

## ESTIMATIVA DA VAZÃO E DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA UTILIZANDO MODELOS PROBABILÍSTICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BENEVENTE

Camila Aparecida da Silva Martins<sup>1</sup>; Eduardo Morgan Uliana<sup>2</sup>; Edvaldo Fialho dos Reis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Produção Vegetal. Bolsista CAPES/REUNI do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), Alegre-ES, Brasil (camila.cca@hotmail.com)

<sup>2</sup>Mestrando em Produção Vegetal. Bolsista CAPES/REUNI do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), Alegre-ES, Brasil

<sup>3</sup>Prof. Dr. Associado II da Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Rural, CCA/UFES, Alegre-ES, Brasil

Data de recebimento: 07/10/2011 - Data de aprovação: 14/11/2011

### RESUMO

Informações sobre a vazão máxima local e a precipitação máxima são importantes para controlar e atenuar as cheias em uma determinada área ou bacia hidrográfica, no dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana e rural, em perímetros de irrigação, diques e extravadores de barragens, entre outros. Nesse contexto, este trabalho teve o objetivo de estimar a vazão máxima local e a precipitação máxima associada a diferentes períodos de retorno na Interbacia do Rio Benevente situada na região sul do Estado do Espírito Santo. Para estimativa da vazão máxima local e da precipitação máxima foram utilizados os modelos probabilísticos Gumbel (valor-extremo Tipo I), Log-Normal com três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson Tipo III e a distribuição generalizada de valores extremos (GEV). Para verificar a aderência dos dados aos modelos utilizados foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 20% de probabilidade. Conclui-se que a vazão máxima local na Interbacia do Rio Benevente varia de  $22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a  $78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e a precipitação máxima varia de  $77 \text{ mm dia}^{-1}$  a  $348 \text{ mm dia}^{-1}$  para os diferentes períodos de retorno em estudo. As distribuições de probabilidade Gumbel, Log-Normal III, Pearson III, Log-Pearson III e GEV são adequadas para estimar a vazão máxima local e a precipitação máxima para diferentes períodos de retorno.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacia hidrográfica, distribuição de probabilidade, período de retorno.

### ESTIMATIVE OF FLOW AND MAXIMUM PRECIPITATION USING PROBABILISTIC MODELS ON OF RIO BENEVENTE HYDROGRAPHIC WATERSHED

### ABSTRACT

Informations about the maximum local flow and maximum precipitation are important to control and attenuate the flood on a determinate area or watershed, on the measurement of hydraulic works of urban and rural drainage, in irrigation perimeter, dykes and barrier extravators, among others. On this context, this work had the

objective of estimating the maximum local flow and the maximum precipitation associated to the different return periods on the inter watershed of Rio Benevente situated on the south region of Espírito Santo estate. For the estimative of maximum local flow and maximum precipitation the probabilistic models Gumbel (extreme-value Type I), Log-Normal with three parameters, Pearson III, Log-Pearson Type III and the generalized distribution of extreme values (GEV) were used. To verify the data adherence to the used models, the test Kolmogorov-Smirnov to the level of 20% of probability was used. It is concluded that the maximum local flow on the inter watershed of Rio Benevente varies from  $22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  to  $78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  and the maximum precipitation varies from  $77 \text{ mm day}^{-1}$  to  $348 \text{ mm day}^{-1}$  for the different return periods studied. The probability distributions Gumbel, Log-Normal III, Pearson III, Log-Pearson III and GEV are appropriate to estimate the maximum local flow and the maximum precipitation for diferente return periods.

**KEYWORDS:** Watershed, probability distribution, return period.

## INTRODUÇÃO

A vazão máxima de um rio é entendida como sendo o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado a ser utilizado na previsão de enchentes e em projetos de obras hidráulicas, tais como bueiros, canais, condutos, entre outras. Assim, a vazão máxima é necessária para controlar e atenuar as cheias em uma determinada área ou bacia hidrográfica, no dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana e rural, em perímetros de irrigação, diques e extravadores de barragens, entre outros. A estimativa deste valor tem importância decisiva nos custos e na segurança dos projetos de engenharia, por ser resultante de precipitações ocorridas ou com possibilidade de ocorrer (TUCCI, 2001).

De acordo com BRANDÃO et al. (2006), no contexto de manejo de bacias hidrográficas a disponibilidade de precipitação em uma bacia é um dos fatores determinantes para se quantificar, dentre outras coisas, a necessidade de irrigação e o abastecimento doméstico e industrial. Além disso, a determinação da precipitação máxima é de grande importância em estudos que visem o controle de enchentes e a minimização da ocorrência de erosão hídrica.

A precipitação máxima é definida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica. E esta pode atuar sobre a produção agrícola, erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, obras hidráulicas, entre outros. Normalmente, a disponibilidade de longas séries de precipitações é muito mais frequente que a de vazão e que o estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para se conhecer a vazão de enchente de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2001).

Nesse contexto, verifica-se que o conhecimento da precipitação máxima é importante para trabalhos de conservação do solo, estradas, barragens e drenagem, para cujo dimensionamento adequado é necessário conhecer ocorrências extremas. O fato de os projetos hidráulicos, em geral, serem elaborados considerando o custo mínimo, associado a um risco admissível de falha, requer a previsão de grandezas hidrológicas de grande magnitude, tais como precipitações máximas e vazões máximas que podem vir a ocorrer em determinada região. Assim, as séries de máximos valores são empregadas para ajuste, segundo a lei probabilística que melhor descreva o processo, possibilitando extrapolações (BEIJO et al., 2005).

As principais distribuições de probabilidades utilizadas em hidrologia para ajuste de vazões máximas são: Empírica, Log-Normal, Gumbel e Log-Pearson III (TUCCI, 2001).

Diante do exposto acima, este trabalho teve o objetivo de estimar a vazão máxima local e a precipitação máxima associada a diferentes períodos de retorno na Interbacia do Rio Benevente situada na região sul do Estado do Espírito Santo.

## **METODOLOGIA**

A Interbacia do Rio Benevente abrange o município de Alfredo Chaves e parte dos municípios de Anchieta, Iconha, Guarapari e Piúma, localizados na região Sul do Estado do Espírito Santo, entre os meridianos 40°33' e 41°00' de Longitude Oeste e entre os paralelos 20°26' e 21°49' de Latitude Sul. De acordo com o mapa de Ottobacias hidrográficas do Espírito Santo (nível 4) elaborado pelo Instituto Jones dos Santos Neves (2009), a Interbacia do Rio Benevente possui área de drenagem de 2.348,87 km<sup>2</sup> e código de identificação igual a 7715 (IEMA, 2011).

A área de estudo tem sua principal nascente na Serra do Tamanco, entre os municípios de Alfredo Chaves e Vargem Alta no distrito de Urânia e sua foz localiza-se na cidade de Anchieta.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na área em estudo é o Tropical Úmido de Altitude, com influência marcante do relevo e da exposição das serras, nas proximidades da nascente e o Tropical Úmido Típico das faixas litorâneas. A temperatura média anual decresce de 24°C na foz a 22°C nas cabeceiras com umidade relativa média anual crescendo na mesma direção de 79% a 83% e a evaporação anual decrescendo de 1.000 a 900 mm, ainda na mesma direção. O índice pluviométrico oscila entre 1.200 mm anuais até 1.700 mm na parte média da Bacia e chega a atingir mais de 2.000 mm na parte alta (IEMA, 2011; ANA, 2011).

Para determinação da vazão máxima local na Interbacia do Rio Benevente foram utilizados os dados de vazão da estação fluviométrica situada na localidade Matilde, pertencente ao município de Alfredo Chaves, a uma altitude de 525 m, com coordenadas geográficas de 20° 32' 24" de latitude Sul e 40° 49' 41" de longitude Oeste, que possui série histórica de 50 anos. A partir da série histórica de vazão foram obtidas as vazões máximas anuais de um dia e foram realizadas análises estatísticas que serão descritas a seguir.

Simultaneamente, para determinação da precipitação máxima, foram utilizadas neste trabalho, séries históricas de precipitação de oito localidades situadas na Interbacia do Rio Benevente e em seu entorno. As coordenadas geográficas das estações pluviométricas utilizadas, a localidade, o município e o respectivo número de anos da série histórica podem ser visualizados no Quadro 1. A partir das séries históricas de precipitação foram obtidas as precipitações máximas anuais de um dia e assim realizou-se análise estatística destes valores.

Foram utilizadas para elaboração deste trabalho as séries históricas de precipitação diária disponibilizadas no sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA).

**QUADRO 1.** Localização geográfica, altitude, localidade, município e número de anos da série histórica das estações pluviométricas da Interbacia do Rio Benevente em estudo.

Latitude	Longitude	Altitude (m)	Localidade	Município	Número de anos da série
-20°49'21"	-40°41'31"	78	Sede	Anchieta	48
-20°46'58"	-40°49'29"	36	Sede	Iconha	50
-20°43'41"	-40° 52' 56"	250	Duas Barras	Iconha	47
-20°39'07"	-40°30'29"	88	Sede	Guarapari	32
-20°57'10"	-40°57'12"	40	Usina Paineiras	Itapemirim	44
-20°33'23"	-40°48'43"	534	Matilde	Alfredo Chaves	51
-20°42'07"	-41°00'59"	580	Jaciguá	Vargem Alta	49
-20°30'56"	-40°21'49"	3	Ponta da Fruta	Vila Velha	21

Para obtenção da vazão máxima e da precipitação máxima de um dia para diferentes períodos de retorno se faz necessário encontrar uma distribuição de probabilidade que se ajuste aos dados. PINHEIRO & NAGUETTINI (1998) relatam que as distribuições de probabilidade de dois e três parâmetros mais indicadas e utilizadas em hidrologia, no estudo de eventos de valores extremos são do tipo I - Gumbel, do tipo II - Fréchet e do tipo III-Weibull, além da distribuição generalizada de eventos extremos. Os mesmos autores mencionam também que outros modelos não extremos como a distribuição Log-Normal, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III, assim como as distribuições de quatro parâmetros, Kappa, ou de cinco parâmetros, como as distribuições Wakeby e Boughton são utilizadas em hidrologia.

Para atingir os objetivos deste trabalho foram utilizadas as distribuições Gumbel (valor-extremo Tipo I), Log-Normal com três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson Tipo III e a distribuição generalizada de valores extremos (GEV) para determinação da probabilidade de ocorrências das variáveis em estudo.

A função densidade de probabilidade da distribuição Gumbel (Tipo I) é dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ -\frac{y-\beta}{\alpha} - \exp \left( -\frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right]$$

Em que  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros da distribuição.

A distribuição Log-Normal com três parâmetros possui a seguinte função densidade de probabilidade:

$$F(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{\ln(x-a) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \right\}$$

Em que  $a$ ,  $\sigma_y$  e  $\mu_y$  são parâmetros da distribuição.

A função densidade de probabilidade de uma distribuição Pearson III é dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-y}{\alpha}\right)$$

Em que  $\alpha$ ,  $\beta$  são parâmetros da distribuição e  $\Gamma$  é a função gama.

E a distribuição Log-Pearson III possui a seguinte função densidade de probabilidade:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left[\frac{\ln(x)-y}{\alpha}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{\ln(x)-y}{\alpha}\right]$$

Em que  $\alpha$ ,  $\beta$  são parâmetros da distribuição e  $\Gamma$  é a função gama.

A função densidade de probabilidade da distribuição generalizada de valores extremos (GEV) é dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]^{1/(k-1)} \exp\left\{-\left[1 - k \left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]^{1/k}\right\}$$

Em que  $\alpha$ ,  $\beta$  são parâmetros da distribuição.

Os parâmetros das distribuições, cujas funções densidade de probabilidade foram especificadas acima, foram estimados pelo método dos momentos-L que segundo VALVERDE et al. (2004) tem sido proposto para o cálculo dos parâmetros das principais distribuições de probabilidade utilizadas em estudos hidrológicos.

Geralmente são utilizados testes de hipóteses para verificar a aderência de uma determinada distribuição de probabilidade para a série de dados. Um desses testes é o de Kolmogorov-Smirnov. O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS) é um teste não paramétrico, cujo teste estatístico tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas. Segundo NAGHETTINI & PINTO (2007) o teste não é aplicável a variáveis aleatórias discretas.

Para verificar a aderência dos dados de vazão e precipitação máximas as distribuições em estudo foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 20% de probabilidade.

Os dados foram submetidos à análise estatística com o auxílio do software R 2.10.

Após a verificação da aderência foi calculada a probabilidade de ocorrência de cada variável em estudo e dessa forma, foram estimadas as precipitações máximas anuais e as vazões máximas anuais de um dia associadas a diferentes períodos de retorno.

BERTONI & TUCCI (2001) relatam que o período de retorno ou recorrência ( $Tr$ ) pode ser interpretado como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação analisada seja igualada ou superada. O período de retorno pode ser obtido pela seguinte equação:

$$Tr = \frac{1}{P}$$

Em que:

$P$  = a probabilidade da variável em estudo ser igualada ou superada.

Para analisar os valores mínimos de alguma variável hidrológica deve-se mudar a interpretação, no sentido de ocorrer valores menores que o analisado, ou seja, deve-se calcular a probabilidade cumulativa da variável. O período de retorno neste caso é o inverso da probabilidade de não excedência.

Para cálculo da precipitação máxima média na bacia hidrográfica em estudo utilizou-se o método do polígono de Thiessen, o qual atribui um valor de ponderação aos totais precipitados em cada pluviômetro proporcional a área de influência de cada um. A área de influência foi calculada de acordo com a metodologia descrita por BERTONI & TUCCI (2001) sobre o polígono de Thiessen: onde os pluviômetros foram ligados por trechos retilíneos; em seguida foram traçadas linhas perpendiculares aos trechos retilíneos passando pelo meio da linha que liga os dois pluviômetros; as linhas perpendiculares foram prolongadas até encontrar outra linha. O polígono foi formado pela intersecção das linhas, correspondendo a área de influência de cada pluviômetro. A precipitação média foi calculada pela seguinte equação:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Em que:

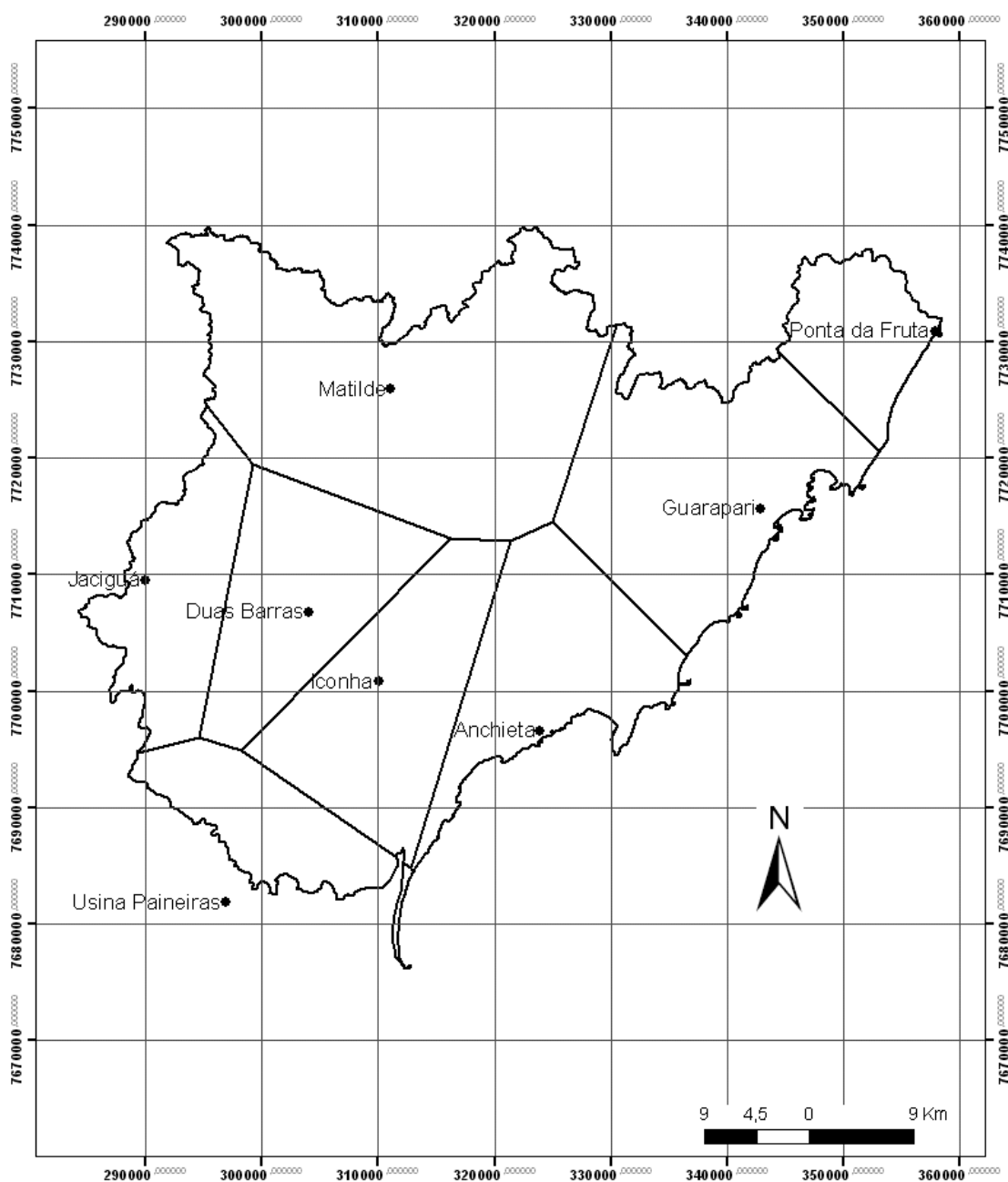
$P_m$  = a precipitação média na bacia considerada, mm;

$P_i$  = precipitação em cada estação em mm;

$A_i$  = área de influência do pluviômetro  $P_i$ ; e

$n$  = número de estações pluviométricas consideradas.

Na Figura 1 está apresentado o mapa da Interbacia do Rio Benevente com a divisão das áreas de influência dos pluviômetros segundo o método de Thiessen elaborado com o auxílio do software ArcGis 9.1 (SANTOS, 2007).



**FIGURA 1.** Mapa da Interbacia do Rio Benevente com a divisão das áreas de influência dos pluviômetros segundo o método de Thiessen elaborado com o auxílio do software ArcGis 9.1 (SANTOS, 2007).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística para a vazão máxima local e para a precipitação máxima na Interbacia do Rio Benevente em estudo estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

**TABELA 1.** Resultado da análise estatística para a vazão máxima local na Interbacia do Rio Benevente em estudo

<b>Localidade</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Valor P</b>
Matilde	Gumbel	0,956
	Log-Normal III	0,936
	Pearson III	0,841
	Log-Pearson III	0,948
	GEV	0,966

Observa-se na Tabela 1 que para a vazão máxima local na Interbacia do Rio Benevente, todas as distribuições aplicadas aos dados da série histórica da estação fluviométrica situada em Matilde, localidade pertencente ao município de Alfredo Chaves, se adequam a variável em estudo. Sendo válido ressaltar que a distribuição generalizada de valores extremos (GEV) apresentou o maior valor de P, seguido das distribuições de Gumbel (Tipo I), Log-Pearson III, Log-Normal III e Pearson III. Esses resultados indicam que as cinco distribuições analisadas podem e devem ser utilizadas para estimar os valores máximos de vazão em bacias hidrográficas.



**TABELA 2.** Resultado da análise estatística para a precipitação máxima na Interbacia do Rio Benevente em estudo

<b>Localidades</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Valor P</b>
Anchieta	Gumbel	0,704
	Log-Normal III	1,000
	Pearson III	1,000
	Log-Pearson III	0,995
	GEV	0,999
Iconha	Gumbel	0,796
	Log-Normal III	0,908
	Pearson III	0,965
	Log-Pearson III	0,890
	GEV	0,862
Duas Barras	Gumbel	0,844
	Log-Normal III	0,738
	Pearson III	0,653
	Log-Pearson III	0,871
	GEV	0,778
Guarapari	Gumbel	0,486
	Log-Normal III	0,904
	Pearson III	0,749
	Log-Pearson III	0,884
	GEV	0,905
Usina Paineiras	Gumbel	0,966
	Log-Normal III	0,978
	Pearson III	0,985
	Log-Pearson III	0,980
	GEV	0,973
Matilde	Gumbel	0,800
	Log-Normal III	0,873
	Pearson III	0,895
	Log-Pearson III	0,905
	GEV	0,861
Jaciguá	Gumbel	0,179
	Log-Normal III	0,572
	Pearson III	0,598
	Log-Pearson III	0,588
	GEV	0,546
Ponta da Fruta	Gumbel	1,000
	Log-Normal III	1,000
	Pearson III	0,999
	Log-Pearson III	1,000
	GEV	1,000

Analisando a Tabela 2 verifica-se que para a precipitação máxima na Interbacia do Rio Benevente, as distribuições aplicadas aos dados das séries históricas das estações pluviométricas localizadas na sede de Anchieta, em Duas Barras e na sede de Iconha, na sede de Guarapari, na Usina Paineiras em Itapemirim, em Jaciguá em Vargem Alta e Ponta da Fruta em Vila Velha se adequam bem a variável em estudo. Além disso, observa-se que as distribuições Log-Normal III, Log-Pearson III, a Pearson III e a GEV apresentaram os maiores valores de P, quando comparadas com os valores obtidos com a distribuição de Gumbel, principalmente na localidade de Jaciguá. Sendo válido ressaltar que quanto maior for o valor de P melhor será o ajuste dos dados da distribuição em estudo.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados da análise estatística da vazão máxima local e da precipitação máxima para diferentes períodos de retorno (Tr) na Interbacia do Rio Benevente em estudo.

**TABELA 3.** Vazão máxima local ( $m^3 s^{-1}$ ) para diferentes períodos de retorno (Tr)

Localidade	Distribuição	Vazão máxima local ( $m^3 s^{-1}$ ) para Tr (anos)							
		2	5	10	20	50	100	200	500
Matilde	Gumbel	23	32	37	43	50	56	61	68
	Log-Normal III	22	31	37	44	52	59	66	75
	Pearson III	22	32	38	44	52	57	63	70
	Log-Pearson III	22	31	38	44	52	58	65	74
	GEV	22	31	37	44	53	60	67	78

Observando a Tabela 3, nota-se que os valores da vazão máxima local para os diferentes períodos de retorno em estudo (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anos) variam de  $23 m^3 s^{-1}$  a  $68 m^3 s^{-1}$  para a distribuição Gumbel; de  $22 m^3 s^{-1}$  a  $75 m^3 s^{-1}$  para a distribuição Log-Normal III; de  $22 m^3 s^{-1}$  a  $70 m^3 s^{-1}$  para a distribuição Pearson III; de  $22 m^3 s^{-1}$  a  $74 m^3 s^{-1}$  para a distribuição Log-Pearson III; e de  $22 m^3 s^{-1}$  a  $78 m^3 s^{-1}$  para a distribuição generalizada de valores extremos (GEV). Esses resultados correspondem a uma vazão específica máxima de  $111,65 L s^{-1}/km^2$  a  $330,10 L s^{-1}/km^2$  para a distribuição Gumbel; de  $106,80 L s^{-1}/km^2$  a  $364,08 L s^{-1}/km^2$  para a distribuição Log-Normal III; de  $106,80 L s^{-1}/km^2$  a  $339,81 L s^{-1}/km^2$  para a distribuição Pearson III; de  $106,80 L s^{-1}/km^2$  a  $359,22 L s^{-1}/km^2$  para a distribuição Log-Pearson III; e de  $106,80 L s^{-1}/km^2$  a  $378,64 L s^{-1}/km^2$  para a distribuição GEV, respectivamente.

**TABELA 4.** Precipitação máxima (mm dia<sup>-1</sup>) para diferentes períodos de retorno (Tr)

Localidades	Distribuição	Precipitação máxima (mm) para Tr (anos)							
		2	5	10	20	50	100	200	500
Anchieta	Gumbel	77	100	115	129	148	162	176	194
	Log-Normal III	80	102	113	123	135	143	150	159
	Pearson III	80	102	113	123	135	142	150	159
	Log-Pearson III	81	103	114	123	132	138	144	149
	GEV	80	102	114	123	134	140	146	152
Iconha	Gumbel	90	118	137	154	178	195	212	235
	Log-Normal III	87	116	137	159	188	212	237	272
	Pearson III	87	118	139	159	186	205	224	250
	Log-Pearson III	87	116	139	163	198	229	262	312
	GEV	88	115	136	158	190	216	245	287
Duas Barras	Gumbel	99	131	152	172	198	217	237	262
	Log-Normal III	98	130	152	173	201	222	244	274
	Pearson III	98	131	153	173	199	218	236	260
	Log-Pearson III	99	130	150	168	192	209	227	250
	GEV	98	130	152	173	202	225	248	279
Guarapari	Gumbel	86	115	135	153	177	195	213	237
	Log-Normal III	82	112	135	159	195	223	255	299
	Pearson III	82	114	137	161	191	214	236	266
	Log-Pearson III	82	112	137	164	206	242	284	348
	GEV	83	111	133	158	196	229	266	324
Usina Paineiras	Gumbel	79	102	117	131	150	164	178	196
	Log-Normal III	79	102	117	131	149	162	176	194
	Pearson III	79	103	117	131	148	160	172	187
	Log-Pearson III	79	102	117	132	151	165	179	199
	GEV	79	102	117	131	149	163	177	194
Matilde	Gumbel	85	105	119	132	150	162	175	192
	Log-Normal III	83	105	120	134	154	169	185	207
	Pearson III	83	105	120	135	153	166	179	195
	Log-Pearson III	83	105	120	136	158	176	195	222
	GEV	84	104	119	134	155	171	189	213
Jaciguá	Gumbel	84	110	127	143	164	180	196	217
	Log-Normal III	81	108	127	148	177	200	225	261
	Pearson III	81	109	129	149	174	193	212	236
	Log-Pearson III	81	108	128	150	182	209	239	284
	GEV	82	107	126	147	178	204	234	278
Ponta da Fruta	Gumbel	79	100	113	126	143	155	168	184
	Log-Normal III	78	99	113	128	146	161	176	197
	Pearson III	78	100	114	128	145	158	170	186
	Log-Pearson III	78	99	114	129	150	167	185	210
	GEV	78	99	113	127	147	163	179	202

Verifica-se na Tabela 4, que os valores da precipitação máxima para os diferentes períodos de retorno em estudo (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anos) variam de 77 mm dia<sup>-1</sup> a 262 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Gumbel; de 78 mm dia<sup>-1</sup> a 299 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Log-Normal III; de 78 mm dia<sup>-1</sup> a 266 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Pearson III; de 78 mm dia<sup>-1</sup> a 348 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Log-Pearson III; e de 78 mm dia<sup>-1</sup> a 324 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição GEV.

Resultados semelhantes foram obtidos por SILVA & CLARKE (2007) na Bacia do Rio São Francisco.

Na Tabela 5 está apresentada a precipitação máxima média (mm) para diferentes períodos de retorno (Tr) na Interbacia do Rio Benevente.

**TABELA 5.** Precipitação máxima média (mm) para diferentes períodos de retorno (Tr) na Interbacia do Rio Benevente

Distribuição	Precipitação máxima média (mm) para Tr (anos)							
	2	5	10	20	50	100	200	500
Gumbel	86	111	127	143	164	179	195	215
Log-Normal III	84	110	127	145	169	189	208	236
Pearson III	84	111	129	146	167	183	199	220
Log-Pearson III	84	110	128	147	173	195	219	253
GEV	84	109	127	145	170	191	213	245

Analisando a Tabela 5, observa-se que os valores da precipitação máxima média para os diferentes períodos de retorno em estudo (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anos) variam de 86 mm dia<sup>-1</sup> a 215 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Gumbel; de 84 mm dia<sup>-1</sup> a 236 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Log-Normal III; de 84 mm dia<sup>-1</sup> a 220 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Pearson III; de 84 mm dia<sup>-1</sup> a 253 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição Log-Pearson III; e de 84 mm dia<sup>-1</sup> a 245 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição GEV.

A importância dessas informações para o manejo de bacias hidrográficas tem sido destacada por diferentes autores. Entretanto, há pouca informação disponível para a maioria das bacias hidrográficas do Brasil. Isto demonstra a necessidade de se realizar outros estudos sobre a vazão máxima local e precipitação máxima nas bacias hidrográficas.

Diante do exposto, este trabalho visa subsidiar a pesquisa em diferentes regiões para auxiliar a gestão dos recursos hídricos existentes.

### CONCLUSÕES

A vazão máxima local na Interbacia do Rio Benevente varia de 22 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> a 78 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> e a precipitação máxima varia de 77 mm dia<sup>-1</sup> a 348 mm dia<sup>-1</sup> para os diferentes períodos de retorno em estudo.

As distribuições de probabilidade Gumbel, Log-Normal III, Pearson III, Log-Pearson III e GEV são adequadas para estimar a vazão máxima local e a precipitação máxima para diferentes períodos de retorno.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela concessão de Bolsas de Doutorado ao primeiro autor e de Mestrado ao segundo autor.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES) pelo apoio técnico e científico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Espírito Santo**. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br/cd4/ES.doc>>. Acesso em: 14 set. 2011.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. **Ciência e Agrotenologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, maio/jun., 2005.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre, RG: UFRGS, 2001. 943 p.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006, 120p.

IEMA. Instituto Estadual do Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo. **As águas do Rio Benevente**. Disponível em: <<http://www.iema.es.gov.br>>. Acesso em: 14 de Set. 2011.

IJSN. Instituto Jones dos Santos Neves. Espírito Santo em Mapas. **Ottobacias Hidrográficas do Espírito Santo – Nível 04**. Disponível em <[http://www.ijsn.es.gov.br/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=16](http://www.ijsn.es.gov.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=16)>. Acesso em: 14 de Set. de 2011.

NAGUETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 561 p.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.3, n.4, p.73-87, 1998.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <<http://www.R-project.org>>. 2010.

SANTOS, A. R. dos. **ArcGis 9.1 Total: aplicações para dados espaciais**. Vitória, ES: FUNDAGRES, 2007. 226p.

SILVA, B.; CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São José dos Campos, v.19, n.3, p.265-272, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre, RG: UFRGS, 2001. 943 p.

VALVERDE, A. E. L.; LEITE, H. G.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Momentos-L: teoria e aplicação em hidrologia. **Revista Árvore**. Viçosa, v.28, n.6, p.923-933, 2004.