

PROBABILIDADE E VARIAÇÃO TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA – PR

Daniela JERSZURKI¹
Jorge Luiz Moretti de SOUZA¹
Adão Wagner Pêgo EVANGELISTA²

- RESUMO: teve-se por objetivo no presente trabalho determinar os parâmetros estatísticos das funções densidade de probabilidade (fdp's) Normal, Gama, Exponencial, Triangular e Uniforme ajustadas aos valores decendiais observados de evapotranspiração de referência (ET_o), calcular os valores com 25% de probabilidade de serem iguados ou superados, com a fdp de melhor ajuste, bem como decompor a série de ET_o, para o município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. No ajustamento das fdp's às séries de dados, agrupados em decêndios, foi aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. A série temporal foi decomposta para obtenção dos padrões de tendência (T), ciclicidade (C), sazonalidade (S) e irregularidade (I). Foram utilizados os métodos das médias móveis, razão para a média móvel e remoção da componente tendência para obtenção da T, S, C e I, respectivamente. A fdp Normal apresentou, predominantemente, melhor ajuste à ET_o decendial, e as demais fdp's utilizadas foram importantes para possibilitar a obtenção dos valores prováveis para todos os decêndios do ano. A série de ET_o não apresentou T significativa de acréscimo ou decréscimo ao longo dos anos, mas foi influenciada pela S, C e I. A S exerceu grande influência sobre a ET_o.
- PALAVRAS-CHAVE: Função densidade de probabilidade; relações hídricas; série temporal.

1. Introdução

A crescente evolução na demanda por água pelas atividades agrícolas requer estudos da tendência e entendimento das variáveis relacionadas à sua utilização no sistema solo-planta-atmosfera (CARVALHO et al., 2011). Nesse sentido, a caracterização regional das variações temporais da evapotranspiração de referência (ET_o), bem como dos valores prováveis de sua ocorrência, a partir das fdp's de melhor ajuste, é relevante para o entendimento e determinação de períodos críticos de deficiência ou excedente hídrico, sendo útil para o planejamento e manejo racional da água (ABUMANSUR, 2006). Além disso, são escassos os trabalhos que visem a obtenção da ET_o provável e seu comportamento temporal, sendo mais comum pesquisas voltadas à estimativa da precipitação provável em diferentes localidades (FIETZ et al., 2008; ÁVILA, MELLO e

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, CEP: 80035-050, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: djerszurki@ufpr.br, jmoretti@ufpr.br

² Universidade Federal de Goiás – UFG, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Caixa Postal 131, CEP 74690-900, Goiânia, GO, Brasil. E-mail: awpego@bol.com.br

VIOLA, 2009; MARTINS et al., 2010; SOCCOL, CARDOSO e MIQUELLUTI, 2010; DALLACORT et al., 2011). Nesse contexto, estudos da *ETo* provável conforme realizado por Jensen (1974) e Saad e Scaloppi (1988) evidenciam a utilidade, aplicação e abrangência que o ajustamento e obtenção de parâmetros estatísticos referente a essa variável têm para a atividade agrícola como um todo.

Várias *fdp's* têm sido utilizadas para estudar a *ETo*, apresentando variabilidade quanto à adequação às séries históricas (RIBEIRO et al., 2007). Segundo Pruitt; Oettingen; Morgan (1972) as *fdp's* Normal, Gama, Beta e Gumbel são as mais usadas para o ajuste à *ETo*. Para Abumanssur (2006) as *fdp's* Gama e Log-normal apresentaram satisfatório ajustamento à evapotranspiração potencial. Além da escolha da *fdp* mais adequada, devem ser determinados os níveis de probabilidade a serem utilizados (MARQUES JÚNIOR, SAAD e MOURA, 1995). Para que haja minimização dos riscos e custos na elaboração de projetos agrícolas baseando-se na *ETo*, recomenda-se a escolha de valores que tenham probabilidade de ocorrer, em média, três vezes a cada quatro anos, ou seja, valores com 25% de probabilidade de serem igualados ou superados (período de retorno de 4 anos) (DOORENBOS e PRUITT, 1977; SAAD e SCALOPPI, 1988). Jensen (1974) e Saad e Scaloppi (1988) comentam que períodos de retorno de 5 a 10 anos são recomendados apenas em projetos realizados para culturas de grande valor econômico, considerando as características de armazenamento da água no solo. Contudo é importante observar que uma vez determinados os parâmetros da *fdp* de melhor ajuste, qualquer valor provável da variável em estudo pode ser encontrado (SOUZA, JERSZURKI e DAMAZIO, 2013; SOUZA, 2013).

Além da escolha da *fdp* de melhor ajuste à *ETo*, a análise da série temporal da variável também tem grande utilidade, principalmente quando se encontra algum tipo de variação temporal na sua decomposição, ao longo das estações e dos anos, obtendo-se padrões de variação, como tendência, ciclicidade, sazonalidade e irregularidade (MORAES, COSTA e COSTA, 2005). A identificação de padrões não aleatórios nas séries temporais também permite a previsão e simulação de eventos futuros (SANSIGOLO, 2008).

Diante do contexto apresentado, teve-se por objetivo determinar os parâmetros estatísticos de cinco *fdp's* ajustadas aos valores decenais observados de *ETo*, calcular os valores com 25% de probabilidade de serem igualados ou superados, com a *fdp* de melhor ajuste, bem como decompor a série de *ETo*, para o município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

2. Material e métodos

As análises do presente trabalho foram realizadas para o município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. A região está localizada no Segundo Planalto Paranaense e, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima tipo Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 16°C, com ocorrência de geadas e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes (KLABIN, 2011).

Foram utilizados dados históricos diários (janeiro de 1981 a janeiro de 2011) provenientes de uma estação climatológica instalada na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, localizada na região de Telêmaco Borba, Estado

do Paraná, com altitude média de 885 m, nas coordenadas 24°13' de latitude Sul e 50°32' de longitude Oeste. Para fins de análise da confiabilidade da série, o comportamento dos dados foi analisado previamente a partir de medidas de tendência central e desvio padrão, sendo que os dias que não apresentaram dados foram corrigidos de acordo com metodologia proposta pela FAO (ALLEN et al., 1998). A estimativa da *ET_o* foi realizada com o método de Penman-Monteith, o qual é parametrizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*- FAO (ALLEN et al., 1998). Os dados necessários foram: temperatura máxima, mínima e média do ar (°C), umidade relativa média (%), radiação solar incidente acumulada (MJ m⁻² dia⁻¹) e velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹).

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma_{psy} \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma_{psy} \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)},$$

sendo: *ET_o* – evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); R_n – radiação líquida na superfície (MJ m⁻² dia⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ_{psy} – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T – temperatura média do ar (°C); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa).

O saldo de radiação (R_n) foi obtido pela seguinte equação (SOUZA, 2014):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl},$$

sendo: R_n – saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas (MJ m⁻² dia⁻¹); R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas (MJ m⁻² dia⁻¹).

O saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns}) foi calculado por meio da seguinte expressão:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s,$$

sendo: R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas (MJ m⁻² dia⁻¹); α – albedo ou coeficiente de reflexão da cultura hipotética ($\alpha = 0,23$); R_s – radiação solar incidente (MJ m⁻² dia⁻¹).

Assumindo que outros materiais como o dióxido de carbono (CO₂) e a poeira, os quais absorvem e emitem ondas longas estão em concentração constante, a equação utilizada para aferir o saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) foi a seguinte:

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left[\frac{(T_{max})^4 + (T_{min})^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right),$$

sendo: R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas (MJ m⁻² dia⁻¹); σ – constante de Stefan-Boltzmann (4,903 MJ·K⁻⁴·m⁻²·dia⁻¹); T_{max} – temperatura máxima absoluta registrada no período de 24 horas (K); T_{min} – temperatura mínima absoluta registrada no período de 24 horas (K); e_a – pressão atual do vapor (kPa); R_s/R_{so} – radiação relativa de ondas curtas

(limitada para $\leq 1,0$); R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A radiação solar em céu sem nuvens (R_{so}) foi calculada por meio da seguinte expressão:

$$R_{so} = (0,75 + 2.10^{-5} Z).R_a,$$

sendo: R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Z – altitude do local (m); R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A radiação solar no topo da atmosfera foi calculada conforme a seguinte equação:

$$R_a = \frac{24.(60)}{\pi}.G_{sc}.d_r.[\omega_s.\text{sen}(\varphi).\text{sen}(\delta) + \cos(\varphi).\cos(\delta).\text{sen}(\omega_s)],$$

sendo: R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$); G_{sc} – constante solar ($0,0820 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$); d_r – distância relativa Terra-Sol (adimensional); ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

A radiação solar incidente foi obtida a partir da equação de Angstrom-Preescott, com os parâmetros a e b iguais a 0,25 e 0,50, respectivamente, conforme recomendação da FAO (ALLEN et al., 1998).

A FAO (ALLEN et al., 1998) considera o fluxo de calor no solo (G) igual a zero para períodos diários. No entanto, Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) afirmam que se a temperatura média dos três dias anteriores (T-3d) estiver disponível, então é possível calcular G por meio da relação empírica:

$$G = 0,38.(T_d - T_{-3d}),$$

sendo: G – fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_d – temperatura média do dia ($^{\circ}\text{C}$); T_{-3d} – temperatura média dos três dias anteriores ($^{\circ}\text{C}$).

Considerando as recomendações de Souza (2013) e Souza, Jerszurki e Damazio (2013) para o cálculo de valores prováveis, os procedimentos necessários para a ET_o provável foram realizados com o auxílio de uma planilha eletrônica, contendo rotinas desenvolvidas especialmente para essa finalidade. Os dados diários foram tabulados e agrupados em períodos de 10 dias (decêndios). Logo após, encontraram-se os parâmetros estatísticos das fdp 's testadas (Gama, Normal, Exponencial, Triangular e Uniforme). Os parâmetros encontrados foram: alfa e beta para a distribuição Gama; média e desvio padrão para a distribuição Normal; maior valor, menor valor e moda para a distribuição Triangular; média para a Exponencial; e, maior e menor valor para a distribuição Uniforme. Por fim, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (5% de probabilidade) para a verificação da aderência dos valores decendiais de ET_o estimados com as cinco fdp 's, aos valores observados. Após a escolha da fdp de melhor ajuste aos valores de ET_o de cada decêndio, foram obtidos os valores de $ET_{o25\%}$ com período de retorno (T) de 4 anos, ou seja, valores com 25% de probabilidade de serem igualados ou superados: $ET_{o25\%} = P(ET_{o25\%} \in ET_o \mid ET_{o\text{-ésimo}} \geq ET_{o25\%}) = 25\%$.

Na decomposição da série temporal dos valores observados de ET_o , a tendência (T) foi obtida com o método das médias móveis, considerando a média das observações como

previsão para o período analisado (MORETTIN, 1981; SOUZA, 2013). Para tanto, foram calculadas médias móveis de ordem 3, 5 e 7. Para obter maior alisamento das séries analisadas e melhorar a visualização da tendência, também foram determinadas as médias móveis centradas de ordem 3, ponderada de ordem 7 e a semi-média, obtida a partir do ajuste de uma função linear aos dados.

As variações sazonais, cíclicas e irregulares foram obtidas com o modelo multiplicativo de decomposição de séries temporais.

$$Y = T \cdot C \cdot S \cdot I,$$

sendo: Y – valor original da série de ETo (mm ano^{-1}); T – componente tendência (mm ano^{-1}); C – componente cíclica (mm ano^{-1}); S - componente sazonal (adimensional); I – componente irregular ou aleatória (mm ano^{-1}).

A sazonalidade foi representada pelos índices sazonais (IS) obtidos com o método da razão para a média móvel, também conhecido como método da média móvel percentual.

As variações irregulares (I) e cíclicas (C), representadas pelos índices cíclicos e irregulares (ICI) foram avaliadas em conjunto e obtidas com a remoção da componente tendência.

$$CI = \frac{Y}{T},$$

sendo: CI – componente cíclica e irregular (adimensional); Y – valor original da série (mm ano^{-1}); T – componente tendência (mm ano^{-1}).

3. Resultados e discussão

Dentre as cinco fdp 's testadas, a Normal foi a melhor avaliada, ajustando-se a 65% dos valores decendiais de ETo (Tabela 1). A fdp Gama ajustou-se a apenas 24% dos decêndios analisados. Em trabalho semelhante para o Estado do Paraná, comtemplando o município de Telêmaco Borba para um período de 29 anos, Abumanssur (2006) obteve resultados similares para o ajuste das fdp 's, mesmo não utilizando o método de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração. Segundo o autor, as distribuições Log-Normal e Gama ajustaram-se satisfatoriamente às séries de dados.

Marques Júnior, Saad e Moura (1995) verificaram grande número de ETo decendial ajustando-se à fdp Gama. No entanto, Pruitt, Oettingen e Morgan (1972) comentam que a ETo tende a ajustar-se à distribuição Normal. Silva et al. (1998) obtiveram, para o município de Cruz das Almas – BA, ajustes da ETo com as fdp 's Normal, Log-Normal e Beta. Dessa forma, nota-se variabilidade quanto à adequação das fdp 's às séries históricas, não havendo uma fdp específica que possa ser mais indicada genericamente para um determinado período e região. Portanto, é sempre mais prudente utilizar um número maior de fdp 's nas análises, como proposto no presente trabalho.

O valor médio da ETo foi $26,2 \text{ mm decêndio}^{-1}$ para a região de Telêmaco Borba, que possui clima Cfa/Cfb, segundo Köeppen. Para regiões de clima quente e úmido, a ETo decendial varia em torno de $70 \text{ mm decêndio}^{-1}$, sendo que a magnitude da ETo também pode variar de um tipo climático para outro (SILVA et al., 1998).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das *fdp*'s (N - Normal, T - Triangular, G - Gama, E - Exponencial e U - Uniforme) e valores prováveis decenciais da *ETO*(*ETO*_{25%})

----- Série -----		----- Parâmetros das <i>fdp</i> 's -----								<i>ETO</i> _{25%}
Decêndios	Anos	Menor Valor	Maior Valor	μ^*	σ^*	Moda	α	β	<i>fdp</i> **	(mm dec ⁻¹)
1 (01/01 a 10/01)	31	26,1	50,4	40,1	7,4	43,1	27,3	1,5	N	45,1
2 (11/01 a 20/01)	31	25,9	54,7	39,6	8,1	34,5	25,1	1,6	G	44,6
3 (21/01 a 30/01)	31	25,3	50,8	37,0	6,4	32,9	34,7	1,1	G	41,0
4 (31/02 a 09/02)	31	25,4	48,7	38,2	5,8	37,0	42,5	0,9	N	42,1
5 (10/02 a 19/02)	31	24,4	49,6	36,9	6,6	31,9	32,1	1,1	G	41,0
6 (20/02 a 01/03)	31	24,0	49,5	36,7	5,3	36,7	48,9	0,7	N	40,2
7 (02/03 a 11/03)	31	23,2	45,5	36,2	5,1	34,3	48,5	0,7	N	39,6
8 (12/03 a 21/03)	31	22,2	40,7	33,5	3,9	35,1	72,8	0,5	N	36,2
9 (22/03 a 31/03)	31	24,9	40,6	32,0	3,9	32,8	70,3	0,5	N	34,6
10 (01/04 a 10/04)	31	24,5	37,0	30,7	3,1	30,7	101,6	0,3	N	32,8
11 (11/04 a 20/04)	31	18,9	35,0	26,5	3,6	26,9	54,6	0,5	T	29,3
12 (21/04 a 30/04)	31	18,9	29,3	23,9	3,1	26,2	61,3	0,4	U	26,7
13 (01/05 a 10/05)	31	16,6	24,7	20,6	2,3	22,3	83,4	0,2	U	22,7
14 (11/05 a 20/05)	31	13,8	23,6	18,4	2,4	18,7	62,0	0,3	G	19,9
15 (21/05 a 30/05)	31	12,8	21,7	16,8	2,1	17,2	65,4	0,3	N	18,3
16 (31/05 a 09/06)	31	9,1	19,4	15,3	2,1	14,2	52,8	0,3	N	16,7
17 (10/06 a 19/06)	31	10,5	20,2	15,4	2,0	15,4	61,1	0,3	N	16,8
18 (20/06 a 29/06)	31	11,2	18,8	14,9	1,8	15,0	69,9	0,2	G	16,1
19 (30/06 a 09/07)	31	12,4	21,5	16,4	2,3	16,9	54,7	0,3	G	17,8
20 (10/07 a 19/07)	31	13,0	21,6	17,1	2,2	17,3	63,8	0,3	G	18,4
21 (20/07 a 29/07)	31	12,0	25,7	18,7	2,7	18,8	48,8	0,4	N	20,5
22 (30/07 a 08/08)	31	14,4	24,4	20,1	2,6	21,4	56,9	0,4	N	21,9
23 (09/08 a 18/08)	31	15,6	27,6	23,1	2,9	24,0	62,8	0,4	N	25,0
24 (19/08 a 28/08)	31	17,1	31,5	26,0	3,8	30,0	44,9	0,6	N	28,5
25 (29/08 a 07/09)	31	18,1	34,9	27,8	4,7	33,2	34,5	0,8	N	31,0
26 (08/09 a 17/09)	31	19,0	39,1	28,7	4,7	29,0	38,0	0,8	G	31,7
27 (18/09 a 27/09)	31	17,5	39,4	29,4	4,4	28,5	43,3	0,7	N	32,3
28 (28/09 a 07/10)	31	21,9	41,0	31,0	5,4	31,5	33,5	0,9	G	34,4
29 (08/10 a 17/10)	31	26,1	43,6	34,1	3,5	34,9	95,5	0,4	N	36,5
30 (18/10 a 27/10)	31	26,9	44,3	35,8	4,8	35,6	56,6	0,6	U	39,9
31 (28/10 a 06/11)	31	30,3	48,0	39,2	4,2	39,2	88,3	0,4	N	42,1
32 (07/11 a 16/11)	31	33,6	55,2	40,8	4,8	40,1	77,2	0,5	N	44,0
33 (17/11 a 26/11)	31	29,1	50,7	42,7	4,9	44,2	73,8	0,6	N	46,0
34 (27/11 a 06/12)	31	28,2	52,0	42,2	6,6	40,1	39,8	1,1	N	46,6
35 (07/12 a 16/12)	31	30,0	50,8	41,3	5,3	40,4	59,9	0,7	N	44,9
36 (17/12 a 26/12)	31	33,4	52,0	42,0	4,6	42,7	85,8	0,5	N	45,1
37 (27/12 a 31/12)	31	9,3	28,9	18,6	4,3	19,1	18,7	1,0	N	21,5

* média (μ) e desvio padrão (σ) dos valores decenciais da série. ** função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos dados decenciais da série.

A evapotranspiração média decendial correspondeu, em média, a 90% da $ET_{0,25\%}$. A probabilidade de ocorrência da evapotranspiração média foi próxima a 50%, variando de 47% a 55% (Figura 1). O último decêndio do ano apresenta apenas cinco dias em anos normais, ou seis dias em anos bissextos, o que justifica o menor valor médio de ET_0 apresentado por esse decêndio. A pequena variação da ET_0 decendial média é consequência do melhor ajustamento da série à distribuição Normal.

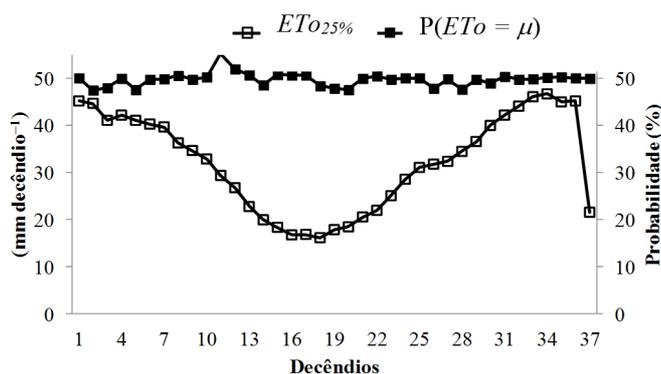


Figura 1 - Valores de $ET_{0,25\%}$, em mm decêndio^{-1} , e $P(ET_0 = \mu)$, em porcentagem, para o município de Telêmaco Borba – PR, considerando a distribuição de probabilidade de melhor ajuste.

Apesar do leve crescimento ao longo dos anos analisados, a ET_0 não apresentou tendência significativa para a região de Telêmaco Borba ($R^2 = 0,0331$) (Figura 2). A variação apresentada ao longo dos anos pode ser explicada, principalmente, pelas variações de temperatura do ar e velocidade do vento (GONG et al., 2006; KING et al., 2015).

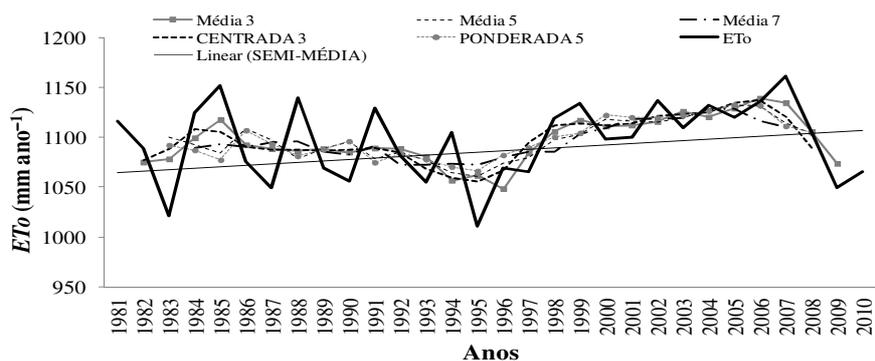


Figura 2 - Evapotranspiração de referência (ET_0) anual no município de Telêmaco Borba – PR: médias móveis de 3, 5 e 7 períodos, centrada de 3 períodos e ponderada de 5 períodos, para uma série de 30 anos.

Ao longo dos anos, pôde ser observado maior variabilidade dos valores de *ETo* entre 1981 a 1995, seguido por uma fase de menor variabilidade e crescimento característico da magnitude dos valores entre 1996 a 2007 (Figura 2). Tal comportamento pode ser atribuído às variações cíclicas com oscilações climáticas de periodicidades maiores que um ano, como o *El Niño* e o *La Niña*. Entre os anos de 1997 e 1998 ocorreu o evento cíclico *El Niño*, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas do oceano pacífico, modificando os padrões de vento e o regime de chuvas e, conseqüentemente, a *ETo*. A partir desse período a *ETo* manteve um padrão, sem grandes variações, até o ano de 2007. Entre os anos de 2007 e 2008, período correspondente à redução da *ETo*, teve início a ocorrência do evento *La Niña* o qual, provavelmente, pode explicar a tendência decrescente da variável (INPE, 2014).

O município de Telêmaco Borba apresenta grande importância na região Centro-Sul do Paraná devido ao crescimento da silvicultura, principalmente do *Pinus taeda* (ROSA, MARTINS e SILVA, 2006). Com relação à influência da *ETo* sobre a cultura do Pinus, Shimizu e Higa (1981) relacionam a influência da variável sobre a cultura, verificando que dentre as variáveis que mais influenciam a *ETo*, a temperatura média foi a que mais afetou o crescimento e desenvolvimento do *Pinus taeda*. No presente trabalho, o acréscimo nos valores de *ETo* foi de $0,77 \text{ mm ano}^{-1}$, o que em termos absolutos significa um aumento de 24 mm para o período analisado. No entanto, pode-se afirmar que tal variação não interfere negativamente no cultivo de pinus no município, já que as áreas preferenciais para o cultivo são as de maior altitude, que normalmente apresentam menor *ETo* anual (HIGA et al., 2008).

Com a remoção da sazonalidade da série de dados (Figura 3) observou-se que a *S* teve grande influência sobre a *ETo* ($R^2=0,8866$)(Figura 4), devido às variações de periodicidade anual. Assim, pode-se afirmar que a *ETo* foi fortemente influenciada pelas estações do ano. Segundo Morettin (1981) as variações sazonais são as oscilações de curto prazo que ocorrem dentro do ano, repetindo-se sistematicamente ano após ano. Tais variações são representadas pelos índices sazonais (*IS*).

O mês com menor taxa evapotranspirativa foi junho (45 mm mês^{-1}), seguindo de aumento nos meses de julho (54 mm mês^{-1}) e agosto (75 mm mês^{-1}). Com isso, a partir do início da estação seca a *ETo* apresentou progressivo acréscimo nos valores. Em trabalho semelhante, Tomasella et al. (2007) observaram acréscimos para a *ETo* na época mais seca do ano para a região Amazônica, com valores que chegavam a exceder a *P*, o que pode comprometer o armazenamento de água no solo com a ocorrência de deficiência hídrica.

Variações cíclicas foram observadas na série de dados (Figura 5). Com a remoção da *T* da série de dados a curva continuou apresentando as mesmas variações de tendência, ou seja, a série não foi influenciada pela *T*, mas sim pela *S*, *C* e *I*. Dessa forma, com os índices cíclicos e irregulares (*ICI*) se aproximando de 1, ocorreu menor influência dessas variações sobre a série (MORETTIN, 1981; SOUZA, 2013).

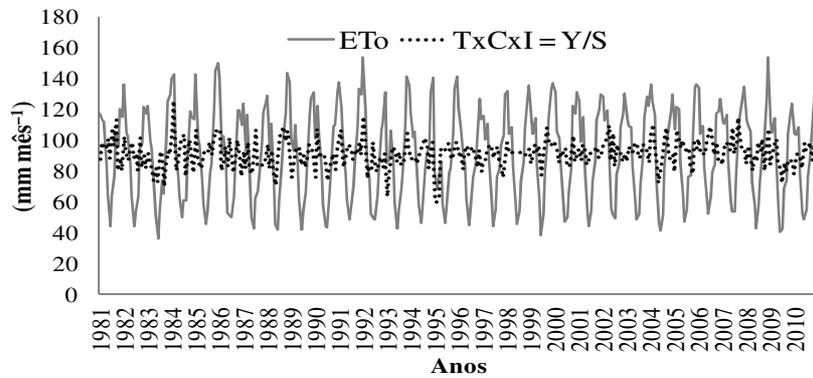


Figura 3 - Série de ETo removendo-se as variações sazonais, para uma série de 30 anos, no município de Telêmaco Borba – PR.

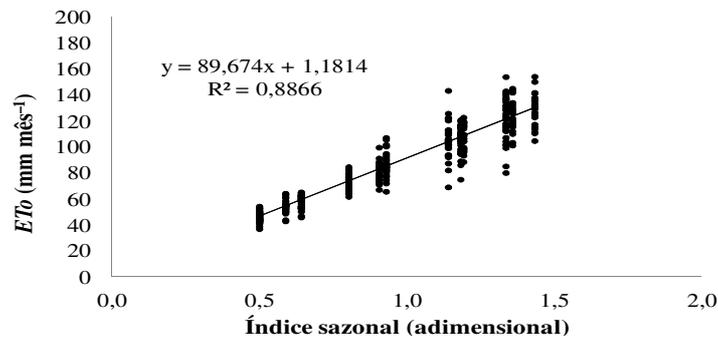


Figura 4 - Regressão linear e coeficiente de determinação (R^2), obtidos entre os valores mensais de ETo e índices sazonais, para uma série de 30 anos, no município de Telêmaco Borba – PR.

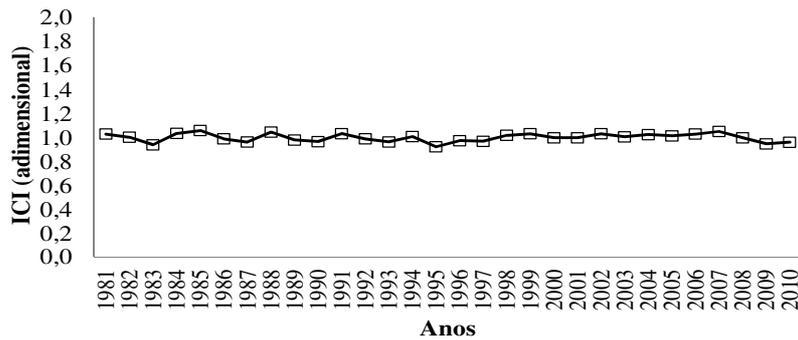


Figura 5 - Variações cíclicas e irregulares (ICI), para a série de 30 anos de ETo , no município de Telêmaco Borba – PR.

Conclusões

A *fdp* Normal apresentou, predominantemente, melhor ajuste à *ETo* decennial, e as demais *fdp*'s utilizadas foram importantes para possibilitar a obtenção dos valores prováveis para todos os decêndios do ano.

As séries anuais de *ETo* não apresentaram tendência significativa de acréscimo ou decréscimo, mas foram influenciadas pelas variações sazonais, cíclicas e irregulares. A sazonalidade exerceu grande influência sobre a *ETo*.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; EVANGELISTA, A. W. P. Probability and temporal variation of reference evapotranspiration in Telêmaco Borba – PR. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.33, n.1, p.118-129, 2015.

- **ABSTRACT:** *The aim of this study was to determine the parameters of statistical probability density functions (pdf's) Normal, Gamma, Exponential, Triangular and Uniform adjusted to decennial observed values of reference evapotranspiration (ETo), determine their values of being equaled or exceeded at 25% of probability, with the best fit pdf and decompose the serie of ETo for Telêmaco Borba, Parana State. To check the adjustment of the pdf's to data Kolmogorov-Smirnov test was applied at 5% of probability. The time serie was decomposed to obtain trend (T), cyclicality (C), seasonality (S) and irregularity (I). Were used the methods of moving averages, reason for moving average and removal of trend component for obtaining the T, S, C and I, respectively. The Normal pdf showed predominantly the best fit for decennial ETo and the other pdf's used were important to enable the achievement of probable values for all ten-days periods of the year. The series of ETo showed no significant T increase or decrease over the year, but was influenced by S, C and I. The S exerted great influence on ETo.*
- **KEYWORDS:** *Probability density functions; water relations; time series.*

Referências

ABUMANSUR, C. *Estimativa da evapotranspiração mensal no estado do Paraná*. 2006. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. 1.ed. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300p.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.906–915, 2009.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, O. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, p. 456-465, 2011.

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FRETAS, P. S. L. de; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do estado de Mato Grosso, Brasil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.33, p.193-200, 2011.

- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. FAO – Irrigation and Drainage Paper, 24, Roma, 1977. 144p
- FIETZ, C. R.; COMUNELLO, E.; CREMON, C.; DALLACORT, R. *Estimativa da precipitação provável para o Estado de Mato Grosso*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 239p.
- GONG, L.; XU, C.; CHEN, D.; HALLDIN, S.; CHEN, Y.D. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology*, v.329, p.3-4, 2006.
- HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; RADIN, B.; BRAGA, H. V.; CAVIGLIONE, J. H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, Y. M. M. Zoneamento climático: *Pinus taeda* no sul do Brasil. Colombo: Embrapa florestas, 2008.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. *El Niño e La Niña*. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 03.Dez.2014.
- JENSEN, M.E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1974. 215p
- KING, D.A.; BACHELET, D.M.; SYMSTAD, A.J.; FERSCHWEILER, K.; HOBBS, M. Estimation of potential evapotranspiration from extraterrestrial radiation, air temperature and humidity to assess future climate change effects on the vegetation of the Northern Great Plains, USA. *Ecological Modelling*, v.297, p.86-97, 2015.
- KLABIN. *Plano de manejo florestal 2011: resumo público Telêmaco Borba – PR*. Telêmaco Borba: Klabin, 2011. 24 p.
- MARQUES Jr, S.; SAAD, J. C. C.; MOURA, M. V. T. Modelo iterativo para estimativa da evapotranspiração de referencia provável. *Scientia Agrícola*, v.52, p.221-225, 1995.
- MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, A. S.; SANTI, A.; KOLLING, E. M.; COLETTI, A. J. Probabilidade de precipitação para a microrregião de Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, p.291-296, 2010.
- MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N; COSTA A. C. L. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, v.35, p.207-214, 2005.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Modelo para Previsão de Séries Temporais*. Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada, v.1, 1981.
- PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: ESALQ, 1997.
- PRUITT, W.O.; OETTINGEN, S.V.; MORGAN, D.L. Central California: Evapotranspiration frequencies. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v.98, p.177-184, 1972.
- RIBEIRO, B. T.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N. Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa da precipitação provável para a região de Barbacena, MG. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v.31, p.1297-1302, 2007.

- ROSA, H.; MARTINS, S. S.; SILVA, O. H. Atividade florestal nos municípios de Telêmaco Borba, Ortigueira, Reserva, Imbaú e Tibagi: caracterização e perspectivas do setor. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.28, p.41–45, 2006.
- SAAD, J. C. C.; SCALOPPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis, *Anais...* Florianópolis: ABID, v.2, p.1037–1052, 1988.
- SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.23, p.341–346, 2008.
- SHIMIZU, J. Y.; HIGA, A. R. Variação racial do *Pinus taeda* L. no sul do Brasil até o sexto ano de idade. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, v.2, p.1–25, 1981.
- SILVA, F. C.; FIETZ, C. R.; FOLEGETTI, M. V.; PEREIRA, F. A. C. Distribuição e frequência da evapotranspiração de referência de Cruz das Almas, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.284-286, 1998.
- SOCCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.569-574, 2010.
- SOUZA, J. L. M. *Ciclo da água na agricultura: fundamentos para o estudo do sistema solo, planta e atmosfera*. Curitiba: DSEA/SCA/UFPR, 2014. (Série Didática)
- SOUZA, J. L. M. *Fundamentos de matemática e estatística para formulação de modelos e análise de dados: aplicado às ciências agrárias*. Curitiba: DSEA/SCA/UFPR, 2013. (Série Didática)
- SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; DAMAZIO, E. C. Relações funcionais entre precipitação provável e média em regiões e climas brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* v.48, p.693-702, 2013.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, A.D.; WATERLOO, M.J.; OLIVEIRA, S.M. The water balance of an amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour. *Hydrological processes*, v.22, p.2133–2147, 2007.

Recebido em 23.07.2014

Aprovado após revisão em 12.01.2015