

Determinação da curva volume *versus* duração por meio da distribuição do valor extremo generalizada para estimativa do volume de espera em reservatórios

Aginaldo Passolongo Preti^{1*}, Manoel Moisés Ferreira de Queiroz², Benedito Martins Gomes², Márcio Antonio Vilas Boas², Ajadir Fazolo³ e Vanderlei Rodrigues da Silva⁴

¹Uniao Educacional do Medio Oeste Paranaense Ltda., Av. Brasil, 1441, 87508-210, Jardim Paraná, Assis Chateaubriand, Paraná, Brasil. ²Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, Brasil. ³Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Unidade de Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná, Brasil. ⁴Departamento de Agronomia, Centro de Educação Superior Norte, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail aginaldo@unimeo.com.br

RESUMO. Nos reservatórios de usos múltiplo de água, existe conflito para o controle de cheias, principalmente para a geração de energia elétrica. Para controlar cheias é necessário um volume vazio capaz de absorver uma eventual cheia sem causar danos nas áreas à jusante. Por outro lado, para gerar energia é desejável alocar o menor volume de proteção possível, ao passo que para controlar cheias é desejável ter uma estimativa confiável da possibilidade do reservatório falhar quando um dado volume de proteção é alocado. O objetivo deste trabalho foi construir a Curva Volume x Duração, empregada para estimar volume de espera, através do ajuste das séries de volumes máximos afluentes usando a distribuição GEV e momentos LH. Foram usados volumes afluentes observados em várias estações fluviométricas de rios do estado do Paraná, Brasil. Todos os ajustes dos volumes máximos afluentes foram aceitos através do teste de qualidade de ajuste proposto por Wang (1998). A curva volume x duração foi adequadamente construída usando valores de volumes máximos afluentes observados em diferentes estações fluviométricas.

Palavras-chave: controle de cheias, eventos extremos, curva volume x duração, momentos LH, rios do Paraná.

ABSTRACT. Determination of volume duration curve by generalized extreme value distribution to estimate waiting water volume in reservoirs. In the reservoirs of multiple uses of water, exist conflict to control floods, mainly for generation of electric energy. To control floods it's necessary an empty volume able to absorb an accidental flood without causing damage in the areas downstream. On the other side, to generate energy it's desirable to place the smallest volume of possible protection, whereas to control floods it's desirable to have a reliable estimate in case the reservoir fails when a given volume of protection is placed. The objective of this work was to construct the Volume Curve x Length, used to estimate the waiting volume, through the adjustments of the series of the affluent maximum volume using the distribution GEV and moments LH. Affluent volumes were used and observed in several fluviometrics stations of rivers in Paraná state, Brazil. All the adjustments of affluent maximum volumes were accepted through quality tests of proposed adjustments by Wang (1998). The volume curve x length was built properly using values of affluent maximum volumes observed in different fluviometrics stations.

Key-words: flood control, extreme events, volume curve x length, moments LH, rivers in Paraná.

Introdução

Para reservatórios de usos múltiplos, há certo conflito quanto à manutenção de determinado volume de espera e dos volumes de água armazenados para regularização de vazões, objetivando a maximização dos benefícios resultantes dos recursos hídricos disponíveis. Após estabelecido o período seco de um determinado ano,

tem-se naturalmente um volume de espera, em geral, suficiente para amortecer eventuais ondas cheias. Por outro lado, durante o período úmido, após a reposição do déficit de água há o risco do reservatório não ter condições de amortecer convenientemente uma possível cheia. Apesar da maioria dos reservatórios do sistema hidroelétrico brasileiro ter sido projetado e construído com a única finalidade de geração de energia, atualmente,

esses reservatórios estão sendo operados com múltiplos fins. Assim, a operação de reservatórios sob o aspecto do aproveitamento hidroelétrico é forçada a considerar os propósitos de gerar energia e controlar cheias, que são conflitantes do ponto de vista operacional. Pois, para gerar energia mantém-se o reservatório o mais cheio possível, enquanto para controlar cheias é necessário conservar o reservatório vazio para garantir espaço capaz de absorver grandes volumes afluentes decorrentes de cheias severas. Estas condições se aplicam a reservatórios que estão sendo operados com outras finalidades, como: abastecimento, irrigação, lazer, navegação etc.

O controle de enchentes a jusante do reservatório, a segurança da barragem e um nível adequado de água no reservatório para geração de energia, podem ser alcançados criando-se um volume de espera destinado a amortecer cheias extremas. Assim o volume de espera associado à capacidade do vertedouro, dimensionado com base na análise de frequência de eventos extremos, sob um certo risco assumido, determinam a confiabilidade do sistema.

Com a aprovação da Lei 9433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, o uso múltiplo da água passou a ser considerado como um dos fundamentos para a gestão dos recursos hídricos no Brasil. A utilização para fins diversos deu origem a restrições para os volumes armazenados interferindo no controle de cheias. Assim, o Setor Elétrico passou a prever a disponibilidade de volumes de esperas nos reservatórios, capazes de absorver parcelas determinadas das afluições. Dada a concepção inicial desses reservatórios, tornou-se evidente a existência de um conflito com a utilização do reservatório para gerar energia e controlar cheias simultaneamente.

Por outro lado, a estimação de volumes de espera em reservatórios, com base em registros históricos de cheias máximas tem sido, tradicionalmente, feita, usando o método curva volume – duração (Beard, 1963) que apresenta dificuldades de ajuste dos dados decorrentes das variações amostrais e forma da curva. Já o método proposto por Kelman (1987) não é apropriado quando o tamanho da amostra é pequena, como ocorre com os registros de dados disponíveis. Meon (1992) utilizou a função densidade de probabilidade exponencial ajustada às cheias extremas para obter os volumes afluentes associados a períodos de retornos. A distribuição do valor extremo generalizada (GEV), introduzida por Jenkinson (1955) tem sido usada para modelar uma extensa variedade de extremos naturais baseada nas considerações teóricas de que a distribuição de valores extremos de uma amostra converge assintoticamente para uma das três formas de valores extremos reunidas através do modelo de distribuição GEV (Wang, 1997). O emprego da distribuição GEV associada aos momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens mais elevadas (momentos LH) tem gerados bons resultados de modelação de eventos extremos hidrológicos (Wang, 1997; Martins e Stedinger, 2002; Queiroz, 2002; Queiroz e Chaudhry, 2003a e b).

Material e métodos

Para construção das séries de volumes afluentes máximos com diferentes durações, foram utilizadas as séries de vazões média diária observadas em estações fluviométricas de rios das sub-bacias 64, 65 (Bacia do Paraná), 81 e 83 (Bacia do Atlântico Sul) como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Estações fluviométricas consideradas*.

Sub-bacia	Código	Nome	Rio	UF	Município	Resp.	Período
64	64370000	Andirá	Rio da Cinzas	PR	Andirá	ANA	65 ANOS
64	64390000	Porto Sta Terezinha	Rio Laranjinha	PR	Santa Mariana	ANA	58 ANOS
64	64465000	Tibagi	Rio Tibagi	PR	Tibagi	ANA	66 ANOS
64	64507000	Jataizinho	Rio Tibagi	PR	Jataizinho	SUDERHSA	65 ANOS
64	64620000	Rio dos Patos	Rio dos Patos	PR	Prudentópolis	ANA	66 ANOS
64	64790000	Salto Sapucaí	Rio Sapucaí	PR	Iguatu	ANA	31 ANOS
64	64843000	Guairá	Rio Parana	PR	Guaira	ANA	73 ANOS
65	65035000	Porto Amazonas	Rio Iguaçu	PR	P. Amazonas	ANA	63 ANOS
65	65060000	São Mateus do Sul	Rio Iguaçu	PR	São M. do Sul	ANA	68 ANOS
65	65100000	Rio Negro	Rio Negro	PR	Rio Negro	ANA	68 ANOS
65	65155000	São Bento	Rio da Varzea	PR	Lapa	ANA	68 ANOS
81	81125000	Turvo	Rio Santana	PR	Rio B. do Sul	ANA	51 ANOS
81	81135000	Balsa do Cerro Azul	Rio R. do Iguaçu	PR	Cerro Azul	ANA	64 ANOS
82	82170000	Morretes	R Nhundiaquara	PR	Morretes	ANA	59 ANOS

*Agência Nacional de Águas (www.ana.gov.br).

Método da curva volume x duração

Este método se baseia no cálculo dos volumes afluentes acumulados num período correspondente a duração da cheia, onde relaciona-se cada intervalo de tempo com a duração “d” de dias consecutivos com o máximo volume afluente neste período, dado pela equação:

$$va(d) = \max_{0 < t < h-d+1} \sum_{j=0}^{d-1} [q(t+j)\Delta t] \quad (1)$$

em que:

$va(d)$ = máximo volume afluente para a duração de “d” dias (hm^3);

d = duração em dias;

$q(t+j)$ = vazão média diária no dia $(t+j)$;

Δt = intervalo de discretização do tempo (1 dia = 86.400s);

h = número de dias da estação chuvosa;

t = dia.

A partir da série histórica de vazões naturais médias diárias e admitindo uma vazão defluente máxima que não cause danos a jusante (descarga de restrição), pode-se definir, para o período chuvoso de cada ano hidrológico, o volume vazio necessário para absorver cheias com qualquer duração. Este volume, denominado volume de espera, pode ser representado pela seguinte expressão:

$$ve(i) = \max [va(d) - d.qr.\Delta t], \quad d = 1, 2, 3, \dots, h \quad (2)$$

onde:

$ve(i)$ = volume de espera para o período chuvoso do ano hidrológico (hm^3);

qr = descarga de restrição (hm^3).

Os passos anteriores são repetidos para cada ano, referente ao período chuvoso, da série histórica, sendo o volume de espera a ser adotado dado por:

$$ve = \max[ve(i), i = 1, \dots, m] \quad (3)$$

onde:

m = número de séries do histórico;

A duração associada a este volume é chamada duração crítica. A curva volume x duração baseada no histórico é apresentada na Figura 1.

A partir da série histórica, amostras de eventos máximos de várias durações são ajustadas a uma distribuição de probabilidades, neste caso a distribuição GEV, para cada duração de “d” dias, construindo-se a curva volume x duração associada a uma probabilidade “p” fixa de emergência (Figura 2).

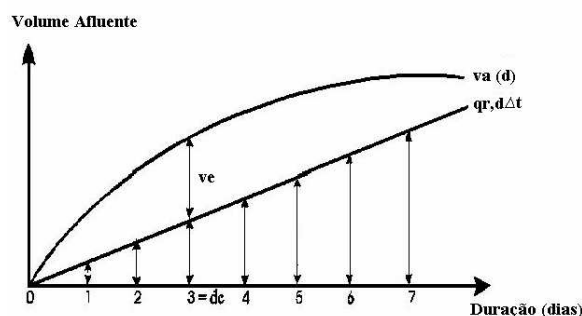


Figura 1. Curva volume x duração.

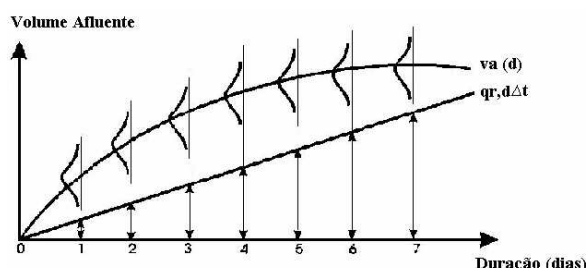


Figura 2. Volume x duração associada a uma probabilidade “p” fixa de emergência.

Distribuição GEV

A função de distribuição do valor extremo generalizada – 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 Tippet, 1928; Gumbel, 1958), é definida, segundo Jenkinson (1955), como segue:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \left[- \left(1 - k \frac{x-u}{\alpha} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \quad (4)$$

Quando o parâmetro k tende a zero a equação (4) converge para a distribuição Gumbel cuja função distribuição é dada por:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x-u}{\alpha} \right) \right] \quad (5)$$

sendo:

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

$\varepsilon \leq x < +\infty$, para $k < 0$ - distribuição VEII;

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

em que u é o parâmetro de locação, $-\infty < u < +\infty$, α é o parâmetro de escala $0 < \alpha < +\infty$, e k é o parâmetro de forma, $-\infty < k < +\infty$. 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 $\varepsilon = u + \alpha/k$.

O p-ésimo percentil da distribuição GEV é dado pelas seguintes relações decorrentes das equações (4) e (5):

$$x_p = u + \frac{\alpha}{k} \left[1 - (-\ln(p))^k \right], \text{ para } k \neq 0, \quad 0 < p < 1 \quad (6)$$

$$x_p = u - \alpha \ln[-\ln(p)], \text{ para } k = 0, \quad 0 < p < 1 \quad (7)$$

Combinando a equação (5) com a variável reduzida de Gumbel (z): $z = (x - u)/\alpha$, obtém-se $F(x) = \exp[-\exp(-z)]$, que resulta em:

$$z = \ln[-\ln(F(x))] \quad (8)$$

A distribuição Gumbel reduzida também se relaciona com o período de retorno (T), $T = 1/(1 - F(x))$.

Logo, a equação (4) 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 distribuição de valores extremos, com relação à posição de x , como ilustra a Figura 3.

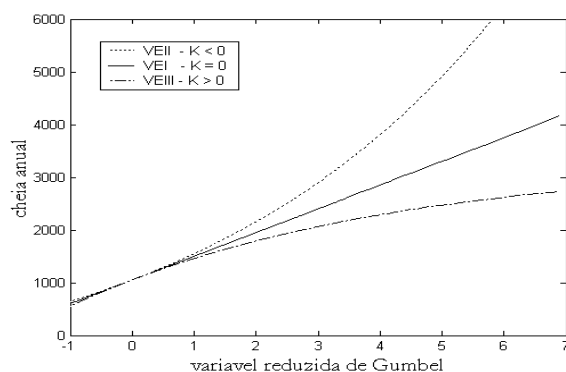


Figura 3. Distribuição das três formas de valores extremos representados pela GEV.

Momentos LH

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

$$\hat{\lambda}_1^\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n {}^{i-1}C_\eta x_{(i)} \quad (9a)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ({}^{i-1}C_{\eta+1} - {}^{i-1}C_\eta {}^{n-1}C_1) x_{(i)} \quad (9b)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ({}^{i-1}C_{\eta+2} - 2 {}^{i-1}C_{\eta+1} {}^{n-i}C_1 + {}^{i-1}C_\eta {}^{n-i}C_2) x_{(i)} \quad (9c)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ({}^{i-1}C_{\eta+3} - 3 {}^{i-1}C_{\eta+2} {}^{n-i}C_1 + 3 {}^{i-1}C_{\eta+1} {}^{n-i}C_2 - {}^{i-1}C_\eta {}^{n-i}C_3) x_{(i)} \quad (9d)$$

onde:

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

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):

$$\lambda_1^\eta = u + \frac{\alpha}{\kappa} \left[1 - \Gamma(1+k)(\eta+1)^{-k} \right] \quad (10a)$$

$$\lambda_2^\eta = \frac{(\eta+2)\alpha\Gamma(1+\kappa)}{2!\kappa} \left[-(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+1)^{-\kappa} \right] \quad (10b)$$

$$\lambda_3^\eta = \frac{(\eta+3)\alpha\Gamma(1+\kappa)}{3!\kappa} \left[-(\eta+4)(\eta+3)^{-\kappa} + 2(\eta+3)(\eta+2)^{-\kappa} - (\eta+2)(\eta+1)^{-\kappa} \right] \quad (10c)$$

$$\lambda_4^\eta = \frac{(\eta+4)\alpha\Gamma(1+\kappa)}{4!\kappa} \left[-(\eta+6)(\eta+5)(\eta+4)^{-\kappa} + 3(\eta+5)(\eta+4)(\eta+3)^{-\kappa} - 3(\eta+4)(\eta+3)(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+3)(\eta+2)(\eta+1)^{-\kappa} \right] \quad (10d)$$

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

$$\tau_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{(\eta+2)\alpha\Gamma(1+\kappa) \left[-(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+1)^{-\kappa} \right]}{ku + \alpha \left[1 - \Gamma(1+k)(\eta+1)^{-k} \right]} \quad (11a)$$

$$\tau_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{(\eta+3) \left[-(\eta+4)(\eta+3)^{-\kappa} + 2(\eta+3)(\eta+2)^{-\kappa} - (\eta+2)(\eta+1)^{-\kappa} \right]}{(\eta+2) \left[-(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+1)^{-\kappa} \right]} \quad (11b)$$

$$\tau_4^\eta = \frac{1}{12} \frac{(\eta+4) \left[-(\eta+6)(\eta+5)(\eta+4)^{-\kappa} + 3(\eta+5)(\eta+4)(\eta+3)^{-\kappa} - 3(\eta+4)(\eta+3)(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+3)(\eta+2)(\eta+1)^{-\kappa} \right]}{(\eta+2) \left[-(\eta+2)^{-\kappa} + (\eta+1)^{-\kappa} \right]} \quad (11c)$$

onde τ_2^η , τ_3^η e τ_4^η são, respectivamente, o coeficiente para testar a hipótese de variação LH, assimetria LH e curtose LH e a função gama. O teste de hipótese de que uma série de dados vem da distribuição ajustada pode ser conduzido na base da estimativa amostral $\hat{\tau}_4^\eta$ utilizando a seguinte estatística (Wang, 1998):

$$Z_W = \frac{\hat{\tau}_4^\eta - \tau_4^\eta}{\sigma(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta = \tau_3^\eta)} \quad (12)$$

com valores críticos de uma distribuição normal padrão.

Resultados e discussão

Ajustes dos volumes afluentes máximos

Para se definir as séries dos volumes afluentes em cada uma das estações citadas na Tabela 1, foi feita a aplicação da Equação 1 para calcular os volumes afluentes correspondentes as vazões com diferentes durações consecutivas de cheias, considerando a extensão de cada série de dados observados. Posteriormente, foram extraídos apenas os valores máximos referentes a cada duração em cada ano. A Tabela 2 apresenta os resultados dos ajustes da distribuição GEV as séries de volumes afluentes máximos com diferentes durações, referentes as estações fluviométricas 65100000, 81135000 e 82170000.

Os ajustes da distribuição GEV as séries de volumes afluentes máximos para cada duração, referente à estação 64843000 (Guairá), estão apresentados nas Figuras 4 e 5.

Tabela 2. Valores dos parâmetros e das taxas de momentos referente ao ajuste da distribuição GEV as series de valores afluentes com diferentes durações.

Duração (dia)	Parâmetros da dist.			Taxas de momentos			Níveis LH	Teste de Wang*
	GEV			LH				
	k	α	u	cv	ca	Cc		
Estação fluviométrica 65100000								
1	-0,28	3,08	3,08	0,28	0,36	0,26	0	0,14
2	-0,21	3,26	4,10	0,15	0,39	0,22	4	0,11
3	-0,03	10,17	11,01	0,18	0,26	0,14	1	0,50
4	0,43	36,69	17,57	0,13	0,12	0,01	4	1,55
5	-0,20	22,05	22,05	0,38	0,30	0,13	0	0,17
6	0,21	50,75	25,30	0,17	0,21	0,03	4	0,16
7	-0,87	0,98	3,01	0,40	0,71	0,59	4	0,68
8	-0,27	29,46	32,42	0,50	0,35	0,21	0	0,74
9	1,03	162,95	95,36	0,11	-0,14	-0,10	3	0,88
10	-0,69	2,57	19,45	0,16	0,62	0,44	4	0,09
Estação fluviométrica 81135000								
1	-0,33	7,49	13,12	0,37	0,40	0,26	0	0,49
2	0,29	13,70	11,65	0,12	0,17	0,04	4	1,20
3	-0,25	12,09	23,40	0,32	0,33	0,20	0	1,02
4	-0,36	11,32	21,58	0,24	0,46	0,28	3	0,09
5	0,01	16,65	25,77	0,21	0,23	0,13	1	0,26
6	-0,13	20,61	29,10	0,18	0,35	0,16	4	0,37
7	0,04	11,37	9,54	0,17	0,27	0,09	4	1,18
Estação fluviométrica 82170000								
1	0,09	1,92	5,55	0,09	0,26	0,13	4	0,01
2	0,10	1,61	4,35	0,14	0,23	0,08	2	1,20
3	-0,31	2,06	6,20	0,18	0,43	0,26	2	0,39
4	-0,25	2,74	5,65	0,23	0,39	0,24	1	0,04
5	0,62	4,03	5,50	0,13	-0,01	0,05	2	0,03
6	2,33	8,00	4,76	0,05	-0,56	-0,09	4	0,91
7	-0,13	1,74	4,88	0,22	0,25	0,19	0	0,08

k – parâmetro de forma; α – Parâmetro de escala; u – Parâmetro de posição; cv – Coeficiente de variação; ca – Coeficiente de assimetria; cc – Coeficiente de curtose; *ajuste aceito pelo teste de Wang com 5% de significância (valor crítico=1,96).

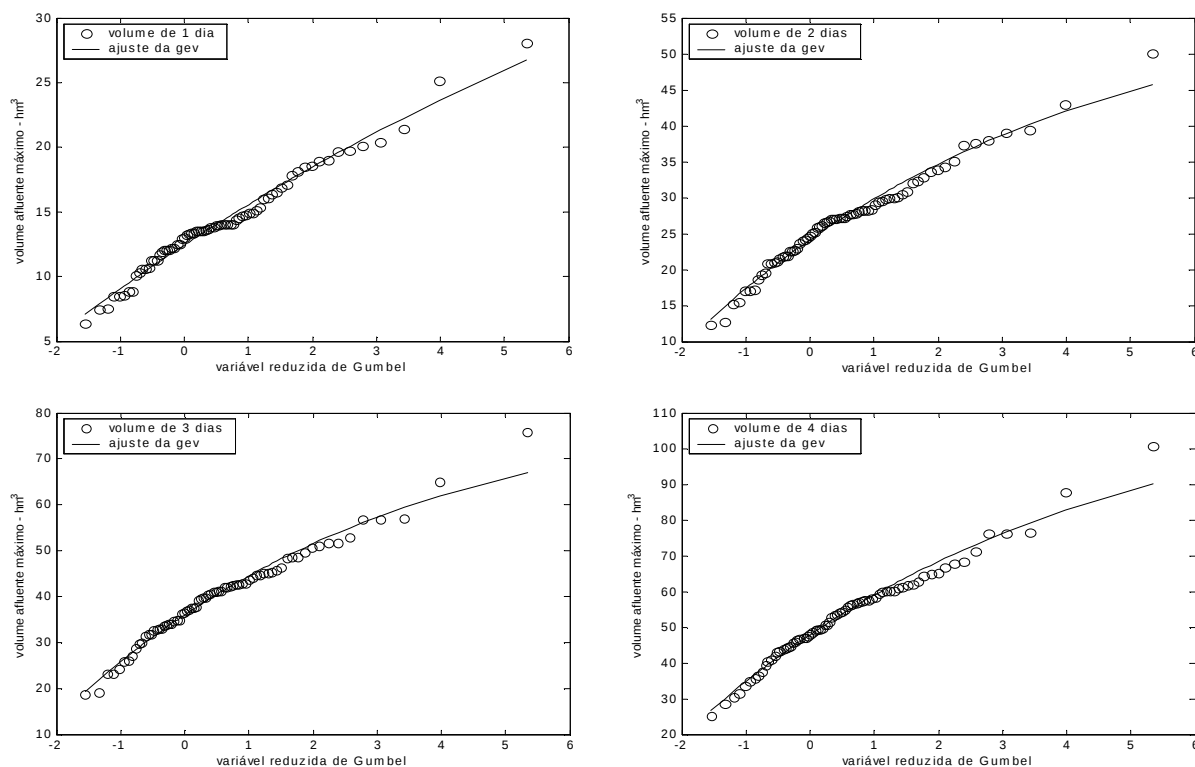


Figura 4. Ajuste da distribuição GEV aos volumes afluentes com 1, 2, 3, 4, 5 e 6 dias de duração referente à estação 64843000. (continua...)

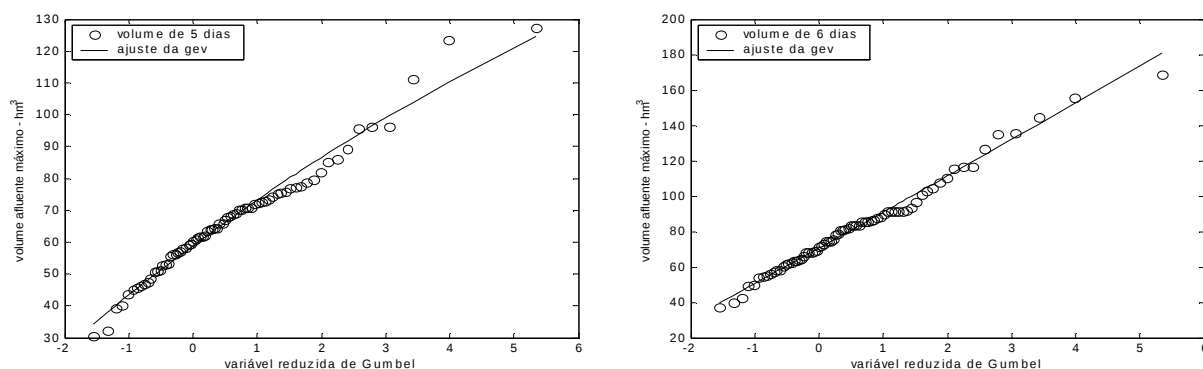


Figura 4. (... continuação) Ajuste da distribuição GEV aos volumes afluentes com 1, 2, 3, 4, 5 e 6 dias de duração referente à estação 64843000.

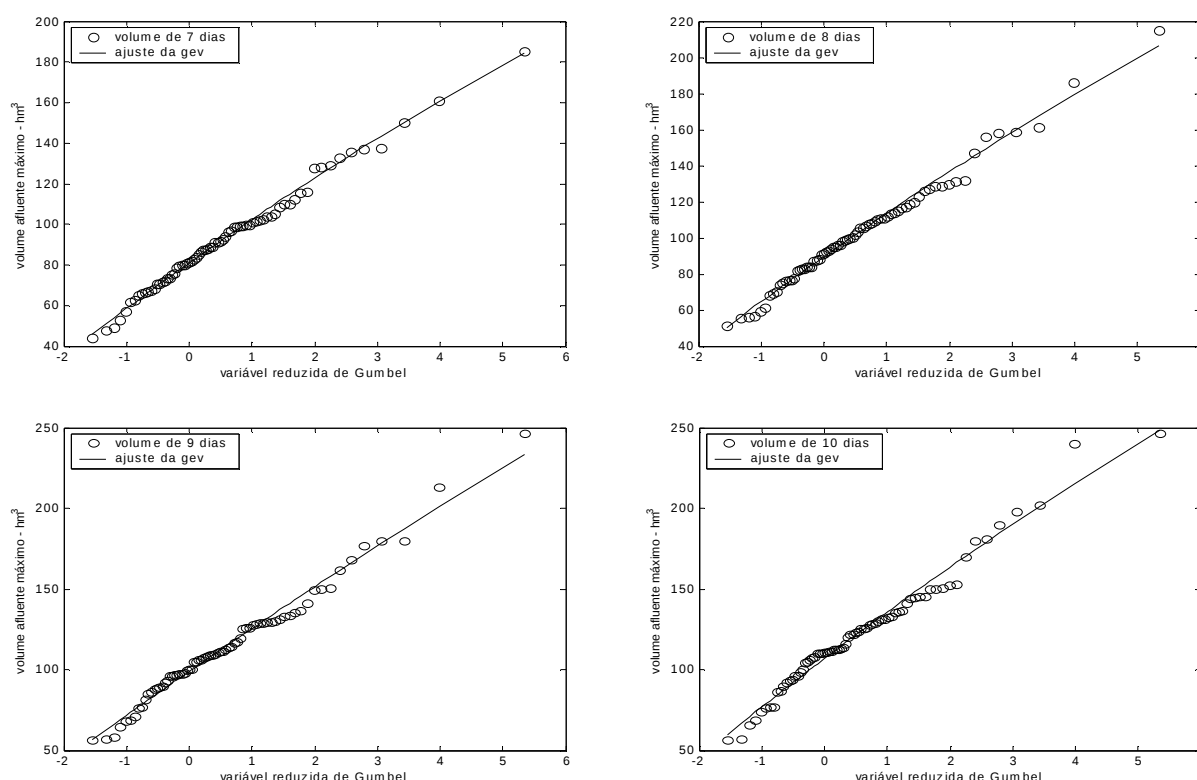


Figura 5. Ajuste da distribuição GEV aos volumes afluentes com 7, 8, 9 e 10 dias de duração referente à estação 64843000.

As demais séries estudadas apresentaram ajustes semelhantes aos apresentados nas Figuras 4 e 5, resultando nas três formas de valores extremos, as quais foram adequadamente ajustadas através da distribuição GEV, com os melhores ajustes ocorridos nos vários níveis LH, como podem ser observados na Tabela 2.

As curvas volume x duração ajustadas aos valores de volumes afluentes máximos obtidos através do ajuste da GEV para períodos de retornos de 20, 30, 50, 100, 150 e 200 anos referentes às estações fluviométricas 64370000, 64390000 e 64465000 estão apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8. Os valores de volumes afluentes máximos associados aos diferentes

valores de períodos de retorno obtidos através de seus respectivos ajustes da distribuição GEV possibilitaram estimar a curva volume duração na sua forma quadrática sem ter que recorrer a procedimentos de interpolação usualmente empregados. Das estações estudadas (Tabela 1) apenas uma não resultou em uma curva quadrática como estabelece a teoria.

Para obter o volume de espera que deve ser alocado no reservatório, há necessidade de estabelecer a vazão de restrição. Como o estudo foi realizado em estações fluviométricas não foi possível estabelecer o volume de espera em cada caso. Buscou-se estimar a curva volume duração em várias situações para

verificar a adequabilidade do emprego da distribuição GEV associada a momentos LH na obtenção da

referida curva na sua forma quadrática sem ter que recorrer a artifícios de interpolação.

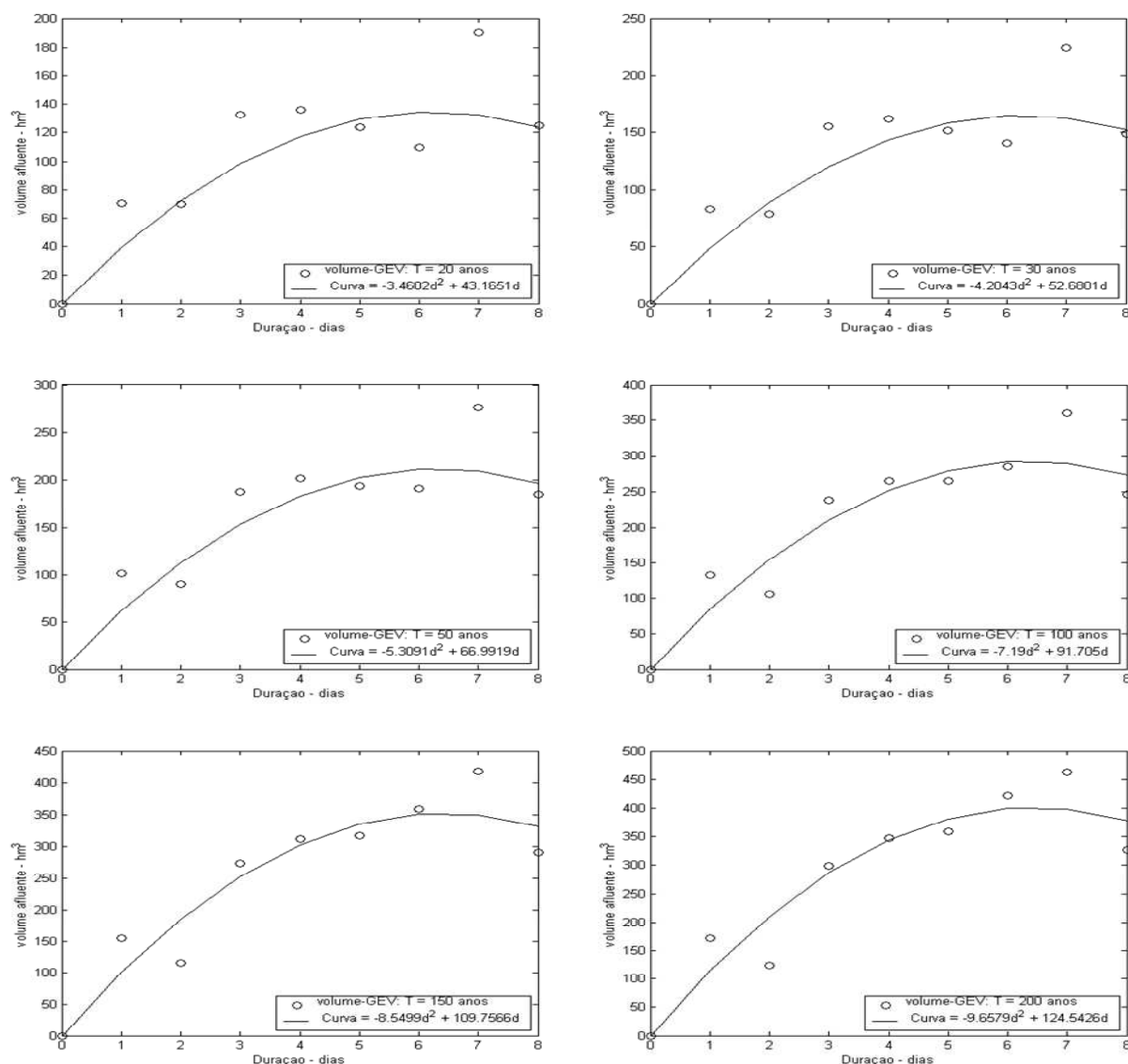


Figura 6. Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos através da GEV referente à Estação 64370000.

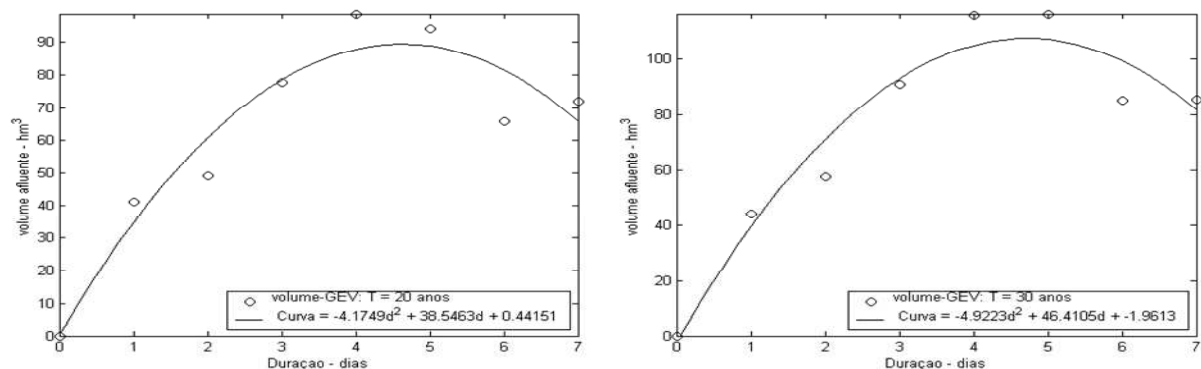


Figura 7. Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos através da GEV referente à Estação 64390000. (continua...)

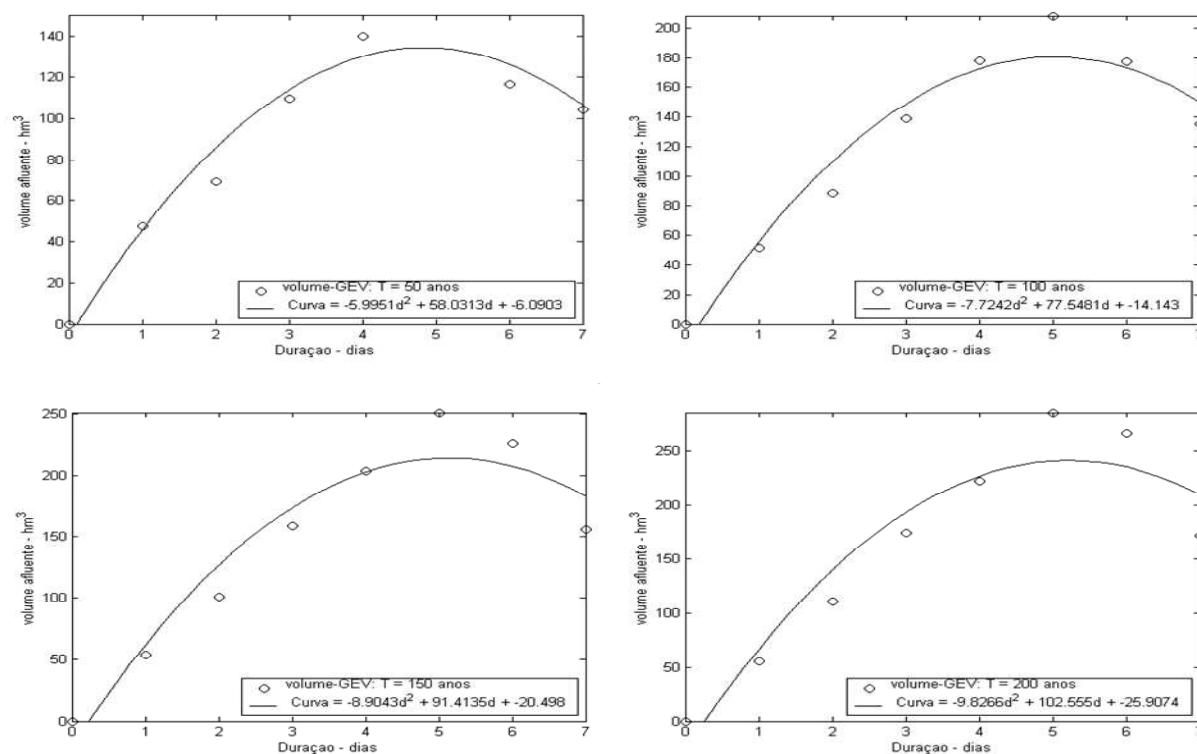


Figura 7. (...continuação) Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos através da GEV referente à Estação 64390000.

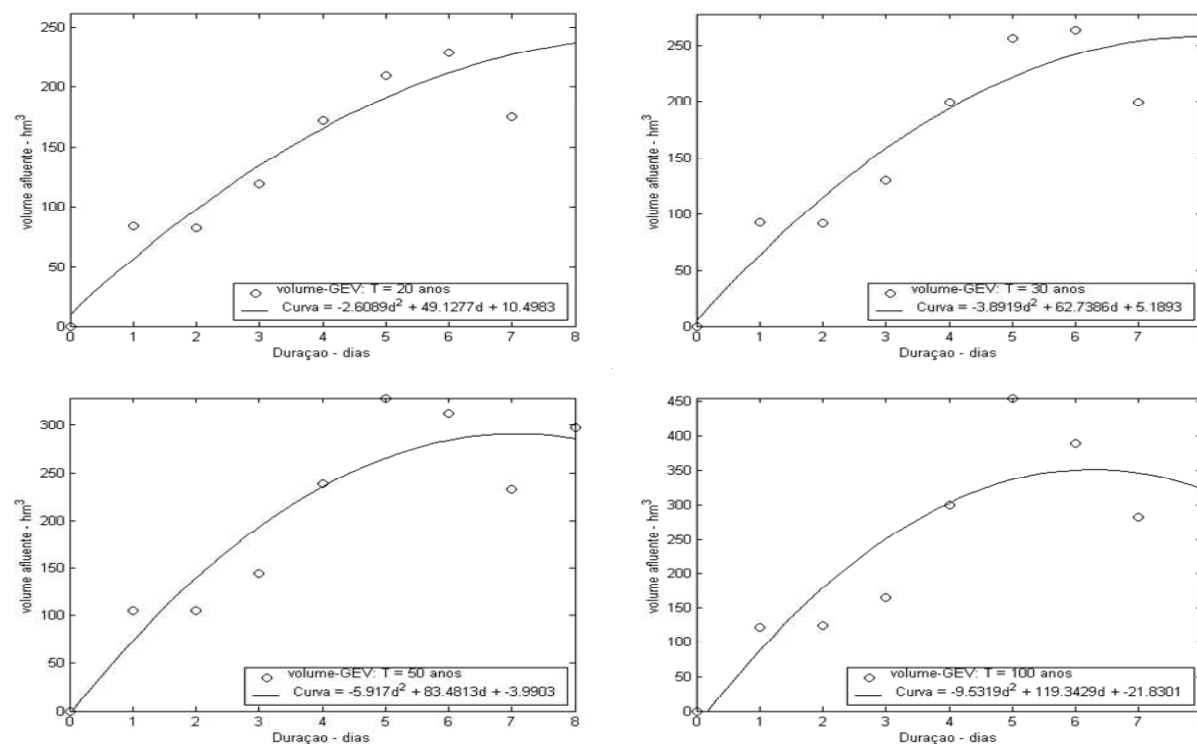


Figura 8. Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos através da GEV referente à Estação 64465000. (continua...)

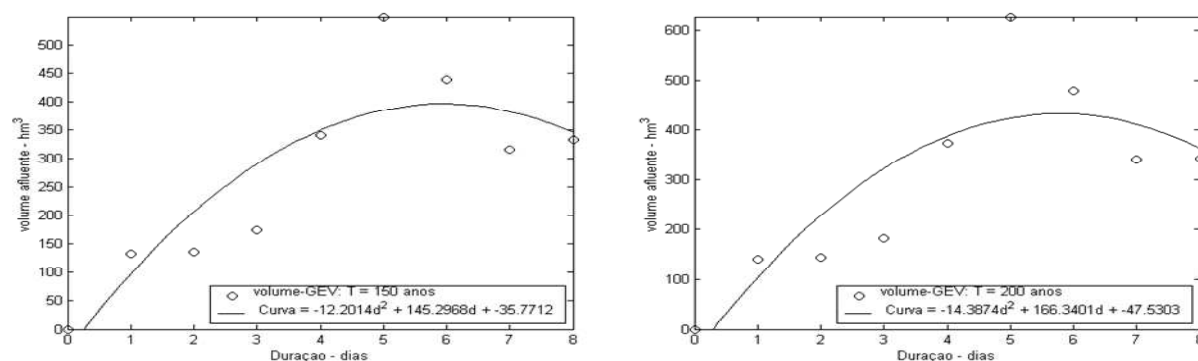


Figura 8. (...continuação) Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos através da GEV referente à Estação 64465000.

Conclusão

Os volumes afluentes máximos para as diferentes durações foram adequadamente ajustados através da distribuição GEV, com nível de significância de 5% segundo o teste estatístico proposto por Wang (1998), aplicados através da rotina proposta em matlab.

Com o uso da distribuição GEV foi possível estabelecer, para a maioria das estações fluviométricas estudadas, dados que juntamente com um ajuste matemático, podem estabelecer, a curva volume x duração, de forma adequada, obtendo ajuste matemático dos valores de volumes afluentes máximos associados a um determinado período de retorno, para diferentes durações de cheias, na forma quadrática como estabelecido na sua metodologia.

Os ajustes dos volumes máximos afluentes obtidos através da GEV permitiram ajustar a curva volume x duração na sua forma quadrática (convexa), apesar de ocorrer as três formas de valores extremos, o que possibilita estimar o volume de espera de forma mais adequada, sem ter que recorrer a procedimentos de interpolação como tem sido feito com o uso de outros modelos estatísticos.

Referências

- BEARD, L.R. Flood control operation of reservoirs. *J. Hydraul. Div.*, ASCE, v. 89, n. 1, p. 21-23, 1963.
- JENKINSON, A.F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.*, Hoboken, v. 81, p. 158-171, 1955.

KELMAN, J. *Flood and hydroelectric utilization*. Rio de Janeiro: ABRH, RBE, 1987.

MARTINS, S.E.; STEDINGER, J.R. Generalized maximum-likelihood generalized extreme - value quantile estimators for hydrologic data. *Water Resour. Res.*, Washington, D.C., v. 36, n. 3, p. 737-744, 2000.

MEON, G. Overtopping probability of dam under flood load. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON STOCH. 5., 1992, Taipei. *Proceedings...* Taipei: IAHR, 1992. p. 99-106.

QUEIROZ, M.M.F. *Análise de cheias anuais segundo distribuição generalizada*. 2002. Tese (Doutorado)—Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

QUEIROZ, M.M.F.; CHAUDHRY, F.H. Análise de eventos extremos em ambiente matlab. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 23., 2003. Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003a.

QUEIROZ, M.M.F.; CHAUDHRY, F.H. Ajuste de vazões via distribuição GEV e momentos LH em matlab. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003b.

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

WANG, Q.J. Approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moments. *Water Resour. Res.*, Washington, D.C., v. 34, n. 12, p. 3497-3502. 1998.

Received on April 24, 2006.

Accepted on January 18, 2007.