

ESTUDO DE VAZÕES MÍNIMAS $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$ DE RIOS DO PARANÁ SEGUNDO DISTRIBUIÇÃO GENERALIZADA

Manoel Moisés Ferreira de Queiroz

Doutor em Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 2069 – Cx. Postal 711 -Cascavel, PR. Brasil. CEP 85814-110. Fone: (45) 3220-3262. E-mail: mfqueiroz@unioeste.br

Silvio César Sampaio

Doutor em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 2069 – Cx. Postal 711 -Cascavel, PR. Brasil.CEP 85814-110. Fone: (45) 3220-3262. E-mail: ssampaio@unioeste.br

Benedito Martins Gomes

Doutor em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 2069 – Cx. Postal 711 -Cascavel, PR. Brasil.CEP 85814-110. Fone: (45) 3220 3175. E-mail: bmgomes@unioeste.br

Caroline Iost

Tecnóloga Ambiental Mestranda em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 2069 - Cx. Postal 711-Cascavel, PR. Brasil.CEP 85814-110. Fone: (45) 3220-3262. E-mail: carolineiost@yahoo.com.br

RESUMO - Uma das funções oferecidas pela água é a manutenção de vazões mínimas que suportem o ecossistema aquático. Os cursos d'água desde muito tempo têm sido utilizados como receptores de efluentes domésticos, industriais e agro-industriais. A carga de efluente absorvida por um rio depende da dimensão de sua vazão, assim o estudo de vazões mínimas é relevante sobre este aspecto, entre outros, onde tem sido empregada a vazão mínima de sete dias como limite para o estabelecimento da taxa de emissão que pode ser lançado em um curso d'água. O objetivo deste trabalho foi modelar as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias observadas em rios do estado do Paraná, através da distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos - GEV, utilizando o método de momentos de combinação linear das estatísticas de altas ordens (momentos LH) para estimação de seus parâmetros. Como resultado obtiveram-se ajustes da distribuição GEV às formas de valores extremos do tipo VEI (Gumbel), VEII e VEIII, sendo todos aceitos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%.

PALAVRAS-CHAVE: vazões ecológicas, momentos LH, análise de frequência, distribuição GEV.

ESTUDIO CAUDALES MÍNIMOS Q_1 , Q_7 Y Q_{10} DE LOS RIOS AMPLIA DISTRIBUCIÓN DE PARANA SEGUNDA

RESUMEN - Una de las funciones proporcionadas por el agua es el mantenimiento de caudales mínimos que el apoyo del ecosistema acuático. Los cursos de agua hace mucho tiempo han sido utilizadas como receptoras de aguas residuales domésticas, los productos industriales y agroindustriales. La carga de los efluentes absorbida por un río depende del tamaño de su flujo, por lo que el estudio de caudales mínimos es pertinente a este respecto, entre otros, se ha utilizado en el caudal mínimo de siete días como límite para el establecimiento de la tasa de emisión que puede ser liberado en un curso de agua. El objetivo fue modelar las series de flujos y un mínimo de 7 días observados en los ríos en el estado de Paraná, a través de la distribución de probabilidad generalizada de valores extremos - GEV, utilizando el método de los momentos de combinación lineal de las estadísticas de orden superior (momentos LH) para estimar sus parámetros. Como resultado se obtuvo accesos de la distribución GVE a las formas de extrema valor de tipo de VEI (Gumbel), y Veyes Veyes, todas aceptadas por la prueba de Kolmogorov-Smirnov, con nivel de significancia del 5%.

PALABRAS CLAVE: caudales ecológicos, los momentos de LH, análisis de frecuencia,

STUDIES OF MINIMUM OUTFLOWS $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$ FROM PARANA'S RIVERS ACCORDING TO GENERALIZED DISTRIBUTION

ABSTRACT - One of the functions offered by water is the maintenance of minimum outflows that supports the aquatic ecosystem. Since a long time the trajectories of the water have been used as receivers from domestic, industrial and agro-industrial effluents. The load of effluent's absorbed by a river depends on the dimension of his outflow, this way the study of minimum outflows is prominent on this aspect, from among others, where has been applied the minimum outflows of seven days as limit to the establishment of emission's rate that can be thrown in a course of water. The subject of this work was to model the series of minimum outflows of 1 and of 7 days observed in rivers from Paraná's state, through the distribution of the probability extreme worthy of generalized - GEV, using the approach for the time being of lineal combination of the statistics of high orders (moments LH) to estimate the parameters. As result obtained some adjustment of the distribution GEV to the extreme worthy forms of the kind VEI (Gumbel), VEII and VEIII, being all of them accepted by the test of Kolmogorov-Smirnov, with level of significance of 5%.

KEYWORDS: ecological outflows, LH moments, analysis of frequency, distribution GEV.

INTRODUÇÃO

Uma das variáveis requeridas para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pela água é a manutenção de vazões mínimas que suportem o ecossistema aquático. Estas vazões têm sido chamadas de residuais, remanescentes, ecológicas e ambientais (LANNA & COBALCHINI, 2003), e são definidas através de valores numéricos que representam a quantidade de água que deve permanecer no leito do rio depois de retiradas as quantidades necessárias para atender usos externos tais como abastecimento público, industrial, irrigação e, em algumas instâncias, energia elétrica e atividades de recreação.

Em diversas atividades econômicas a água constitui um fator de produção cujos quantitativos podem atingir valores elevados dependendo da natureza da atividade. Os cursos d'água desde muito tempo têm sido utilizados como receptores de efluentes domésticos, industriais e agro-industriais. A carga de efluente absorvida por um rio depende da dimensão de sua vazão, assim o estudo de vazões mínimas é relevante sobre este aspecto, entre outros, onde tem sido empregada a vazão mínima de sete dias como limite para o estabelecimento da taxa de emissão que pode ser lançado em um curso d'água. De modo geral, a estimação da vazão de sete dias é feita através da análise de frequência utilizando modelos de distribuição de probabilidade conhecido. Recentemente, a distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos (GEV), introduzida por Jenkinson (1955), tem encontrado muitas aplicações em hidrologia, com crescente aceitação para descrição dos eventos extremos naturais, decorrente da consideração teórica de que a distribuição de valores extremos de uma amostra converge assintoticamente para uma das três formas de valores extremos reunidas através da

distribuição GEV, independente de sua distribuição subjacente (WANG,1997a). O uso da distribuição GEV associado ao método de estimação de parâmetros dos momentos de combinação lineares das estatísticas de altas ordens (momentos LH) tem produzido bons resultados de ajustes a dados de eventos hidrológicos máximos (WANG, 1997B; QUEIROZ, 2002; QUEIROZ & CHAUDHRY, 2003).

Esse trabalho teve como objetivo modelar as séries de vazões mínimas de um e de sete dias de duração, observadas em vários rios do Paraná através da distribuição GEV, utilizando o método dos momentos de combinação lineares das estatísticas de altas ordens (momentos LH) para estimação de seus parâmetros. Além de proceder a uma análise comparativa entre as distribuições de vazões mínimas diárias de 1 e de 7 dias, e de seus quantis com 10 anos de recorrência, representadas por $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$, respectivamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de vazões mínimas de 1 e 7 dias utilizados neste trabalho foram obtidos de séries históricas de vazões médias diárias observadas em rios localizados nas Sub-Bacias 65, 81 e 82 (Tabelas 1 e 2) obtidas junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

As séries de vazão mínima de 1 dia foram construídas a partir do valor mínimo anual da vazão média diária de cada ano, enquanto que as séries de vazão mínima de 7 dias, representam o valor mínimo anual da média móvel de 7 valores consecutivos de vazões médias diárias em cada ano. As séries de vazões mínimas diárias de 1 dia, bem como as séries de 7 dias, foram ajustadas através da distribuição GEV, utilizando o método dos momentos LH para estimação de seus parâmetros.

Tabela 1 – Localização e descrição das estações fluviométricas e respectivos rios, com as correspondentes áreas de drenagem, pertencentes à sub bacia 65.

Código da Estação	Nome da Estação	Rio	Latitude	Longitude	UF	Área km²	Tamanho da Série - anos
65010000	Fazendinha	Pequeno	-25: 31: 09	-49: 08: 48	PR	117	34
65011400	Prado velho-ucp	Belem	-25: 27: 00	-49: 144: 56	PR	42	17
65015400	Cachoeira	Miringuava	-25: 35: 21	-49: 13: 43	PR	301	17
65019700	Ponte da caximba	Barigui	-25: 36: 49	-49: 21: 24	PR	257	19
65025000	Guajuvira	Iguacu	-25: 36: 01	-49: 30: 48	PR	2578	19
65035000	Porto amazonas	Iguacu	-25: 32: 53	-49: 53: 22	PR	3662	63
65060000	São mateus do sul	Iguacu	-25: 52: 33	-50: 23: 23	PR	6065	64
65090000	Fragosos	Negro	-26: 09: 17	-49: 22: 50	PR	800	29
65100000	Rio negro	Negro	-26: 06: 35	-49: 48: 04	PR	3379	66
65135000	Rio da varzea dos lima	Da varzea	-25: 56: 04	-49: 23: 35	PR	602	57
65136550	Quitandinha	Da varzea	-25: 51: 51	-49: 30: 46	PR	1568	18
65155000	Sao bento	Da varzea	-25: 56: 44	-49: 47: 29	PR	2012	67
65200000	Pontilhão	Potinga	-25: 52: 00	-50: 33: 00	PR	1961	12
65220000	Fluviópolis	Iguaçu	-26: 01: 09	-50: 35: 33	PR	18300	32
65235000	Rio claro do sul	Claro	-25: 57: 21	-50: 41: 04	PR	475	18
65310000	União da vitória	Iguaçu	-26: 13: 41	-51: 04: 49	PR	24211	68
65825000	Santa clara	Jordão	-25: 38: 17	-51: 58: 02	PR	3913	49
65890000	Campo novo	Campo novo	-25: 54: 00	-52: 54: 00	PR	142	26
65945000	Ponte do vitorino	Vitorino	-26: 03: 02	-52: 48: 03	PR	545	40
65955000	Balsa do santana	Santana	-25: 54: 34	-52: 50: 59	PR	1720	41
65970000	Porto santo antonio	Guarani	-25: 23: 38	-53: 06: 14	PR	1024	17
65979000	São sebastião	Andrada	-25: 25: 59	-53: 31: 00	PR	1309	16
65981500	Ponte do capanema	Capanema	-25: 46: 12	-53: 36: 41	PR	1740	13
65985000	Estreito do iguaçu	Iguaçu	-25: 33: 00	-53: 46: 00	PR	62236	18
65993000	Salto cataratas	Iguaçu	-25: 40: 59	-54: 25: 59	PR	67317	53

Fonte: ANA (2008)

Tabela 2 - Localização e descrição das estações fluviométricas e respectivos rios, com as correspondentes áreas de drenagem, pertencentes às sub bacias 81 e 82.

Código da Estação	Nome da Estação	Rio	Latitude	Longitude	UF	Área km²	Tamanho da Série - anos
81019350	Ponte do açungui	Açungui	-25: 14: 12	-49: 35: 40	PR	540	15
81102000	Balsa do jacaré	Açungui	-24: 55: 49	-49: 28: 59	PR	1680	18
81107000	Foz do são sebastião	Ribeira do iguape	-24: 54: 06	-49: 26: 26	PR	3199	16
81120000	Costas	Da piedade	-25: 00: 29	-49: 20: 26	PR	402	15
81125000	Turvo	Turvo	-24: 45: 00	-49: 19: 59	PR	392	51
81135000	Balsa do cerro azul	Ribeira do iguape	-24: 47: 07	-49: 16: 21	PR	4570	64
81140000	Cerro azul	Ponta grossa	-24: 49: 39	-49: 15: 46	PR	435	50
81200000	Capela da ribeira	Ribeira do guape	-24: 39: 20	-48: 39: 59	PR	7252	60
81210000	Sitinho	Ribeirão grande	-24: 40: 59	-48: 49: 37	PR	348	10
81299000	Barragem capivari- 396	Capivari	-25: 13: 00	-48: 57: 00	PR	536	12
81300000	Praia grande	Capivari	-25: 10: 00	-48: 52: 59	PR	920	38
81335000	Córrego comprido	Pardo	-24: 44: 37	-48: 30: 17	PR	3076	17
82009080	Passo do vau	Taguaçaba	-25: 12: 00	-48: 28: 00	PR	88	16
82111000	Mergulhão	Cachoeira	-25: 18: 00	-48: 43: 00	PR	366	20
82121000	Limoeiro	Cachoeira	-25: 19: 00	-48: 42: 00	PR	372	21
82170000	Morretes	Nhundiaquara	-25: 28: 37	-48: 49: 49	PR	217	60
82195000	Marumbi	Marumbi	-25: 30: 49	-48: 53: 04	PR	80	18

Fonte: ANA (2008)

Distribuição GEV

A função de distribuição generalizada de valores extremos – GEV, que engloba as três formas assintóticas de

distribuição de valores extremos conhecidas como valor extremo do tipo I (VEI), valor extremo do tipo II (VEII) e valor extremo do tipo III (VEIII) (FISHER & TIPPETT, 1928; GUMBEL, 1958), é definida, segundo Jenkinson (1955), como segue:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\left[-\left(1 - k \frac{x-u}{\alpha}\right)^{\frac{1}{k}}\right] \quad (1)$$

Quando o parâmetro k se aproxima de zero a equação (1) converge para a distribuição Gumbel

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right] \quad (2)$$

Sendo,

$-\infty < x < +\infty$, $k=0$ - distribuição VEI (distribuição Gumbel)

$\mathcal{E} \leq x < +\infty$, $k < 0$ - distribuição VEII

$-\infty < x \leq \omega$, $k > 0$ - distribuição VEIII

em que u é um parâmetro de posicionamento com $-\infty < u < +\infty$, α é um parâmetro de escala com $0 < \alpha < +\infty$ e k é um parâmetro de forma com $-\infty < k < +\infty$. Assim, quando $k > 0$ o limite superior da distribuição assintótica VEIII torna-se $\omega = u + \alpha/k$ e quando $k < 0$ o limite inferior da distribuição assintótica VEII torna-se $\mathcal{E} = u + \alpha/k$.

O p-ésimo quantil da distribuição GEV é dado pelas seguintes relações obtidas das Equações (1) e (2):

$$x_p = u + \frac{\alpha}{k} \left[1 - (-\ln(p))^k\right], \quad k \neq 0, \quad 0 < p < 1 \quad (3)$$

$$x_p = u - \alpha \ln[-\ln(p)], \quad k = 0, \quad 0 < p < 1 \quad (4)$$

Combinando a equação (2) com a variável reduzida de Gumbel (z): $z = (x - u)/\alpha$, obtém-se $F(x) = \exp[-\exp(-z)]$, que resulta em:

$$z = \ln[-\ln(F(x))] \quad (5)$$

A variável reduzida de Gumbel também se relaciona com o período de retorno (T), $T=1/(1-F(x))$. Logo, a equação (2) pode ser usada para definir z com respeito às distribuições VEI, VEII e VEIII. Assim, em um gráfico x versus z define-se o comportamento das três formas de distribuições de valores extremos, com relação à posição de plotagem de x , como mostra a Figura 1.

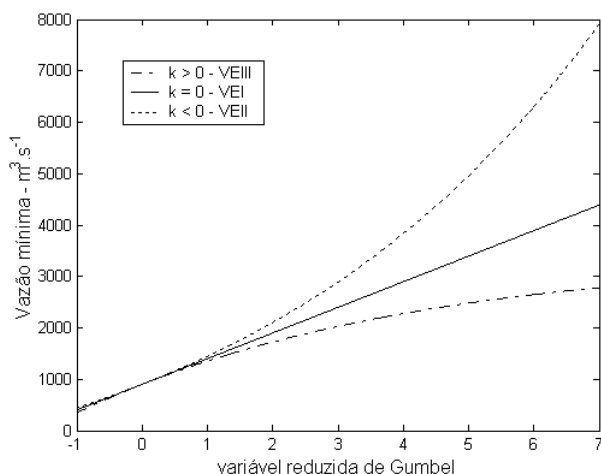


Figura 1- Distribuição das três formas de valores extremos representados pela GEV.

Momentos LH

Dada uma série de vazões mínimas, os três parâmetros u, α, κ da distribuição GEV foram estimados, considerando a estimativa dos momentos LH amostrais, $\hat{\lambda}_i^\eta$ ($i=1, 2, 3, 4$), como mostradas através das equações (6a a 6d), ordenando a série de vazões em $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$.

$$\hat{\lambda}_1^\eta = \frac{1}{n C_{\eta+1}} \sum_{i=1}^n i^{-1} C_{\eta} x_{(i)} \quad (6a)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{n C_{\eta+2}} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+1} - i^{-1} C_{\eta} {}^{n-1} C_1) x_{(i)} \quad (6b)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{1}{n C_{\eta+3}} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+2} - 2i^{-1} C_{\eta+1} {}^{n-i} C_1 + i^{-1} C_{\eta} {}^{n-i} C_2) x_{(i)} \quad (6c)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4} \frac{1}{n C_{\eta+4}} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+3} - 3i^{-1} C_{\eta+2} {}^{n-i} C_1 + 3i^{-1} C_{\eta+1} {}^{n-i} C_2 - i^{-1} C_{\eta} {}^{n-i} C_3) x_{(i)} \quad (6d)$$

onde ${}^m C_j = \binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!}$ e ${}^m C_j = 0$ quando $j > m$.

comparando-os aos momentos da distribuição GEV, λ_i^η ($i=1, 2, 3, 4$), para cada valor selecionado de η ($\eta = 0, 1, 2, 3, \dots$) e $\kappa \neq 0$, como descrito a seguir (WANG, 1997):

$$\lambda_1^\eta = u + \frac{\alpha}{\kappa} [1 - \Gamma(1+k)(\eta+1)^{-k}] \quad (7a)$$

$$\lambda_2^\eta = \frac{(\eta+2)\alpha\Gamma(1+\kappa)}{2!\kappa} [-(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+1)^{-\kappa}] \quad (7b)$$

$$\lambda_3^\eta = \frac{(\eta+3)\alpha\Gamma(1+\kappa)}{3!\kappa} [-(\eta+4)(\eta+3)^{-\kappa} + 2(\eta+3)(\eta+2)^{-\kappa} - (\eta+2)(\eta+1)^{-\kappa}] \quad (7c)$$

$$\lambda_4^\eta = \frac{(\eta+4)\alpha\Gamma(1+\kappa)}{4!\kappa} [-(\eta+6)(\eta+5)(\eta+4)^{-\kappa} + 3(\eta+5)(\eta+4)(\eta+3)^{-\kappa} - 3(\eta+4)(\eta+3)(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+3)(\eta+2)(\eta+1)^{-\kappa}] \quad (7d)$$

As taxas de momentos LH da distribuição GEV foram calculadas de acordo com as seguintes relações:

$$\tau_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{(\eta+2)\alpha\Gamma(1+k) [-(\eta+2)^{-k} + (\eta+1)^{-k}]}{ku + \alpha [1 - \Gamma(1+k)(\eta+1)^{-k}]} \quad (8a)$$

$$\tau_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{(\eta+3)}{(\eta+2)} \left[\frac{-(\eta+4)(\eta+3)^{-k} + 2(\eta+3)(\eta+2)^{-k} - (\eta+2)(\eta+1)^{-k}}{-(\eta+2)^{-k} + (\eta+1)^{-k}} \right] \quad (8b)$$

$$\tau_4^\eta = \frac{1}{12} \frac{(\eta+4)}{(\eta+2)} \left[\frac{-(\eta+6)(\eta+5)(\eta+4)^{-k} + 3(\eta+5)(\eta+4)(\eta+3)^{-k}}{-(\eta+2)^{-k} + (\eta+1)^{-k}} \right] + \left[\frac{-3(\eta+4)(\eta+3)(\eta+2)^{-k} + (\eta+3)(\eta+2)(\eta+1)^{-k}}{-(\eta+2)^{-k} + (\eta+1)^{-k}} \right] \quad (8c)$$

onde $\tau_2^\eta, \tau_3^\eta, \tau_4^\eta$ são, respectivamente, o coeficiente de variação LH, assimetria LH e curtose LH e $\Gamma(\bullet)$ a função gama. Para a análise da qualidade dos ajustes foi aplicado a teste de Kolmogorov-Smirnov, com significância de 5 %.

Este procedimento foi aplicado a todas as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias obtidas a partir dos dados de vazões médias diárias, observadas nas diversas estações fluviométricas descritas nas Tabelas 1 e 2,

utilizando a rotina em MATLAB para momentos LH proposta por Queiroz (2002). A partir dos ajustes da distribuição GEV às diversas séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias estimaram-se as vazões mínimas $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$ (vazão mínima de 1 e de 7 dias de permanência, respectivamente, com 10 anos de recorrência), procedendo-se a comparação das mesmas através da razão $Q_{7,10} / Q_{1,10}$, para cada estação fluviométrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros da distribuição GEV referentes aos ajustes das séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias para cada estação estudada estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, juntamente com os valores das taxas de momentos, teste probabilístico de Kolmogorov-Smirnov, bem como as estimativas de $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$. As Figuras 2 a 7 apresentam as séries históricas de vazões mínimas anuais de 1 e de 7 dias e os gráficos de alguns ajustes da distribuição GEV para as referidas séries de vazões mínimas. Observando os dados das Tabelas 3, 4 e 5, verifica-se que todos os ajustes foram aceitos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com 5% de significância. Observa-se também que o parâmetro de forma k apresenta 13,83% dos valores (13 séries) aproximadamente iguais a zero, ou seja, convergiram para a forma VEI da distribuição GEV que corresponde a distribuição Gumbel. 37,23% dos valores de k (35 séries) foram maiores que zero, convergindo, então, para a forma VEIII, e 48,94% (46 séries) apresentaram-se menores que zero, convergindo para a forma assintótica VEII. Essa forma assintótica é similar à distribuição Weibull, que é muito utilizada para ajuste de vazões mínimas.

Além disso, 78,72% das séries foram ajustadas adequadamente através dos momentos LH_0 , 14,89% foram ajustadas através dos momentos LH_1 , 4,26% com os

momentos LH_2 e apenas 2,13% através dos momentos LH_3 . Os momentos LH_0 correspondem aos momentos de combinação lineares das estatísticas (momentos L), os quais dão o mesmo peso para todos os dados da série durante o processo de ajuste. Essa maior quantidade de séries ajustadas através dos momentos LH_0 indica que momentos L são suficientes para ajustar a distribuição GEV às séries de vazões mínimas. Isto é importante porque simplificam os procedimentos matemáticos e computacionais nas rotinas de estimação dos parâmetros da distribuição GEV.

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam também a comparação dos resultados estimados para $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$, em que apenas em uma estação (82170000) a relação entre $Q_{7,10}$ e $Q_{1,10}$ foi menor que 1. Além disso, percebe-se que a proporcionalidade entre a vazão de 1 e a de 7 dias estimadas é de até 10% para 53,19% das estações. Na estação de número 65985000 essa proporcionalidade apresenta uma variação de 74,2%. Isto indica que as vazões $Q_{1,10}$ são mais restritivas do que as vazões $Q_{7,10}$ que do ponto de vista ecológico são mais interessantes para serem adotadas como vazão de referência, pois proporciona maior proteção ao ambiente aquático. Tais constatações são observadas através das Figuras 2 a 7, em que as séries históricas e os quantis da Q_7 são superiores ou, no mínimo, iguais aos quantis da Q_1 em todas as estações estudadas com exceção da estação 82170000.

Tabela 3 - Valores estimados dos parâmetros e das taxas de momento LH da distribuição GEV, bem como valores do teste de Kolmogorov-Smirnov e das vazões mínimas de 1 e de 7 dias para 10 anos de período de retorno da Sub-bacia 65

Código da Estação Fluviométrica	n		Parâmetros da Distribuição GEV			Taxas de Momentos LH			LH	Teste de Kolmogorov-Smirnov		Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₇ /Q ₁
			k	α	u	cv	ca	cc		Amostra	Crítico		
65010000	34	Q ₁	0,258	0,339	0,735	0,140	0,125	0,030	1	0,118	0,233	0,420	1,329
		Q ₇	0,089	0,289	0,808	0,195	0,113	0,044	0	0,088	0,233	0,558	
65011400	17	Q ₁	0,030	0,197	0,533	0,207	0,226	0,102	0	0,118	0,320	0,366	1,273
		Q ₇	-0,088	0,173	0,605	0,182	0,226	0,240	0	0,118	0,320	0,466	
65015400	17	Q ₁	-0,252	0,251	1,218	0,140	0,378	0,376	1	0,118	0,320	1,029	1,092
		Q ₇	-0,238	0,308	1,357	0,147	0,378	0,357	1	0,118	0,320	1,124	
65019700	19	Q ₁	0,172	0,756	1,731	0,145	0,222	0,214	1	0,158	0,300	1,052	1,262
		Q ₇	0,027	0,654	1,880	0,198	0,151	0,137	0	0,211	0,300	1,328	
65025000	19	Q ₁	-0,207	3,670	6,360	0,341	0,328	0,149	0	0,105	0,300	3,549	1,408
		Q ₇	-0,235	3,509	7,655	0,297	0,328	0,201	0	0,053	0,300	4,997	
65035000	63	Q ₁	-0,132	4,789	12,110	0,245	0,287	0,245	0	0,064	0,205	8,329	1,228
		Q ₇	-0,251	3,956	13,202	0,181	0,386	0,258	1	0,048	0,205	10,225	
65060000	64	Q ₁	0,007	6,425	19,284	0,193	0,151	0,171	0	0,063	0,204	13,910	1,058
		Q ₇	0,027	6,702	20,370	0,188	0,151	0,185	0	0,125	0,204	14,717	
65090000	29	Q ₁	-0,154	1,561	6,217	0,140	0,248	0,175	1	0,069	0,243	4,995	1,027
		Q ₇	0,034	1,866	6,710	0,163	0,147	0,173	0	0,069	0,243	5,131	
65100000	66	Q ₁	-0,097	4,780	17,234	0,140	0,241	0,234	1	0,061	0,201	13,403	1,055
		Q ₇	0,004	5,178	18,469	0,125	0,241	0,201	1	0,061	0,201	14,143	
65135000	57	Q ₁	-0,164	0,711	3,012	0,165	0,230	0,202	0	0,070	0,216	2,458	1,059
		Q ₇	-0,094	0,822	3,263	0,164	0,230	0,159	0	0,053	0,216	2,603	
65136550	18	Q ₁	-0,101	2,747	5,661	0,279	0,212	0,118	0	0,111	0,310	3,464	1,106
		Q ₇	-0,067	2,690	6,013	0,257	0,212	0,124	0	0,111	0,310	3,830	
65155000	67	Q ₁	-0,025	3,290	9,776	0,117	0,295	0,188	3	0,060	0,199	7,060	1,021
		Q ₇	0,014	3,516	10,159	0,124	0,265	0,172	2	0,060	0,199	7,210	
65200000	12	Q ₁	-0,152	2,105	3,432	0,342	0,308	0,277	0	0,167	0,380	1,782	1,134
		Q ₇	-0,207	2,221	3,723	0,348	0,308	0,308	0	0,167	0,380	2,021	
65220000	32	Q ₁	-0,110	25,325	73,788	0,215	0,231	0,244	0	0,125	0,236	53,608	1,097
		Q ₇	-0,096	25,262	79,048	0,200	0,231	0,276	0	0,125	0,236	58,803	
65235000	18	Q ₁	0,153	0,685	1,411	0,159	0,162	0,123	1	0,111	0,310	0,802	1,555
		Q ₇	0,135	0,645	1,817	0,190	0,085	0,113	0	0,111	0,310	1,247	
65310000	68	Q ₁	-0,084	26,829	85,957	0,195	0,201	0,238	0	0,088	0,198	64,343	1,054
		Q ₇	-0,050	29,116	91,601	0,193	0,201	0,231	0	0,088	0,198	67,819	

Tabela 3 (continuação) - Valores estimados dos parâmetros e das taxas de momento LH da distribuição GEV, bem como valores do teste de Kolmogorov-Smirnov e das vazões mínimas de 1 e de 7 dias para 10 anos de período de retorno da Sub-bacia 65

Código da Estação Fluviométrica	n		Parâmetros da Distribuição GEV			Taxas de Momentos LH			LH	Teste de Kolmogorov-Smirnov		Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₇ /Q ₁
			k	α	u	cv	ca	cc		Amostra	Crítico		
65825000	49	Q ₁	0,102	7,889	17,760	0,233	0,136	0,144	0	0,061	0,193	10,893	1,071
		Q ₇	0,052	8,440	18,862	0,240	0,136	0,144	0	0,061	0,193	11,669	
65890000	26	Q ₁	-0,074	0,316	0,988	0,197	0,219	0,261	0	0,154	0,256	0,732	1,035
		Q ₇	-0,077	0,325	1,020	0,197	0,219	0,249	0	0,154	0,256	0,758	
65945000	40	Q ₁	0,151	1,254	2,286	0,271	0,105	0,188	0	0,075	0,210	1,171	1,198
		Q ₇	0,102	1,319	2,552	0,263	0,105	0,198	0	0,075	0,210	1,403	
65955000	41	Q ₁	0,065	2,288	3,988	0,190	0,231	0,110	1	0,098	0,207	2,028	1,057
		Q ₇	0,043	2,545	4,305	0,163	0,251	0,165	2	0,098	0,207	2,143	
65970000	17	Q ₁	0,528	0,470	0,832	0,260	0,010	-0,158	0	0,235	0,320	0,340	1,127
		Q ₇	0,267	0,577	0,922	0,291	0,010	-0,029	0	0,118	0,320	0,383	
65979000	16	Q ₁	0,063	2,753	5,141	0,275	0,106	0,155	0	0,063	0,330	2,783	1,108
		Q ₇	0,100	3,179	5,850	0,274	0,106	0,122	0	0,063	0,330	3,085	
65981500	13	Q ₁	0,258	1,506	2,130	0,322	0,036	0,030	0	0,077	0,360	0,729	1,177
		Q ₇	0,221	1,691	2,407	0,323	0,036	0,015	0	0,077	0,360	0,858	
65985000	18	Q ₁	0,173	106,255	228,202	0,235	0,279	0,056	0	0,167	0,310	132,870	1,742
		Q ₇	-0,257	77,003	289,314	0,169	0,390	0,230	1	0,056	0,310	231,510	
65993000	53	Q ₁	0,078	130,648	274,439	0,249	0,189	0,084	0	0,057	0,224	161,858	1,209
		Q ₇	-0,032	151,669	320,551	0,262	0,189	0,162	0	0,057	0,224	195,740	

n - tamanho da amostra, k - parâmetro de forma, α - parâmetro de escala, u - parâmetro de posicionamento, cv - coeficiente de variação, ca - coeficiente de assimetria, cc - coeficiente de curtose, Q₁ - vazão mínima de 1 dia, Q₇ - vazão mínima de 7 dias

Tabela 4 - Valores estimados dos parâmetros e das taxas de momento LH da distribuição GEV, bem como valores do teste de Kolmogorov-Smirnov e das vazões mínimas de 1 e de 7 dias para 10 anos de período de retorno da Sub-bacia 82

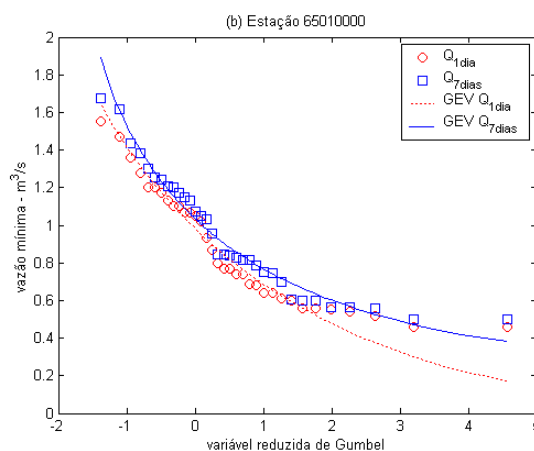
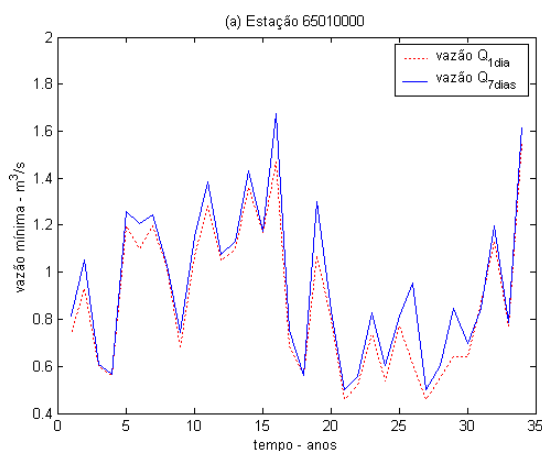
Código da Estação Fluviométrica	n		Parâmetros da Distribuição GEV			Taxas de Momentos LH			LH	Teste de Kolmogorov-Smirnov		Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₇ /Q ₁
			k	α	u	cv	ca	cc		Amostra	Crítico		
82009080	16	Q ₁	0,053	0,534	2,295	0,137	0,144	0,168	0	0,125	0,330	1,840	1,045
		Q ₇	0,038	0,519	2,363	0,132	0,144	0,176	0	0,188	0,330	1,924	
82111000	20	Q ₁	0,107	1,347	4,329	0,172	0,060	0,064	0	0,050	0,290	3,154	1,100
		Q ₇	0,179	1,536	4,852	0,168	0,060	0,051	0	0,050	0,290	3,470	
82121000	21	Q ₁	0,038	1,570	6,346	0,146	0,139	0,111	0	0,095	0,282	5,016	1,048
		Q ₇	0,046	1,652	6,661	0,146	0,139	0,067	0	0,095	0,282	5,256	
82170000	60	Q ₁	0,081	0,731	3,220	0,084	0,229	0,186	2	0,083	0,210	2,589	0,974
		Q ₇	0,306	1,002	3,473	0,147	-0,011	0,164	0	0,083	0,210	2,521	
82195000	18	Q ₁	-0,004	0,207	0,981	0,131	0,220	0,321	0	0,167	0,310	0,809	1,028
		Q ₇	-0,080	0,239	1,025	0,152	0,220	0,233	0	0,111	0,310	0,832	

n - tamanho da amostra, k - parâmetro de forma, α - parâmetro de escala, u - parâmetro de posicionamento, cv - coeficiente de variação, ca - coeficiente de assimetria, cc - coeficiente de curtose, Q₁ - vazão mínima de 1 dia, Q₇ - vazão mínima de 7 dias

Tabela 5 - Valores estimados dos parâmetros e das taxas de momento LH da distribuição GEV, bem como valores do teste de Kolmogorov-Smirnov e das vazões mínimas de 1 e de 7 dias para 10 anos de período de retorno da Sub-bacia 81

Código da Estação Fluviométrica	n		Parâmetros da Distribuição GEV			Taxas de Momentos LH			LH	Teste de Kolmogorov-Smirnov		Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₇ /Q ₁
			k	α	u	cv	ca	cc		Amostra	Crítico		
81019350	15	Q ₁	0,206	1,807	3,570	0,108	0,333	0,224	3	0,067	0,340	1,926	1,228
		Q ₇	0,028	1,769	3,857	0,248	0,151	0,127	0	0,067	0,340	2,365	
81102000	18	Q ₁	-0,174	2,613	11,600	0,160	0,241	0,246	0	0,111	0,310	9,572	1,035
		Q ₇	-0,111	2,883	12,202	0,158	0,241	0,233	0	0,111	0,310	9,906	
81107000	16	Q ₁	0,091	7,171	24,494	0,164	0,143	0,119	0	0,188	0,330	18,280	1,192
		Q ₇	-0,084	5,240	26,012	0,099	0,315	0,199	2	0,125	0,330	21,792	
81120000	15	Q ₁	-0,198	0,703	3,102	0,165	0,361	0,345	0	0,200	0,340	2,562	1,035
		Q ₇	-0,280	0,644	3,130	0,167	0,361	0,401	0	0,200	0,340	2,652	
81125000	51	Q ₁	-0,153	0,768	3,534	0,126	0,292	0,240	1	0,078	0,228	2,932	1,032
		Q ₇	-0,103	0,808	3,671	0,147	0,236	0,171	0	0,078	0,228	3,025	
81135000	64	Q ₁	-0,013	8,666	30,977	0,169	0,189	0,122	0	0,078	0,204	23,789	1,019
		Q ₇	-0,032	8,770	31,468	0,170	0,189	0,134	0	0,063	0,204	24,251	
81140000	50	Q ₁	0,076	0,485	2,251	0,094	0,212	0,116	1	0,060	0,190	1,833	1,048
		Q ₇	0,019	0,480	2,325	0,126	0,156	0,119	0	0,060	0,190	1,922	
81200000	60	Q ₁	-0,029	13,580	48,374	0,171	0,214	0,177	0	0,050	0,210	37,183	1,046
		Q ₇	-0,071	12,752	49,222	0,165	0,214	0,195	0	0,067	0,210	38,893	
81210000	10	Q ₁	-0,080	0,379	1,433	0,169	0,199	0,230	0	0,200	0,410	1,128	1,209
		Q ₇	-0,048	0,340	1,641	0,133	0,199	0,236	0	0,100	0,410	1,363	
81299000	12	Q ₁	0,326	1,284	3,939	0,164	-0,004	0,102	0	0,083	0,380	2,708	1,164
		Q ₇	0,291	1,333	4,412	0,154	-0,004	0,174	0	0,083	0,380	3,153	
81300000	38	Q ₁	0,325	1,212	6,370	0,066	0,127	0,083	1	0,105	0,218	5,209	1,074
		Q ₇	0,213	1,208	6,697	0,099	0,040	0,109	0	0,053	0,218	5,595	
81335000	17	Q ₁	-0,174	4,025	18,330	0,157	0,344	0,312	0	0,118	0,320	15,205	1,065
		Q ₇	-0,256	4,022	19,217	0,165	0,344	0,342	0	0,118	0,320	16,197	

n - tamanho da amostra, k - parâmetro de forma, α - parâmetro de escala, u - parâmetro de posicionamento, cv - coeficiente de variação, ca - coeficiente de assimetria, cc - coeficiente de curtose, Q₁ - vazão mínima de 1 dia, Q₇ - vazão mínima de 7 dias



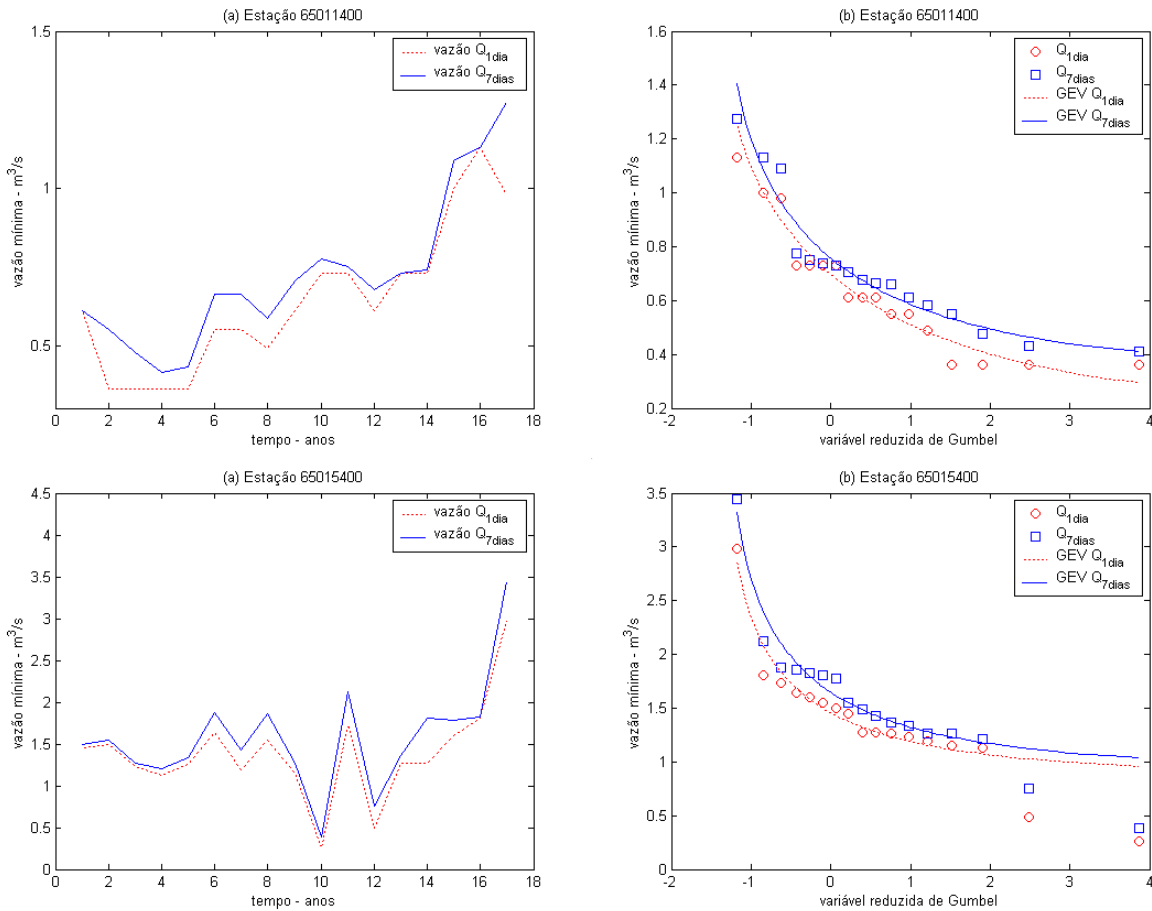
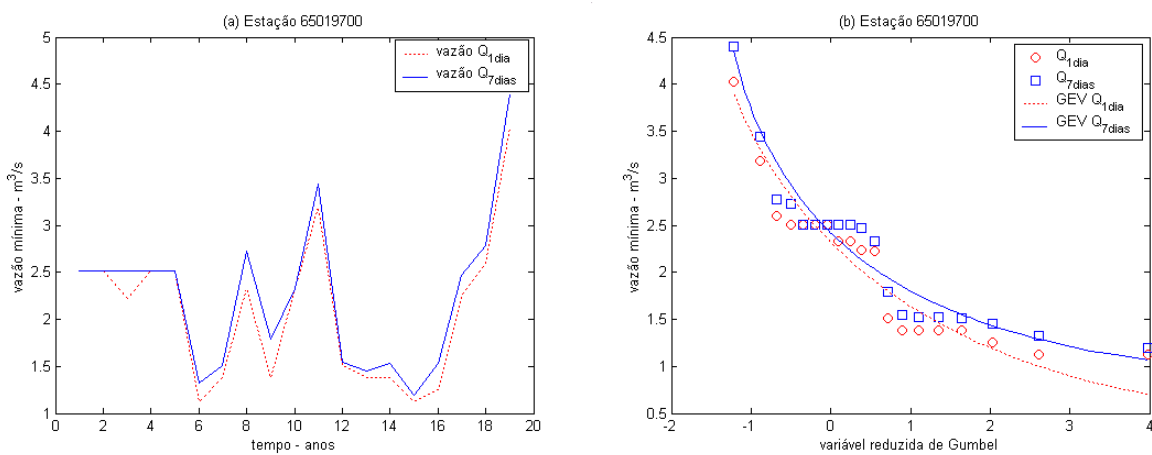


Figura 2 – (a) Séries históricas e (b) ajustes da distribuição GEV para as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias de período de retorno da Sub-bacia 65, Estações 65010000, 65011400 e 65015400.



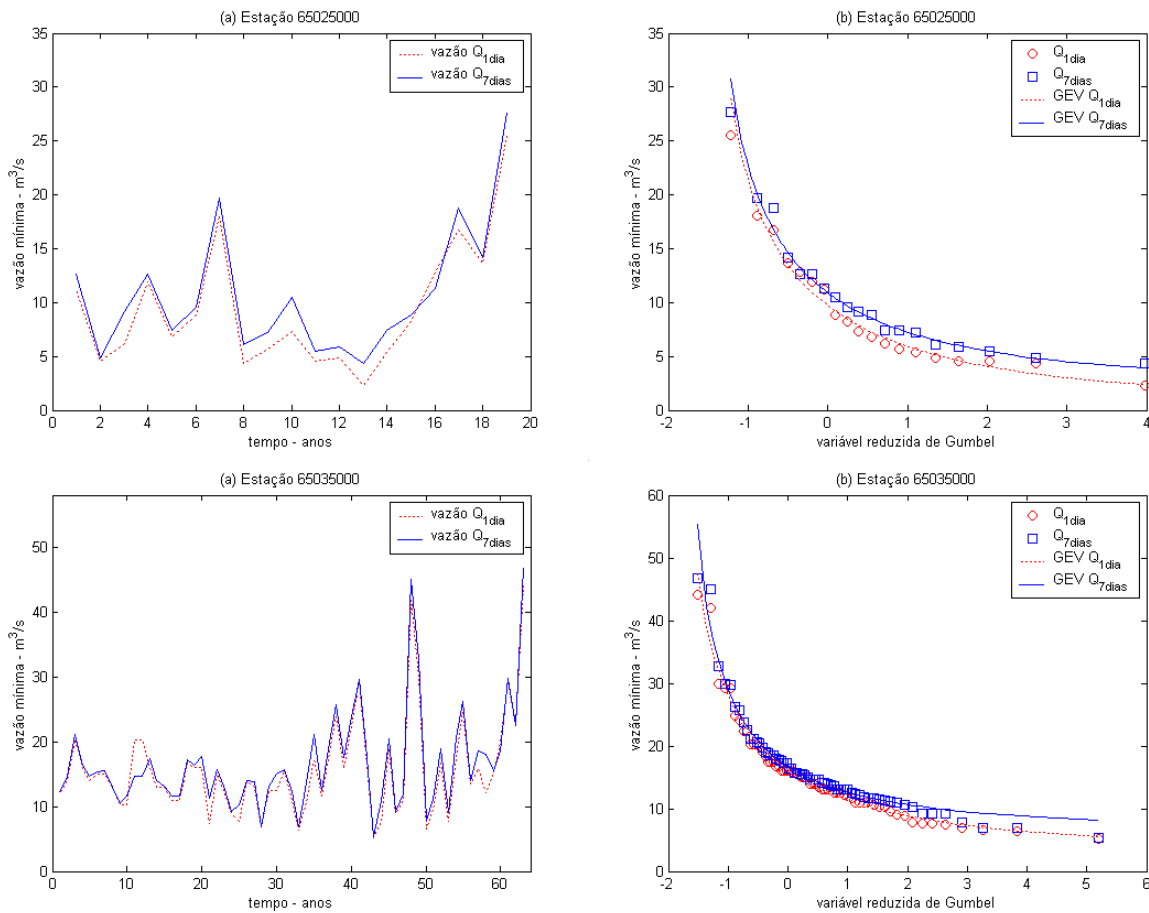
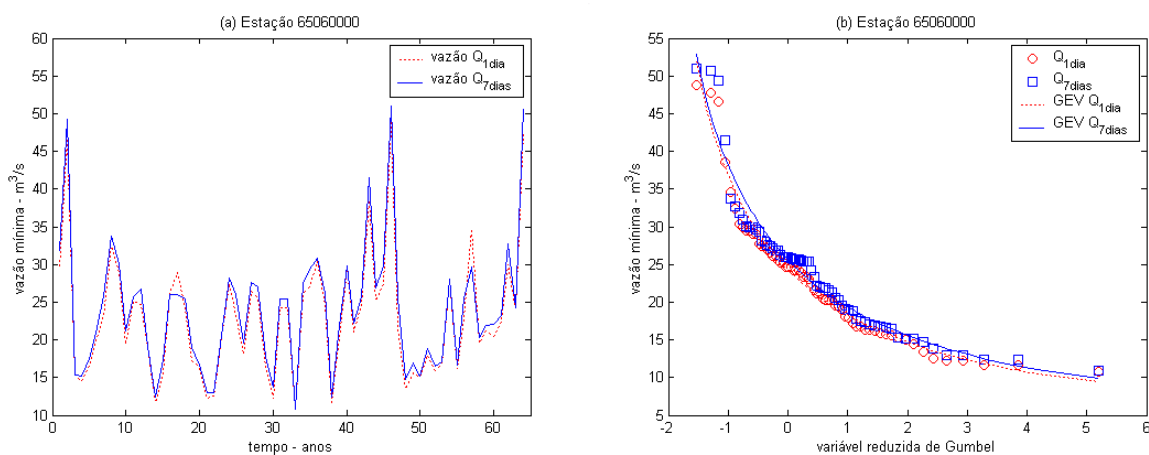


Figura 3 – (a) Séries históricas e (b) ajustes da distribuição GEV para as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias de período de retorno da Sub-bacia 65, Estações 65019700, 65025000 e 65035000.



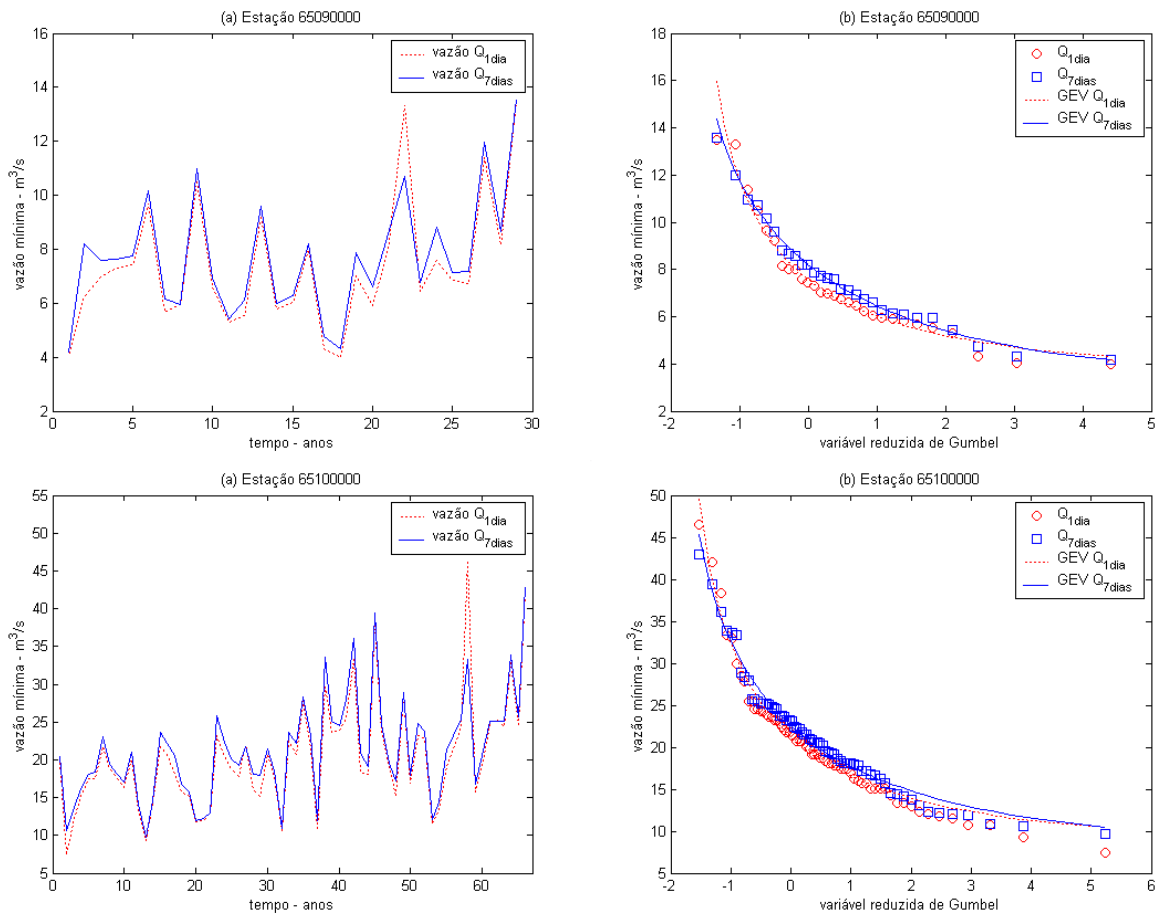
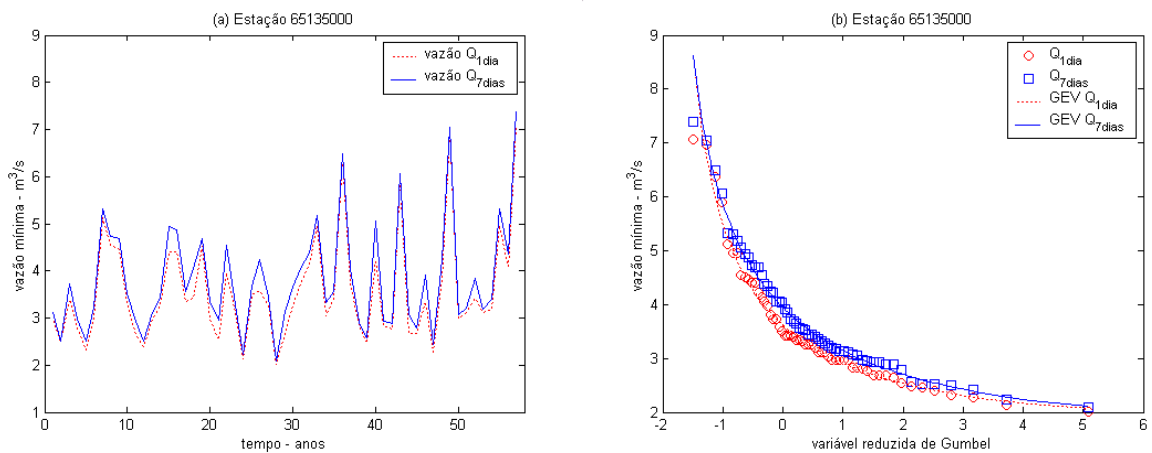


Figura 4 – (a) Séries históricas e (b) ajustes da distribuição GEV para as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias de período de retorno da Sub-bacia 65, Estações 65090000, 65100000 e 65135000.



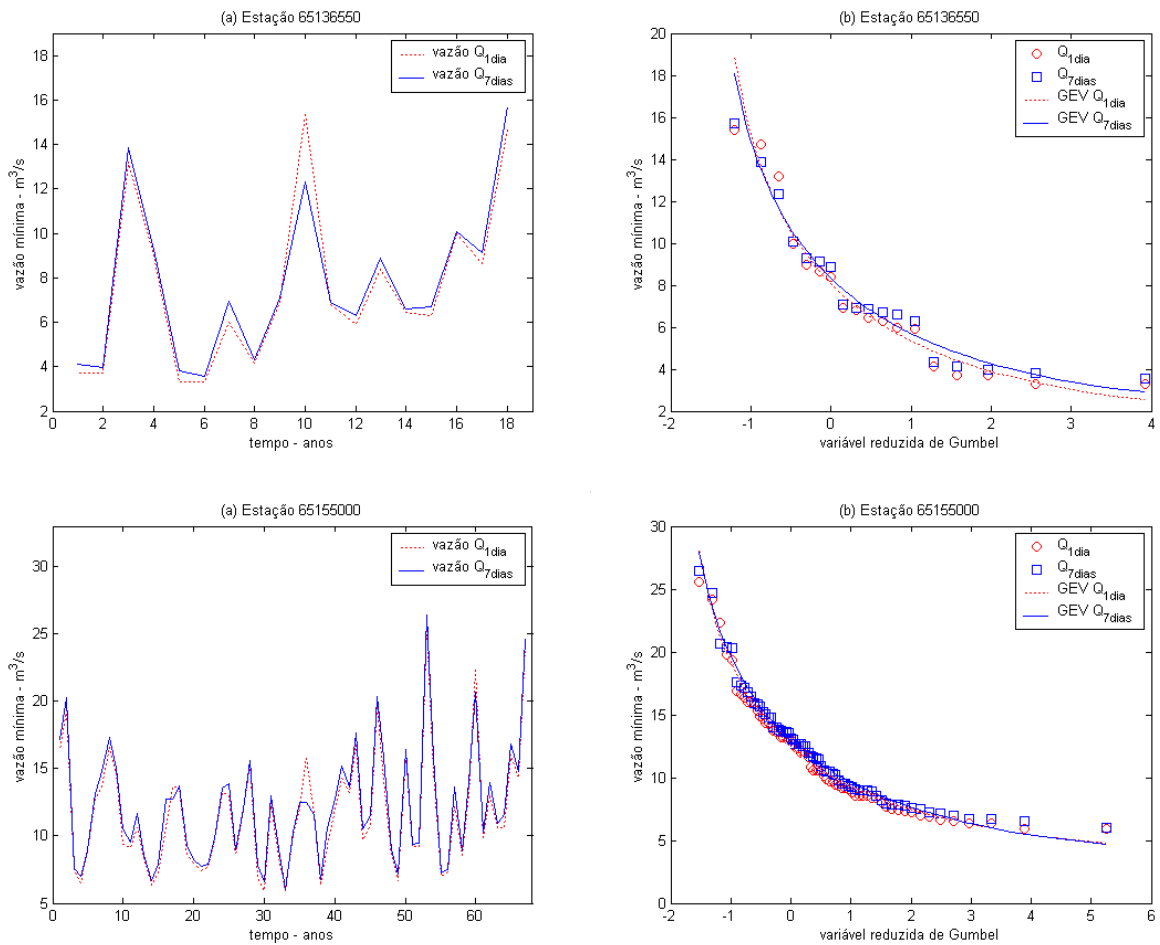
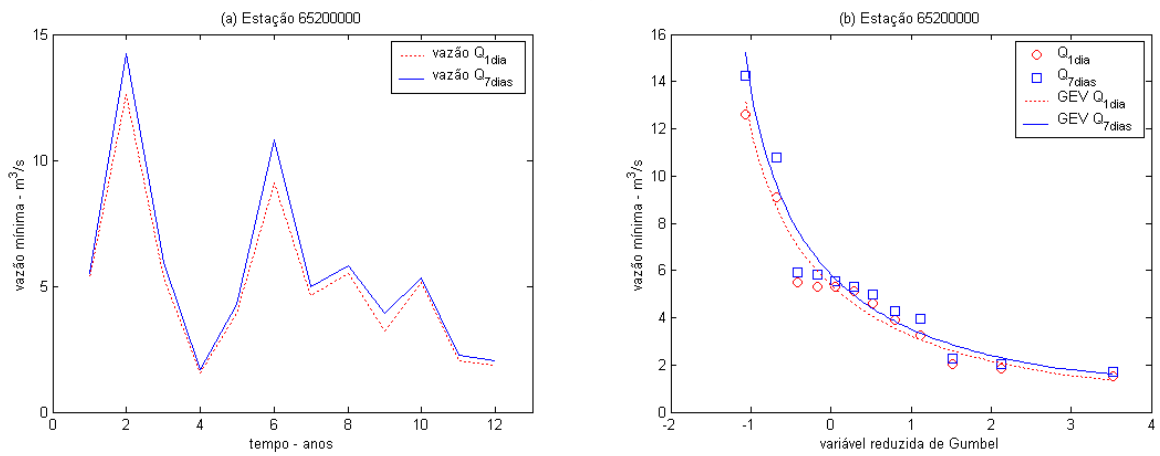


Figura 5 – (a) Séries históricas e (b) ajustes da distribuição GEV para as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias de período de retorno da Sub-bacia 65, Estações 65135000, 65136550 e 65155000.



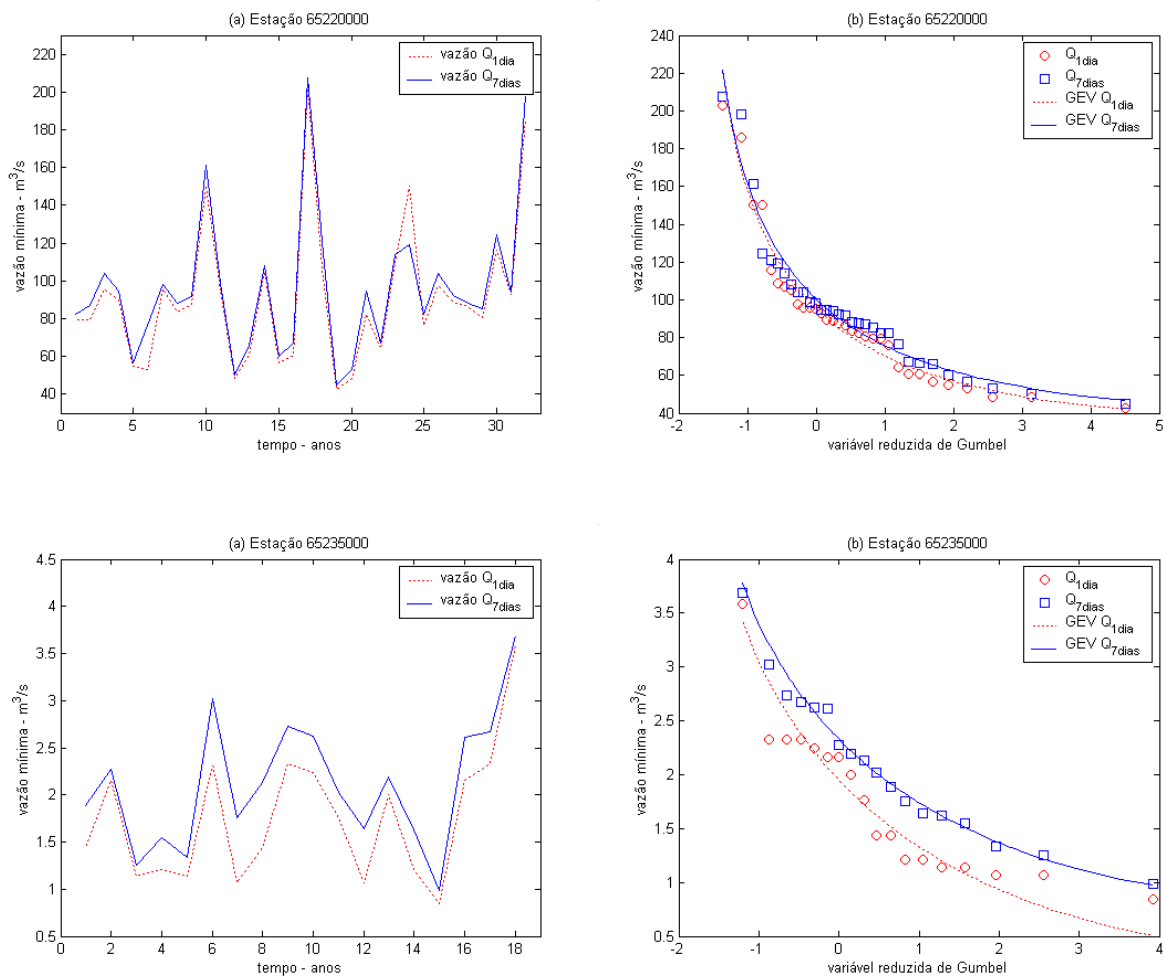
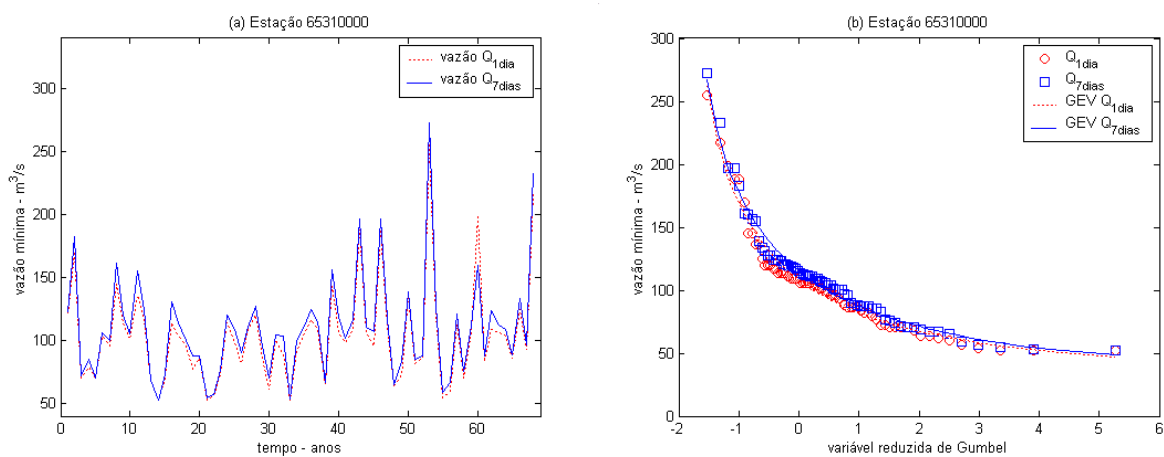


Figura 6 – (a) Séries históricas e (b) ajustes da distribuição GEV para as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias de período de retorno da Sub-bacia 65, Estações 65200000, 65220000 e 65235000.



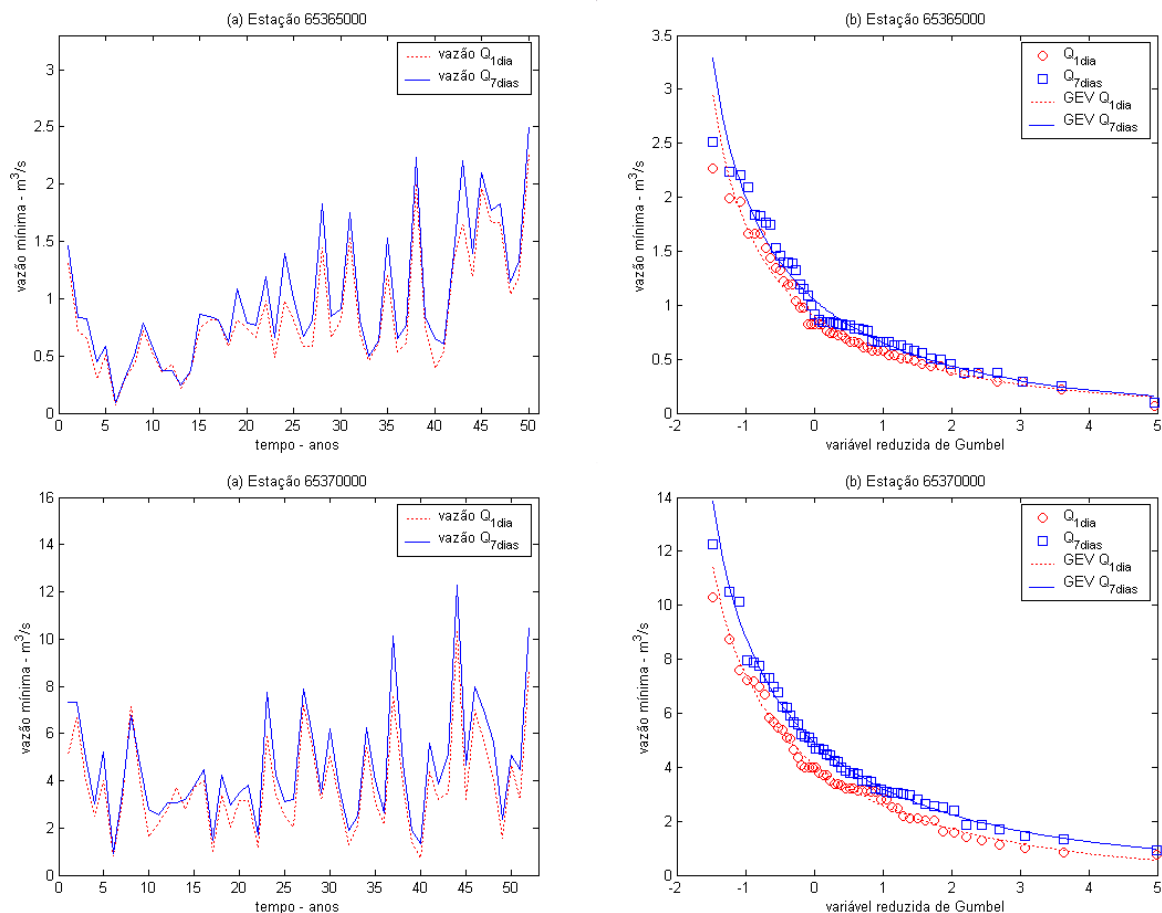


Figura 7 – (a) Séries históricas e (b) ajustes da distribuição GEV para as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias de período de retorno da Sub-bacia 65, Estações 65310000, 65365000 e 65370000.

CONCLUSÕES

Foram analisadas e ajustadas as séries históricas de 47 estações fluviométricas. A distribuição GEV ajustou adequadamente as séries de vazões mínimas de 1 e de 7 dias, com 5% de significância, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov. Aproximadamente metade das séries analisadas convergiram para a forma VEII da distribuição GEV que corresponde a distribuição de Weibull. Os melhores ajustes ocorreram para LH₀. Esses resultados demonstram, como esperado, que a distribuição GEV pode ser utilizada para ajuste de séries mínimas de vazões e que momentos L são suficientes para ajustar essas séries à referida distribuição.

A vazão Q_{1,10} mostrou-se mais restritiva do que a vazão Q_{7,10}, indicando que como vazão de referência oferece maior proteção aos ambientes aquáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FISHER, R. A.; TIPPET, L. H. C. *Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample*. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, v.24, 1928. 180-190p.
- GUMBEL, E. J. *Statistics of Extreme*. Columbia University Press, New York, 1958. 396p.
- JENKINSON, A. F. *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.81, 1955. 158-171p.
- LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. *Metodologia para Determinação de vazões Ecológicas em Rios*. In: RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V. 8, n.2, p.149-190, 2003.
- QUEIROZ, M. M. F. de (2002). *Análise de cheias anuais segundo distribuição de probabilidade generalizada*. EESC/USP, 230p (Tese de Doutorado).

QUEIROZ, M.M.F de; CHAUDHRY (2003). *Ajuste de vazões via distribuição GEV e momentos LH em matlab*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003, Curitiba-Pr, **Anais...**

Recebido em 23/01/2010
Publicado em 31/03/2010

WANG, Q. J. **Using higher probability weight moments for flood frequency analysis**. J. of Hydrology, v.194, 1997a. 95-106p.

WANG, Q. J. **LH moments for statistical analysis of extreme events**. Water Resource Res., v.33, n.12, 1997b. 2841-2848p..