



Evapotranspiração de referência mensal para o Estado do Piauí



Adriano A. N. Gomes¹, Aderson S. de Andrade Júnior² & Raimundo M. de Medeiros³

¹ DEAg/UFCG. Av. Duque de Caxias, 5650 B. Buenos Aires, CEP 64006-220, Teresina, PI. E-mail: gomezale@yahoo.com.br (Foto)

² Embrapa Meio Norte, Av. Duque de Caxias, 5650 B. Buenos Aires, CEP: 64006-220, Teresina, PI. Fone: (86) 3225 1141 Ramal 255. E-mail: aderson@cpamn.embrapa.br

³ SEMAR – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – PI, Rua Desembargador Freitas, 1599, CEP: 64000-240, Teresina, PI. E-mail: mainarmedeiros@hotmail.com.br

Protocolo 188 - 28/11/2003 - Aprovado em 13/4/2005

Resumo: O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) mensal para o Estado do Piauí, pelo método empírico de Thornthwaite (1948), com base nas equações de estimativa da temperatura média do ar, propostas por Lima & Ribeiro (1998). Estimou-se a ET_o para os 222 municípios do Estado, cujos valores foram geoespacializados e agrupados em classes de ET_o, com intervalo de 25 mm, gerando-se mapas de ET_o mensais. Os valores de ET_o mensais variaram de 55,4 a 212,0 mm, evidenciando a variação na demanda evapotranspirativa das diversas regiões do Estado. O período de fevereiro a julho apresentou os menores valores mensais de ET_o, enquanto de setembro a dezembro, os maiores valores. Esta tendência é um reflexo da variação espacial da temperatura média do ar mensal nas diferentes regiões do Estado.

Palavras-chave: planejamento agrícola, balanço hídrico, demanda hídrica, irrigação

Monthly reference evapotranspiration for the State of Piauí, Brazil

Abstract: The objective of this work was to estimate the mean monthly reference evapotranspiration (ET_o) for Piauí State, Brazil. The ET_o estimates were performed by the Thornthwaite's (1948) empirical method, based on estimated mean air temperature equations developed by Lima & Ribeiro (1998). The ET_o was estimated for 222 municipalities of Piauí State. The values were arranged in a spatial distribution and grouped in classes with 25 mm interval. Maps of monthly ET_o were prepared. The monthly ET_o values ranged from 55.4 to 212.0 mm, showing large evapotranspiration variation among the several regions of Piauí State. Lower monthly ET_o values were obtained for the period of February to July, while the higher values were observed for September to December. The spatial distribution of the monthly ET_o values occurred as a function of the spatial variation of the monthly mean air temperature in the different regions of Piauí State.

Key words: agricultural planning, irrigation, water demand, water balance

INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade econômica que por estar sujeita à variabilidade do clima, do mercado e da política agrária, torna-se instável e de alto risco, devendo ser bem planejada para garantir o seu sucesso. Entre todas as atividades econômicas, é a que mais depende das condições climáticas, sendo esta variável responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção (Ortolani & Camargo, 1987).

O Estado do Piauí apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa e outra seca. É caracterizada por três regimes pluviométricos: i) região sul, de novembro a março; ii) região central, de dezembro a abril e iii) região norte, de janeiro a

maio. Nesses períodos as chuvas são superiores a 1000 mm em, aproximadamente, 48% do território piauiense (Medeiros, 1996). Entretanto, para o restante dos meses ocorre redução significativa nas cotas pluviométricas, destacando-se agosto e setembro como os mais críticos. Durante a estação chuvosa as precipitações não são uniformemente distribuídas.

Devido às suas características climáticas, a prática da irrigação torna-se fundamental para viabilizar e incrementar a produção agrícola no Piauí, assumindo caráter de irrigação suplementar, durante a estação chuvosa, e de irrigação total, na estação seca (Andrade Junior, 2000). A evapotranspiração de referência (ET_o) é um fator importante para o dimensionamento de sistemas e manejo de água de irrigação, sendo sua estimativa

mensal, no âmbito regional, de extrema importância aos estudos de planejamento agrícola (Sousa, 1993).

O termo ETo foi definido por Thornthwaite (1948) como a perda de água de uma extensa superfície vegetada, de porte rasteiro, em fase de desenvolvimento ativo e sem limitação hídrica. Segundo Pereira et al. (1997), a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. A disponibilidade de energia depende do local e da época do ano. O local é caracterizado pelas coordenadas geográficas (latitude e longitude) e pela topografia da região (altitude).

Existem diversos métodos para se estimar a ETo, sendo que a possibilidade de utilização de cada método depende dos registros dos elementos climáticos disponíveis em determinado local ou região. Como, normalmente, é mais fácil se encontrar ou dispor de dados de temperatura média do ar, na escala mensal, de determinado local ou região, o método de Thornthwaite (1948) tem sido difundido e utilizado para a estimativa de ETo nessas condições.

Apesar de sua extensão territorial, o Estado do Piauí conta com um número limitado de estações que medem ou registram dados de temperatura do ar. Para suprir essa limitação tem-se utilizado a estimativa desses elementos climáticos, com base nas coordenadas geográficas (Pereira et al., 2002). Lima & Ribeiro (1998) desenvolveram equações empíricas para estimar as temperaturas máximas, mínimas e médias do ar para todo o Estado, baseadas nos valores de latitude, longitude e altitude. A temperatura do ar é, dentre as variáveis meteorológicas, a de maior efeito direto e significativo sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem na natureza, influenciando e contribuindo substancialmente para a demanda evapotranspirativa local.

Desta forma, efetuou-se este trabalho com o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência mensal para o Estado, tomando-se como modelo as equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí, propostas por Lima & Ribeiro (1998).

MATERIAL E MÉTODOS

A estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) mensal foi efetuada a partir das equações empíricas para a estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí, conforme Lima & Ribeiro (1998). Os autores utilizaram séries históricas de valores mensais da temperatura do ar de períodos não-uniformizados com, no mínimo, seis anos de observações, em vinte e três estações meteorológicas. Com os dados dessas séries, ajustaram equações pelo método dos mínimos quadrados, obtendo equações de regressão linear múltipla e testaram o método estatístico, apresentado a seguir:

$$E(Y) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (1)$$

em que:

Y - temperatura mensal do ar (média, máxima ou mínima) °C;
 X_1 , X_2 e X_3 - latitude do local (min), altitude (m) e longitude do local (min), respectivamente;

a_0 , a_1 , a_2 e a_3 - coeficientes da equação de regressão.

As equações de regressão linear múltipla para se estimar a temperatura do ar (máxima, mínima e média) foram obtidas a partir de dados de algumas estações climatológicas do INMET situadas no Estado (Lima & Ribeiro, 1998). Por essas equações, as temperaturas máximas, mínimas e médias do ar são estimadas com base na latitude, longitude e altitude locais. Obtiveram-se os dados de latitude, longitude e altitude do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e com os dados de temperatura média do ar estimados, procedeu-se à estimativa da ETo para todos os municípios piauienses, pelo método empírico de Thornthwaite (1948), conforme apresentado em Pereira et al. (1997).

Os valores mensais de ETo foram geoespacializados usando-se o programa computacional Spring v. 4.0 (Câmara et al., 1996). Adotou-se o seguinte procedimento: i) importação das amostras (valores mensais de ETo), no formato de modelo numérico de terreno – MNT; ii) geração de grade retangular, com resolução de 1.000 x 1.000 m, usando-se como interpolador a média ponderada; iii) geração de grade retangular refinada, com resolução de 500 x 500 m, empregando-se o interpolador bicúbico; iv) recorte do plano de informação usando-se como máscara, o limite estadual; v) fatiamento e associação em classes, com intervalo de 25 mm, na escala mensal, e de 150 mm, na escala anual; vi) tabulação cruzada entre os planos de informação de ETo versus municípios, permitindo estimar-se, para cada município, a área (km²) e a porcentagem de ocorrência das diversas classes de ETo, nas escalas mensal e anual.

Com o intuito de homogeneizar as classes de ETo, quando em determinado município ocorressem duas ou mais classes de ETo, estabeleceram-se duas situações: i) situação 1: mudança de classe inferior para classe superior – quando a porcentagem de ocorrência de uma classe inferior à de uma outra classe fosse \leq a 20%, a área de ocorrência da classe inferior seria incorporada à da classe imediatamente superior; ii) situação 2: mudança de classe superior para classe inferior – quando a porcentagem de ocorrência de uma classe superior à de uma outra classe fosse \leq a 20%, a área de ocorrência da classe superior seria incorporada à da classe imediatamente inferior. Este procedimento possibilitou a obtenção de mapas de ETo mais uniformes e homogêneos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de ETo mensais e anual para alguns municípios do Estado do Piauí são apresentados na Tabela 1. Os municípios listados estão situados nas diferentes microrregiões do Estado, sujeitos a diferentes regimes hídricos e condições climáticas, de forma a se inferir quanto à magnitude e variabilidade da ETo no Estado como um todo.

Ocorreu uma ampla variação nos valores mensais e anual de ETo nas diferentes microrregiões do Estado. Os menores valores mensais e anual de ETo foram registrados em Pedro II (959,1 mm), na microrregião de Campo Maior, enquanto os maiores foram encontrados em Cajueiro da Praia (1.954,3 mm), na microrregião do Litoral Piauiense. Os dois municípios apresentam longitudes semelhantes e diferença de apenas 2°

Tabela 1. Valores mensais e anuais de ETo (mm) em alguns municípios do Estado do Piauí

Municípios ¹	Lat.	Long.	Alt. (m)	Microrregião Geográfica ²	Meses												Anual
					J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Parnaíba	2°54'	41°47'	5	L. Piauiense	156,2	123,2	135,3	131,9	139,5	139,3	157,8	174,1	186,7	200,7	197,0	185,0	1926,7
Cajueiro da Praia	2°56'	41°20'	10	Litoral Piauiense	159,2	123,6	134,5	130,2	138,4	140,0	158,1	176,6	189,2	205,2	207,9	191,6	1954,3
M. Alves	4°10'	42°54'	50	B. P. Piauiense	141,6	105,5	130,7	128,2	135,0	130,5	148,0	166,6	185,4	195,4	175,5	163,9	1806,3
Teresina	5°05'	42°48'	72	Teresina	141,2	115,3	132,0	128,7	136,6	132,2	147,3	170,9	192,7	201,2	181,2	162,1	1841,3
Campo Maior	4°50'	42°10'	125	Campo Maior	141,3	104,8	128,9	123,9	129,6	125,4	138,6	157,7	176,5	190,2	177,8	164,0	1758,7
Piripiri	4°16'	41°47'	170	B. P. Piauiense	138,3	101,1	122,4	116,6	119,7	114,6	127,2	141,0	158,7	177,3	169,8	163,6	1650,2
Angical do Piauí	6°05'	41°28'	192	M. P. Piauiense	132,5	109,7	126,0	121,1	125,7	118,0	128,4	147,9	171,2	182,8	163,8	149,9	1677,0
Picos	7°05'	41°28'	206	Picos	144,8	118,9	134,1	125,7	132,5	129,3	134,4	163,7	185,6	199,1	192,8	163,9	1824,8
Colônia do Gurguéia	8°11'	43°48'	216	Bertolínia	124,0	106,5	127,5	122,6	127,9	119,6	127,7	156,2	186,5	191,8	157,7	134,7	1682,8
Cristino Castro	8°49'	44°13'	239	A. Médio Gurguéia	119,5	104,1	126,5	122,0	127,0	117,6	124,9	153,8	186,0	189,5	150,9	128,0	1649,8
Itaueira	7°36'	43°02'	258	Florianópolis	126,3	106,9	125,1	119,1	123,1	114,6	120,7	144,5	170,9	181,2	157,3	139,6	1629,3
Valença do Piauí	6°24'	41°45'	308	Valença do Piauí	131,0	107,7	121,4	113,7	115,7	107,5	114,0	129,5	150,5	168,1	159,0	149,4	1567,6
B. Grande do Ribeiro	7°51'	45°13'	325	A. Parnaíba Piauiense	108,5	95,7	115,7	112,3	111,8	98,1	106,9	121,0	148,4	156,6	118,3	115,7	1408,9
S. Raimundo Nonato	9°01'	42°42'	332	S. Raimundo Nonato	121,0	102,4	121,5	113,4	116,9	108,5	111,7	139,7	170,6	183,0	159,1	133,1	1581,0
Paulistana	8°09'	41°09'	359	A. M. Canindé	133,2	110,0	124,2	113,5	116,1	110,6	112,7	136,7	160,5	179,2	173,7	150,3	1620,6
C. do Piauí	10°39'	45°11'	469	C. do Extremo Sul Piauiense	96,6	78,4	109,8	104,7	103,8	88,0	91,3	110,6	144,6	153,2	110,6	100,1	1291,6
Pio IX	6°50'	40°35'	495	Pio IX	117,7	94,1	103,7	92,5	89,5	80,6	81,9	93,2	114,8	141,8	142,3	139,3	1291,4
Pedro II	4°25'	41°28'	603	Campo Maior	97,8	71,2	84,9	76,7	68,1	55,4	60,5	57,3	73,5	100,7	93,9	119,0	959,1
D. Arcoverde	9°20'	42°26'	740	S. Raimundo Nonato	94,9	81,1	94,8	84,9	78,1	63,8	64,0	70,4	93,8	116,3	99,0	104,8	1045,9
Máximo					159,2	123,6	135,3	131,9	139,5	140,0	158,1	176,6	192,7	205,2	207,9	191,6	1954,3
Mínimo					94,9	71,2	84,9	76,7	68,1	55,4	60,5	57,3	73,5	100,7	93,9	100,1	959,1
Média					127,7	103,2	121,0	114,8	117,6	110,2	118,7	137,4	160,3	174,4	157,2	145,2	1587,7

¹ M. Alves - Miguel Alves; B. Grande do Ribeiro - Baixa Grande do Ribeiro; S. Raimundo Nonato - São Raimundo Nonato; C. do Piauí - Cristalândia do Piauí; D. Arcoverde - Dirceu Arcoverde.² L. Piauiense - Litoral Piauiense; B. P. Piauiense - Baixo Parnaíba Piauiense; M. P. Piauiense - Médio Parnaíba Piauiense; A. Médio Gurguéia - Alto Médio Gurguéia; A. Parnaíba Piauiense - Alto Parnaíba Piauiense; A. M. Canindé - Alto Médio Canindé; C. do Extremo Sul Piauiense - Chapadas do Extremo Sul Piauiense.

na latitude, que deve ter causado pequena influência na estimativa dos valores de ETo, já que existe relação entre a latitude e a irradiância global na expressão da temperatura média do ar (Pereira et al., 2002). A diferença na altitude média dos municípios ($\cong 503$ m) é que foi o fator decisivo para essa variação nos valores mensais de ETo, uma vez que, à medida em que a altitude se eleva normalmente os valores de temperatura média tendem a ser menores, contribuindo para a redução da demanda evapotranspirativa da região (Lima & Ribeiro, 1998; Pereira et al., 2002). De fato, a ETo anual do município de Parnaíba, com 5 m de altitude média, foi de 1.926,7 mm, enquanto a ETo anual do município de Dirceu Arcoverde, com 740 m de altitude média, foi de 1.045,9 mm, indicando uma redução de 119,8 mm na ETo anual para cada 100 m de acréscimo na altitude média (razão de $\cong 1,2$ mm de ETo m^{-1} de altitude).

Considerando-se os municípios por região agroecológica do Estado, constatou-se variação nos valores médios mensais de ETo. Por exemplo, agrupando-se os municípios de Parnaíba, Miguel Alves e Piripiri, que representam a condição hídrica e climática da região norte do Estado, eles mostram valores

médios anuais de ETo de 1.794,4 mm. Por sua vez, juntando-se os municípios de Dirceu Arcoverde, Pio IX, Paulistana e São Raimundo Nonato, que representam a condição hídrica e climática da região semi-árida do Estado, estes indicam valores médios anuais de ETo de 1.384,7 mm. A ETo média anual da região semi-árida foi cerca de 409,7 mm inferior à da região norte do Estado; contudo, o balanço hídrico climatológico anual da região semi-árida é extremamente desfavorável em relação à região norte do Estado devido, notadamente, às diferenças nos valores de precipitação média anual obtidos entre as duas regiões. Na região norte do Estado, a precipitação média anual se situa em torno de 1.200 mm anuais, enquanto na região semi-árida chove, em média, apenas 600 mm anuais (RNA, 2003), agravando bastante os problemas de suplementação hídrica dessa região para consumo humano, animal e agricultura.

A Tabela 2 apresenta a percentagem média de ocorrência das classes de ETo mensal no Estado do Piauí. Em termos médios, predominam as classes de ocorrência de 100 - 125, 125 - 150 e de 150 - 175 mm que, juntas, totalizam 84,4 % da área do

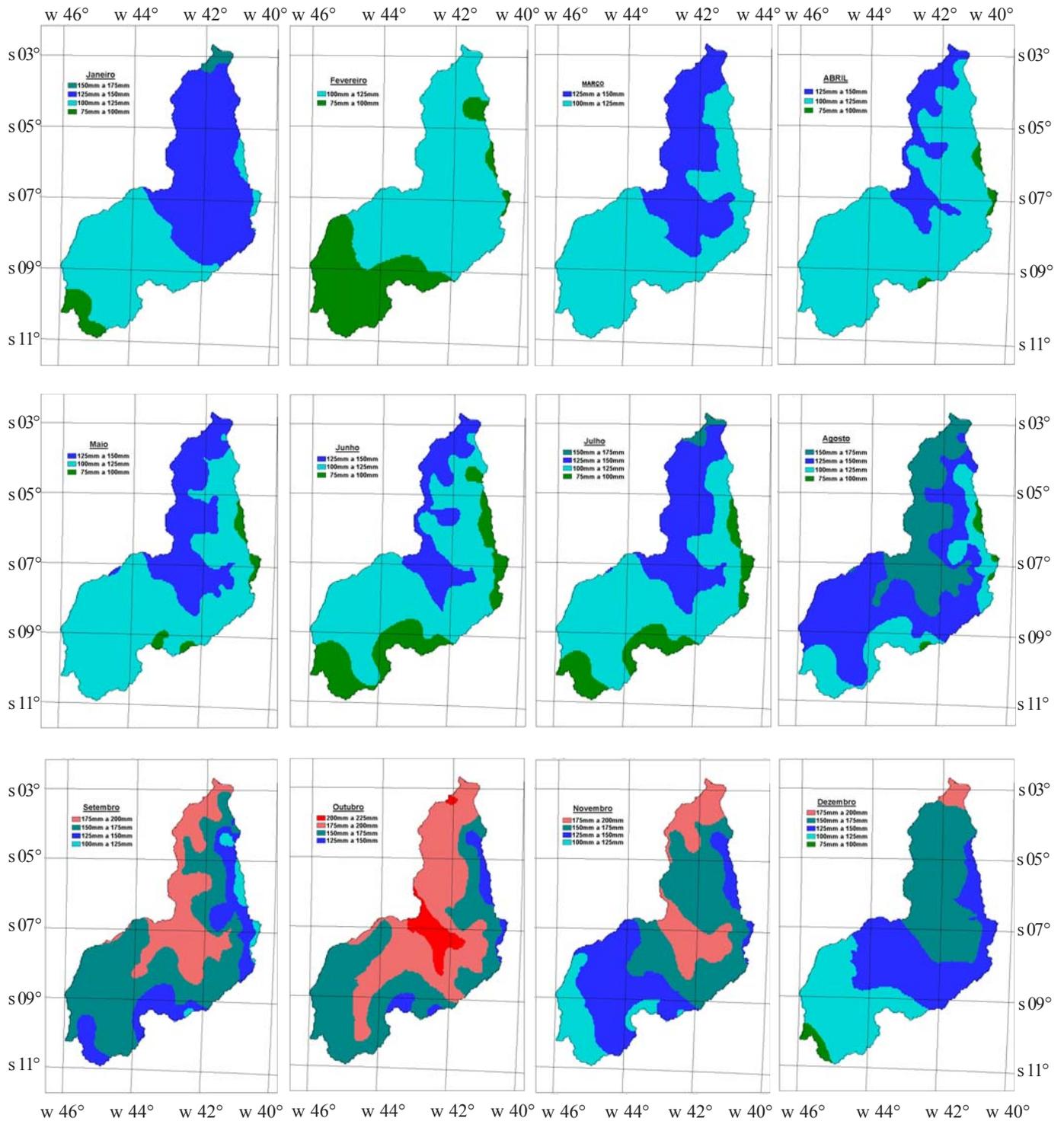


Figura 1. Mapas de ETo mensal para o Estado do Piauí

Estado e equivalem a uma variação de 3,3 a 5,8 mm em termos de ETo média diária, em praticamente toda a área do Estado.

A classe de ETo de 75 a 100 mm ocorre em apenas 4,37% da área do Estado, praticamente em todos os meses do ano, à exceção de setembro a novembro, comportamento este decorrente dos baixos valores mensais de ETo registrados nos municípios situados nas regiões sul, sudeste e leste do Estado, que apresentam as maiores altitudes médias do Estado (Tabela 1); entretanto, a classe dos maiores valores de ETo (200 a 225 mm) engloba apenas 0,62% do Estado e predomina nos meses

de outubro e novembro, período de maior demanda hídrica no Estado, significando, que uma pequena área do Estado apresenta valores de ETo máxima diária na faixa de 6,7 a 7,5 mm e deverá necessitar de uma suplementação hídrica elevada via água de irrigação. A Figura 1 permite uma visualização melhor das áreas de ocorrência dessas classes de ETo em todo o Estado.

A ETo mensal indica ampla variação ao longo do ano em todo o Estado do Piauí, conforme variam os valores de temperatura média do ar e o regime de chuvas da região

Tabela 2. Percentagem média de ocorrência das classes de ETo (mm) mensal no Estado do Piauí

Meses	Classes de ETo (mm)					
	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225
Janeiro	2,29	23,53	70,84	3,34	0,00	0,00
Fevereiro	16,91	83,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Março	0,01	47,96	52,03	0,00	0,00	0,00
Abril	1,40	74,95	23,65	0,00	0,00	0,00
Mai	3,15	52,48	44,38	0,00	0,00	0,00
Junho	15,23	57,33	27,45	0,00	0,00	0,00
Julho	11,33	42,31	42,90	3,46	0,00	0,00
Agosto	1,15	19,22	35,69	43,94	0,00	0,00
Setembro	0,00	2,38	18,50	40,88	38,23	0,01
Outubro	0,00	0,00	4,59	31,79	56,23	7,40
Novembro	0,00	5,55	17,71	47,45	29,22	0,05
Dezembro	0,98	13,10	25,62	56,11	4,19	0,00
Média	4,37	35,16	30,28	18,91	10,66	0,62

(Medeiros, 1996). Os valores mínimos ocorrem nos meses de fevereiro a julho, com predomínio da classe de ETo de 100 a 125 mm, enquanto os valores máximos se estendem de agosto a dezembro, com predomínio da classe de ETo de 150 a 175 mm. Os períodos de ocorrência das classes de ETo, com valores máximos e mínimos, correspondem justamente aos períodos de ocorrência da estação chuvosa e seca, respectivamente, sendo também um reflexo natural da variação espacial e da grande amplitude da temperatura média mensal nas diferentes regiões do Estado, a qual se acentua à medida que se afasta do litoral para o interior (Tubelis & Nascimento, 1987).

Os mapas geoespecializados dos valores de ETo mensais gerados, possibilitam análises da ETo de todos os municípios do Estado e a realização de estudos de planejamento agrícola, mais elaborados notadamente em agricultura irrigada.

CONCLUSÕES

1. As estimativas de ETo mensais para os municípios do Estado do Piauí apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude), sobretudo, da topografia local (altitude).

2. Em termos médios, predominam as classes de ocorrência de 100 a 125 mm; 125 a 150 mm e de 150 a 175 mm que, juntas, totalizam 84,4 % da área do Estado, representando uma variação de 3,3 a 5,8 mm em termos de ETo média diária, em praticamente toda a área do Piauí.

LITERATURA CITADA

- Andrade Junior, A.S. Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense. Piracicaba: ESALQ, 2000. 556p. Tese Doutorado
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object – oriented data modeling. *Computers & Graphics*, New York, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- Lima, M.G. de; Ribeiro, V.Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.2, p.221-227, 1998.
- Medeiros, R.M. Isoietas médias mensais e anuais do Estado do Piauí. Teresina: Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Irrigação, Departamento de Hidrometeorologia, 1996. 24p.
- Ortolani, A.A.; Camargo, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: Castro, P.R.C.; Ferreira, S.O.; Yamada, T. *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fósforo, 1987, p.71-81.
- Pereira, A.R.; Angelocci, L.R.; Sentelhas, P.C. *Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002, p.105-129.
- Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A.; Sedyama, G.C. Estimativa de evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.41-99.
- RNA - Rede Nacional de Agrometeorologia. Mapas de precipitação mensal do Estado do Piauí. <http://www.agricultura.gov.br/rna>. Acessado em 23/08/2003.
- Sousa, E.F. Modelo computacional aplicativo ao manejo e planejamento de irrigação. Viçosa: UFV 1993. 65p. Dissertação Mestrado.
- Thornthwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.
- Tubelis, A.; Nascimento, T. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Nobel, 1987. 221p.