



Evapotranspiração de Referência: Distribuição de Probabilidade e Decomposição de Séries Temporais para a Região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná

Daniela Jerszurki⁽¹⁾; Jorge Luiz Moretti de Souza⁽²⁾; Adão Wagner Pêgo Evangelista⁽³⁾

⁽¹⁾Professora; Universidade Federal do Paraná; Rua dos Funcionários, 1540, Curitiba-Paraná, CEP 80035-050; djerszurki@ufpr.br;

⁽²⁾Professor; Universidade Federal do Paraná; ⁽³⁾Professor; Universidade Federal de Goiás.

RESUMO – O trabalho teve por objetivo determinar os parâmetros estatísticos de cinco funções densidade de probabilidade (*fdp*) ajustadas aos valores decendiais observados de evapotranspiração de referência (*ET_o*), determinando seus valores prováveis a 75% de probabilidade, bem como realizar a decomposição temporal das séries, observando as possíveis influências das oscilações da variável sobre o plantio de *Pinus taeda* no município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. As séries temporais foram decompostas para obtenção dos padrões de tendência, ciclicidade, sazonalidade e irregularidade. Foram utilizados os métodos das médias móveis, mínimos quadrados, razão para a média móvel e remoção da componente tendência para obtenção da tendência, sazonalidade, irregularidade e ciclicidade, respectivamente. Para a verificação do ajustamento das *fdp* às séries de dados, foram aplicados testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% probabilidade. Aproximadamente 65% dos valores decendiais da *ET_o* ajustaram-se à distribuição Normal. As séries de *ET_o* não apresentaram tendência significativa de acréscimo ou decréscimo ao longo dos anos, mas foram influenciadas pelos movimentos sazonais, cíclicos e irregulares.

Palavras-chave: relações hídricas, componentes hídricas, valores prováveis, tendência.

INTRODUÇÃO – Para o planejamento e manejo racional de sistemas que envolvam o manejo da água a caracterização da tendência e da distribuição de variáveis climáticas como a evapotranspiração de referência (*ET_o*) torna-se extremamente relevante, principalmente em condições de deficiência ou excedente hídrico, auxiliando no manejo de sistemas de irrigação e drenagem (Ávila et al., 2009). O município de Telêmaco Borba apresenta grande importância na região Centro-Sul do Paraná devido ao crescimento da silvicultura (Rosa et al., 2006), especialmente da cultura do Pinus (*Pinus taeda*). Dentre as funções distribuição de probabilidade utilizadas para a *ET_o* destacam-se a Normal, Gama e Gumbel (Junqueira Júnior et al., 2007). Com a escolha da distribuição de probabilidade mais adequada, os níveis de probabilidade a serem utilizados devem ser determinados de modo a minimizar os riscos, utilizando probabilidades iguais ou superiores a 25%. Além do estudo da distribuição de probabilidade de melhor ajuste para a *ET_o*, a análise das séries temporais também é de grande utilidade, principalmente quando se encontra algum tipo de tendência na decomposição das séries ao longo das

estações e dos anos, obtendo-se os movimentos de tendência, sazonalidade, ciclicidade e irregularidade (Moraes et al., 2005).

Teve-se por objetivo no presente trabalho determinar os parâmetros estatísticos de cinco função densidade de probabilidade (*fdp*) ajustadas aos valores decendiais de *ET_o*, bem como calcular seus valores prováveis decendiais à 75% de probabilidade, com a *fdp* de melhor ajuste, e realizar a decomposição das séries de *ET_o*, observando as possíveis influências das oscilações da variável sobre o plantio de *Pinus taeda* no município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS – As análises do presente trabalho foram realizadas para o município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná, localizado no Segundo Planalto Paranaense e que, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima tipo Cfa/Cfb (IAPAR, 2000). Para tanto, foram utilizados dados históricos diários (janeiro de 1981 a dezembro de 2010) provenientes de uma estação climatológica instalada na empresa Klabin Florestal, localizada no município 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. Os dados necessários para o estudo foram: temperatura máxima, mínima e média do ar (°C), umidade relativa média (%), radiação solar global acumulada (MJ m⁻² dia⁻¹) e velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹). A estimativa da *ET_o* foi realizada com o método de Penman-Monteith, parametrizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO (Allen et al., 1998). Os procedimentos necessários para o cálculo da *ET_o* decendial provável foram organizados e realizados com o auxílio de em uma planilha eletrônica, contendo rotinas desenvolvidas especialmente para essa finalidade, seguindo as recomendações propostas por Souza (2007). Os procedimentos foram: tabulação dos dados diários de *ET_o*; estabelecimento das distribuições de frequência com os dados das séries de *ET_o*; cálculo dos parâmetros estatísticos das cinco *fdp* testadas (Gama, Normal, Exponencial, Triangular e Uniforme); realização dos testes de aderência seguindo a metodologia de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade; escolha da *fdp* de melhor ajuste; e, estimativa da *ET_o* provável (com a *fdp* de melhor ajuste), para os 37 decêndios do anos analisados. Assim, para a *ET_o*, encontrou-se um valor com 25% de probabilidade de ser igualado ou superado: $ET_{o25\%} = P(ET_{o25\%} \in ET_o | ET_{o_i} \geq ET_{o25\%}) = 25\%$. Para

a obtenção da tendência foi utilizado o método das médias móveis e dos mínimos quadrados, sendo calculadas médias de ordem 3, 5 e 7, bem como as médias móveis centradas de ordem 3 e ponderada de ordem 7, para obter maior alisamento das séries analisadas e melhorar a visualização da tendência. Os movimentos sazonais, cíclicos e irregulares foram obtidos pelo modelo multiplicativo de decomposição de séries temporais. 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 pela remoção da componente tendência (*T*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO – Dentre as cinco *fdp* testadas, a distribuição normal ajustou-se a 65% dos valores decendiais de *ET_o*, sendo a melhor distribuição avaliada (Tabela 1). Apenas 24% dos decêndios adequaram-se à distribuição Gama. Em trabalho semelhante, Marques Júnior et al. (1995) determinaram que os dados de precipitação apresentaram alto grau de ajuste à distribuição Gama. Silva et al. (1998) determinaram, para o município de Cruz das Almas – BA, que as principais distribuições para a *ET_o* foram a Normal, Log-Normal e Beta. Dessa forma, é possível notar a variabilidade quanto à adequação das distribuições às séries históricas. A evapotranspiração média decendial correspondeu, em média, a 91% da evapotranspiração de referência provável decendial, sendo que em termos absolutos a diferença representou 2,8 mm decêndio⁻¹. Apesar de ter apresentado leve crescimento ao longo dos anos analisados, a *ET_o* não apresentou tendência significativa para a região de Telêmaco Borba ($R^2 = 0,0331$) (Figura 1).

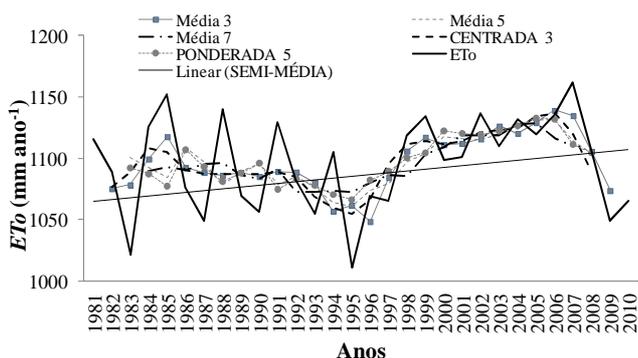


Figura 1. Evapotranspiração de referência (*ET_o*) anual no município de Telêmaco Borba – PR: médias móveis de 3, 5 e 7 períodos, centrada de 3 períodos e ponderada de 5 períodos, para uma série de 30 anos.

A *ET_o* é influenciada, principalmente, pela umidade relativa, temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento. Dessa forma, variações climáticas tendem a provocar impactos ainda maiores sobre a *ET_o*, o que explica a sua variação ao longo dos anos (Gong et al., 2006). Para Alencar et al. (2011) a redução da insolação e

da velocidade do vento são os fatores que mais influenciaram a *ET_o* na região de Minas Gerais, apresentando tendência de crescimento no período de 1975 a 2003. O acréscimo nos valores de *ET_o* foi de 0,77 mm ano⁻¹, o que em termos absolutos significa um aumento de 23 mm para o período de 30 anos analisados. 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 maior *ET_o* anual (Higa et al., 2008). Os movimentos sazonais tiveram grande influência sobre a série analisada (Figura 2), ou seja, a *ET_o* é influenciada pelos movimentos de periodicidade anual, fortemente influenciados pelas estações do ano. As variações sazonais demonstraram que nos meses mais secos (maio a agosto) a *ET_o* aumentou. Assim, 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, na estação mais seca do ano, a *ET_o* apresentou acréscimo nos seus valores. Em trabalho semelhante, Tomasella et al. (2007) observaram acréscimos para a *ET_o* na época mais seca do ano, com valores que chegavam a exceder a *P*.

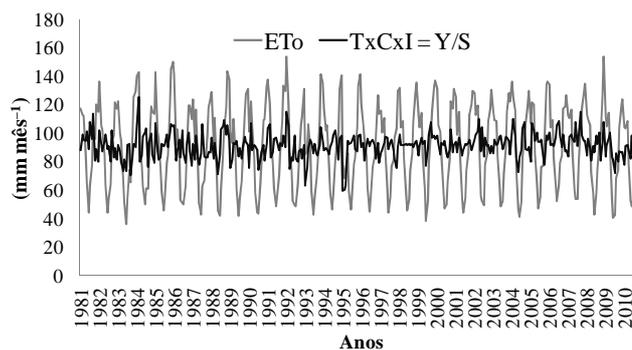


Figura 2. Série de *ET_o* removendo-se os movimentos sazonais, para uma série de 30 anos, no município de Telêmaco Borba – PR

Pode-se afirmar que os movimentos cíclicos apresentaram influência sobre a *ET_o*, mas em menor magnitude, já que os índices cíclicos e irregulares (*ICI*) estiveram muito próximos de um (Figura 3).

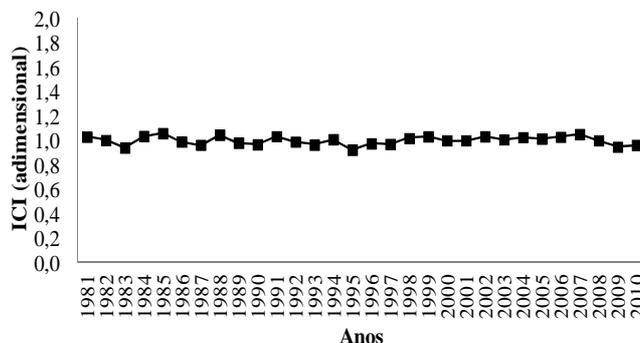


Figura 3. Variações cíclicas e irregulares (*ICI*) para uma série de *ET_o* de 30 anos, no município de Telêmaco Borba – PR.



As variações cíclicas são resultado de eventos climáticos aleatórios, como o *El Niño* e o *La Niña*, com duração superior a um ano, podendo se estender por décadas. As variações irregulares resultam de eventos de periodicidade inexplicável, como a ocorrência de catástrofes naturais de curta duração, estando associadas aos movimentos cíclicos. Dessa forma, as variações das séries de *ET_o* que não foram explicadas pela tendência, sazonalidade ou ciclicidade, são atribuídas aos movimentos irregulares ou aleatórios.

CONCLUSÕES – A *fdp* que apresentou melhor ajuste aos dados de *ET_o* decendial foi a Normal.

As séries anuais de *ET_o* não apresentaram tendência significativa de acréscimo ou decréscimo, sendo que foram influenciadas pelos movimentos sazonais, cíclicos e irregulares.

A sazonalidade exerceu grande influência sobre a *ET_o*.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L.P.; DELGADO, R.C.; ALMEIDA, T.S.; WANDERLEY, H.S. Comparação De diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6:337-343, 2011.
- 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*, 13:906-915, 2009.
- 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*, 329:3-4, 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.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Cartas Climáticas do Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 2000. 1v. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em 03 de setembro de 2012.
- JUNQUEIRA JUNIOR, J.A.; GOMES, N.M.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M. Precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. *Ciência e Agrotecnologia*, 31:842-850, 2007.
- MARQUES Jr, S.; SAAD, J.C.C.; MOURA, M.V.T. Modelo iterativo para estimativa da evapotranspiração de referencia provável. *Sci. Agric.*, Piracicaba, 52:221-225, 1995.
- MORAES, B.C.; COSTA, J.M.N.; COSTA, A.C.L. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, 35: 207-214, 2005.
- 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*, 28:41-45, 2006.
- 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*, 2:284-286, 1998.
- SOUZA, J.L.M. de Programa *MORETTI* – Módulo: Estimativa da série diária e decendial da evapotranspiração de referencia (*ET_o*) com o método THORNTHWAITE (1948). Versão 1.0, 2007.
- 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*, 22: 2133-2147, 2007.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos de cinco *fdp* (N - Normal, T - Triangular, G - Gama, E - Exponencial e U - Uniforme) e estimativa de valores prováveis decendiais da *ET_o*, para os 37 decêndios do ano, em um período de 30 anos, para o município de Telêmaco Borba – PR.

----- Série -----		----- Parâmetros das <i>fdp</i> -----							<i>fdp</i> **	<i>ET_{o25%}</i> *** (mm decêndio ⁻¹)
Decêndios	Anos	Menor Valor	Maior Valor	μ^*	σ^*	Moda	Alfa	Beta		
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 decendiais da série. ** função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos dados decendiais da série. *** $ET_{o25\%} = P(ET_{o25\%} \in ET_{o_i} | ET_{o_i} \geq ET_{o25\%}) = 25\%$