

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA
MÁXIMA POSSÍVEL PARA O MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN,
UTILIZANDO A DISTRIBUIÇÃO PROBABILÍSTICA DE GUMBEL¹**
[ESTIMATION OF THE MAXIMUM POSSIBLE
REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR MOSSORÓ COUNTY-RN-
BRAZIL, USING THE GUMBEL PROBABILITY DISTRIBUTION]

MAGNA SOELMA BESERRA DE MOURA

*Eng.º Agr.º., Bolsista CNPq, Doutoranda em Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba,
Rua Rodrigues Alves, 1400/103B, 58101-290 Campina Grande-PB, e-mail: magna@dca.ufpb.br*

JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO

Prof. Adjunto, ESAM, Caixa Postal 137, 59600-970 Mossoró-RN, e-mail: jespino@esam.br

FRANCISCO DE QUEIROZ PORTO FILHO

Prof. Adjunto, ESAM, Caixa Postal 137, 59600-970 Mossoró-RN, portofilho@esam.br

FRANCISCO XAVIER DE OLIVEIRA FILHO

Prof. Adjunto, ESAM, Caixa Postal 137, 59600-970 Mossoró-RN, fxavier@esam.br

ANA JOSICLEIDE MAIA

Eng.º Agr.º., Doutoranda em Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza-CE

[Recebido 15.07.2001]

SINOPSE - Analisou-se a distribuição de frequência probabilística da Evapotranspiração de Referência (ET_o) para o município de Mossoró-RN, determinada através dos métodos do Tanque Classe "A" e Penman-Monteith. Os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Meteorológica da ESAM, contemplando uma série histórica de 27 anos. Os valores diários de ET_o para períodos diários e acumulados de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias, obtidos pelos métodos do Tanque Classe "A" e Penman-Monteith, foram ajustados ao modelo de Gumbel. Para verificar o ajuste dos dados ao modelo citado, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados mostraram que para todos os períodos acumulados a probabilidade de estimativa da ET_o decresce à medida que diminuem os valores da mesma e que a distribuição de frequência pelo método de Gumbel demonstrou um bom ajuste aos dados de ET_o determinados por ambos os métodos de estimativa.

→Termos adicionais de indexação: tanque classe A; Penman-Monteith; período de retorno.

ABSTRACT - It was analyzed the reference evapotranspiration (ET_o) probabilistic frequency distribution for the county of Mossoró-RN, determined by Class A tank and Penman-Monteith methods. Meteorological data were obtained from ESAM's Meteorological Station comprising a 27-year historical series. ET_o daily values were adjusted to Gumbel's model for daily and cumulative periods of 2, 3, 4, 5, 6, and 7 days. The Kolmogorov-Smirnov test was applied to check the data fitness to the model. For all cumulative periods, the ET_o estimative probability decreased along with ET_o values. The Gumbel frequency distribution method provided a good fit to the ET_o data estimated by both methods.

→Addicinal keywords: class A Pan; Penman-Monteith; return period.

¹ Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Florianópolis-SC, 1999.

INTRODUÇÃO

O dimensionamento de sistemas de irrigação, em nível de projeto individual ou coletivo, geralmente baseia-se em previsões de utilização de água, computadas através de equações que incorporam valores médios ou máximos de alguns parâmetros meteorológicos, normalmente registrados nas estações agrometeorológicas convencionais, existentes em locais próximos às áreas irrigadas. Este procedimento pode resultar em estimativas muito conservadoras, ou então muito exageradas, do consumo de água das culturas irrigadas. As implicações práticas decorrentes dessas imprecisões são bem conhecidas, resultando em desempenho insatisfatório dos projetos considerados (SAAD & SCALOPPI, 1988).

O conhecimento da quantidade de água a ser aplicada na irrigação é de fundamental importância para a maximização do rendimento das culturas. Portanto, o estabelecimento do consumo de água das culturas deve ser feito criteriosamente a fim de proporcionar o correto dimensionamento de sistemas de irrigação (BASTOS *et alii*, 1994).

A taxa de evapotranspiração potencial é função das condições meteorológicas e a evapotranspiração real é influenciada pela disponibilidade de água no solo e pela demanda evaporativa da atmosfera. A evapotranspiração máxima de uma cultura depende da demanda evaporativa do ar que é determinada pela radiação solar, velocidade do vento, umidade e temperatura do ar (MATZENAUER, 1992).

A apresentação da média mensal da evaporação possivelmente subestima o consumo de água em regiões de clima subtropical, pois inclui nos cálculos as baixas evaporações ocorridas nos dias de chuva, enquanto as irrigações são realizadas em períodos de escassez de água e de evaporação mais elevada.

A análise de dados meteorológicos com o objetivo de se tirar conclusões sobre o comportamento esperado no presente e no futuro é sempre caracterizada pela necessidade de se trabalhar com uma grande massa de dados. Para facilitar a análise desses dados, torna-se necessário organizá-los de maneira a permitir uma identificação mais rápida das suas características mais importantes. Um dos métodos estatísticos mais utilizados para se atingir este objetivo são as distribuições de frequência (COSTA, 1988), que de acordo com sua importância na interpretação do comportamento das variáveis

meteorológicas são classificadas, segundo SILVA (1987), em: binomial (variáveis de número de anos chuvosos por século, número de meses de geada por ano e número de meses secos por ano); Poisson (eventos raros como número de furacões em um ano, número de trombas d'água em um ano e número de temporais em um ano); normal (temperaturas médias mensais, precipitação anual e pressão média anual); gama (totais de precipitação mensal, semanal e pentadal); beta (relação de evapotranspiração real e evapotranspiração potencial); Gumbel (valores extremos como precipitações e evapotranspirações máximas e temperaturas máximas e mínimas).

Ainda conforme SILVA (1987), dentro de uma série de dados de qualquer variável meteorológica temos problemas usuais de descontinuidades, não representatividade e erros observacionais. A primeira regra antes de iniciar qualquer análise climatológica é estar seguro que a série de dados da variável meteorológica seja da mesma população. Em meteorologia, poucas coisas são certas, não se podendo dizer, por exemplo, que é certo que um determinado dia será bom, mas é possível estimar a probabilidade de que isto ocorra.

BASTOS *et alii* (1994) realizaram um trabalho de distribuição de frequência na região de Teresina-PI, contemplando uma série histórica de 15 anos, utilizando valores máximos anuais de evapotranspiração potencial ajustados ao modelo de Gumbel em períodos diários e acumulados de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias. As análises foram feitas através do teste de Kolmogorov-Smirnov, e os resultados obtidos permitem uma seleção de valores mais representativos da evapotranspiração potencial em diferentes níveis de probabilidade de ocorrência, contribuindo para o dimensionamento criterioso de sistemas de irrigação naquela região.

A distribuição de Gumbel é também conhecida como distribuição de eventos extremos ou de Fischer-Tippett, que difere da normal por apresentar uma curva de distribuição assimétrica e para sua aplicação é indispensável que se tenha uma série anual, a qual se aplicará para determinar a probabilidade de que um dado evento extremo seja igualado ou superado no futuro (CRUCIANI, 1980). Em pesquisas mais recentes destacam-se: GALAMBOS & MACRI (1999), ESCALANTE-SANDOVAL (1998), SIMIU & HECKERT (1996) e FILL & STENDINGER (1995), sejam no que diz respeito a ventos extremos ou a cheias (inundações).

A distribuição de frequência da evapotranspiração potencial ajustada ao modelo de Gumbel permite o dimensionamento de sistemas de irrigação com confiabilidade e critério na estimativa do consumo de água pelas culturas, evitando excessos ou défices hídricos prejudiciais à maximização da produtividade agrícola. Assim sendo, o presente trabalho teve o objetivo de analisar a distribuição de frequência probabilística da evapotranspiração de referência, ajustada ao modelo de Gumbel, em períodos diários e acumulados de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias de evapotranspiração de referência, utilizando uma série histórica de 27 anos de dados meteorológicos, para a região de Mossoró-RN, e verificar a probabilidade de máximas evapotranspirações futuras aplicando o teste de Kolmogorov-Smirnov.

MATERIAL E MÉTODO

Os dados meteorológicos foram coletados na Estação Meteorológica da ESAM, em Mossoró-RN, cujas coordenadas geográficas são: 5°11' de latitude Sul; 37° 20' de longitude Oeste e altitude de 18m.

A ETo, através dos métodos do Tanque Classe "A" e Penman-Monteith, foi calculada através de um software desenvolvido na ESAM por MAIA (1997), utilizando como parâmetros de entrada os dados meteorológicos observados dia a dia, durante 27 anos (1970-1996), totalizando uma massa de 9849 valores de ETo para cada método.

Os valores da ETo, calculados por cada método, foram utilizados em períodos diários e acumulados em totais sucessivos móveis com duração de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias, selecionando-se o valor máximo de cada ano. Estes valores máximos foram colocados em ordem decrescente, procedendo-se em seguida um ajuste à distribuição de Gumbel, através das seguintes equações (CRUCIANI, 1980):

$$TR = \frac{1}{1 - P} \quad (1)$$

onde TR é o tempo de retorno (anos);

$$P = e^{-e^{-b}} \quad (2)$$

em que P é a probabilidade do evento não ser igualado no futuro (%), e corresponde à base dos logaritmos neperianos (2,71828) e b é a variável reduzida, sendo

$$b = a(ETo - Mo) \quad (3)$$

onde a é o coeficiente empírico (adimensional); Mo

é a moda e ETo a evapotranspiração de referência (mm/dia).

Posteriormente, a partir do modelo ajustado calculou-se os valores máximos acumulados de ETo correspondentes a diferentes níveis de probabilidade e tempo de retorno (TR). A variação do evento foi expressa através de um gráfico probabilístico segundo a distribuição de Gumbel, relacionando ETo x TR, onde a variável independente é o tempo de retorno.

Após o ajuste dos valores máximos acumulados de ETo correspondentes a diferentes níveis de probabilidade, aplicou-se o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov para verificar analiticamente se os dados de ETo podem ser bem representados pela distribuição de Gumbel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as Tabelas 1 e 2, pode-se observar que em todos os períodos acumulados (1 a 7 dias) a probabilidade para que um determinado evento não seja superado decresce à medida que diminuem os valores acumulados de ETo. Assim, tomando-se como exemplo o período de 1 dia, para o método do Tanque Classe "A" (Tabela 1), verifica-se que há 95% de probabilidade de que a evapotranspiração de referência acumulada para a duração de um dia seja igual ou inferior a 16,95 mm, e o período de retorno para este valor de evapotranspiração é de 20 anos. O aumento no número de dias de acumulação da evapotranspiração de referência também provocou aumento nos valores da evapotranspiração de referência máxima possível.

Pode-se observar no gráfico de probabilidade (Figuras 1 e 2) que houve um bom ajuste da evapotranspiração de referência à reta teórica de Gumbel, onde a maioria dos valores de ETo estão bem caracterizados na reta, para os períodos diários e acumulados de 2 a 7 dias, nos dois métodos de determinação.

O bom ajuste da evapotranspiração de referência à reta teórica de Gumbel pode ser comprovado também pelos resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov, que apresentou desvio máximo bilateral menor que o nível crítico a 5% de probabilidade (Tabela 3). Com estes resultados comprova-se que a distribuição probabilística de Gumbel representou bem os dados de evapotranspiração de referência

TABELA 1 - Valores máximos acumulados de ETo, para períodos de 1 a 7 dias, estimados pelo método do Tanque Classe “A”, tempo de retorno (TR) e probabilidade de que o evento não seja superado, para Mossoró-RN.

Probabilidade (%)	TR (ano)	ETo (mm)						
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias	7 dias
0,99	1,01	7,26	13,99	20,43	26,52	32,02	37,98	44,15
9,09	1,10	8,67	15,90	22,83	29,35	35,50	41,80	48,35
16,67	1,20	9,30	16,75	23,89	30,60	37,05	43,49	50,23
50,00	2,00	11,34	19,53	27,37	34,71	42,09	49,03	56,33
57,08	2,33	11,80	20,15	28,14	35,62	43,22	50,26	57,69
80,00	5,00	13,78	22,84	31,51	39,61	48,11	55,63	63,61
90,00	10,00	15,40	25,03	34,26	42,85	52,10	60,00	68,43
95,00	20,00	16,95	27,13	36,89	45,96	55,92	64,20	73,05
96,67	30,00	17,84	28,34	38,41	47,75	58,12	66,61	75,71
98,00	50,00	18,95	29,86	40,30	49,98	60,87	69,63	79,04
99,00	100,00	20,45	31,90	42,86	53,00	64,58	73,69	83,52
99,50	200,00	21,95	33,93	45,40	56,01	68,27	77,75	87,99
99,67	300,00	22,83	35,12	46,89	57,76	70,43	80,11	90,60
99,75	400,00	23,45	35,96	47,94	59,01	71,96	81,79	92,45
99,80	500,00	23,93	36,61	48,76	59,97	73,15	83,09	93,89

TABELA 2 - Valores máximos acumulados de ETo, para períodos de 1 a 7 dias, estimados pelo método de Penman-Monteith, tempo de retorno (TR) e probabilidade de que o evento não seja superado, para Mossoró-RN.

Probabilidade (%)	TR (ano)	ETo (mm)						
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias	7 dias
0,99	1,01	4,65	11,90	19,02	25,57	32,13	38,29	44,44
9,09	1,10	6,25	13,73	20,91	27,62	34,42	40,92	47,38
16,67	1,20	7,10	14,54	21,76	28,54	35,44	42,09	48,65
50,00	2,00	9,86	17,18	24,50	31,51	38,77	45,90	52,95
57,08	2,33	10,47	17,77	25,11	32,18	39,51	46,75	53,90
80,00	5,00	13,15	20,33	27,78	35,06	42,73	50,45	58,03
90,00	10,00	15,33	22,42	29,95	37,42	45,36	53,46	61,40
95,00	20,00	17,42	24,42	32,03	39,67	47,88	56,35	64,63
96,67	30,00	18,62	25,57	33,22	40,97	49,33	58,01	66,49
98,00	50,00	20,12	27,01	34,72	42,59	51,14	60,09	68,81
99,00	100,00	22,15	28,95	36,74	44,78	53,58	62,89	71,94
99,50	200,00	24,17	30,89	38,75	46,96	56,01	65,68	75,06
99,67	300,00	25,35	32,02	39,92	48,23	57,44	67,31	76,89
99,75	400,00	26,19	32,82	40,75	49,14	58,44	68,47	78,18
99,80	500,00	26,83	33,44	41,40	49,84	59,23	69,37	79,18

TABELA 3 - Valores de desvio máximo bilateral e valor crítico de 5% de acordo com o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

Dias acumulados	Desvio Máximo Bilateral		Valor Crítico (5%)
	Tanque Classe “A”	Penman-Monteith	
1	0,141	0,174	0,254
2	0,111	0,142	0,254
3	0,078	0,086	0,254
4	0,097	0,091	0,254
5	0,096	0,078	0,254
6	0,094	0,085	0,254
7	0,098	0,082	0,254

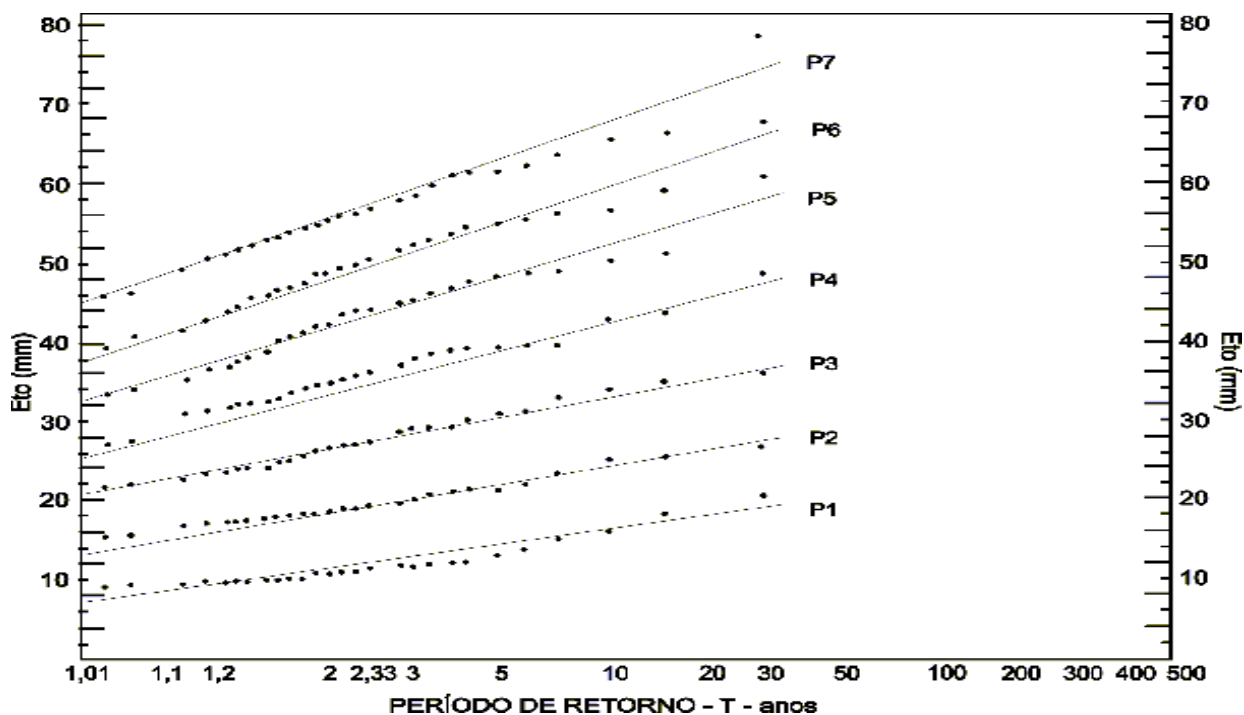


FIGURA 1 - Distribuição de frequência da evapotranspiração de referência estimada pelo método do Tanque Classe “A” de acordo com a distribuição probabilística de Gumbel.

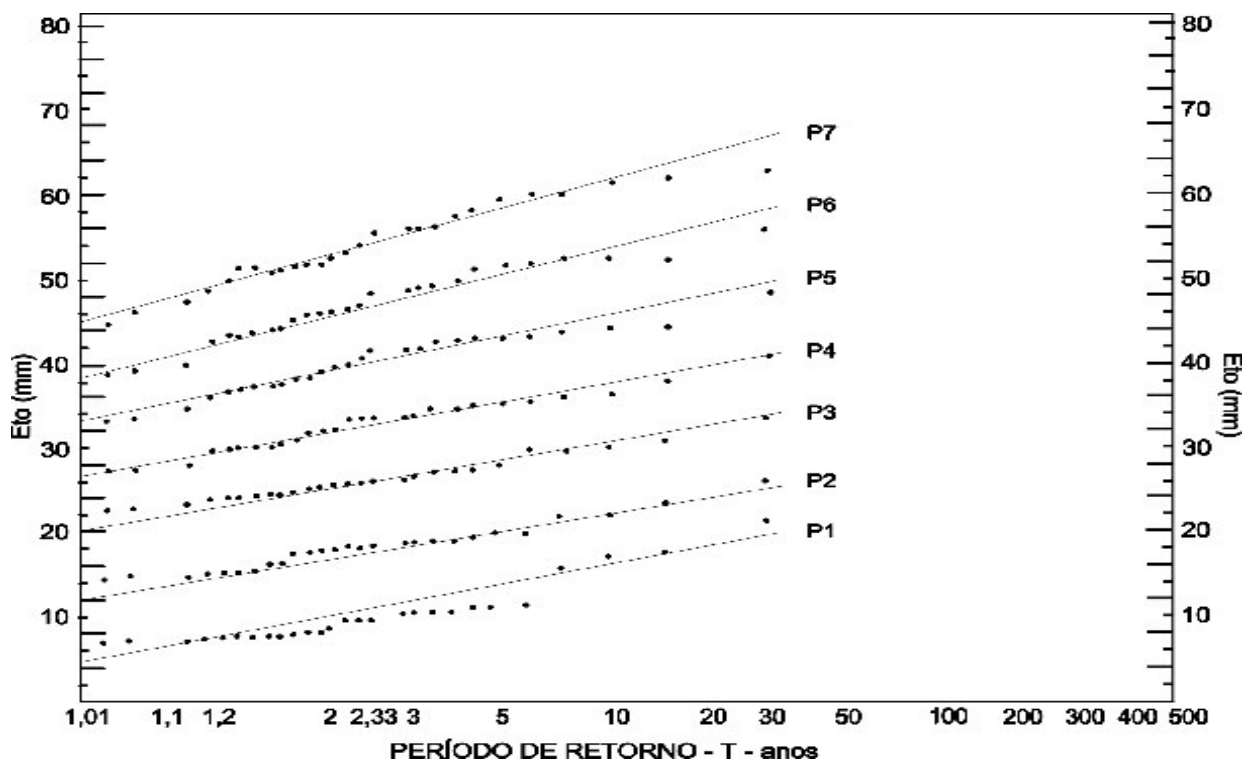


FIGURA 2 - Distribuição de frequência da evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith de acordo com a distribuição probabilística de Gumbel.

determinados pelos métodos do Tanque Classe “A” e de Penman-Monteith, seja para representar períodos diários ou acumulados de 2 a 7 dias.

CONCLUSÕES

A distribuição de frequência pelo modelo de Gumbel demonstrou um bom ajuste aos dados de evapotranspiração de referência determinados pelos métodos do Tanque Classe “A” e Penman-Monteith, para períodos diários e acumulados de 2 a 7 dias, permitindo a seleção de valores mais representativos de ETo em diferentes níveis de probabilidade de ocorrência, para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação na região de Mossoró-RN, para estimativas da ETo feitas a partir dos dois métodos citados.

LITERATURA CITADA

- BASTOS, E. A.; AGUIAR NETTO, A. D.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; OLIVEIRA, C. M. M. (1994). Distribuição de frequência da evapotranspiração potencial para a região de Teresina-PI, através do modelo de Gumbel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 14: 99-104.
- COSTA, L. C. (1988). **Métodos quantitativos aplicados a climatologia**. In: CURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, II. Belo Horizonte-MG. 13/jun. a 01/jul. (Folheto/Apostila).
- CRUCIANI, D. E. (1980). **Drenagem na agricultura**. São Paulo: Editora Nobel. 333p.
- ESCALANTE-SANDOVAL, C. (1998). Multivariate extreme value distribution with mixed Gumbel marginals. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, 34 (2): 321-333.
- FILL, H. D. & STEDINGER, J. R. (1995). Homogeneity tests based upon Gumbel distribution and a critical appraisal. **Journal of Hydrology**, New York, 166(1-2): 81-105.
- GALAMBOS, J. & MACRI, N. (1999). Classical extreme value model and prediction of extreme winds. **Journal of Structural Engineering**, New York, 125(7):792-794.
- MAIA, A. J. (1997). Elaboração de um software para estimativa da evapotranspiração de referência e comparação de diferentes métodos com o de Penman-Monteith-FAO, em Mossoró-RN. Mossoró: ESAM, 47p. (Monografia de graduação).
- MATZENAUER, R. (1992). Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre-RS: Editora Universitária/UERGS. p.33-47.
- SAAD, J. C. C. & SCALOPPI, J. E. (1988). Frequência de distribuição de evapotranspiração de potencial para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, Florianópolis, **Anais...**, Florianópolis: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, p. 1037-1052.
- SILVA, J. B. da (1987). Somas térmicas na previsão de duração da fase vegetativa do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, 1987, Belém-PA, **Resumos...**, Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 86.
- SIMIU, E. & HECKERT, N. A. (1996). Extreme wind distribution tails: a peak's over threshold' approach. **Journal of Structural Engineering**, New York, 122(5): 539-547.