

RELAÇÕES ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO E AS FÓRMULAS DE PENMAN E THORNTHWAITÉ¹

RONALDO MATZENAUER², SÉRGIO LUIS WESTPHALEN³ e HOMERO BERGAMASCHI⁴

RESUMO - Em trabalho realizado na Estação Experimental de Taquari, RS, 29°48'15" de latitude Sul e 76 m de altitude, foi determinada a relação entre a evapotranspiração (ET) da cultura do milho (*Zea mays* L.), obtida através de lisímetros de drenagem durante quatro anos (1976 a 1980), com a fórmula de Penman para estimativa da evaporação (Eop) e com a fórmula de Thornthwaite para estimativa da evapotranspiração potencial (ETt). A relação ET/Eop foi determinada por subperíodo da cultura (híbrido Pioneer X-307), sendo baixa no início de desenvolvimento, aumentando à medida que as plantas se desenvolviam, atingindo valores máximos (média de 1,10) durante o subperíodo pendoamento-espigamento. Após a floração, decresceu até a maturação fisiológica. Durante o ciclo da cultura, a relação ET/Eop apresentou um valor médio de 0,81. A determinação da relação ET/ETt foi mensal (de novembro a fevereiro), apresentando valores menores durante novembro e fevereiro (média de 0,96 e 0,84, respectivamente), que coincidiram com o início e o final do ciclo da cultura, e valores mais altos durante os meses de dezembro e janeiro (média de 1,34 e 1,28, respectivamente), que coincidiram com períodos de maior área foliar e atividade fotossintética da cultura. A relação ET/ETt foi de 1,12 durante o período novembro-fevereiro.

Termos para indexação: evaporação, maturação fisiológica, lisímetros, pendoamento, espigamento.

RELATIONSHIPS BETWEEN EVAPOTRANSPIRATION OF CORN AND THE PENMAN'S AND THORNTHWAITÉ FORMULAS

ABSTRACT - The evapotranspiration (ET) of corn crop (*Zea mays* L.) (Pioneer X-307 hybrid) calculated during four years (1976-1980) was related in function of the stages, with evaporation calculated by Penman's formula (Eop) and, in monthly basis (November-February period), with the potential evapotranspiration calculated by Thornthwaite formula (ETt). This trial was conducted in Taquari, Rio Grande do Sul, Brazil, 29°48'15" South latitude and 76 m of altitude. The relation ET/Eop was lower during the early cycle of the crop, increased progressively with the development of the plants, and reached maximum values (with mean of 1.10) during tasseling and earing period. After flowering, there was a decrease in the values of the relation until physiological maturation of crop. The relation ET/Eop during the cycle obtained mean value of 0.81. The relation ET/ETt was less during November and February (mean of 0.96 and 0.84, respectively), which coincided with the beginning and the final of the crop cycle and was greater during December and January (mean of 1.34 and 1.28, respectively), which coincided with the flowering and grain filling periods. During the period November-February, the relation ET/ETt obtained mean value of 1.12.

Index terms: evaporation, physiological maturation, lysimeter, tasseling, earing.

INTRODUÇÃO

Com o conhecimento da evapotranspiração da cultura nos diferentes subperíodos e no ciclo total, pode-se relacioná-la com fórmulas usuais de determinação da evaporação e evapotranspiração, bem como com outros parâmetros meteorológicos. Em

geral, as fórmulas de estimativa da evapotranspiração potencial superestimam ou subestimam a evapotranspiração da cultura, dependendo da cobertura foliar e do estágio de desenvolvimento. Assim, o uso de fórmulas de estimativa da evapotranspiração potencial e evaporação para calcular o balanço hídrico, doses de rega e consumo de água (evapotranspiração) da cultura do milho, com aplicação em estudos ecológicos, agronômicos e hidrológicos, necessita de uma correção para melhor estimativa.

Com o objetivo de efetuar esta correção ou ajuste, a fim de ampliar o uso de fórmulas, foi realizado este trabalho que relaciona a evapotranspiração da cultura do milho, com as fórmulas de Penman e Thornthwaite.

¹ Aceito para publicação em 18 de outubro de 1983.

² Eng^o - Agr^o, M.Sc., Inst. de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO), Rua Gonçalves Dias, 570, CEP 90000 Porto Alegre, RS, Bolsista do CNPq.

³ Eng^o Agr^o, M.Sc., Prof.-Assist., Depart. de Fitotec., Fac. de Agronomia (UFRS), Inst. de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO), Bolsista do CNPq, Caixa Postal 776, CEP 90000 - Porto Alegre, RS.

⁴ Eng^o Agr^o, M.Sc., Prof.-Assist., Depart. de Fitotec., Fac. de Agronomia (UFRS), Bolsista do CNPq, Porto Alegre, RS.

Método combinado (Penman)

Penman, em 1948, combinou o método aerodinâmico e de balanço de energia e derivou a seguinte equação (Penman 1956):

$$E_o = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot \frac{R_n}{59} + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1},$$

onde:

- E_o = evaporação de uma superfície de água (mm . dia⁻¹);
 $\frac{R_n}{59}$ = saldo de radiação expresso em unidades de evaporação (L = 590 cal . g⁻¹) mm
 L = calor latente de evaporação;
 Δ = tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do ar (mb por °C);
 γ = constante psicrométrica;
 E_a = componente aerodinâmico (mm), função do déficit de saturação do ar e da velocidade do vento, sendo:
 $E_a = 0,35 (e_a - e_d) (0,5 + 0,01 U_2)$,
 onde:
 $e_a - e_d$ = déficit de saturação do ar (mm Hg);
 U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (milhas . dia⁻¹).

Para a estimativa da evaporação pela fórmula de Penman, há necessidade de dados de radiação, temperatura do ar, umidade do ar, e vento. Na ausência de medições do saldo de radiação (R_n), condição mais freqüente, este parâmetro pode ser estimado através de fórmulas empíricas.

Velocidade do vento a 2 m de altura é um parâmetro que não é medido na maioria das estações meteorológicas, sendo uma das dificuldades na aplicação da fórmula de Penman. O termo E_a representa, realmente, o poder evaporante do ar, conforme acentua Penman (1956).

Segundo Mota (1976), a evidência experimental recomenda o uso da fórmula de Penman como a

melhor para fins agroclimáticos. Comparações entre as fórmulas de Penman e Thornthwaite indicam que a equação de Penman é mais precisa. No entanto, para períodos mensais, os dois métodos têm dado resultados satisfatórios.

Para que a equação de Penman funcione bem em uma determinada situação, é necessário que se tenha uma estimativa realística do saldo de radiação e da função do vento para as condições particulares. Para a estimativa do saldo de radiação em função da insolação, devemos contar com regressões determinadas para a região climática em estudo. De preferência, deve-se usar o saldo de radiação medido (Mota 1976).

Método de Thornthwaite

O método de Thornthwaite é um método empírico para calcular a evapotranspiração potencial que se baseia na temperatura e no comprimento do dia. A equação foi derivada da correlação de dados de evapotranspiração medida em evapotranspirômetros gramados e em bacias hidrográficas, com dados de temperatura média diária e de duração do dia.

A equação, segundo Thornthwaite (1948), é:

$$ETP = 1,6 (10 Ta/I)^a,$$

onde:

- ETP = evapotranspiração potencial mensal (cm);
 Ta = Temperatura média mensal do ar (°C);
 I = índice anual de calor, igual à soma de 12 índices "i" mensais, sendo $i = (Ta/5)^{1,514}$;
 a = uma função cúbica de I , dada por:
 $a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 +$

$$+ 179 \times 10^{-4} I + 0,492.$$

A evapotranspiração dada pela equação deve ser ajustada para o número de dias do mês e para o comprimento do dia, valores ajustados em função da latitude.

Para facilidade e rapidez dos cálculos, todos os passos para a estimativa da evapotranspiração potencial pela fórmula de Thornthwaite estão tabelados, conforme se pode encontrar em Chang (1971), por exemplo.

Segundo Mota (1976), a fórmula de Thornthwaite só deve ser usada para períodos mensais, pois não fornece estimativas razoáveis para períodos menores. Assim mesmo, deve ser testada com

lisímetros, pois não funciona bem em qualquer tipo de clima, sendo mais indicada para regiões continentais temperadas. Apesar de suas limitações, por usar apenas a temperatura média, que é universalmente disponível, esta fórmula é muito útil em regiões desprovidas de outras observações meteorológicas.

De acordo com Chang (1968), a fórmula de Thornthwaite funciona bem no clima continental e temperado da América do Norte, onde ela foi derivada, e onde a temperatura e a radiação são estreitamente correlacionadas. Entretanto, em outros locais, onde a temperatura não é um bom indicador da energia disponível para a evapotranspiração, o seu uso tem sido limitado.

No Brasil, Camargo (1962) obteve bons resultados usando a fórmula de Thornthwaite, nas condições do planalto paulista.

Relação entre a evapotranspiração medida e a evaporação calculada pela fórmula de Penman

Pelton et al. (1960) dizem que os métodos baseados na temperatura média podem ser usados com sucesso limitado para períodos longos para a estimativa da evapotranspiração, mas os métodos de balanço de energia são preferíveis se dados de radiação forem disponíveis.

Desde que a evapotranspiração das várias culturas é o termo principal do balanço de água, um exame dos meios disponíveis de estimá-la e a relação entre ela e os elementos do clima local são de importância crítica.

Segundo Beirsdorf & Mota (1976), a evidência experimental recomenda a fórmula de Penman como a melhor para fins agroclimáticos. Para usá-la, é indispensável que se tenha:

a. uma estimativa climatológica do saldo de radiação em uma cobertura vegetal padrão, na região em estudo;

b. uma estimativa climatológica do poder evaporante do ar; e

c. calibração, através de lisímetros vegetados com a cultura, das estimativas da evapotranspiração, obtidas com os elementos enumerados em a e b.

Beirsdorf & Mota (1976) conduziram, em Pelotas, RS, experimentos em 1971, 1973 e 1974, nos quais mediram a evapotranspiração de uma cultura

de arroz irrigado. Os valores obtidos foram comparados com o método de Penman, ajustado às condições locais (segundo Mota & Beirsdorf 1976), evapotranspiração potencial de um gramado, método de Thornthwaite, dados do tanque de evaporação classe A e com o saldo de radiação. Eles concluíram que para propósitos práticos, em tempo real, o melhor método para estimar a evapotranspiração do arroz, em período de cinco dias, foi por regressão com o tanque classe A. Segundo eles, os registros de evapotranspiração do tanque fornecem o melhor e mais simples meio de estimar a evapotranspiração da cultura do arroz irrigado. Entretanto, para fins agroclimáticos, o método de Penman é o mais preciso, dada a inexistência de registros do tanque classe A por períodos longos.

Bavel & Harris (1962) relacionaram a evapotranspiração do milho (ET), medida através de lisímetros, com dados de evapotranspiração calculados pelo método de Penman (ETp). Eles fizeram a relação durante dois anos, num total de 22 períodos, com duração variável de dois a doze dias em cada período. Em 1957, num total de dez períodos, a relação ET/ETp foi de 1,09; e em 1958, foi de 0,99, num total de doze períodos. Quando a duração do período foi maior, a estimativa de evapotranspiração, pela fórmula, se aproximou mais da evapotranspiração medida; e quando o período foi menor, as diferenças foram mais acentuadas.

Lomas et al. (1974) também relacionaram a evapotranspiração do milho medida em lisímetros com a evaporação calculada pela fórmula de Penman, encontrando uma relação que variou, em duas estações de crescimento durante o verão, de 0,79 a 0,96. Segundo eles, as diferenças na relação durante o desenvolvimento da cultura são esperadas, pois embora a fórmula de Penman inclua o fator vento, que é de grande importância, particularmente em milho, não leva em consideração a variação da área foliar durante o desenvolvimento.

Assis (1978) relacionou a evapotranspiração medida em lisímetros gramados com a evaporação calculada pela fórmula de Penman. Ele observou que, na maioria das vezes, a evaporação calculada pela fórmula subestimou a evapotranspiração medida, atribuindo os resultados a um efeito local de advecção que não é computado pela fórmula de cálculo utilizada.

Thompson & Boyce (1967) compararam a evapotranspiração lisimétrica da cana-de-açúcar, no Hawái, com estimativas pela fórmula de Penman. Os resultados evidenciaram que a fórmula subestimou a evapotranspiração da cultura quando a advecção foi elevada.

Relação entre a evapotranspiração medida e a evapotranspiração calculada pela fórmula de Thornthwaite

O método meteorológico para estimar a evapotranspiração potencial de uso mais generalizado no Brasil é o de Thornthwaite, que usa apenas a temperatura do ar (Mota 1978). Ele tem sido usado para estimar a evapotranspiração potencial com a finalidade de estabelecer relações entre condições hídricas e rendimentos. Segundo o mesmo autor, o sucesso parcial deste método no Brasil deriva da correlação existente entre a temperatura média mensal e a energia disponível para a evapotranspiração nos climas tropicais úmidos. A maioria dos locais onde a fórmula de Thornthwaite foi comparada com medidas de evapotranspiração possui clima temperado.

Camargo (1962) correlacionou a evapotranspiração de evapotranspirômetros gramados com a evapotranspiração calculada por diversas fórmulas, inclusive a de Thornthwaite. Segundo ele, a equação de Thornthwaite apresenta, nas condições do planalto paulista, resultados mensais muito próximos dos obtidos por medição nos evapotranspirômetros. Dentre os métodos de cálculo utilizados, foi o que apresentou dados com mais estreita correlação e de maior concordância com os medidos.

Segundo Pelton et al. (1960), embora o método de Thornthwaite seja empírico, muitos pesquisadores acharam uma alta correlação entre a evapotranspiração medida e a estimada pelo método.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado a partir de dados resultantes de um experimento conduzido na Estação Experimental de Taquari, da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, durante os anos agrícolas de 1976/77, 1977/78, 1978/79 e 1979/80. A estação experimental encontra-se localizada na região climática da Depressão Central a uma altitude de 76 metros, latitude de 29°48'15" sul e longitude 51°49'30" oeste.

A evapotranspiração foi determinada através de lisímetros de drenagem, instalados em quatro repetições, em

uma área tampão de 45 m x 65 m. As determinações foram feitas em diferentes subperíodos e no ciclo de desenvolvimento do híbrido de milho Pioneer X307, plantado na segunda quinzena de outubro (Matzenauer 1980). As condições de umidade do solo, densidade de semeadura, adubação, altura de planta etc. foram as mesmas dentro e fora dos lisímetros. A umidade do solo foi controlada através de tensiômetros. Sempre que atingia uma tensão de 0,5 bar, era feita a suplementação de água por irrigação pelo método de aspersão, na área tampão, e manualmente dentro dos lisímetros.

A relação entre a evapotranspiração do milho e a evaporação calculada pela fórmula de Penman foi feita nos diferentes subperíodos e no ciclo da cultura, enquanto a relação com a evapotranspiração calculada pela fórmula de Thornthwaite foi mensal, pois, segundo Mota (1976), o método não fornece estimativas razoáveis para períodos menores que um mês.

A fórmula de Penman para cálculo da evaporação (Penman 1956) é:

$$E_o = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot \frac{R_n}{59} + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

A relação Δ/γ é dada por tabela, de acordo com a temperatura média do ar. Os valores do saldo de radiação (R_n), usados na fórmula, foram calculados por uma equação de regressão linear determinada a partir de valores do saldo de radiação medidos sobre a comunidade de plantas, e da radiação global registrada na estação meteorológica.

O termo aerodinâmico (E_a) é dado pela seguinte fórmula:

$$E_a = 0,35 (e_a - e_d) (0,5 - 0,01 \cdot U_2)$$

onde:

e_a = tensão máxima do vapor d'água, dada por tabela, de acordo com a temperatura média do ar, em milímetros de mercúrio;

e_d = tensão atual do vapor d'água, em milímetros de mercúrio;

U_2 = velocidade do vento a 2 m do nível do solo, em milhas . dia⁻¹.

Os registros de velocidade do vento em km.dia⁻¹ foram transformados em milhas . dia⁻¹.

O termo e_d , de acordo com Jagsich (1954), para regiões com pouca altitude, onde a pressão atmosférica é, aproximadamente, 760 mm, pode ser calculado pela fórmula:

$$e_d = E' - 0,5 (t - t')$$

sendo:

E' = tensão do vapor na temperatura do termômetro úmido, dada por tabela, em milímetros de mercúrio;

t = temperatura do termômetro seco (média diária), em °C; e

t' = temperatura do termômetro úmido (média diária), em °C.

Os dados de evapotranspiração, calculados pelo método de Thornthwaite, foram obtidos no arquivo da Equipe de Ecologia Agrícola do Instituto de Pesquisas Agronômicas, que dispõe dos valores mensais calculados por computador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relação entre a evapotranspiração e a evaporação calculada pela fórmula de Penman

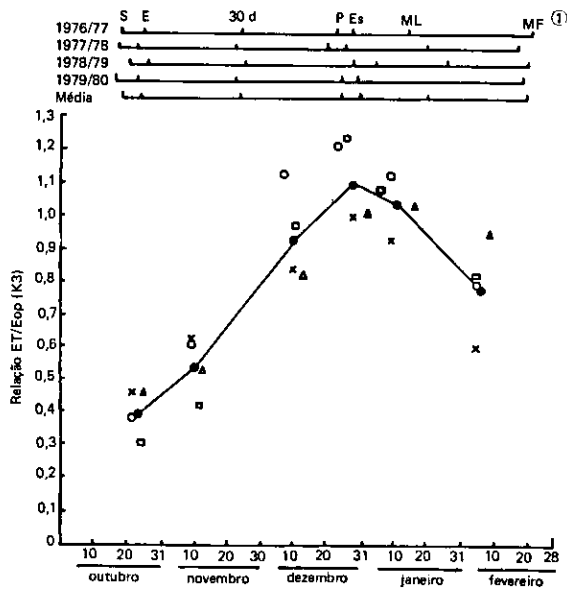
Os dados de evapotranspiração (ET), evaporação calculada pela fórmula de Penman (Eop) e a relação ET/Eop (k3) para os diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura e no ciclo, durante os quatro anos, e a média, são apresentados na Tabela 1. Os valores da relação ET/Eop para os quatro anos e a curva média dos mesmos em função dos subperíodos estão representados na Fig. 1.

A relação ET/Eop foi baixa no início do desenvolvimento, com um valor médio de 0,40 no subperíodo semeadura-emergência, aumentou progressivamente durante os subperíodos emergência - 30 dias após a emergência (média de 0,54) e 30 dias após a emergência - 50% do pendramento (média de 0,93), atingindo o máximo no subperíodo 50% do pendamento - 75% do espigamento, com uma média de 1,10. Após ter atingido os valores máximos durante o pendamento-espigamento, a relação ET/Eop diminuiu até o final do ciclo durante os subperíodos 75% do espigamento-maturação leitosa com uma média de 1,04, e maturação leitosa-maturação fisiológica com uma média de 0,78. Verifica-se que, durante os subperíodos pendamento-espigamento e espigamento-maturação leitosa, considerando-se os valores médios dos quatro anos, a fórmula de Penman para o cálculo da evaporação subestimou a evapotranspiração da cultura (Tabela 1). Isto ocorreu provavelmente devido a maior evapotranspiração durante estes subperíodos, já que nos outros, o consumo da cultura foi menor em função da menor área foliar no início do ciclo (Fig. 2) e da diminuição da atividade fotossintética no final do ciclo. Assis (1978) relacionou a evaporação calculada pela fórmula de Penman com a evapotranspiração de um grama-de (*Paspalum notatum*, Flegg) medida em lisfme-

TABELA 1. Evapotranspiração (ET) e evaporação calculada pela fórmula de Penman (Eop), em milímetros, e a relação ET/Eop (K3) nos diferentes subperíodos e no ciclo do híbrido de milho Pioneer X-307 para 1976/77, 1977/78, 1978/79 e 1979/80 e a média. E.E. Taquari.

Subperíodo ¹	1976/77			1977/78			1978/79			1979/80			Média		
	ET	Eop	K3	ET	Eop	K3	ET	Eop	K3	ET	Eop	K3	ET	Eop	K3
S - E	11,5	36,6	0,31	12,7	32,3	0,39	12,7	27,7	0,46	16,8	36,7	0,46	13,4	33,3	0,40
E - 30d	70,3	168,2	0,42	102,4	166,8	0,61	82,0	153,7	0,53	92,3	149,9	0,62	86,8	159,6	0,54
30d - P	153,5	158,7	0,97	183,1	161,6	1,13	173,8	212,5	0,82	150,8	179,7	0,84	165,3	178,1	0,93
P - Es	35,4	28,5	1,24	42,2	34,7	1,22	50,4	49,9	1,01	33,7	33,8	1,00	40,4	36,7	1,10
Es - ML	98,3	91,5	1,07	171,0	150,8	1,13	158,2	153,2	1,03	116,6	125,4	0,93	136,0	130,2	1,04
ML - MF	157,1	190,6	0,82	122,7	155,8	0,79	132,1	139,0	0,95	111,9	185,9	0,60	131,0	167,8	0,78
S - MF	526,1	674,1	0,78	634,1	702,0	0,90	609,2	735,8	0,83	522,1	711,4	0,73	572,9	705,8	0,81

¹ S - semeadura; E - emergência; 30 d - 30 dias após a emergência; P - 50% do pendamento; Es - 75% do espigamento; ML - maturação leitosa; MF - maturação fisiológica.



① Fenologia: S - semeadura; E - emergência; 30 d - 30 dias após a emergência; P - 50% do pendamento; Es - 75% do espigamento; ML - maturação leitosa; MF - maturação fisiológica.

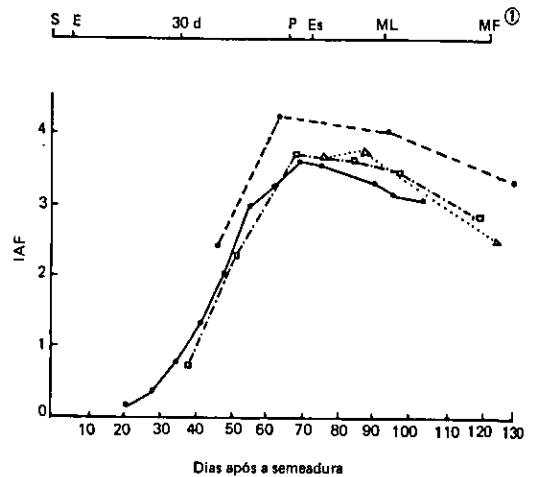
FIG. 1. Relação ET/Eop (K3) nos diferentes subperíodos do híbrido de milho Pioneer X-307, e a fenologia, para 1976/77 (\square), 1977/78 (o), 1978/79 (Δ), 1979/80 (x) e a média (●—●). E.E. Taquari.

tros, em São Paulo, e observou que a fórmula subestimou a evapotranspiração medida na maioria das vezes, devido ao fato de a mesma não levar em consideração o efeito local de advecção. Thompson & Boyce (1967) também verificaram que a fórmula de Penman subestimou a evapotranspiração de uma cultura de cana-de-açúcar.

A relação ET/Eop variou de 0,73 (1979/80) a 0,90 (1977/78) da semeadura à maturação fisiológica, com uma média, nos quatro anos, de 0,81 (Tabela 1). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Lomas et al. (1974).

Relação entre a evapotranspiração medida e a evapotranspiração calculada pela fórmula de Thornthwaite

Na Tabela 2, são apresentados os dados mensais de evapotranspiração (ET), evapotranspiração calculada pela fórmula de Thornthwaite (ETt) e a relação ET/ETt (k4) durante os meses de novembro a fevereiro e no período novembro-fevereiro, durante as quatro estações de crescimento, e a mé-



① Fenologia: S - semeadura; E - emergência; 30 d - 30 dias após a emergência; P - 50% do pendamento; Es - 75% do espigamento; ML - maturação leitosa; MF - maturação fisiológica.

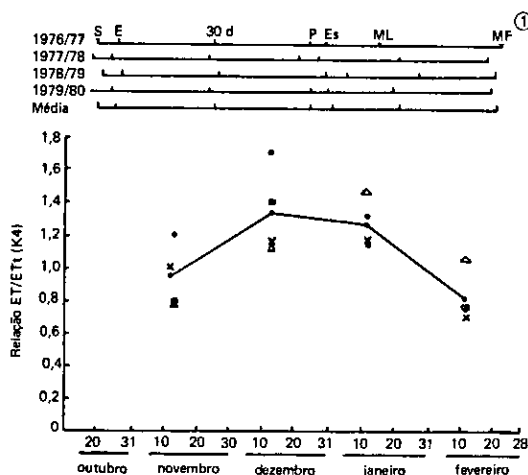
FIG. 2. Índice da área foliar (IAF) do híbrido de milho Pioneer X-307 em 1976/1977 (Δ ... Δ), 1977/78 (o---o), 1978/79 (\square --- \square), 1979/80 (●---●) e a fenologia média dos quatro anos. E.E. Taquari.

dia das mesmas. Os dados da relação para os quatro anos e a curva média estão representados na Fig. 3.

A relação ET/ETt foi menor do que um (0,96), na média dos quatro anos, durante o mês de novembro, variando de 0,80 a 1,22. No mês de dezembro, aumentou para 1,34, variando de 1,15 a 1,71, enquanto durante o mês de janeiro teve um pequeno decréscimo, com valores que variaram entre 1,16 e 1,48, com uma média de 1,28. No mês de fevereiro, decresceu para 0,84, com uma variação de 0,72 a 1,08. Verifica-se que a evapotranspiração calculada pela fórmula de Thornthwaite, considerando-se os valores médios, superestimou a evapotranspiração medida durante os meses de novembro e fevereiro (no início e no final do ciclo da cultura) e subestimou durante os meses de dezembro e janeiro. Como a fórmula de Thornthwaite foi derivada a partir de dados de evapotranspiração potencial em evapotranspirômetros gramados, estes resultados eram esperados, pois durante o mês de novembro a cultura ainda não estava com a área foliar completamente desenvolvida e durante o mês de fevereiro a cultura já

TABELA 2. Evapotranspiração (ET) do híbrido de milho Pioneer X-307 e evapotranspiração calculada pela fórmula de Thornthwaite (ETt), em milímetros, e a relação ET/ETt (K4) nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro e no período novembro-fevereiro de 1976/77, 1977/78, 1978/79 e 1979/80. E.E. Taquari.

Mês	1976/77			1977/78			1978/79			1979/80			Média		
	ET	ETt	K4	ET	ETt	K4	ET	ETt	K4	ET	ETt	K4	ET	ETt	K4
Novembro	75,6	93,0	0,81	124,3	102,0	1,22	84,0	105,0	0,80	100,6	100,0	1,01	96,1	100,0	0,96
Dezembro	178,7	127,0	1,41	206,9	121,0	1,71	167,6	146,0	1,15	157,5	135,0	1,17	177,7	132,3	1,34
Janeiro	168,1	145,0	1,16	201,6	153,0	1,32	221,9	150,0	1,48	165,7	142,0	1,17	189,3	147,5	1,28
Fevereiro	100,6	128,0	0,79	97,0	124,0	0,78	146,0	135,0	1,08	93,7	131,0	0,72	109,3	129,5	0,84
Novembro-Fevereiro	523,0	493,0	1,06	629,8	500,0	1,26	619,5	536,0	1,16	517,5	508,0	1,02	572,4	509,3	1,12



① Fenologia: S - semeadura; E - emergência; 30 d - 30 dias após a emergência; P - 50% do pendimento; Es - 75% do espigamento; ML - maturação leiteira; MF - maturação fisiológica.

FIG. 3. Relação ET/ETt (K4) nos meses de novembro a fevereiro, e a fenologia, do híbrido de milho Pioneer X-307 para 1976/77 (□), 1977/78 (○), 1978/79 (Δ), 1979/80 (x) e a média (●). E.E. Taquari.

estava no fim do ciclo, com sua atividade fotossintética diminuída; justificou-se, assim, a superestimativa da evapotranspiração calculada pela fórmula em relação à evapotranspiração medida durante estes meses, já que um gramado apresentaria uma maior cobertura do solo com folhas ativas em relação ao milho, naqueles meses. Por outro lado, a subestimativa da fórmula durante os meses de dezembro e janeiro, pode ser atribuída ao fato de que o milho, por ser uma planta mais alta do que um gramado, teria uma maior evapotranspiração devido ao maior efeito de rugosidade aerodinâmica de uma cultura de porte mais elevado e maior saldo de radiação (Chang 1968), acrescentando-se o fato de que este período coincidiu com o florescimento e enchimento de grãos da cultura que, como foi visto (Tabela 1), apresentaram alto consumo de água.

Observa-se que a relação ET/ETt não apresentou sempre o mesmo comportamento nos diferentes meses em todos os anos, como pode ser visto nas estações de crescimento de 1976/77 e 1977/78, em que a relação foi maior durante o mês de de-

zembro (1,41 e 1,71 respectivamente) do que durante o mês de janeiro (1,16 e 1,32), enquanto em 1978/79 ocorreu o contrário, e em 1979/80 foram iguais. Pode ser vista também (Fig. 3) a grande variabilidade ocorrida na relação durante os quatro anos, nos diferentes meses em relação à média.

No período de novembro a fevereiro, a relação ET/ETt variou de 1,02 a 1,26, com uma média de 1,12 nos quatro anos, evidenciando que a evapotranspiração calculada sempre subestimou a evapotranspiração medida no período considerado. A diferença maior foi observada na estação de crescimento de 1977/78, onde a evapotranspiração medida atingiu o maior valor (629,8 mm), enquanto que a evapotranspiração calculada não teve o mesmo comportamento. Isto pode ser atribuído ao maior IAF alcançado durante este ano (Fig. 3), já que a fórmula não considera o desenvolvimento da planta.

CONCLUSÕES

1. A relação determinada entre a evapotranspiração da cultura e a evaporação calculada pela fórmula de Penman (ET/Eop), nos diferentes subperíodos, foi menor no início do ciclo e aumentou progressivamente, atingindo valores máximos durante o subperíodo pendoamento-espigamento. Após, diminuiu até a maturação fisiológica.

2. A evaporação calculada pela fórmula de Penman foi maior que a evapotranspiração da cultura no ciclo total e nos diferentes subperíodos, com exceção do pendoamento-espigamento e espigamento-maturação leitosa.

3. A relação entre a evapotranspiração medida e a evapotranspiração calculada pela fórmula de Thornthwaite (ET/ETt), em base mensal, foi menor durante os meses de novembro e fevereiro (início e final do ciclo da cultura), e maior nos meses de dezembro e janeiro, que coincidiram com os períodos de florescimento e enchimento de grãos. No período novembro-fevereiro, em todos os anos, a evapotranspiração calculada segundo Thornthwaite foi menor que o consumo de água da cultura.

4. A relação ET/Eop da semeadura à maturação fisiológica (coeficiente k3) e a relação ET/ETt no

período novembro-fevereiro (coeficiente k4) tiveram valores médios de 0,81 e 1,12, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, F.N. de. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, ESALQ, USP, 1978. 69p. Tese Mestrado Agrometeorologia.
- BAVEL, C.H.M. van & HARRIS, D.G. Evapotranspiration rates from bermudagrass and corn at Raleigh, North Carolina. *Agron. J.*, Madison, 54:319-22, 1962.
- BEIRSDORF, M.I.C. & MOTA, F.S. Evapotranspiração do arroz irrigado em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ci. e Cult.*, São Paulo, 28:1329-34, 1976.
- CAMARGO, A.P. de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 21:163-213, 1962.
- CHANG, J.H. *Climate and agriculture; an ecological survey*. Chicago, Aldine, 1968. 304p.
- CHANG, J.H. *Problems and methods in agricultural climatology*. Hawaii, Oriental, 1971. 96p.
- JAGSICH, D. *Meteorologia física, el tiempo*. Buenos Aires, Kapelusz, 1954. 547p.
- LOMAS, J.; SCHLESINGER, E. & LEWIN, J. Effects of environmental and crop factors on the evapotranspiration rate and water-use efficiency of maize. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 13:239-51, 1974.
- MATZENAUER, R. *Evapotranspiração do milho (Zea mays L.) e suas relações com fórmulas e parâmetros meteorológicos*. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRS, 1980. Tese Mestrado.
- MOTA, F.S. Balanço hídrico agroclimático confiável. *Ci. e Cult.*, São Paulo, 30:707-17, 1978.
- MOTA, F.S. *Meteorologia agrícola*. São Paulo, Nobel, 1976. 375p.
- MOTA, F.S. & BEIRSDORF, M.I.C. Medidas e estimativas da evapotranspiração potencial em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ci. e Cult.*, São Paulo, 28:666-72, 1976.
- PELTON, W.L.; KING, K.M. & TANNER, C.B. An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration. *Agron. J.*, Madison, 52:387-95, 1960.
- PENMAN, H.L. *Evaporation: an introductory survey*. Neth. J. Agric. Sci., Wageningen, 4:9-29, 1956.
- THOMPSON, G.D. & BOYCE, J.P. Daily measurement of potential evapotranspirations from fully canopied sugar cane. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 4:267-79, 1967.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, New York, 38:55-94, 1948.