

RELAÇÕES ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO, RADIAÇÃO GLOBAL E SALDO DE RADIAÇÃO¹

RONALDO MATZENAUER², SÉRGIO LUIS WESTPHALEN e
HOMERO BERGAMASCHI³

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 da evapotranspiração (ET) da cultura do milho (*Zea mays* L.), obtida através de lisímetros de drenagem durante quatro anos (1976 a 1980), com a radiação global (Rs) e com o saldo de radiação (Rn), nos diferentes subperíodos e no ciclo de desenvolvimento do híbrido Pioneer X-307. Ambas as relações apresentaram a mesma tendência. Foram menores durante o início do ciclo de desenvolvimento da cultura, aumentando progressivamente à medida que as plantas se desenvolviam, atingindo valores máximos durante o subperíodo pendoamento-espigamento. Durante este subperíodo, a relação ET/Rs variou de 0,62 a 0,79 durante os quatro anos (com uma média de 0,70), enquanto que a relação ET/Rn variou de 0,83 a 1,07 (com uma média de 0,94). Após o florescimento, houve um decréscimo nos valores das relações até a maturação fisiológica da cultura. As relações ET/Rs e ET/Rn, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, tiveram valores médios de 0,51 e 0,69, respectivamente.

Termos para indexação: híbridos, pendoamento, espigamento, florescimento, maturação fisiológica.

RELATIONSHIPS BETWEEN EVAPOTRANSPIRATION OF CORN, SOLAR RADIATION AND NET RADIATION

ABSTRACT - The evapotranspiration (ET) of corn crop (*Zea mays* L.) (Pioneer X-307 hybrid) calculated during four years (1976-1980), was related with solar radiation (Rs) and net radiation (Rn) in the different stages and in the cycle of the crop. This trial was conducted in Taquari, Rio Grande do Sul, 29°48'15" south latitude and 76 m of altitude. Both relations presented the same tendency. They were lower during the early cycle of the crop, increasing progressively with the development of the plants, reaching maximum values during tasseling and silking period. During this period, the relation ET/Rs varied from 0.62 to 0.79 during the four years (with mean of 0.70) while the relation ET/Rn varied from 0.83 to 1.07 (with mean of 0.94). After flowering, there was a decrease in the values of the relations until physiological maturation of crop. The relations ET/Rs and ET/Rn during the cycle of development of the crop, obtained mean values of 0.51 and 0.69, respectively.

Index terms: híbridos, tasseling, silking period, flowering, physiological maturation.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das necessidades hídricas durante o ciclo de desenvolvimento de uma cultura, bem como às exigências nos diferentes subperíodos, é de grande importância no caso da necessidade de suplementação de água por irrigação ou no planejamento de sistemas de irrigação, bem como em ajustamentos de épocas de semeadura, em função do

regime hídrico de cada região, determinando maior eficiência no aproveitamento das precipitações.

Uma forma de obter a evapotranspiração de culturas, é correlacioná-la com parâmetros meteorológicos, com o objetivo de estimar o consumo de água de uma determinada cultura em uma dada região. A evapotranspiração depende do poder evaporante do ar que é determinado pela radiação, vento, umidade e temperatura, sendo a radiação o fator principal. A principal fonte de energia calorífica que produz evaporação é a radiação solar (Chang 1968, Jensen 1973). Segundo Chang (1968), a evapotranspiração é determinada principalmente pelo saldo de radiação.

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 de advecção, ou dias quentes e nublados com pouca ra-

¹ Aceito para publicação em 19 de março de 1982. Parte da dissertação do primeiro autor como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia (Fitotecnia).

² Eng.^o Agr.^o, M.Sc., Inst. de Pesq. Agron. (IPAGRO), Rua Gonçalves Dias, 570, CEP 90000 - Porto Alegre, RS.

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

dição. Em dias com severo efeito advectivo, a evapotranspiração pode exceder o saldo de radiação em cerca de 30%.

Segundo Lemon (1956), em regiões bem irrigadas, onde não existe deficiência de água, mais de 80% do saldo de radiação é utilizado na evapotranspiração.

O saldo de radiação é fortemente correlacionado com a radiação global. Shaw (1956) relata um coeficiente de correlação entre valores medidos em superfície gramada de 0,98 em dias claros e de 0,97 em dias nublados. No entanto, a relação pode variar com diferentes culturas.

Graham & King (1961) relacionaram a evapotranspiração (ET) medida através de lisímetros, com o saldo de radiação (Rn) em diferentes estádios de desenvolvimento de uma cultura de milho. Eles encontraram uma relação ET/Rn de 0,84 quando a cultura estava no pendoamento completo. Valores baixos da relação estiveram associados com dias nublados e com alta umidade relativa do ar. Valores mais altos que a unidade foram obtidos em alguns dias onde as parcelas de milho foram irrigadas e a área circundante estava seca. De acordo com os mesmos autores, se a umidade do solo não é limitante, as medições do saldo de radiação poderão ser um método adequado para a estimativa da evapotranspiração de uma cultura de milho.

Namken et al. (1968) relacionaram a evapotranspiração de uma cultura de algodão com a radiação global (Rs) em diferentes períodos de desenvolvimento, em dois tipos de solo e com três regimes de umidade do solo: úmido, moderado e seco. Eles encontraram valores máximos da relação ET/Rs que variaram de 0,42 a 0,80 (amplitude de variação para os dois tipos de solo e os três regimes de umidade do solo). No início do desenvolvimento, a relação foi baixa. Quando o solo estava úmido e a cultura estava em pleno desenvolvimento, a relação ET/Rs foi de aproximadamente 0,80, ou seja, 80% da radiação solar era utilizada no processo de evapotranspiração. Os mesmos autores citam que se pode estimar com moderada segurança a evapotranspiração usando-se dados de radiação global, quando a umidade do solo não é limitante. Este trabalho teve como objetivo relacionar a evapotranspiração da cultura do milho, com a radiação

global e o saldo de radiação, nos diferentes subperíodos e no ciclo de desenvolvimento do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi 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 está localizada na região climática da depressão central, a 76 m de altitude, 29°48'15" de latitude sul e a 51°49'30" de longitude. O clima da região, segundo classificação climática de Köppen, é subtropical úmido de verão quente do tipo fundamental Cfa, que predomina em quase todo o território do Rio Grande do Sul e na maior parte da região Sul do Brasil.

A evapotranspiração foi determinada através de lisímetros de drenagem, em diferentes subperíodos e no ciclo de desenvolvimento do híbrido de milho Pioneer X-307 com uma tensão de umidade de água no solo igual ou menor que 0,5 bar, plantado na segunda quinzena de outubro (Matzenauer 1980).

Os dados de radiação solar global (Rs) foram medidos em um actinógrafo de rotação diária, do tipo Robitzsch, marca Fuess, instalado em uma estação meteorológica localizada próxima do experimento. O saldo de radiação (Rn) foi medido, em base horária, uma vez por semana sobre a cultura, com um saldo-radiômetro Philipp-Schenk, com variação espectral de 0,3 a 50 microns, adaptado a um potenciômetro Philipp-Schenk. O cômputo da radiação foi feito em $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. O saldo de radiação, nos dias em que não foi realizada a sua medição, foi estimado por uma equação de regressão linear determinada a partir da radiação global (Matzenauer et al. 1981), sendo $Rn = -3,85 + 0,751 Rs$. Foi feita a relação entre a evapotranspiração calculada por subperíodo com os dados de radiação global e saldo de radiação, computados por subperíodo, transformados em milímetros de água evaporada. Para a transformação de calorías para milímetros, usou-se um valor para o calor latente de evaporação (L) de 590 cal/g de água evaporada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os dados de evapotranspiração (ET) em milímetros, radiação global (Rs) transformada em milímetros de água evaporada e a relação ET/Rs (K_1) nos diversos subperíodos e no ciclo da cultura, para os quatro anos e a média. Na Fig. 1 estão representados os dados da relação para os quatro anos e a curva média dos mesmos.

TABELA 1. Evapotranspiração (ET) e radiação solar global (Rs), em milímetros, e a relação ET/Rs (K1) nos diferentes subperíodos e no ciclo do híbrido de milho Pioneer X-307 para 1977/77, 1977/78, 1978/79, 1979/80 e a média. E.E. Taquari.

Subperíodo ¹	1976/77			1977/78			1978/79			1979/80			Média		
	ET	Rs	K1	ET	Rs	K1	ET	Rs	K1	ET	Rs	K1	ET	Rs	K1
S - E	11,5	58,7	0,20	12,7	50,0	0,25	12,7	45,7	0,28	16,8	60,3	0,28	13,4	53,7	0,25
E - 30d	70,3	261,6	0,27	102,4	258,3	0,40	82,0	252,6	0,32	92,3	246,9	0,37	86,8	254,9	0,34
30d - P	153,5	253,8	0,60	183,1	249,8	0,73	173,8	341,2	0,51	150,8	293,8	0,51	165,3	284,7	0,58
P - Es	35,4	46,4	0,76	42,2	53,1	0,79	50,4	77,0	0,65	33,7	54,7	0,62	40,4	57,8	0,70
Es - ML	98,3	146,5	0,67	171,0	231,3	0,74	158,2	227,0	0,70	116,6	200,0	0,58	136,0	201,2	0,68
ML - MF	157,1	304,4	0,52	122,7	239,7	0,51	132,1	206,6	0,64	111,9	296,7	0,38	131,0	261,9	0,50
S - MF	526,1	1071,0	0,49	634,1	1082,2	0,59	609,2	1150,1	0,53	522,1	1152,4	0,45	572,9	1114,2	0,51

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

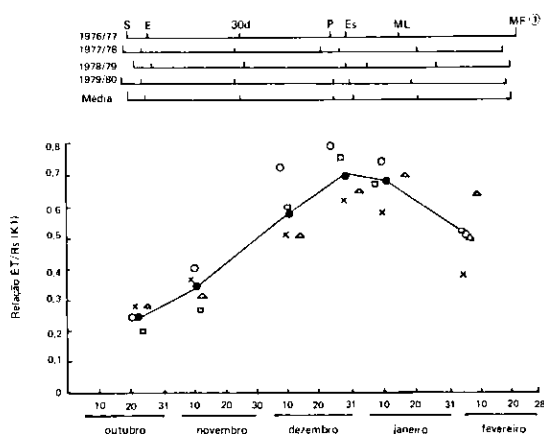


FIG. 1. Relação ET/Rs (K1) nos diferentes subperíodos do híbrido de milho Pioneer X-307, e a fenologia para 1976/77 (□), 1977/78 (○), 1978/79 (Δ), 1979/80 (x) e a média (●—●). E.E. Taquari.

A relação ET/Rs teve uma média de 0,25 no subperíodo semeadura-emergência, indicando que, durante este subperíodo, quando o solo está descoberto e quando a evapotranspiração é composta apenas pela evaporação do solo, a quantidade de energia utilizada no processo de evaporação é baixa. Com o desenvolvimento das plantas, a relação ET/Rs aumentou, devido à maior taxa de evapotranspiração, durante os subperíodos emergência - 30 dias após a emergência (média de 0,34) e 30 dias após a emergência - 50% do pendoamento (média de 0,58). Foi durante o subperíodo pendoamento-espigamento que a relação atingiu valores máximos, com uma média de 0,70. Namken et al. (1968) determinaram uma relação ET/Rs igual a 0,80 para uma cultura de algodão em pleno desenvolvimento e com o solo úmido.

Durante o subperíodo espigamento-maturação leitosa, a relação ainda se manteve alta, diminuindo pouco em relação ao subperíodo anterior, com uma média de 0,68, decrescendo no subperíodo maturação leitosa-maturação fisiológica, com um valor de 0,50 na média dos quatro anos.

Estes resultados mostram que a quantidade de energia utilizada na evapotranspiração é baixa no início do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, em função do baixo consumo, aumentan-

do progressivamente até o florescimento, quando, na média dos quatro anos, 70% da radiação global foi usada na evapotranspiração. Após o subperíodo pendoamento-espigamento, a relação decresceu até a maturação, em decorrência da diminuição da evapotranspiração.

A relação ET/Rs no ciclo da cultura variou de 0,45 a 0,59, com uma média de 0,51, ou seja, na média dos quatro anos, 51% da radiação solar global foi utilizada no processo de evapotranspiração da sementeira à maturação fisiológica da cultura do milho, concordando com as citações de Tanner et al. (1960), segundo os quais, a quantidade de água evaporada pelo solo e transpirada pela planta de milho é determinada, principalmente, pela energia disponível e pela quantidade de água no solo, pois, em regiões úmidas, a radiação compreende a maior parte do calor suprido para a cultura, já que o efeito de advecção tem maior influência em climas áridos.

Os dados de evapotranspiração (ET) em milímetros, saldo de radiação (Rn) em milímetros de evaporação e a relação ET/Rn (K_2) por subperíodo e no ciclo da cultura para os quatro anos, e a média estão na Tabela 2. Na Fig. 2, estão representados os valores da relação ET/Rn durante os quatro anos e a curva média, nos diferentes subperíodos da cultura. A relação ET/Rn apresentou o mesmo comportamento observado para a relação ET/Rs. Isto era esperado, pois foi constatada uma associação positiva muito significativa ($r = 0,98$) entre o saldo de radiação medido sobre uma comunidade de milho e a radiação solar global (Matzenauer et al. (1981).

A relação ET/Rn teve uma média de 0,34 no subperíodo sementeira-emergência e aumentou progressivamente, atingindo o máximo de 0,94 no subperíodo pendoamento-espigamento, declinando, após, até o subperíodo maturação leitosa-maturação fisiológica, com uma média de 0,67 nos quatro anos. Graham & King (1961) encontraram uma relação ET/Rn igual a 0,84 para uma cultura de milho no pendoamento. Observa-se que, no subperíodo pendoamento-espigamento, a relação ET/Rn, nos anos de 1976/77 e 1977/78, foi maior que a unidade (1,03 e 1,07, respectivamente) indicando que a quantidade de água evapotranspirada foi maior que a quantidade do saldo de ra-

TABELA 2. Evapotranspiração (ET) e saldo de radiação (Rn), em milímetros, e a relação ET/Rn (K_2) 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	Rn	K_2	ET	Rn	K_2	ET	Rn	K_2	ET	Rn	K_2	ET	Rn	K_2
S - E	11,5	43,6	0,26	12,7	37,2	0,34	12,7	34,0	0,37	16,8	44,9	0,37	13,4	39,9	0,34
E - 30d	70,3	194,3	0,36	102,4	192,2	0,53	82,0	187,7	0,44	92,3	183,3	0,50	86,8	189,4	0,46
30d - P	153,5	188,8	0,81	183,1	185,8	0,99	173,8	254,2	0,68	150,8	218,5	0,69	165,3	211,8	0,78
P - Es	35,4	34,5	1,03	42,2	39,5	1,07	50,4	57,3	0,88	33,7	40,7	0,83	40,4	43,0	0,94
Es - ML	98,3	108,9	0,90	171,0	172,0	0,99	158,2	169,1	0,94	116,6	148,8	0,78	136,0	149,7	0,91
ML - MF	157,1	226,2	0,69	122,7	178,3	0,69	132,1	153,5	0,86	111,9	220,0	0,51	131,0	194,7	0,67
S - MF	526,1	796,3	0,66	634,1	805,0	0,79	609,2	855,8	0,71	522,1	857,0	0,61	572,9	828,5	0,69

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

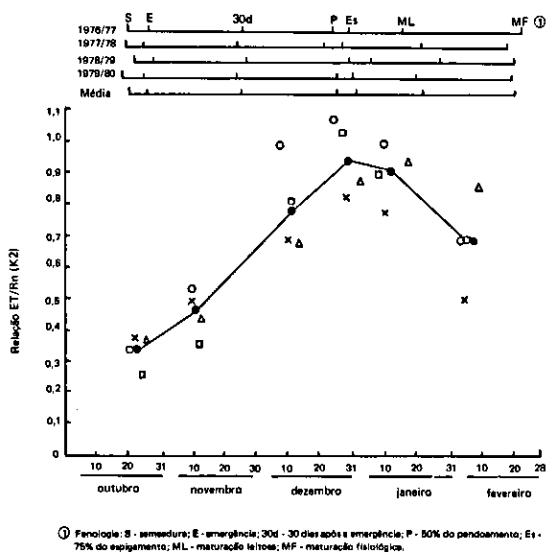


FIG. 2. Relação ET/Rn (K2) nos diferentes subperíodos do híbrido de milho Pioneer X-307, e a fenologia para 1976/77 (□), 1977/78 (○), 1978/79 (Δ), 1979/80 (x) e a média (●—●). E.E. Taquari.

dição disponível sobre a comunidade de plantas. Isto pode ser atribuído ao fato de que a energia para a evapotranspiração pode ser fornecida tanto pela radiação solar do próprio local como pela energia advectiva, sendo que, em regiões úmidas, a radiação compreende a maior parte do calor suprido para a cultura do milho (Tanner et al. 1960). Constata-se, então, que, durante este subperíodo, quando a comunidade de plantas já havia atingido o máximo IAF (Fig. 3), durante os anos de 1976/77 e 1977/78, parte da energia gasta na evapotranspiração poderia ter sido fornecida pela energia advectiva, embora se considere que, no conjunto de dados, este efeito tenha tido pouca influência, pois, nos demais subperíodos e anos, a evapotranspiração nunca foi maior do que o saldo de radiação disponível. Outra hipótese seria uma possível subestimativa do saldo de radiação, pelo menos em alguns dias, pois este foi obtido por estimativa a partir da radiação global medida por um actinógrafo Robitzch que, por sua vez, poderia estar subestimando a radiação global.

Os dados médios dos quatro anos indicam que, durante o subperíodo pendocamento-espigamento,

a maior parte da radiação disponível foi usada na evapotranspiração (94%). Estes dados estão de acordo com os encontrados por Tanner & Lemon (1962), os quais concluíram que, quando não há limitação de água no solo e uma cobertura vegetal substancial sombreia o solo, a maior parte do saldo de radiação é usado no processo de evapotranspiração. Tanner et al. (1960) também relatam que a máxima evapotranspiração possível é aproximadamente igual ao saldo de radiação, exceto para dias extremamente quentes e ventosos, devido ao efeito de advecção, ou em dias quentes e nublados com pouca radiação.

A relação ET/Rn da semeadura à maturação fisiológica foi de 0,69, variando de 0,61 a 0,79. Verifica-se que, durante os anos mais secos (1977/78 e 1978/79), a relação alcançou os maiores valores (0,79 e 0,71, respectivamente), indicando que, durante estes anos, maior quantidade de energia foi utilizada no processo de evapotranspiração. Isto ocorreu, possivelmente, devido à maior evapotranspiração observada durante estes dois anos em relação aos demais, já que o saldo de radiação não apresentou grande variação entre os anos.

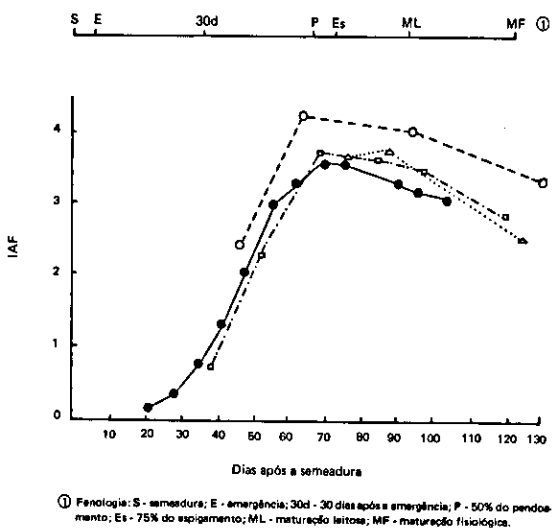


FIG. 3. Índice de área foliar (IAF) do híbrido de milho Pioneer X-307 em 1976/77 (Δ . . . Δ), 1977/78 (○—○), 1978/79 (□—□), 1979/80 (●—●) e a fenologia média dos quatro anos. E.E. Taquari.

CONCLUSÕES

1. As relações médias determinadas em cada subperíodo entre a evapotranspiração do híbrido, a radiação global (ET/R_s) e o saldo de radiação (ET/R_n), apresentaram a mesma tendência. Foram menores durante o subperíodo semeadura-emergência e aumentaram progressivamente, atingindo valores máximos durante o subperíodo pendramento-espigamento. Durante este subperíodo, observou-se para a relação ET/R_s uma variação de 0,62 a 0,79 (com uma média de 0,70) e para a relação ET/R_n uma variação de 0,83 a 1,07 (com uma média de 0,94). Depois, as relações diminuíram até a maturação fisiológica da cultura.

2. A relação ET/R_s (K₁) da semeadura à maturação fisiológica variou de 0,45 a 0,59 durante os quatro anos, com uma média de 0,51 e a relação ET/R_n variou de 0,61 a 0,79, com uma média de 0,69.

REFERÊNCIAS

- CHANG, J.H. *Climate and agriculture; an ecological survey*. Chicago, Aldine, 1968. 304p.
- GRAHAM, W.G. & KING, K.M. Fraction of net radiation utilized in evapotranspiration from a corn crop. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 25:158-60, 1961.
- JENSEN, M.E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York, American Society of Civil Engineers, 1973. 215p.
- LEMON, E.R. The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 20:120-5, 1956.
- 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. Não publicado.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L. & BERGMASCHI, H. Estimativa do saldo de radiação sobre uma comunidade de milho (*Zea mays L.*) a partir da radiação global. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., Pelotas. Anais: Resumos ampliados . . . Pelotas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1981. p.102-5.
- NAMKEN, L.N.; GERARD, C.J. & BROWN, R.G. Evapotranspiration of cotton and estimation methods. *Agron. J.*, Madison, 60:4-7, 1968.
- SHAW, R.H. A comparison at solar radiation and net radiation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, Boston, 37: 205-6, 1956.
- TANNER, C.B. & LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. *Agron. J.*, Madison, 54: 207-12, 1962.
- TANNER, C.B.; PETERSON, A.E. & LOVE, J.R. Radiant energy exchange in a corn field. *Agron. J.*, Madison, 52:373-9, 1960.