

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA O MUNICÍPIO DE NOVA ODESSA, SP ¹

PEREIRA, A.S.²; FRIZZONE, J.A.³

RESUMO: Neste trabalho, foi analisada a distribuição de frequências da evapotranspiração potencial (ET_p), estimada pelo método de Priestley-Taylor, para a região de Nova Odessa, SP. Foram ajustados os valores máximos anuais da ET_p acumulada para períodos de 2 a 30 dias, aos modelos de distribuição de frequências normal, lognormal, gama, beta e gumbel. Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que a distribuição lognormal apresentou a menor diferença no ajuste, seguida das distribuições de gumbel, normal e beta. O modelo de distribuição gama não apresentou ajuste aos dados deste estudo. Os valores médios de ET_p foram semelhantes aos obtidos no nível de 50% de probabilidade (período de retorno de dois anos) e ligeiramente inferiores aos valores de ET_p no nível de 75% de probabilidade (período de retorno de quatro anos). Considerando-se a recomendação de adotar a evapotranspiração no nível de 75% de probabilidade, verifica-se que existe um relativo subdimensionamento dos sistemas de irrigação na região, ao empregar-se o valor médio de ET_p em projetos.

Palavras-chave: Probabilidade, Irrigação, Dimensionamento de Projetos

FREQUENCY ANALYSIS OF POTENCIAL EVAPOTRANSPIRATION FOR THE REGION OF NOVA ODESSA, SP, BRAZIL

SUMMARY: In this work the distribution of frequencies of the potential evapotranspiration (ET_p) estimated with Priestley-Taylor method was analyzed for the region of Nova Odessa, State of São Paulo, Brazil. The annual maximum values of accumulated ET_p were adjusted for periods from 2 to 30 days to the frequency distribution models (normal, lognormal, gamma, beta and gumbel). Using the test of Kolmogorov-Smirnov, it was verified that the lognormal distribution presented better adjustment, followed by the gumbel, normal and beta. The gamma distribution did not present adjustment to the data of this study. The medium values of ET_p were similar to the ones obtained at the level of 50% of probability (two years of return period) and slightly lower to the values of ET_p at the level of 75% of probability (four years of return period). Considering the recommendation of adopting the evapotranspiration at the level of 75% of probability, it was verified a relative underestimation of the irrigation system designs to the region if the medium value of ET_p in projects was used.

Keywords: Probability, Irrigation, Project Design

¹ Trabalho de Iniciação Científica desenvolvido pelo 1º autor com bolsa da FAPESP (processo 93/4581-2)

² Engenheiro Agrônomo, M.Sc, Dr., Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP. E-mail: anderson@cnpma.embrapa.br

³ Engenheiro Agrônomo, M.Sc, Dr., Livre-Docente, Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP

Recebido pela Comissão Editorial em: 18.03.05

Aprovado pela Comissão Editorial em: 20.07.05

INTRODUÇÃO

A quantificação precisa das demandas de água para irrigação assumiu grande importância nos últimos anos, devido à grande limitação desse recurso natural, em algumas regiões do país, e também à crescente exigência da sociedade pela preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos. Na determinação da lâmina de água para fins de dimensionamento de projetos de irrigação, o emprego de estimativas acuradas da evapotranspiração potencial é de fundamental importância.

Camargo & Pereira (1990) relatam que irrigações leves e frequentes repõem água apenas nas camadas superficiais do solo, reduzindo o desenvolvimento radicular das plantas, impossibilitando-as de explorar o volume de solo disponível, ocasionando redução do rendimento das culturas e desperdiçando recursos. Do mesmo modo, irrigações excessivas também são contra-indicadas, pois acarretam perda de água e nutrientes por percolação profunda. Em solos mal drenados, poderá haver redução do desenvolvimento radicular devido à falta de arejamento. Saad (1990) relata que o uso de estimativas da necessidade de água das culturas, obtidas sem nenhum

critério ou resultantes de modelos nem sempre capazes de proporcionar resultados confiáveis, tem-se refletido, na maioria das vezes, num dimensionamento inadequado dos sistemas de bombeamento, de adução e distribuição, de aplicação de água às culturas e de remoção da água excedente, característicos de cada sistema de irrigação.

Diversos trabalhos verificaram que a evapotranspiração potencial apresenta relativa variabilidade ao longo do tempo, sugerindo que sejam feitos estudos com análises de frequência desse evento que apresentem valores em termos probabilísticos, para a melhor descrição dessa variável ao longo do tempo. Assim, empregando dados de evapotranspiração coletados em lisímetro gramado, no período de 1959 a 1969, em Davis, Califórnia, EUA, Pruitt et al. (1972) procederam à análise de distribuição de frequência desses valores, aplicada a períodos diários (todos os meses do ano) e a períodos acumulados de 3, 5, 7, 15 e 30 dias (meses de junho-julho), permitindo a obtenção de valores representativos de evapotranspiração potencial em níveis de probabilidade variáveis entre 1 e 99 %. Nixon et al. (1972) desenvolveram estudos semelhantes para a região costeira da Califórnia e Wright & Jensen (1972), para a região sul de Idaho, EUA.

Utilizando dados de evapotranspiração coletados durante 15 anos em lisímetro cultivado com grama em Coshocton, Ohio, EUA, McGuinness & Parmele (1972) concluíram que os valores extremos obtidos para períodos acumulados de 1, 3, 15 e 30 dias seguiram a distribuição lognormal de probabilidades.

Com o objetivo de fornecer subsídios ao dimensionamento de sistemas de irrigação, Arruda & Barroso (1984) procederam à análise da distribuição de frequência aos valores médios mensais de evaporação do tanque IA-58, em medidas coletadas no período de 1967 a 1975, em Ribeirão Preto, SP. Concluíram que os dados apresentaram distribuição normal com pequena assimetria e que os valores médios mensais correspondentes, no nível de 75% de probabilidade, foram significativamente superiores aos valores médios mensais registrados no período, sugerindo que a utilização da evaporação média mensal em projetos pode resultar em um sistema de irrigação subdimensionado.

Utilizando dados de 30 anos de evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman, Saad (1990) procedeu à análise de distribuição de frequência desse evento aplicada a períodos de 5 dias, 10 dias, 15 dias e 30 dias, referentes aos meses de março e setembro, para a região de Piracicaba, SP. Baseado no teste de Kolmogorov-Smirnov, verificou que os dados analisados podem ser caracterizados pelas distribuições beta e normal, sendo a última de maior praticidade na aplicação.

Chiang et al. (1990) estudaram a distribuição de frequência de valores mensais de evaporação, coletados em 21 estações meteorológicas, em Taiwan. Concluíram

que os dados seguiram as distribuições normal e lognormal de probabilidades, na maioria das estações.

Bastos et al. (1994) estudaram a distribuição de frequência da evapotranspiração de referência para a região de Teresina, PI. Os valores de ETo foram acumulados em períodos de 1 a 7 dias, estabelecendo-se valores máximos anuais para cada período. Concluíram que os valores extremos anuais obtidos seguiram a distribuição de gumbel. Estudo semelhante foi realizado por Lunardi et al. (1994) para a região de Botucatu, SP, empregando valores extremos anuais de evapotranspiração potencial acumulada em períodos de 1 a 16 dias.

Segundo Saad (1990), em condições de irrigação tipicamente complementar, como se verifica na região centro-sul do Brasil, dificilmente a economia dos projetos de irrigação justifica a escolha de níveis de probabilidade superiores a 90% (período de retorno de 10 anos). No geral, os valores usuais adotados variam de 50 a 75% (períodos de retorno de 2 a 4 anos), dependendo das implicações econômicas associadas ao projeto.

Este trabalho teve por objetivo estudar a distribuição de frequências da evapotranspiração potencial para a região de Nova Odessa, SP, visando à obtenção de estimativas criteriosas das exigências de água das culturas, fator fundamental no dimensionamento de sistemas de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido utilizando dados coletados no Posto Agrometeorológico da estação experimental de Nova Odessa, SP, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), cujas coordenadas geográficas são: 22° 27' de latitude sul, 47° 27' de longitude oeste, a 546 metros de altitude. O período analisado foi de agosto a novembro, por apresentar maiores valores normais de déficit hídrico na região e, conseqüentemente, maiores exigências hídricas das culturas.

As estimativas da evapotranspiração potencial (ETo) foram realizadas em escala diária, empregando-se dados de temperatura média do ar, umidade relativa média e insolação, coletados durante o período de 1969 a 1990. Devido à indisponibilidade de medidas de velocidade média do vento no período, não foi possível empregar o método de Penman-Monteith nas estimativas de ETo, assim, optou-se pela utilização do método de Priestley & Taylor (1972), devido à adequação do mesmo para estimar a evapotranspiração potencial em escala diária nas condições climáticas do estado de São Paulo (Pereira, 1990), descrito pela equação:

$$ETo = \frac{86400}{\lambda} \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (R_n - G) \quad (1)$$

em que:

- ET_o - evapotranspiração potencial em mm dia⁻¹;
- 86400 = fator para converter a unidade de tempo segundo (s) em dia;
- λ - calor latente de vaporização, 2,45 MJ kg⁻¹;
- α - parâmetro de Priestley-Taylor, adimensional;
- Δ - tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água em função da temperatura, em kPa °C⁻¹;
- γ - constante psicrométrica, 0,067 kPa °C⁻¹, conforme recomendação de Ometto (1981);
- R_n - radiação líquida em MJ m⁻² s⁻¹;
- G - fluxo de calor para o solo, em MJ m⁻² s⁻¹, assumido como desprezível em períodos iguais ou superiores a um dia (Allen, 1986)

Foi empregado $\alpha = 1,26$, por ser o valor admitido como o mais provável para estimar ET_o (Priestley & Taylor, 1972) e também por ser considerado apropriado para estimar ET_o em escala diária, nas condições climáticas do estado de São Paulo (Pereira, 1990).

O valor de Δ foi estimado pela seguinte expressão, apresentada por Smith (1991):

$$\Delta = 4098 \left(\frac{es}{(237,3 + T)^2} \right) \quad (2)$$

em que:

- T - temperatura média do ar, °C;
- es - pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹:

$$es = 0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{T + 237,3} \right) \quad (3)$$

Para a estimativa da radiação líquida (R_n) foi empregada a equação de Brunt, conforme descrito por Ometto (1981).

Após as estimativas de ET_o em escala diária, obtiveram-se os valores totais de ET_o para períodos de 2 a 30 dias, com o seguinte procedimento:

- i) Iniciando-se com o primeiro ano da série (1969), foram obtidos os valores acumulados de ET_o nos períodos consecutivos, por exemplo, para um período de cinco dias: 01-05/agosto; 02-06/agosto; 03-07/agosto, ..., 26-30/novembro. Da mesma forma procedeu-se para os demais períodos, em cada ano da série histórica;
- ii) Em cada período estudado, selecionou-se, em cada ano, o maior valor de ET_o acumulado, submetendo-se esses valores à análise de frequência.

Foram ajustados os modelos de distribuição de frequências normal, lognormal, beta, gama e gumbel, conforme descrição apresentada a seguir.

Segundo Cruciani (1980), a função densidade de probabilidade da distribuição normal é dada pela seguinte equação:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

em que:

- e - base dos logaritmos naturais;
- σ - média dos valores da variável x;
- μ - desvio padrão dos valores da variável x.

Conforme Frizzone (1979), a função de densidade da distribuição lognormal é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_1\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln(x)-\mu_1]^2}{2\sigma_1^2}} \quad (5)$$

em que σ_1 e μ_1 são, respectivamente, a média e o desvio-padrão do logaritmo neperiano dos dados da variável x.

Segundo Saad (1990), a função de densidade de probabilidade da distribuição beta, para um intervalo (a, b), é:

$$f(x) = \frac{1}{(b-a)} \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^{p-1} \left(1 - \frac{x-a}{b-a} \right)^{q-1} \quad (6)$$

sendo $a < x < b$, $p > 0$, $q > 0$;

em que:

- a - menor valor da série de dados;
- b - maior valor da série de dados;
- p e q - parâmetros da distribuição beta;
- x - valor da variável em estudo (evapotranspiração potencial), compreendido no intervalo (a, b).

A distribuição beta, na forma em que se encontra sua função densidade de probabilidade na equação (6), não pode ser aplicada diretamente, devendo ser transformada para a utilização no intervalo (0, 1), mediante a seguinte relação:

$$x' = \frac{x-a}{b-a} \quad (7)$$

em que:

- x' - variável evapotranspiração potencial transformada de tal forma que $0 < x' < 1$.

A função de densidade de probabilidade da distribuição beta assume, então, a forma de:

$$f(x') = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} (x')^{p-1} (1-x')^{q-1} \quad (8)$$

sendo $0 < x < 1$, $p > 0$, $q > 0$

A distribuição acumulada beta incompleta $F(x')$ fornece a probabilidade de que, neste caso, a evapotranspiração, em um dado período não exceda um valor x' , sendo representada pela seguinte equação:

$$F(x') = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^{x'} (x')^{p-1} (1-x')^{q-1} dx' \quad (9)$$

As estimativas dos parâmetros p e q podem ser realizadas através das seguintes equações:

$$p = m1 \frac{(m1-m2)}{[m2-(m1)^2]} \quad (10)$$

$$q = (1-m1) \frac{(m1-m2)}{[m2-(m1)^2]} \quad (11)$$

em que:

$$m1 = \frac{\sum_{i=1}^n x'_n}{n} \quad (12)$$

$$m2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x'_n)^2}{n} \quad (13)$$

Para uma série de dados finita ou curta, o modelo de gumbel é representado por (Cruciani, 1980):

$$P = 1 - e^{-e^b} \quad (14)$$

em que:

P - probabilidade de ocorrência para valores iguais ou maiores;

b - variável reduzida:

$$b = \frac{\sigma_n}{\sigma} \left(x - \mu + \sigma \frac{Y_n}{\sigma_n} \right) \quad (15)$$

em que σ_n e Y_n são, respectivamente, o desvio-padrão reduzido e a média reduzida, tabelados em função do número de dados da série analisada (Cruciani, 1980).

Segundo Saad (1990), o modelo de distribuição de frequências gama é dado por:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha'} \Gamma(\alpha')} x^{\alpha'-1} e^{-x/\beta} \quad (16)$$

em que:

α' - parâmetro de forma;

β - parâmetro de escala.

A probabilidade de que a evapotranspiração potencial não exceda um valor x é calculada por:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha'} \Gamma(\alpha')} \int_0^x x^{\alpha'-1} e^{-x/\beta} dx \quad (17)$$

Os parâmetros α' e β podem ser estimados pelo método da máxima verossimilhança, com as seguintes expressões:

$$\alpha' = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (18)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \ln x \quad (19)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha'} \quad (20)$$

em que $\bar{x}$ é o valor médio da variável x , evapotranspiração potencial.

O período de retorno (T), definido como o intervalo de tempo médio (em anos) dentro do qual o evento estudado será igualado ou superado uma vez, foi calculado pela expressão:

$$T = \frac{1}{1-F(x)} = \frac{1}{F'(x)} \quad (21)$$

em que:

T - período de retorno, em anos;

$F(x)$ - probabilidade de que a evapotranspiração potencial não exceda um valor x ;

$F'(x)$ - a probabilidade do evento exceder o valor x .

Para verificar quais distribuições de frequência apresentaram melhor ajuste aos dados, foi empregado o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, calculando-se os valores de seu índice "D". Se o valor de "D" calculado é inferior ao valor tabelado, no nível de significância de 5%, considera-se que o modelo é apto a representar a distribuição de frequência do evento (Campos, 1983).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores máximos, mínimos e médios anuais da evapotranspiração potencial (ET_o), em milímetros, para os diferentes períodos acumulados (mm período⁻¹). Observa-se uma grande amplitude de variação entre os valores máximos e mínimos (Variação %) de 25,30 a 39,78%, como também uma relativa variabilidade entre os valores máximos, mínimos e médios. Os valores de coeficientes de variação (CV%) variaram de 3,47 a 6,93%, indicando, assim, a necessidade de análise de frequência desses valores, para representá-los em termos probabilísticos, conforme recomendação de Saad (1990).

Tabela 1 - Valor Máximo Anual, Valor Mínimo Anual, variação percentual entre o Valor Máximo e o Valor Mínimo (Variação %), Valor Médio Anual e Coeficiente de Variação (CV,%), para os valores de evapotranspiração potencial (ET_o), em diferentes períodos acumulados (dias).

Período Acumulado (dias)	Valor Máximo Anual (mm)	Valor Mínimo Anual (mm)	Variação (%)	Valor Médio Anual (mm)	CV (%)
2	13,69	10,93	25,30	11,92	5,65
4	27,06	21,21	27,58	23,04	5,94
6	39,64	29,48	34,46	33,43	6,55
8	51,91	39,01	33,06	43,52	6,51
10	60,83	47,87	27,07	53,33	5,73
15	91,16	65,21	39,78	77,24	6,93
20	114,28	86,42	32,24	100,03	6,29
25	141,44	108,12	30,82	122,80	5,77
30	162,24	124,44	30,38	144,59	5,54

Após ajustados os modelos de distribuição de frequências, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, determinando-se os respectivos valores de seu índice "D", conforme descrito por Campos (1983). Para este trabalho, o valor de "D" tabelado é 0,218 (série de 22 dados e nível de significância 5%). Quando os valores de "D" calculados foram inferiores ao valor de 0,218, considerou-se que o modelo de distribuição de frequência analisado é apto a caracterizar o evento. Assim, verificou-se que os modelos de distribuição de frequências normal, lognormal, beta e gumbel apresentaram aderência aos dados deste estudo, convergindo para os resultados obtidos por Pruitt et al. (1972), Saad (1990), Chiang et al. (1990), Bastos et al. (1994) e Lunardi et al. (1994). O modelo de distribuição de frequências gama não apresentou ajuste satisfatório. Conforme Frizzone (1979) isso se justifica por os dados apresentarem aderência à distribuição normal.

Para a obtenção de valores de ET_o acumulado, referentes aos diferentes níveis de probabilidade e períodos de retorno, optou-se pelo emprego do modelo lognormal, cujos parâmetros de ajuste e respectivos valores de "D" do teste de Kolmogorov-Smirnov são apresentados na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta os valores de evapotranspiração acumulada, para diferentes níveis de probabilidade e períodos de retorno. Observa-se que os valores de ET_o para 50% de probabilidade (período de retorno de 2 anos) são muito próximos aos valores médios anuais (Tabela 1). Isso se justifica por os dados apresentarem ajuste ao modelo normal de probabilidades. (FRIZZONE, 1979; SAAD, 1990). Os valores de ET_o referentes a 75% de probabilidade (período de retorno de 4 anos) são ligeiramente superiores aos valores médios e de 50% de probabilidade. Assim, considerando-se o nível de probabilidade de 75% como apropriado para o dimensionamento de sistemas de irrigação (SAAD, 1990), pode-se considerar que a utilização de valores médios de ET_o ocasiona um relativo subdimensionamento dos sistemas de irrigação na região.

Tabela 2 - Valores dos parâmetros do modelo lognormal de distribuição de frequências e respectivos valores de "D" do teste de Kolmogorov-Smirnov, referentes à análise dos valores de evapotranspiração potencial, em diferentes períodos de tempo acumulados.

Período Acumulado, em dias	Parâmetro μ_1	Parâmetro σ_1	"D"
2	2,476	0,00302	0,1822
4	3,136	0,00326	0,2173
6	3,649	0,00394	0,1910
8	3,771	0,00398	0,1850
10	3,975	0,00316	0,1176
15	4,345	0,00472	0,1397
20	4,604	0,00389	0,1601
25	4,809	0,00324	0,1476
30	4,972	0,00311	0,1263

Tabela 3 - Valores de evapotranspiração potencial em períodos acumulados (ET_o - mm período⁻¹), para diferentes níveis de probabilidade (%) e períodos de retorno (T, anos), determinados pela distribuição de frequência lognormal.

Período Acumulado, em dias	Probabilidade, %			
	50 (2)	75 (4)	90 (10)	95 (20)
2	11,90	12,35	12,77	13,03
4	23,00	23,91	24,75	25,27
6	33,36	34,83	36,20	37,05
8	43,43	45,32	47,09	48,18
10	53,25	55,31	57,23	58,41
15	77,06	80,71	84,15	86,28
20	99,84	104,13	108,15	110,63
25	122,61	127,41	131,89	134,65
30	144,38	149,91	155,06	158,24

Valores entre parênteses correspondem aos períodos de retorno, em anos.

A Figura 1 apresenta os valores de evapotranspiração potencial para diferentes períodos acumulados de tempo, em função dos respectivos níveis de probabilidade, e correspondentes períodos de retorno, plotados em papel de probabilidades lognormal, onde se pode visualizar a tendência de aumento dos valores de ETo de acordo com a elevação do nível de probabilidade ou o período de retorno.

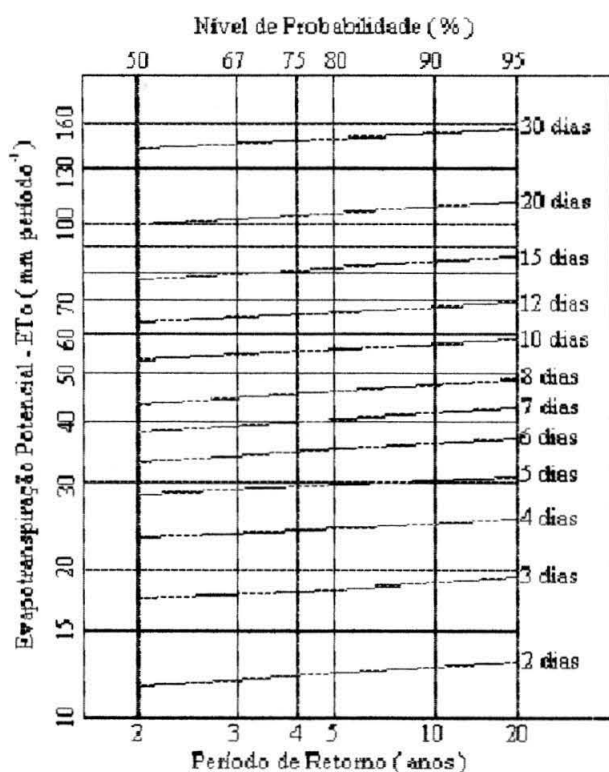


Figura 1 - Valores de evapotranspiração potencial (ETo) para diferentes períodos de tempo acumulados em função de níveis de probabilidade ou períodos de retorno para o município de Nova Odessa, SP, representados em escala logarítmica para os meses de agosto a novembro.

CONCLUSÕES

Os valores anuais de evapotranspiração potencial (ETo) para diferentes períodos de tempo em Nova Odessa, SP, apresentaram grande variabilidade, indicando que se deve realizar uma análise de frequência desses valores e apresentá-los em termos probabilísticos, para o seu emprego em estudos ambientais, planejamentos de recursos hídricos e projetos de irrigação;

De acordo com os resultados obtidos verificou-se que os modelos de distribuição de frequência lognormal, gumbel, normal e beta são aptos a caracterizar a distribuição de frequências da evapotranspiração potencial para o município de Nova Odessa, SP, em diferentes períodos de tempo, com melhor performance do modelo lognormal. O modelo de distribuição de frequências gama não apresentou ajuste aos dados deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos concedida (Processo: 93/4581-2).

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G. A Penman for all seasons. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 4, n. 112, p. 348-368, 1986.
- ARRUDA, F.B.; BARROSO, L.F.S. Estimativa do uso da água para fins de projetos de irrigação, em função da evaporação do tanque, em Ribeirão Preto. *Bragantia*, Campinas, v.43, n.2, p. 677-682, 1984.
- BASTOS, E.A.; AGUIAR NETTO, A.O.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; OLIVEIRA, C.M.M. Frequência de distribuição de evapotranspiração de referência para dimensionamento de projetos de irrigação na região de Teresina - PI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. *Resumos...* 1994, Campinas: SBEA, 1994. p.341.
- CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. *Prescrição de rega suplementar por modelo climatológico*. Campinas: Fundação Cargill, 1990. 34p.
- CAMPOS, H. *Estatística experimental não paramétrica*. 4.ed. Piracicaba: ESALQ, 1983. 349p.
- CHIANG, S.H.; LO, A.K.F.; LIU, E.I.H.; CHIANG, Y.C. Assessment of normal monthly evaporation in Taiwan. *Journal of Geographical Sciences*, Beijing, v. 14, p. 29-39, 1990.
- CRUCIANI, D.E. *A drenagem na agricultura*. São Paulo: Nobel, 1980. 333p.

- FRIZZONE, J.A. **Análise de cinco modelos para o cálculo da distribuição de frequência de precipitações na região de Viçosa**, 1979. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1979.
- LUNARDI, M.A.; LUNARDI, D.M.C.; FRIZZONE, J.A. Análise de frequência da evapotranspiração potencial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 2., 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMET, 1994. p.678-680.
- MCGUINNESS, J.L.; PARMELE, L.H. Maximum potential evapotranspiration frequency - east central U.S. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.98, n. IR-2, p. 207-214, 1972.
- NIXON, P.R.; LAWLESS, G.P.; RICHARDSON, G.V. Coastal California evapotranspiration frequencies. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.98, n. IR-2, p. 185-191, 1972.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 425p.
- PEREIRA, A.R. **Análise do modelo de Priestley-Taylor para estimativa da evapotranspiração potencial**. 1990. 68p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1990.
- PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assesement of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Washington, n.100, p.81-92, 1972.
- PRUITT, W.; OETTINGEN, S.V.; MORGAN, D.L. Central California evapotranspiration frequencies. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.98, no. IR-2, p. 177-184, 1972.
- SAAD, J.C.C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. 1990, 124p. Dissertação (Mestrado em Irrigação Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 41p.
- WRIGHT, J.L.; JENSEN, M.E. Peak water requirements of crops in southern Idaho. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.98, no. IR-2, p. 193-201, 1972.