

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DO MILHO. II - RELAÇÕES COM A EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE “A”, COM A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E COM A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL, EM TRÊS ÉPOCAS DE SEMEADURA

CROP MAIZE EVAPOTRANSPIRATION. II - RATIOS BETWEEN THE EVAPOTRANSPIRATION TO CLASS A PAN EVAPORATION, TO THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION AND TO GLOBAL SOLAR RADIATION, AT THREE SOWING DATES

Ronaldo Matzenauer¹, Homero Bergamaschi² e Moacir Antonio Berlatto²

RESUMO

A baixa disponibilidade hídrica é o principal fator limitante ao crescimento e desenvolvimento da cultura do milho no Rio Grande do Sul, causando com frequência, reduções significativas nas safras desta cultura. Desta forma, estudos visando a determinação de coeficientes de estimativa das necessidades hídricas da cultura são importantes para a recomendação de suplementação hídrica buscando a minimização do problema. Com o objetivo de relacionar a evapotranspiração máxima da cultura do milho (ET_m) com a evaporação do tanque classe A (E_o), com a evapotranspiração de referência (E_{To}) e com a radiação solar global (R_s), para obtenção das razões ET_m/E_o, ET_m/E_{To} e ET_m/R_s, em diferentes subperíodos e épocas de semeadura da cultura, foi desenvolvido este trabalho na Estação Experimental de Taquari/RS, (latitude: 29°48'S, longitude: 51°49'O e altitude: 76m), durante o período 1976/77 a 1988/89. A ET_m foi medida em evapotranspirômetros de drenagem do tipo Thornthwaite-Mather. A razão ET_m/E_o média no ciclo total (da semeadura até a maturação fisiológica), foi de 0,66, 0,72 e 0,68, para as épocas de

¹ Engº Agrº, Dr., pesquisador da FEPAGRO/SCT, Equipe de Agrometeorologia. 90130-060, Porto Alegre, RS

semeadura de setembro, outubro e novembro, respectivamente. Para a relação ET_m/ET_o média no ciclo, os valores foram de 0,74, 0,81 e 0,80, para as três épocas de semeadura, respectivamente, enquanto que para a razão ET_m/R_s os valores médios foram de 0,45, 0,51 e 0,49, para as três épocas. O subperíodo onde foram verificados os maiores valores nas três épocas, para os três coeficientes, foi o compreendido entre o pendoamento e a maturação leitosa, com valores para as épocas de setembro, outubro e novembro, de 0,81, 0,92, e 0,81, para ET_m/E_o ; 0,97; 1,05 e 0,96, para ET_m/ET_o e, 0,60, 0,68 e 0,60 para ET_m/R_s , respectivamente.

Palavras-chave: evapotranspiração, evaporação, radiação solar, milho, irrigação.

SUMMARY

Water availability is the most limiting factor for growth and grain yield of maize in the State of Rio Grande do Sul, Brazil, reducing frequently this production. Therefore, studies involving the determination of the water requirements are important for irrigation management to minimize the water availability problem. The main objective of this study was to calculate ratios between the maize crop evapotranspiration (ET_m) to the class A pan evaporation (E_o), to the reference evapotranspiration (ET_o) and to global solar radiation (R_s), in order to obtain relations between ET_m/E_o , ET_m/ET_o and ET_m/R_s , at different crop stages for three different sowing dates. Field experiments were carried out at the Experimental Station of Taquari/RS, 29°48' of south latitude, 51°49' of west longitude, and 76m of altitude, from 1976/77 to 1988/89. ET_m was measured using drainage lysimeters (Thornthwaite-Mather type). The average ratio between ET_m and E_o for whole crop cycle (from sowing to physiological maturity) was 0.66, 0.72, and 0.68, respectively, in crops sown on September, October, and November. The average ratio between ET_m and ET_o for whole crop cycle was 0.74, 0.81, and 0.8, in crops sown on September, October, and November, while the average ratio between ET_m and R_s was 0.45, 0.51, and 0.49 for the same sowing dates. The higher average values of crop coefficients occurred from tasseling to the milk grain stage, when ET_m/E_o was 0.81, 0.92, and 0.81; ET_m/ET_o was 0.97, 1.05, and 0.96, whereas ET_m/R_s was 0.6, 0.68, and 0.6 for crops sown on September, October, and November, respectively.

Key words: evapotranspiration, evaporation, solar radiation, maize, irrigation.

² Eng^o Agr^o, Dr., Professor da UFRGS, Faculdade de Agronomia. Caixa Postal 776. 91501-970, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho apresenta baixos rendimentos de grãos no Estado do Rio Grande do Sul, com uma média nos últimos 10 anos de cerca de $2.200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, ocorrendo grande variabilidade espacial e temporal dos rendimentos. Entre os fatores que afetam o crescimento e o rendimento da cultura, a baixa disponibilidade hídrica é o que tem causado as maiores reduções de rendimento nos últimos anos.

O conhecimento de alternativas e métodos de estimativa das necessidades de água das culturas, constitui-se, desta forma, de fundamental importância para o melhor entendimento das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera, para o planejamento da época de semeadura, na elaboração de projetos de irrigação e para o aperfeiçoamento de zoneamentos agroclimáticos.

A evapotranspiração de uma cultura é função, basicamente, das condições meteorológicas que ocorrem durante o ciclo de desenvolvimento das plantas. Desta forma, os fatores que exercem maior influência são aqueles relacionados à demanda evaporativa da atmosfera. A evapotranspiração, portanto, determinada em condições específicas de um local, ano e/ou época de semeadura, não pode ser extrapolada para outras situações em valores absolutos. Desta forma, para que se possa estimar as necessidades hídricas de uma cultura, é necessário estabelecer relações entre a evapotranspiração da cultura e um valor de referência, como algum elemento meteorológico ou com a evapotranspiração calculada por alguma fórmula ou método de estimativa.

A relação entre a evapotranspiração de culturas com elementos meteorológicos ou fórmulas de estimativa da evaporação ou evapotranspiração, portanto, constitui-se em uma importante linha de pesquisa, pois permite a estimativa do consumo de água em diversas condições e locais, possibilitando a indicação de suplementação hídrica através da irrigação, com maior precisão, visando minimizar os efeitos adversos da falta de água. Diversos pesquisadores têm relacionado a evapotranspiração de culturas com elementos meteorológicos ou fórmulas de estimativa da evaporação e ou evapotranspiração. As relações mais encontradas na bibliografia são com o tanque de evaporação classe A, com a radiação solar global e com a evapotranspiração de referência calculada pela equação de Penman (DENMEAD & SHAW, 1959; DOSS et al., 1962; LOMAS et al., 1974; BEIRSDORF & MOTA, 1976; ASSIS, 1978; MATZENAUER, 1980; MATZENAUER et al., 1982; MATZENAUER et al., 1983; BERLATO et al., 1986; MATZENAUER, 1992; OLIVEIRA et al., 1993).

O tanque de evaporação classe A (E_o), tem sido largamente utilizado para obtenção de coeficientes de estimativa da evapotranspiração de culturas (DENMEAD & SHAW, 1959; FRITSCHEN & SHAW, 1961; DOSS et al., 1962; LOMAS et al., 1974; TAN & FULTON, 1980; BERLATO et al., 1986, MATZENAUER et al., 1988). CHANG (1968) relaciona uma série de trabalhos que determinam a relação entre a evapotranspiração de diversas culturas com a evaporação de tanques, sendo a maioria tanque do tipo classe A.

Para culturas anuais, a razão ET_m/E_o depende da porcentagem de solo coberto pela cultura e aumenta desde a emergência até a máxima cobertura do solo, decrescendo, após, até a maturação e colheita. Durante o início do desenvolvimento, quando a cobertura do solo é incompleta, a relação é baixa, variando de 0,2 a 0,5. Em culturas semeadas em linha, a maior parte da água perdida durante o estágio inicial, se dá pela evaporação do solo. Durante o período reprodutivo, quando ocorre a maior cobertura foliar, a relação varia de 0,75 a 1,15 para várias culturas (CHANG, 1968). DENMEAD & SHAW (1959) encontraram, durante o período de maior cobertura foliar do milho, um coeficiente de 0,81. Antes deste período, a relação foi menor e associada ao incremento da área foliar e, depois, diminuiu com o declínio da atividade fotossintética da cultura. Segundo OLIVEIRA et al. (1993), a razão ET_m/E_o tende a um valor assintótico quando o IAF do milho se aproxima de 2,5. CAMARGO & PEREIRA (1990) afirmam que, em termos práticos, a razão pode ser considerada como uma função da porcentagem de cobertura do terreno pela folhagem da cultura.

Segundo PELTON et al. (1960), os métodos de estimativa da evapotranspiração baseados na temperatura média podem ser usados com sucesso limitado para períodos longos, enquanto que os métodos que envolvem o balanço de energia são preferíveis quando dados de radiação são disponíveis. O método de Penman combina o balanço de energia com um termo aerodinâmico. Uma das principais vantagens do método é a possibilidade de eliminação de medidas de superfície, não disponíveis em estações meteorológicas comuns e difíceis de serem obtidos com exatidão. O método de Penman tem servido de base para a derivação de uma série de outros métodos de estimativa da evapotranspiração. De acordo com BEIRSDORF & MOTA (1976), a evidência experimental recomenda a fórmula de Penman como a melhor para fins agroclimáticos.

CUNHA (1991) e SANTOS (1993) testaram nove métodos para estimativa da evapotranspiração da alfafa, para as condições da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Concluíram que o método de Penman, com saldo de radiação estimado a partir de uma função ajustada sobre a alfafa, esteve entre os que apresentaram melhor desempenho para estimar a evapotranspiração da cultura.

LOMAS et al. (1974) relacionaram a evapotranspiração do milho, medida em lisímetros, com a evaporação calculada pela fórmula de Penman, encontrando valores que variaram, em duas estações de crescimento, de 0,79 a 0,96. Segundo os autores, as diferenças nas relações 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 subestimou a evapotranspiração medida, atribuindo os resultados a um efeito local de advecção que não é computado pela fórmula de cálculo utilizada.

A evapotranspiração depende do poder evaporante do ar, que é determinado pela radiação solar, vento, umidade e temperatura do ar, sendo a radiação o fator principal. A principal fonte de energia que produz evaporação é a radiação solar (JENSEN, 1973). Segundo CHANG (1968), a evapotranspiração é determinada principalmente pelo saldo de radiação, havendo uma forte correlação entre o saldo de radiação e a radiação global. MATZENAUER et al. (1981) relacionaram o saldo de radiação medido sobre uma cultura de milho com a radiação solar global, encontrando um coeficiente de correlação de 0,98 entre as variáveis.

O presente trabalho teve como objetivos determinar as relações entre a evapotranspiração máxima da cultura do milho (ET_m) com a evaporação do tanque classe A, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em diferentes subperíodos e no ciclo total da cultura, para três épocas de semeadura, visando o estabelecimento de coeficientes entre estas variáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho apresenta uma análise da relação entre a evapotranspiração máxima da cultura do milho (ET_m) com a evaporação do tanque classe A (E_o), com a evapotranspiração de referência (ET_o) e com a radiação solar global (R_s), de uma série de 16 experimentos conduzidos nos períodos agrícolas de 1976/77 a 1988/89.

Detalhes sobre a metodologia para determinação da evapotranspiração, sobre a localização dos experimentos, solo, clima e épocas de semeadura, podem ser obtidos em MATZENAUER et al. (1998).

Por definição, o coeficiente de cultura é a relação entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência. Neste trabalho, portanto, o coeficiente Kc_2 é sinônimo de coeficiente de cultura, sendo que as demais razões (ETm/Eo e ETm/Rs) são denominadas, respectivamente, apenas de coeficientes Kc_1 e Kc_3 , conforme as expressões:

$$Kc_1 = ETm/Eo \quad (1)$$

$$Kc_2 = ETm/ETo \quad (2)$$

$$Kc_3 = ETm/Rs \quad (3)$$

As relações foram determinadas nos seguintes subperíodos: da semeadura à emergência (S-E); da emergência até 30 dias após (E-30d); dos 30 dias após a emergência até 50% de pendoamento (30d-P); de 50% de pendoamento à maturação leitosa (P-ML); da maturação leitosa à maturação fisiológica (ML-MF) e no ciclo total (S-MF).

A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método de PENMAN (1956), onde:

$$ETo = (s / \gamma) Rn + Ea / (s / \gamma) + 1 \quad (4)$$

sendo s a tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água versus temperatura do ar ($mb \text{ } ^\circ C^{-1}$), γ a constante psicrométrica ($mb \text{ } ^\circ C^{-1}$), Rn o saldo de radiação expresso em unidades de evaporação (mm) e Ea o termo aerodinâmico (mm), expresso pela função:

$$Ea = 0,35 (e_s - e) (0,5 + 0,01U_2) \quad (5)$$

sendo $(e_s - e)$ o déficit de saturação de vapor d'água do ar (mm Hg) e U_2 a velocidade do vento a 2m de altura ($milhas \text{ dia}^{-1}$).

Para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman, o saldo de radiação (Rn) foi estimado por uma função ajustada para a cultura do milho (MATZENAUER et al., 1981), onde Rn é função da radiação solar global. Outros pesquisadores têm utilizado o saldo de radiação estimado sobre a cultura estudada, obtendo melhores resultados do que com Rn estimado sobre superfície gramada (BERLATO, 1986; CUNHA, 1991; SANTOS, 1993).

Os dados de radiação solar global foram registrados em um actinógrafo de rotação diária, do tipo Robitzsch, marca Fuess, instalado em uma estação meteorológica localizada ao lado do experimento. Os dados de radiação foram transformados em milímetros de evaporação. Para a transformação de calorías para mm, usou-se o valor do calor latente de evaporação (L) de 590 cal g^{-1} de água evaporada. Os dados de evaporação do tanque, evapotranspiração de referência e de

radiação solar, foram determinados nos mesmos subperíodos acima especificados, para o cálculo das razões com a evapotranspiração da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os dados médios da duração dos diversos subperíodos de desenvolvimento e do ciclo completo da cultura, para as três épocas de semeadura.

Tabela 1. Duração média (dias) dos subperíodos e do ciclo total do milho, em três épocas de semeadura. Estação Experimental de Taquari, RS, período 1976-1989.			
Subperíodo*	Época de semeadura**		
	setembro	outubro	novembro
S-E	10	7	6
E-30d	30	30	30
30d-P	37	30	31
P-ML	21	26	17
ML-MF	43	32	38
S-MF	141	125	122

* S - semeadura; E - emergência; 30d - 30 dias após a emergência; P - 50% do pendoamento; ML - maturação leitosa; MF - maturação fisiológica.

** Valores médios do período: época de setembro-1982/83-1988/89; época de outubro-1976/77-1981/82; época de novembro-1983/84-1987/88

Na Tabela 2 são apresentados os dados médios da razão entre a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) e a evaporação do tanque classe A (E_o) (coeficiente K_{c1}), para os diferentes subperíodos e no ciclo total da cultura, para as três épocas de semeadura.

Os valores médios da razão ET_m/E_o para o ciclo total do milho foram de 0,66, 0,72 e 0,68, para as épocas de semeadura de setembro, outubro e novembro, respectivamente. CHANG (1968) cita um valor de 0,75 para a cultura do milho, enquanto que JENSEN (1973) cita valores de 0,75 a 0,85.

O valor de K_{c1} apresentou o mesmo comportamento nas três épocas de semeadura. Foi menor no subperíodo da semeadura à emergência, aumentou até o subperíodo 50% do pendoamento à maturação leitosa e diminuiu no final do ciclo, durante o subperíodo da maturação

leitosa à maturação fisiológica (Tabela 2). Esses resultados estão de acordo com os dados obtidos por RITCHIE & BURNETT (1971), segundo os quais a relação ET_m/E_o aumenta com o incremento do IAF. Verifica-se pequena variação nos valores médios dos coeficientes de cultura entre as épocas de semeadura. Isto pode ser esperado, considerando-se que as variáveis meteorológicas que determinam a demanda evaporativa da atmosfera exercem influência semelhante sobre a perda de água de superfícies vegetadas e sobre a evaporação de superfície de água. Como a ET_m de culturas depende da demanda evaporativa e da própria cultura, as variações observadas são devido a diferenças de crescimento e desenvolvimento das plantas que ocorreram entre diferentes épocas de semeadura e anos, em função das variações dos elementos meteorológicos que afetam a cultura e as práticas culturais.

Tabela 2. Evapotranspiração máxima (ET_m), evaporação do tanque classe A (E_o) e a razão ET_m/E_o (coeficiente Kc_1) em diferentes subperíodos e no ciclo total do milho. Valores médios diários (mm) para três épocas de semeadura. Estação Experimental de Taquari/RS, período 1976/77-1988/89.

Subperíodo*	Época de semeadura**								
	Setembro			Outubro			Novembro		
	ET_m	E_o	Kc_1	ET_m	E_o	Kc_1	ET_m	E_o	Kc_1
S-E	1,7	4,3	0,40	2,1	5,7	0,37	2,8	6,8	0,41
E-30d	2,7	5,3	0,51	3,1	6,0	0,52	4,3	7,2	0,60
30d-P	4,9	6,3	0,78	5,3	6,4	0,83	5,6	6,9	0,81
P-ML	5,7	7,0	0,81	6,6	7,2	0,92	5,1	6,3	0,81
ML-MF	4,0	6,4	0,63	4,3	6,5	0,66	3,6	5,6	0,64
S-MF	4,0	6,1	0,66	4,6	6,4	0,72	4,4	6,5	0,68

* S - semeadura; E - emergência; 30d - 30 dias após a emergência; P - 50% do pendocimento; ML - maturação leitosa; MF - maturação fisiológica.

** Valores médios do período: época de setembro-1982/83-1988/89; época de outubro-1976/77-1981/82; época de novembro-1983/84-1987/88

Os dados médios da razão entre a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) e a evapotranspiração de referência (ETo) (coeficiente Kc_2), para os diferentes subperíodos e no ciclo total da cultura, para as três épocas de semeadura, são apresentados na Tabela 3.

A relação ET_m/ETo apresentou valores médios durante o ciclo do milho de 0,74, 0,81 e 0,80, para as épocas de semeadura de setembro, outubro e novembro, respectivamente. O comportamento apresentado nas três épocas de semeadura foi semelhante. Os menores valores foram verificados durante os subperíodos da semeadura à emergência e da emergência até os 30 dias após. Isto é explicado pelo fato de no primeiro subperíodo haver apenas evaporação do solo como componente da evapotranspiração e, no segundo subperíodo, haver um IAF ainda baixo. A partir do subperíodo

dos 30 dias após a emergência até 50% do pendramento ocorre um incremento da área foliar da cultura, atingindo valores máximos durante o subperíodo dos 50% do pendamento até a maturação leitosa. Por esse motivo e também pelo fato de haver maior atividade fisiológica das plantas e coincidência com períodos de maior demanda evaporativa da atmosfera, os maiores valores de Kc_2 foram verificados durante esses subperíodos, se aproximando de 1,0 durante a floração e início de enchimento de grãos. No final do ciclo, durante o subperíodo da maturação leitosa até a maturação fisiológica, houve uma redução nos valores dos coeficientes para as três épocas de semeadura, devido à diminuição da atividade fotossintética, em função da senescência das folhas. Essa resposta observada está de acordo com os resultados de CAMARGO & PEREIRA (1990), os quais afirmam que, em termos práticos, o Kc pode ser considerado como uma função da porcentagem de cobertura do terreno pela folhagem da cultura.

Tabela 3. Evapotranspiração máxima (ETm), evapotranspiração de referência (ETo) calculada pela fórmula de Penman e a razão ETm/ETo (coeficiente Kc_2) em diferentes subperíodos e no ciclo total do milho. Valores médios diários (mm) para três épocas de semeadura. Estação Experimental de Taquari/RS, período 1976/77-1988/89.

Subperíodo*	Época de semeadura**								
	Setembro			Outubro			Novembro		
	ETm	ETo	Kc_2	ETm	ETo	Kc_2	ETm	ETo	Kc_2
S-E	1,7	4,3	0,40	2,1	5,3	0,40	2,8	6,0	0,47
E-30d	2,7	4,9	0,55	3,1	5,7	0,54	4,3	6,1	0,70
30d-P	4,9	5,6	0,88	5,3	5,7	0,93	5,6	6,0	0,93
P-ML	5,7	5,9	0,97	6,6	6,3	1,05	5,1	5,3	0,96
ML-MF	4,0	5,7	0,70	4,3	5,5	0,78	3,6	4,9	0,73
S-MF	4,0	5,4	0,74	4,6	5,7	0,81	4,4	5,5	0,80

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

** Valores médios do período: época de setembro-1982/83-1988/89; época de outubro-1976/77-1981/82; época de novembro-1983/84-1987/88

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de evapotranspiração da cultura (ETm), radiação solar global (Rs) transformada em milímetros de água evaporada, e a razão ETm/Rs (coeficiente Kc_3), para os diferentes subperíodos e no ciclo total da cultura, para as três épocas de semeadura.

A razão ETm/Rs apresentou valores médios durante o ciclo do milho de 0,45, 0,51 e 0,49, para as épocas de semeadura de setembro, outubro e novembro, respectivamente. Estes resultados

significam que, aproximadamente, 50 % da radiação solar global foi utilizada no processo de evapotranspiração durante o ciclo completo da cultura do milho (da sementeira até a maturação fisiológica), na média das três épocas de sementeira. Segundo JENSEN (1973) a radiação solar é a principal fonte de energia utilizada no processo de evapotranspiração. MATZENAUER et al. (1982) concluíram que, na média de quatro anos, 69% do saldo de radiação foi utilizado no processo de evapotranspiração durante o ciclo completo da cultura do milho, sendo que no período de maior área foliar, durante a floração, 94% do saldo de radiação foi consumido no processo. TANNER et al. (1960) relatam que a máxima evapotranspiração possível é aproximadamente igual ao saldo de radiação, exceto para dias extremamente quentes e ventosos, devido ao efeito da advecção, ou em dias quentes e nublados com pouca radiação.

Tabela 4. Evapotranspiração máxima (ETm), radiação solar global (Rs), e a razão ETm/Rs (coeficiente Kc₁) em diferentes subperíodos e no ciclo total do milho. Valores médios diários (mm) para três épocas de sementeira. Estação Experimental de Taquari/RS, período 1976/77-1988/89.

Subperíodo*	Época de sementeira**								
	Setembro			Outubro			Novembro		
	ETm	Rs	Kc ₁	ETm	Rs	Kc ₁	Etm	Rs	Kc ₁
S-E	1,7	7,1	0,24	2,1	8,4	0,25	2,8	9,6	0,29
E-30d	2,7	8,2	0,33	3,1	9,1	0,34	4,3	9,8	0,44
30d-P	4,9	9,1	0,54	5,3	9,1	0,58	5,6	9,7	0,58
P-ML	5,7	9,5	0,60	6,6	9,7	0,68	5,1	8,5	0,60
ML-MF	4,0	9,1	0,44	4,3	8,6	0,50	3,6	7,8	0,46
S-MF	4,0	8,9	0,45	4,6	9,0	0,51	4,4	9,0	0,49

* S - sementeira; E - emergência; 30d - 30 dias após a emergência; P - 50% do pendoamento; ML - maturação leitosa; MF - maturação fisiológica.

** Valores médios do período: época de setembro-1982/83-1988/89; época de outubro-1976/77-1981/82; época de novembro-1983/84-1987/88

O comportamento da razão ETm/Rs apresentado nas três épocas de sementeira foi semelhante. Os menores valores foram verificados durante os subperíodos da sementeira à emergência e da emergência até 30 dias após, que são subperíodos que se caracterizam por apresentarem maior evaporação do solo e baixos valores de transpiração, devido à ausência de área foliar no início do ciclo e baixos valores de IAF durante o início do período vegetativo. A exemplo dos resultados obtidos para as razões ETm/Eo e ETm/ETo, os maiores valores da razão ETm/Rs foram verificados durante os subperíodos dos 30 dias após a emergência até 50% do pendoamento e de 50% do pendoamento até a maturação leitosa, por possuírem maior área foliar, com intensa atividade

fotossintética e fisiológica e, normalmente, coincidirem com períodos de alta demanda evaporativa da atmosfera. Durante o subperíodo de 50% do pendoamento até a maturação leitosa, o coeficiente chegou a atingir o valor de 0,68 para a época de semeadura de outubro, significando uma alta utilização de energia no processo de evapotranspiração, durante a floração e início de enchimento de grãos, caracterizado como o período mais crítico da cultura em relação à disponibilidade hídrica.

Os resultados mostraram que a quantidade de energia utilizada na evapotranspiração é baixa no início do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, sendo que aproximadamente 25% da energia total é utilizada no processo de evaporação, durante o subperíodo da semeadura até a emergência. Após a emergência das plantas, ocorre um aumento gradativo da razão ET_m/R_s , até o subperíodo que engloba a floração e o início do enchimento de grãos, com uma média de cerca de 0,63 nas três épocas de semeadura, representando alta utilização de energia. No final do ciclo, durante o subperíodo da maturação leitosa até a maturação fisiológica, o percentual da energia solar utilizada na evapotranspiração diminuiu para menos de 50%.

Os resultados apresentados neste trabalho podem ser considerados representativos e consistentes, levando-se em conta que são médias oriundas de um período agrícola longo, podendo ter grande utilidade para o planejamento de lavouras irrigadas, para o estabelecimento de épocas de semeadura e como subsídio à elaboração e aperfeiçoamento de zoneamentos agroclimáticos e planejamentos agrícolas. São dados obtidos nas condições de solo e clima do Rio Grande do Sul, envolvendo um amplo período de semeadura, sendo, desta forma, recomendados para a estimativa das necessidades hídricas da cultura do milho para diferentes locais e anos agrícolas.

CONCLUSÕES

- As relações entre a Evapotranspiração da cultura do milho com a evaporação do tanque classe A (razão ET_m/E_o), com a evapotranspiração de referência calculada pela fórmula de Penman (razão ET_m/E_{To}) e com a radiação solar global (razão ET_m/R_s), determinados neste trabalho, são representativas e consistentes, levando-se em conta que são médias oriundas de um período agrícola relativamente longo.

- Os valores médios da razão entre a evapotranspiração máxima da cultura do milho e a evaporação do tanque classe A durante o ciclo total são de 0,66; 0,72 e 0,68, respectivamente, para as épocas de semeadura de setembro, outubro e novembro.

- Os valores médios da razão entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração de referência, no ciclo total, são de 0,74, 0,81 e 0,80, respectivamente, para as épocas de semeadura de setembro, outubro e novembro.

- Os valores médios da razão entre a evapotranspiração máxima e a radiação solar global no ciclo total, são de 0,45, 0,51 e 0,49, para as épocas de semeadura de setembro, outubro e novembro, respectivamente.

- O subperíodo onde são verificados os maiores valores, nas três épocas, para as três razões, é do pendoamento à maturação leitosa, com valores para as épocas de setembro, outubro e novembro, de 0,81, 0,92 e 0,81, para ET_m/E_o ; 0,97, 1,05 e 0,96, para ET_m/E_{To} , e, 0,60, 0,68 e 0,60 para ET_m/R_s , respectivamente.

- A evapotranspiração máxima da cultura do milho pode ser estimada para diferentes anos e localidades do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando-se os valores dos coeficientes derivados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, F.N. **O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada**. Piracicaba, 1978. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia). Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiróz/USP, 1978.
- BEIRSDORF, M.I.C., MOTA, F.S. Evapotranspiração do arroz irrigado em Pelotas, Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 28, p. 1329-1334, 1976.
- BERLATO, M.A., MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque “Classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 251-59, 1986.
- CAMARGO, A.P., PEREIRA, A.R. **Prescrição de rega por modelo climatológico**. Campinas : Fundação Cargill, 1990, 27 p. (Série Técnico Científica, 170).
- CHANG, Jen-Hu. **Climate and Agriculture; an ecological survey**. Chicago : Aldine. 1968. 30 p.
- CUNHA, G.R. **Evapotranspiração e função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa**. Porto Alegre, 1991. 198 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.

- DENMEAD, O.T., SHAW, R.H. Evapotranspiration in relation to the development of the corn crop. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, p. 725-726, 1959.
- DOSS, B.D., BENNET, O.L., ASHLEY, D.A. Evapotranspiration by irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 497-498, 1962.
- FRITSCHEN, L.J., SHAW, R.H. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, p. 149-150, 1961.
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York, American Society of Civi Engineers, 1973. 215 p
- LOMAS, J., SCHLESINGER, E., LEWIN, J. Effects of environmental and crop factors on the evapotranspiration rate and water-use efficiency of maize. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 13, p. 239-251, 1974.
- MATZENAUER, R. **Evapotranspiração do milho (*Zea mays* L.) e suas relações com fórmulas e parâmetros meteorológicos**. Porto Alegre, 1980, 128 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980.
- MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura: In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. Porto Alegre : Editora da Universidade/UFRGS, 1992, p. 33-47.
- MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A, et al. Evapotranspiração da cultura do milho. I: - Efeito de épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. v. 6, n. 1, p. 9-14, 1998.
- MATZENAUER, R., MALUF, J.R.T, BUENO,A.C.. Evapotranspiração da cultura do feijão e sua relação com a evaporação do tanque “Classe A”. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, 1998 (no prelo).
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. Estimativa do saldo de radiação sobre uma comunidade de milho (*Zea mays* L.) a partir da radiação global. In: COM-GRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEORO-LOGIA, 2., 1981, Pelotas, **Resumos ampliados**, Pelotas : Sociedade Brasileira de Agrome-teorologia /UFRGS, 1981, 289 p. p. 102-105.
- MATZENAUER, R., WESTPHALEN, S.L., BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho, radiação global e saldo de radiação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 7, p. 1051-1056, 1982.

- MATZENAUER, R., WESTPHALEN, S.L., BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 11, p. 1207-1214, 1983.
- OLIVEIRA, F.A., SANTANA E SILVA, J.J., CAMPOS, T.G.S. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 1407-1415, 1993.
- PELTON, W.L., KING, K.M., TANNER, C.B. An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 52, p. 387-395, 1960.
- PENMAN, H.L. Evaporation: and introductory survey. **Netherland Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 4, p. 9-29, 1956.
- RITCHIE, J.T., BURNETT, E. Dryland evaporative flux in a subumid climate: II. Plant influences. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 56-72, 1971.
- SANTOS, A.O. **Evapotranspiração máxima da alfafa na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1993, 106 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.
- TAN, C.S., FULTON, J.M. Ratio between evapotranspiration of irrigated crops from floating lysimeters and class A pan evaporation. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 60, p. 197-201, 1980.
- TANNER, C. B., PETERSON, A.E., LOVE, J.R. Radiant energy exchange in a corn field. **Agronomy Journal**, Madison, v. 52, p. 373-379, 1960.