

## PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO DE DOURADOS, MS

### PROBABILITY OF OCURRENCE OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN DOURADOS, MS

Carlos Ricardo Fietz<sup>1</sup> José Antonio Frizzone<sup>2</sup> Marcos Vinícius Folegatti<sup>2</sup>  
José Maria Pinto<sup>3</sup>

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição de frequência da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) visando o dimensionamento de sistemas de irrigação implantados na região de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul. A ET<sub>o</sub>, estimada pelo método de Penman, com base em elementos meteorológicos de um período de 16 anos, foi acumulada em períodos consecutivos de 5, 10, 15, 20 e 30 dias. Os valores máximos anuais formaram séries que foram ajustadas às distribuições normal, log-normal e beta. Houve diminuição da ET<sub>o</sub> diária com o aumento do período acumulado. As três distribuições apresentaram ajuste para todos os períodos acumulados. Através da distribuição acumulada normal foram gerados valores de ET<sub>o</sub> para períodos de retorno de 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12 e 14 anos. Esses valores de ET<sub>o</sub>, multiplicados pelos respectivos coeficientes de cultura, poderão ser utilizados como parâmetros de dimensionamento de sistemas de irrigação implantados na região de Dourados.

**Palavras-chave:** dimensionamento da irrigação, probabilidade de ocorrência, evapotranspiração.

#### SUMMARY

The aim of this work was to study the distribution accumulative probability occurrence of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) for designing irrigation systems in Dourados, Mato Grosso do Sul State. The ET<sub>o</sub> estimated by Penman equation considering climatic parameters of 16 years was accumulated for periods of 5, 10, 15, 20 and 30 days. The

maximum annual values resulted in series that were adjusted to normal, log-normal and beta distribution. There was a decreasing of daily ET<sub>o</sub> as the accumulated period increased. The three distributions adjusted to all accumulated periods. Through the accumulated normal distribution it was generated values of ET<sub>o</sub> for periods of 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12 and 14 years. These values of ET<sub>o</sub> multiplied by the crop coefficient may be used as the main parameter to design irrigation systems in Dourados region.

**Key words:** design irrigation, probability of occurrence, evapotranspiration.

#### INTRODUÇÃO

Uma grande dificuldade em projetos de irrigação é definir criteriosamente o valor da evapotranspiração que servirá de base para o dimensionamento dos sistemas. No Brasil, na maioria das vezes, utiliza-se como parâmetro de dimensionamento valores máximos ou médios de evapotranspiração do período de maior exigência hídrica das culturas, procedimento que pode resultar em sistemas de irrigação super ou subdimensionados. No entanto, alguns modelos desenvolvidos para dimensionar sistemas de irrigação, como o apresentado por JENSEN (1974), consideram a probabilidade de

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, MsC, EMBRAPA-CPAO, Caixa Postal 661, 79804-970 - Dourados, MS. Autor para correspondência.

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola, MsC, EMBRAPA-CPTSA, Petrolina, PE.

ocorrência da evapotranspiração e da precipitação pluviométrica. Essa abordagem racional possibilita dimensionamentos criteriosos da irrigação, com base nos níveis de risco do sistema não atender às necessidades hídricas das culturas.

Os níveis de probabilidade devem ser selecionados com base em critérios econômicos. Normalmente, níveis elevados (80 a 90%) somente são adotados para culturas irrigadas de grande valor econômico e com sistema radicular pouco profundo (JENSEN, 1989). Segundo SAAD & SCALOPPI (1988), nas condições de irrigação da região Centro-Sul do Brasil, dificilmente justifica-se, economicamente, adotar níveis superiores a 90%, sendo normalmente utilizados níveis que variam entre 50 a 75%. DOORENBOS & PRUITT (1977) consideram que na maioria das regiões irrigadas esses níveis estejam entre 75 e 80%.

Vários trabalhos demonstraram que a distribuição de frequência da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) se ajusta às distribuições normal (SAAD & SCALOPPI, 1988; SAAD, 1990 e PEREIRA & FRIZZONE, 1994), log-normal (MCGUINNESS & PARMELE, 1972 e PEREIRA & FRIZZONE, 1994) e beta (SAAD, 1990 e PEREIRA & FRIZZONE, 1994).

A duração do período crítico das culturas também assume grande importância na definição da ET<sub>o</sub> que servirá de base para o dimensionamento do sistema. Este período, geralmente, compreende duas a três semanas (JENSEN, 1974). Para SAAD & SCALOPPI (1988), tal período varia entre 10 e 30 dias para a maioria das culturas irrigadas anuais. Portanto, segundo esses autores, dificilmente pode ser justificada a adoção de valores de ET<sub>o</sub> obtidos em períodos consecutivos inferiores a 10 dias. O objetivo deste trabalho foi determinar a probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência na região de Dourados, MS.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os elementos meteorológicos básicos para a estimativa da evapotranspiração (temperatura e umidade relativa do ar, número de horas de brilho solar e velocidade do vento) foram coletados na Estação Agrometeorológica da EMBRAPA/CPAO, em Dourados, MS, cujas coordenadas geográficas são 22°14' S, 54° 49' W e 452m de altitude.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>, mm dia<sup>-1</sup>) foi estimada pelo método de PENMAN (1948), utilizando-se elementos meteorológicos de um período de 16 anos (janeiro/1980 a dezembro/1995):

$$E_{to} = \frac{1}{\lambda} \frac{\Delta}{\Delta + \lambda} R_n + \frac{\lambda}{\Delta + \lambda} E_a \quad (1)$$

sendo,

$$E_a = 2,63 (1 + 0,537U_2) (e_s - e_a) \quad (2)$$

em que:  $\lambda$  é o calor latente de evaporação médio (2,447MJ kg<sup>-1</sup>);  $\Delta$  é a inclinação da curva de variação da pressão de saturação de vapor de água com a temperatura (kPa °C<sup>-1</sup>);  $\gamma$  é a constante psicrométrica média (0,0645 kPa°C<sup>-1</sup>);  $R_n$  é a radiação líquida (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $E_a$  é o poder evaporante do ar (mm dia<sup>-1</sup>),  $U_2$  é a velocidade média do vento a 2m de altura (m s<sup>-1</sup>),  $e_s$  é a pressão de saturação (kPa) e  $e_a$  é a pressão atual de vapor d'água na atmosfera (kPa).

A radiação líquida foi estimada por:

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - \sigma T_k^4 (0,51776 - 0,21189 \sqrt{e_a}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N}) \quad (3)$$

em que:  $\alpha$  é o albedo (0,25);  $R_s$  é a radiação global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);  $T_k$  é a temperatura do ar (K);  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann (4,8995 x 10<sup>-9</sup> MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);  $n$  é o número de horas de brilho solar diário;  $N$  é o número de horas de brilho solar possível, função da época do ano e da latitude, obtidas em tabelas (SEDIYAMA, 1987) e  $e_a$  é a pressão parcial de saturação do ar (kPa).

A radiação global foi estimada à partir da equação de Ångström:

$$R_s = R_o (0,27 + 0,52 \frac{n}{N}) \quad (4)$$

em que:  $R_o$  é a radiação solar numa superfície horizontal no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), função do mês e da latitude, obtida em tabelas (SEDIYAMA, 1987).

Os coeficientes da equação de Ångström, considerados constantes ao longo do ano, foram obtidos da recomendação de SEDIYAMA (1987), ou seja,  $b = 0,52$  e  $a = 0,29 \cos \phi$ , em que  $\phi$  é a latitude.

A velocidade média do vento a 10m ( $U_{10}$ ) foi convertida para 2m de altura através da relação (CUENCA, 1989):

$$U_2 = U_{10} \left( \frac{2,0^2}{10} \right) \quad (5)$$

O parâmetro  $\Delta$  foi calculado pela expressão:

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T_c + 237,3)^2} \quad (6)$$

em que  $T_c$  é a temperatura média do ar (°C).

A pressão de saturação foi calculada pela expressão:

$$e_s = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T_c}{T_c + 237,3}\right) \quad (7)$$

Os valores de ETo foram acumulados para períodos consecutivos de 5, 10, 15, 20 e 30 dias. A ETo máxima de cada ano, para todos períodos acumulados, formaram séries de 16 valores cada uma, as quais foram ajustadas às distribuições normal, log-normal e beta, conforme metodologia apresentada em SPIEGEL (1985), FRIZZONE (1979) e FALLS (1973), respectivamente. A aderência dos dados às distribuições de probabilidade teóricas foram verificadas através do teste de Kolmogorov-Smirnov (CAMPOS, 1983).

A média e o desvio padrão de ETo e dos logaritmos neperianos dessa variável foram definidos como as estimativas dos parâmetros de ajuste das distribuições normal e log-normal, respectivamente. Na distribuição beta, esses parâmetros foram estimados pelo método dos Momentos (PEARSON, 1934).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diminuição dos valores máximos, mínimos e médios da ETo com o aumento do período acumulado (Tabela 1). Esse comportamento normalmente ocorre em análises de frequência da ETo e é muito importante de ser observado, pois dependendo do período acumulado e do nível de probabilidade adotados pode resultar em sensíveis diferenças no dimensionamento de sistemas de irrigação.

Tabela 1 - Valores máximos, mínimos e médios observados de evapotranspiração de referência nos diversos períodos acumulados.

Período acumulado (dias)	Valor Máximo		Valor Mínimo		Média	
	(mm)	(mm dia <sup>-1</sup> )	(mm)	(mm dia <sup>-1</sup> )	(mm)	(mm dia <sup>-1</sup> )
05	39,19	7,84	29,96	5,99	33,29	6,66
10	72,71	7,27	55,28	5,53	62,08	6,21
15	104,93	7,00	79,15	5,28	88,58	5,91
20	129,00	6,45	103,81	5,19	113,80	5,69
30	192,68	6,42	151,16	5,04	166,98	5,57

Para todos os períodos acumulados houve ajuste das séries de ETo aos três modelos de distribuição de frequência analisados (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos por PEREIRA & FRIZZONE (1994).

Através da função de frequência acumulada normal, de maior praticidade, foram gerados os valores de ETo para períodos de retorno de 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12 e 14 anos ou, respectivamente, níveis de probabilidade de 50, 67, 75, 80, 88, 90, 92 e 94% (Tabela 3). Para os mesmos níveis de probabilidade, ou períodos de retorno, pode-se novamente observar a tendência de haver diminuição da ETo diária com o aumento do período acumulado.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de ETo para diferentes níveis de probabilidade e períodos de retorno. A interpretação dessas informações pode

Tabela 2 - Parâmetros das distribuições normal, log-normal e beta para análise de frequência da evapotranspiração de referência e respectivos valores de máxima divergência (D) do teste de Kolmogorov-Smirnov\*.

Período acumulado (dias)	Modelo de distribuição								
	Normal			Log-normal			Beta		
	$\mu$	$\sigma$	D	$\mu_1$	$\sigma_1$	D	p	q	D
05	33,29	2,31	0,135	3,503	0,068	0,128	0,963	1,705	0,162
10	62,08	4,07	0,151	4,126	0,064	0,141	1,313	2,055	0,163
15	88,58	5,81	0,235	4,482	0,063	0,221	1,306	2,265	0,210
20	113,80	5,83	0,188	4,733	0,050	0,178	1,375	2,094	0,182
30	166,98	10,64	0,248	5,116	0,061	0,234	0,986	1,603	0,222

\* O nível crítico em 5% de significância é 0,327.

Tabela 3 - Valores de evapotranspiração de referência (Eto) estimados através da distribuição normal para diferentes níveis de probabilidade, períodos de retorno e acumulados.

Período acumulado (dias)	Evapotranspiração de referência (mm dia <sup>-1</sup> )							
	Nível de probabilidade							
	50	67	75	80	88	90	92	94
05	6,66	6,86	6,97	7,05	7,20	7,25	7,31	7,38
10	6,21	6,39	6,48	6,55	7,69	6,73	6,78	6,84
15	5,91	6,08	6,17	6,23	6,36	6,40	6,45	6,51
20	5,69	5,82	5,89	5,94	6,03	6,06	6,10	6,14
30	5,57	5,72	5,81	5,86	5,98	6,02	6,06	6,12
	2	3	4	5	8	10	12	14
	Período de retorno (anos)							

ser feita da seguinte forma: para um período acumulado de ETo de 15 dias e a probabilidade de ocorrência de 90% (período de retorno de 10 anos) o valor de ETo corresponde a 6,40mm dia<sup>-1</sup>. Portanto, existe 90% de probabilidade de que o valor de ETo para um período de 15 dias não ultrapasse a 6,40mm dia<sup>-1</sup>, ou ainda, para o mesmo período, em apenas um de cada dez anos o valor de ETo será igual ou superior a 6,40mm dia<sup>-1</sup>.

Esses valores de ETo, multiplicados pelos respectivos coeficientes de cultura, poderão ser utilizados como parâmetro de dimensionamento de sistemas de irrigação na região de Dourados. Por exemplo, na cultura de milho o florescimento é o período de máxima exigência hídrica, com duração de cerca de 20 dias e coeficiente de cultura de 1,05 (DOORENBOS & KASSAN, 1977). Nessas condições, adotando-se 75% como nível de probabilidade (período de retorno de 4 anos), a evapotranspiração recomendada como parâmetro de dimensionamento de sistemas de irrigação para a região de Dourados é de 6,18mm dia<sup>-1</sup> (5,89 x 1,05).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989. 552 p.
- DOORENBOS, J., KASSAN A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 194 p.
- FALLS, L.W. **The Beta distribution: a statistical model for world cloud cover**. Alabama: NASA, 1973. p. 1-6.
- FRIZZONE, J.A. **Análise de cinco modelos para o cálculo da distribuição de frequência de precipitações na região de Viçosa, MG**. Viçosa - MG. 100 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1974. 215 p.
- JENSEN, M.E., BURMAN, R D., ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE. 1989. 332 p.
- MCGUINNESS, J. L., PARMELE, L.H. Maximum potential evapotranspiration frequency east central U. S. **Journal of the Irrigation Drainage Division**, New York, v. 98, n. IR-2, p.207-212, 1972.
- PEARSON, K. **Tables of the incomplete beta-function**. London: University College, Biometrica Office, 1934. 494 p.
- PEREIRA, A.S., FRIZZONE, J. A. **Relatório de Pesquisa**. Piracicaba: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, 1994. Análise de frequência da evapotranspiração potencial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação: 42 p.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. In: ROYAL SOCIETY OF LONDON, 1948. **Londres. Proceedings...** Londres, A193, p. 120-146.
- SAAD, J.C.C., SCALOPPI, E.J. Frequência de distribuição de evapotranspiração para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988. Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: v. 2, p. 1037-1052.
- SEIYAMA, G.C. Necessidade de água para os cultivos. **Curso de engenharia de irrigação - Módulo 4**. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS, 1987. 143 p.
- SPIEGEL, M.R. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 453 p.