10	0,30	-10,13
Capim Branco	Gumbel ¹	106,73	...	...	...	...
	LogNormal3P ²	111,96	...	...	...	...
	Deflúvios ³	17,11	89,62	-83,97	94,85	-84,72
	Atlas Digital ⁴	41,37	65,36	-61,24	70,59	-63,05
Letreiro	Gumbel ¹	2,14	...	...	...	...
	LogNormal3P ²	2,37	...	...	...	...
	Deflúvios ³	0,70	1,44	-67,29	1,67	-70,43
	Atlas Digital ⁴	2,05	0,09	-4,21	0,32	-13,40

Nota: ¹ estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de Q_{7Anual} , usando a distribuição de probabilidade Gumbel para mínimos; ² estimativa de $Q_{7,10}$ a partir dos dados observados de Q_{7Anual} , usando a distribuição de probabilidade LogNormal3P; ³ Deflúvios Superficiais de Minas Gerais; ⁴ Atlas Digital das Águas de Minas; a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Apesar de altos, esses erros relativos estão no intervalo de valores encontrado por Silva et al. (2006). Esses autores compararam valores de vazão mínima de sete dias consecutivos calculados com dados de estações fluviométricas localizadas a montante do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos - Alto Rio Grande, MG, com valores obtidos pela metodologia proposta por Deflúvios

Superficiais de Minas Gerais. O intervalo de erro relativo encontrado foi de -4,17% a 46,34%.

Em relação a Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, também houve diferença marcante entre os dados observados e aqueles obtidos por meio dessa bibliografia. Os erros absoluto e relativo encontrados foram, respectivamente, de $0,88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e -15,44% quando comparado com Gumbel, e $1,38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e -22,26% em relação à LogNormal3P. Nas duas metodologias houve subestimativa no valor da $Q_{7,10}$.

Analisando dados referentes à Estação Fluviométrica PCH Pai Joaquim/Fazenda Boa Vista, nota-se que as metodologias contidas em Deflúvios Superficiais e Atlas Digital, proporcionaram erros elevados em relação à vazão calculada. O erro relativo ficou acima de -80% (Tabela 5) para ambas as literaturas, quando comparados com a $Q_{7,10}$ calculada por meio de Gumbel e LogNormal3P.

Esse erro elevado se justifica porque as duas bibliografias, Deflúvios Superficiais de Minas Gerais e Atlas Digital das Águas de Minas, apresentam modelos de regressão ajustados para grandes áreas consideradas hidrologicamente homogêneas, podendo ser assim consideradas em visão macro, porém, o resultado obtido neste trabalho mostra que a forma de avaliação deve ser revista.

Analisando os dados obtidos na Estação Fluviométrica Ponte BR 452, nota-se o bom desempenho alcançado por Atlas Digital das Águas de Minas, onde os erros absoluto e relativo verificados foram, respectivamente, de $0,08 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e 3,10%, quando comparados com valores calculados por meio da distribuição Gumbel.

Quando se comparou Atlas Digital com a distribuição LogNormal3P, uma das indicadas na citada bibliografia, o erro absoluto foi de $0,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, relativo a subestimativa de 10,13%. Esse valor de erro permite afirmar que o Atlas Digital das Águas de Minas pode ser usado para a estimativa da vazão na Estação Fluviométrica Ponte BR-452 com segurança.

Por outro lado, verifica-se, para esta estação fluviométrica, que a metodologia proposta em Deflúvios Superficiais de Minas Gerais proporcionou erros muito elevados em relação aos dados calculados (Gumbel e LogNormal3P). O erro relativo ficou acima de -60% na comparação de $Q_{7,10}$ calculada por meio de

Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros, a partir dos valores dessa vazão observados.

Analisando dados da Estação Fluviométrica Capim Branco (Tabela 5), nota-se que as metodologias contidas em Deflúvios Superficiais e em Atlas Digital proporcionaram erros elevados em relação aos dados calculados (Gumbel e LogNormal3P). O erro relativo ficou acima de -80% para Deflúvios Superficiais e acima de -60% para o Atlas Digital, quando comparados com a $Q_{7,10}$ calculada.

Visando otimizar o uso da água, BOF et al. (2013) estudaram variações de vazão de referência buscando auxiliar órgãos responsáveis pela gestão hídrica, sugerindo e demonstrando o impacto do uso de diferentes critérios para definição da vazão mínima, concluindo que critérios baseados em fluxo único correspondente às condições anuais afetam negativamente os usuários porque impõe restrição à retirada de água.

Como se verifica neste estudo, a restrição imposta pelo método empregado em Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, base de cálculo para volumes outorgáveis de água no Estado, não é confirmada quando se emprega metodologia fundamentada em dados da série histórica.

Avaliando dados de $Q_{7,10}$ calculados e estimados para a Estação Fluviométrica Letreiro (Tabela 5), verifica-se que o erro percentual calculado para a $Q_{7,10}$, foi subestimado em 67% e 71%, respectivamente para Gumbel e LogNormal3P, em relação aos valores estimados pelo Deflúvios Superficiais de Minas Gerais.

Contrariamente, para a Estação Fluviométrica Letreiro (Tabela 5), os valores gerados pela metodologia sugerida em Atlas Digital das Águas de Minas apesar de se apresentarem também subestimadas, obtiveram erros percentuais menores, entre -4% e -14%, respectivamente para Gumbel e LogNormal3P.

4 CONCLUSÃO

A estimativa da vazão mínima de sete dias de duração com período de retorno de dez anos feita pela publicação Deflúvios Superficiais de Minas Gerais, nas estações fluviométricas avaliadas, apresentou subestimativas que variaram de -15,44% a -88,62%, quando comparadas com os dados calculados pelo modelo de distribuição de probabilidades Gumbel e Log-Normal a 3 parâmetros. O melhor desempenho alcançado por essa publicação foi na estação fluviométrica Desemboque (-15,44%), sendo essa bibliografia, adequada para a estimativa da $Q_{7,10}$ no local dessa estação. Para as demais estações, não se recomenda a obtenção dos dados dessa variável hidrológica por meio dessa publicação. Em relação ao Atlas Digital das Águas de Minas, o erro relativo alcançou valores de -10,13% a -83,88%, quando comparado com dados estimados pelo modelo Log-Normal a 3 parâmetros. Para as estações fluviométricas Ponte BR-452 e Letreiro, o uso dessa publicação mostrou-se adequado, com erro relativo máximo de -13,40% (Letreiro). Contudo, não se recomenda o seu uso para a estimativa do $Q_{7,10}$ nas estações Desemboque, Boa Vista e Capim Branco.



COMPARISON OF METHODS TO ESTIMATE $Q_{7,10}$ IN FOUR FLUVIOMETRIC STATIONS IN MINAS GERAIS

ABSTRACT

Legislation in the State of Minas Gerais about Permits for Water Use set as reference the smallest average consecutive flow of seven days in the last ten years - $Q_{7,10}$, demanding for reliability on its computation due to interference on concessions for water use and maintenance of hydric potential of the water body. Therefore, this study measured the discrepancy among values of $Q_{7,10}$ estimated by the Digital Atlas of Waters in Minas (Atlas Digital das Águas de Minas) and by Surface Outflows in Minas Gerais (Deflúvios Superficiais de Minas Gerais), with those computed by Gumbel's method for minimums and Normal Log of Three Parameters. Flow data of five fluviometric stations located in Araguari River watershed, Minas Gerais, were used. The main results obtained include the discrepancy between the values computed by Gumbel's method and those estimated by Surface Outflows in Minas Gerais, with relative error varying between -15.44% and -87.18%. The comparison with values estimated by Normal Log of Three Parameters, this error varied from -22.26% to -88.62%. The method used in the Digital Atlas of Waters in Minas presented a relative average error of +3.10% to

-81.84% in comparison to Gumbel's method for minimums and from -10.13 to -83.88% in comparison with those estimated by the Normal Log of Three Parameters.

Keywords: Water availability. Watershed. Reference discharges. Regional hydrologic models.

REFERÊNCIAS

BOF, L. H. N.; PRUSKI, F. F.; SILVA, L. M. C.; JUSTINO, F. **Analysis of Appropriate Timescales for Water Diversion Permits in Brazil.** Environmental Management. New York, v. 51, p. 492-500, 2013. DOI: 10.1007/s00267-012-9982-7

EUCLYDES, H. P. **Atlas digital das águas de Minas:** uma ferramenta para planejamento e gestão dos recursos hídricos. 3 ed. Viçosa: UFV, 1993.

GOTTSCHALK, L.; YU, K.; LEBLOIS, E.; XIONG, L. **Statistics of low flow:** theoretical derivation of the distribution of minimum streamflow series. Journal of Hydrology, v. 481, p. 204-219, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.047>

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia:** princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.

MINAS GERAIS. Resolução Conjunta SEMAD e IGAM nº 1548 de 29 de março de 2012 SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

PFANNERSTILL, M.; GUSE, B.; FOHRER, N. **Smart low flow signature metrics for an improved overall performance evaluation of hydrological models.** Journal of Hydrology, v. 510, p. 447-458, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.044>

OUYANG, Ying. **A potencial approach for low flow selection in water resource supply and management.** Journal of Hydrology, v. 454-455, p. 56-63, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.062>

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. **Solos do bioma Cerrado:** aspectos pedológicos. In SANO, S. M.; SEMÍRAMIS, P.; RIBEIRO, J. F.

(Ed). Cerrado ecologia e flora. Brasília, Embrapa Cerrados. 2008. Cap. 5. p. 107-149.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do bioma Cerrado**. In SANO, S. M.; SEMÍRAMIS, P.; RIBEIRO, J. F. (Ed). Cerrado ecologia e flora. Brasília, Embrapa Cerrados. 2008. Cap. 6. p. 151-212.

RYU, J. H.; LEE, J. H.; JEONG, S.; PARK, S. K.; HAN, K. **The impacts of climate change on local hydrology and low flow frequency in the Geum River Basin, Korea**. Hydrological Processes. v. 25, p. 3437–3447, 2011. DOI: 10.1002/hyp.8072

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; 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, v. 10, n. 2, p. 374 - 380, 2006. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a19>

SOUZA, S. M. T. **Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrossistemas. 1993. 264p.

TRUDEL, M.; DOUCET-GÉNÉREUX, P. L.; LECONTE, R. **Assessing river low-flow uncertainties related to hydrological model calibration and structure under climate change conditions**. Journal Climate, v. 5, n. 19, 2017. DOI: 10.3390/cli5010019.