

ISSN 0104-1347

## Utilização da radiação solar global para a estimativa das deficiências hídricas da cultura do milho

Utilization of global solar radiation to estimate water deficit in maize crop

Ronaldo Matzenauer<sup>1</sup>

**Resumo** - A baixa disponibilidade hídrica é o principal fator responsável pelas quebras nas safras de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Estudos visando a determinação das deficiências hídricas para a cultura, são importantes para a redução do problema. O trabalho teve como objetivo, avaliar a utilização da radiação solar global na estimativa das deficiências hídricas para a cultura do milho, em quatro épocas de semeadura. Os valores obtidos foram comparados com as deficiências hídricas calculadas utilizando-se como referência o método de Penman para estimativa da evapotranspiração. As análises foram feitas para a localidade de Cruz Alta, RS, durante o período de 1975/76 a 1997/98, para as épocas de semeadura de setembro, outubro, novembro e dezembro. Os resultados mostraram que as melhores estimativas das deficiências hídricas utilizando-se a radiação solar global, foram observadas para as épocas de outubro e novembro, com um desvio em relação aos valores calculados pela fórmula de Penman de -0,3% e -2,0% respectivamente, no ciclo completo da cultura. Para as épocas de semeadura de setembro e dezembro, os desvios foram de -21,5% e 12,4%, respectivamente. Durante o subperíodo mais crítico da cultura, do início do pendramento até 30 dias após, as estimativas apresentaram desvios que variaram de -19,7% a 22,1%, com os menores desvios para as épocas de outubro (6,1%) e novembro (-4,3%).

**Palavras-chave:** deficiência hídrica, milho, radiação solar.

**Abstract** - Low water availability is the main factor responsible for breaks of the maize harvest in Rio Grande do Sul state, Brazil. Studies on water deficit in the field are important to minimize this problem. The purpose of this work is to evaluate the utilization of global solar radiation to estimate water deficit for the maize crop, in four different sowing dates, compared to water deficit values calculated using the method of Penman as reference to estimate evapotranspiration. The analyses were performed for the locality of Cruz Alta, Rio Grande do Sul state, Brazil, from 1975/76 to 1997/98, considering four sowing dates, in September, October, November and December. Results showed that the best estimates of water deficit using global solar radiation were observed in the sowings of October and November, with a deviation of -0.3% and -2.0% respectively, compared to the values calculated with the Penman formula, in the complete cultivation cycle. In the sowing dates of September and December, the deviation were -21.5% and 12.4% respectively. During the most critical subperiod of the maize crop, from the beginning of tasseling plus 30 days, the estimates presented deviation ranging from -19.7% to 22.1% with the smallest deviation observed for the sowings of October (6.1%) and November (-4.3%).

**Key words:** water deficit; maize; solar radiation.

### Introdução

A produção de milho no Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma grande variabilidade entre

anos e locais. O principal fator responsável por esta variabilidade é a baixa disponibilidade hídrica, que ocorre com frequência no Estado (MATZENAUER et al., 1999). Segundo ÁVILA (1996), a probabilidade da precipitação pluvial superar a evapotranspiração

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Dr. – Equipe de Agrometeorologia, FEPAGRO. Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq. E-mail: [agrome@fepagro.rs.gov.br](mailto:agrome@fepagro.rs.gov.br)

potencial nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em praticamente todo o Estado, é inferior a 60%. Isso determina a alta frequência de ocorrência de deficiências hídricas e conseqüentes quebras de safras das culturas produtoras de grãos de primavera-verão.

O estudo de métodos ou modelos de estimativa das deficiências hídricas das culturas assume um papel importante, considerando que ocorrem perdas significativas de rendimento das principais culturas agrícolas no Estado, principalmente milho e soja, que são historicamente as mais afetadas pela baixa quantidade e (ou) má distribuição das chuvas. Segundo dados da EMATER/RS, somente nos últimos dois anos agrícolas (1998/99 e 1999/2000) o Estado do Rio Grande do Sul perdeu cerca de 2,1 milhões de toneladas de milho e 3,1 milhões de toneladas de soja devido às estiagens, relacionadas ao fenômeno La Niña.

O método de PENMAN (1956) tem sido utilizado por vários pesquisadores para a estimativa da evapotranspiração de culturas (BERLATO, 1987; CUNHA, 1991; SANTOS, 1993; MATZENAUER et al. 1998), sendo considerado como método de referência. 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.

De acordo com JENSEN (1973), a radiação solar é a principal fonte de energia no processo da evaporação. Segundo CHANG (1968), a evapotranspiração é determinada principalmente pelo saldo de radiação, havendo uma alta correlação entre o saldo de radiação e a radiação global. BERLATO et al. (1986) relacionaram a evapotranspiração máxima da soja com a radiação solar global, encontrando um valor médio no ciclo completo da cultura de 0,73. Para a cultura do milho, MATZENAUER et al. (1998) encontraram valores que variaram de 0,45 a 0,51 em diferentes épocas de semeadura, para a mesma relação.

MATZENAUER et al. (1999) fizeram uma análise das deficiências hídricas para a cultura do milho em três localidades da região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Verificaram que, nas três localidades, é comum a ocorrência de deficiência hídrica para a cultura, com valores totais médios no ciclo variando de 82mm a 175mm. Os maiores valo-

res médios de deficiência hídrica foram verificados em Júlio de Castilhos e Cruz Alta, e os menores valores em Passo Fundo. Verificaram, também, que a deficiência hídrica diminui à medida que a época de semeadura é atrasada e que o período de maior deficiência ocorre do início do pendoamento a 30 dias após, para as três localidades.

O objetivo deste trabalho, foi avaliar a utilização da radiação solar global na estimativa das deficiências hídricas para a cultura do milho, em quatro épocas de semeadura.

## Material e métodos

Foram utilizados arquivos de séries decendiais de precipitação pluvial (mm), radiação solar global ( $\text{cal.cm}^{-2}$ ), temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$  ou  $\text{km.dia}^{-1}$ ). Os dados meteorológicos foram obtidos no banco de dados da Equipe de Agrometeorologia da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO/SCT.

Os dados de radiação solar foram obtidos a partir da cotação dos gráficos do actinógrafo pelo método da curva integral de Simpson. A umidade relativa média diária (%) foi obtida pela equação:

$$UR = (ur9 + ur15 + ur21) / 3 \quad (1)$$

sendo ur9, ur15 e ur21, a umidade relativa do ar às 9, 15 e 21 horas, respectivamente.

Para o cálculo da temperatura média do ar foi utilizado o método das temperaturas máximas ( $T_{\text{máx}}$ ) e mínimas ( $T_{\text{mín}}$ ), onde a temperatura média diária ( $T_{\text{média}}$ ) é dada por:

$$T_{\text{média}} = (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) / 2 \quad (2)$$

A velocidade do vento foi calculada a partir das leituras realizadas às 9, 15 e 21 horas no catavento tipo Wild ou registrada no anemômetro totalizador. Os dados de precipitação foram obtidos por meio da cotação de gráficos de pluviógrafos.

Foram calculados balanços hídricos decendiais, pelo método de THORNTONWAITE E MATHER (1955), para o período de 1975 a 1997, para a localidade de Cruz Alta ( $28^{\circ} 38'41''$  S,  $53^{\circ} 36'42''$  de W e 473m de altitude), localizada na região climática do Planalto, Estado do Rio Grande do Sul.

Utiliza-se o termo evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_m$ ), que é definida como a perda de água por uma cultura qualquer, em condições ótimas de densidade de plantas e fertilidade do solo, sem limitação de água no solo e em qualquer estágio de

desenvolvimento (PERRIER, 1985). Utiliza-se, também, como sinônimo, a expressão consumo de água.

O balanço hídrico e as deficiências hídricas foram calculados utilizando-se dois métodos de estimativa da evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>m</sub>). No primeiro método utilizou-se o coeficiente de cultura K<sub>c</sub>, que por definição relaciona a evapotranspiração máxima da cultura com a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman (MATZENAUER et al., 1998). No segundo método empregou-se a relação entre a evapotranspiração máxima e a radiação solar global, denominada neste trabalho de coeficiente K<sub>c1</sub> (MATZENAUER et al., 1998). Os coeficientes utilizados foram:

$$K_c = ET_m/ET_o \quad (3)$$

sendo, ET<sub>o</sub> a evapotranspiração de referência calculada pelo método de PENMAN (1956), dada pela equação:

$$ET_o = [(s / \gamma) R_n + E_a] [(s / \gamma) + 1]^{-1} \quad (4)$$

sendo *s* a tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água versus temperatura do ar (mb.°C<sup>-1</sup>),  $\gamma$  a constante psicrométrica (mb.°C<sup>-1</sup>), R<sub>n</sub> o saldo de radiação expresso em unidades de evaporação equivalente (mm) e, E<sub>a</sub> o termo aerodinâmico (mm), expresso pela função:

$$E_a = 0,35 (e_s - e_a) (0,5 + 0,01U_2) \quad (5)$$

sendo *e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>* o déficit de saturação de vapor d'água do ar (mm Hg) e U<sub>2</sub> a velocidade do vento a 2m de altura (milhas.dia<sup>-1</sup>).

$$e, \quad K_{c1} = ET_m/R_s \quad (6)$$

onde R<sub>s</sub> é a radiação solar global transformada em milímetros de evaporação.

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

As determinações de deficiência hídrica foram calculadas para as épocas de semeadura iniciadas no dia primeiro dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, para os seguintes subperíodos de desenvolvimento da cultura: da emergência a 30 dias após (Em - 30Em); 30Em ao início do pendoamento (30Em - IP); IP a 30 dias após (IP - 30IP); 30IP à maturação fisiológica (30IP - MF) e no ciclo completo (Em - MF).

Utilizando-se como padrão as deficiências hídricas calculadas através do modelo de Penman, comparou-se os valores das deficiências hídricas estimadas pelo modelo de radiação solar, buscando-se verificar a possibilidade de utilizar-se somente a radiação solar para a estimativa das deficiências hídricas da cultura do milho, uma vez que o modelo de Penman requer dados meteorológicos muitas vezes não disponíveis em estações meteorológicas convencionais.

## Resultados e discussão

Na Tabela 1, são apresentados os valores das deficiências hídricas calculadas através do balanço hídrico utilizando-se o método de Penman para o cálculo da evapotranspiração máxima da cultura do milho, e através do método de radiação solar global (R<sub>s</sub>), para quatro épocas de semeadura, em diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura, bem como os desvios da estimativa com R<sub>s</sub>, em relação aos valores calculados pelo método de Penman. As deficiências hídricas calculadas pelo método de Penman, na média do período, variaram de 91,7mm a 153,2mm no ciclo completo da cultura, enquanto que para o método da radiação solar, os valores de deficiência hídrica variaram de 103,1mm a 150,3mm, havendo uma subestimativa do método de R<sub>s</sub> em relação ao de Penman para a época de semeadura de setembro, e uma superestimativa para a época de dezembro. Estas diferenças significam um desvio de -21,5% para a época de semeadura de setembro a 12,4% para a época de dezembro. Podem estar relacionadas ao fato de que durante o período que abrange a semeadura de setembro, ocorre uma menor intensidade de radiação solar na região em estudo, enquanto que durante o período que abrange a época de dezembro são observados os maiores valores de radiação solar (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRO-NÔMICAS, 1989). Como a radiação solar é a principal fonte de energia no processo de evapotranspiração (JENSEN, 1973), a maior quantidade de radiação disponível durante o período da semeadura de dezembro, poderia provocar uma superestimativa dos valores de evapotranspiração e, conseqüentemente, dos valores de deficiência hídrica. Para as épocas de semeadura de outubro e novembro, as estimativas através do método de radiação solar foram muito boas, com um desvio em relação ao método de Penman de -0,3% e -2,0%, respectivamente, indicando um bom ajuste do modelo de R<sub>s</sub> para as épocas de semeadura referidas.

Durante o subperíodo mais crítico da cultura em relação ao déficit hídrico, que vai do início do pendoamento até 30 dias após, as estimativas médias das deficiências hídricas apresentaram desvios de -

**Tabela 1.** Deficiência hídrica determinada com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman (D Penman) e com a evapotranspiração calculada pela radiação solar (D Rs). Valores totais em mm, em diferentes subperíodos\* e no ciclo do milho, para quatro épocas de semeadura e desvios (%) da estimativa com Rs em relação à estimativa com Penman. Cruz Alta, RS, período 1975/76-1997/98.

Ano	Época	D Penman					D Rs					Desvio da estimativa com Rs(%)				
		Em-30Em	30Em-IP	IP-30IP	30IP-MF	Em-MF	Em-30Em	30Em-IP	IP-30IP	30IP-MF	Em-MF	Em-30Em	30Em-IP	IP-30IP	30IP-MF	Em-MF
75/76	01/Set	1	22	45	0	68	1	22	44	0	67	0,0	0,0	-2,2	0,0	-1,5
	01/Out	8	7	32	1	47	9	13	44	1	67	12,5	85,7	37,5	0,0	42,6
	01/Nov	0	24	3	6	33	0	27	3	9	39	0,0	12,5	0,0	50,0	18,2
	01/Dez	4	3	14	7	28	9	4	25	9	47	125,0	33,3	78,6	28,6	67,9
76/77	01/Set	2	25	28	1	56	2	22	23	1	48	0,0	-12,0	-17,9	0,0	-14,3
	01/Out	0	19	15	8	42	0	23	27	23	72	0,0	21,1	80,0	187,5	71,4
	01/Nov	6	5	7	20	38	9	9	9	25	51	50,0	80,0	28,6	25,0	34,2
	01/Dez	0	5	35	17	57	0	7	50	22	79	0,0	40,0	42,9	29,4	38,6
77/78	01/Set	10	23	58	72	163	6	20	43	58	127	-40,0	-13,0	-25,9	-19,4	-22,1
	01/Out	2	29	122	53	206	2	29	120	58	209	0,0	0,0	-1,6	9,4	1,5
	01/Nov	3	82	96	41	222	4	72	86	36	199	33,3	-12,2	-10,4	-12,2	-10,4
	01/Dez	35	68	70	99	272	38	69	69	95	270	8,6	1,5	-1,4	-4,0	-0,7
78/79	01/Set	6	53	88	139	286	3	42	86	122	253	-50,0	-20,8	-2,3	-12,2	-11,5
	01/Out	9	33	166	68	276	7	45	181	67	299	-22,2	36,4	9,0	-1,5	8,3
	01/Nov	2	81	166	0	247	3	99	152	0	254	50,0	22,2	-8,4	0,0	2,8
	01/Dez	27	127	0	23	177	41	126	0	29	195	51,9	-0,8	0,0	26,1	10,2
79/80	01/Set	0	26	24	62	112	0	23	21	57	100	0,0	-11,5	-12,5	-8,1	-10,7
	01/Out	3	10	95	92	200	2	11	116	103	231	-33,3	10,0	22,1	12,0	15,5
	01/Nov	2	38	127	63	230	4	39	130	66	239	100,0	2,6	2,4	4,8	3,9
	01/Dez	9	92	79	13	193	16	105	92	17	230	77,8	14,1	16,5	30,8	19,2
80/81	01/Set	0	0	15	2	17	0	0	15	2	18	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
	01/Out	0	11	7	0	18	0	16	15	0	31	0,0	45,5	114,3	0,0	72,2
	01/Nov	2	4	4	1	10	3	7	9	2	21	50,0	75,0	125,0	100,0	110,0
	01/Dez	1	1	4	33	39	2	2	6	44	53	100,0	100,0	50,0	33,3	35,9
81/82	01/Set	0	27	39	117	183	0	18	37	108	163	0,0	-33,3	-5,1	-7,7	-10,9
	01/Out	9	6	119	51	185	7	10	144	55	215	-22,2	66,7	21,0	7,8	16,2
	01/Nov	0	33	123	14	170	0	47	128	19	194	0,0	42,4	4,1	35,7	14,1
	01/Dez	9	86	31	50	176	18	99	41	60	219	100,0	15,1	32,3	20,0	24,4
83/84	01/Set	0	29	124	0	153	0	27	110	0	137	0,0	-6,9	-11,3	0,0	-10,5
	01/Out	0	81	49	6	136	0	82	54	7	143	0,0	1,2	10,2	16,7	5,1
	01/Nov	32	49	0	12	93	38	52	0	12	101	18,8	6,1	0,0	0,0	8,6
	01/Dez	12	0	26	18	56	19	0	36	13	68	58,3	0,0	38,5	-27,8	21,4
84/85	01/Set	0	33	120	136	289	0	24	88	103	216	0,0	-27,3	-26,7	-24,3	-25,3
	01/Out	0	87	161	58	306	0	76	142	55	272	0,0	-12,6	-11,8	-5,2	-11,1
	01/Nov	16	119	116	2	253	19	101	99	2	222	18,8	-15,1	-14,7	0,0	-12,3
	01/Dez	47	85	6	4	142	47	74	6	3	130	0,0	-12,9	0,0	-25,0	-8,5
85/86	01/Set	6	194	191	91	482	5	136	151	43	335	-16,7	-29,9	-20,9	-52,7	-30,5
	01/Out	28	222	115	19	384	17	170	121	20	328	-39,3	-23,4	5,2	5,3	-14,6
	01/Nov	97	146	15	22	280	86	138	10	22	256	-11,3	-5,5	-33,3	0,0	-8,6
	01/Dez	87	8	22	7	124	93	6	28	7	133	6,9	-25,0	27,3	0,0	7,3
86/87	01/Set	0	17	96	19	132	0	9	78	8	95	0,0	-47,1	-18,8	-57,9	-28,0
	01/Out	0	40	62	17	119	0	34	65	16	115	0,0	-15,0	4,8	-5,9	-3,4
	01/Nov	15	48	23	1	87	15	46	20	2	83	0,0	-4,2	-13,0	100,0	-4,6
	01/Dez	14	18	9	23	64	18	18	12	24	72	28,6	0,0	33,3	4,3	12,5
87/88	01/Set	6	17	107	49	179	5	14	91	38	149	-16,7	-17,6	-15,0	-22,4	-16,8
	01/Out	0	78	92	27	197	0	77	92	29	198	0,0	-1,3	0,0	7,4	0,5
	01/Nov	18	105	18	48	189	23	99	15	45	182	27,8	-5,7	-16,7	-6,3	-3,7
	01/Dez	44	18	72	41	175	50	18	73	37	179	13,6	0,0	1,4	-9,8	2,3
88/89	01/Set	0	29	99	21	149	0	23	75	15	113	0,0	-20,7	-24,2	-28,6	-24,2
	01/Out	11	68	57	10	146	9	61	60	11	141	-18,2	-10,3	5,3	10,0	-3,4
	01/Nov	18	61	16	11	106	20	57	13	10	100	11,1	-6,6	-18,8	-9,1	-5,7
	01/Dez	12	16	18	0	46	16	16	21	0	53	33,3	0,0	16,7	0,0	15,2

Continua.

Continuação da Tabela 1.

Ano	Época	D Penman					D Rs					Desvio da estimativa com Rs(%)				
		Em- 30Em	30Em -IP	IP- 30IP	30IP- MF	Em- MF	Em- 30Em	30Em -IP	IP- 30IP	30IP- MF	Em- MF	Em- 30Em	30Em -IP	IP- 30IP	30IP- MF	Em- MF
89/90	01/Set	0	53	93	11	157	0	33	72	9	114	0,0	-37,7	-22,6	-18,2	-27,4
	01/Out	6	81	15	10	112	4	69	18	14	104	-33,3	-14,8	20,0	40,0	-7,1
	01/Nov	8	32	4	16	60	11	31	4	16	63	37,5	-3,1	0,0	0,0	5,0
	01/Dez	11	4	20	0	35	12	6	27	0	45	9,1	50,0	35,0	0,0	28,6
92/93	01/Set	0	5	48	0	53	0	3	35	0	39	0,0	-40,0	-27,1	0,0	-26,4
	01/Out	0	20	27	7	54	0	17	28	12	57	0,0	-15,0	3,7	71,4	5,6
	01/Nov	6	22	3	24	55	6	19	4	24	52	0,0	-13,6	33,3	0,0	-5,5
	01/Dez	8	2	33	2	45	9	3	37	2	50	12,5	50,0	12,1	0,0	11,1
93/94	01/Set	0	10	20	55	85	0	6	13	39	57	0,0	-40,0	-35,0	-29,1	-32,9
	01/Out	2	3	95	0	100	1	2	88	0	91	-50,0	-33,3	-7,4	0,0	-9,0
	01/Nov	1	52	37	0	90	1	44	33	0	77	0,0	-15,4	-10,8	0,0	-14,4
	01/Dez	25	22	0	0	48	26	21	0	0	47	4,0	-4,5	0,0	0,0	-2,1
94/95	01/Set	1	13	69	15	97	1	16	46	14	76	0,0	23,1	-33,3	-6,7	-21,6
	01/Out	0	67	13	62	142	0	50	18	73	142	0,0	-25,4	38,5	17,7	0,0
	01/Nov	25	14	68	14	121	23	10	72	14	120	-8,0	-28,6	5,9	0,0	-0,8
	01/Dez	0	31	12	25	68	0	41	24	27	92	0,0	32,3	100,0	8,0	35,3
95/96	01/Set	0	120	155	29	304	0	90	111	20	221	0,0	-25,0	-28,4	-31,0	-27,3
	01/Out	14	173	61	1	249	10	143	50	2	204	-28,6	-17,3	-18,0	100,0	-18,1
	01/Nov	51	95	0	2	149	53	74	0	3	130	3,9	-22,1	0,0	50,0	-12,8
	01/Dez	39	0	3	4	47	36	0	7	6	48	-7,7	0,0	133,3	50,0	2,1
96/97	01/Set	1	44	3	16	64	1	29	3	15	47	0,0	-34,1	0,0	-6,3	-26,6
	01/Out	1	23	31	0	55	1	15	29	0	45	0,0	-34,8	-6,5	0,0	-18,2
	01/Nov	7	20	1	1	29	7	17	1	1	26	0,0	-15,0	0,0	0,0	-10,3
	01/Dez	7	1	3	8	18	7	1	4	14	26	0,0	0,0	33,3	75,0	44,4
97/98	01/Set	1	0	30	4	35	1	0	23	4	28	0,0	0,0	-23,3	0,0	-20,0
	01/Out	0	26	10	4	40	0	24	14	5	42	0,0	-7,7	40,0	25,0	5,0
	01/Nov	4	10	10	8	32	4	9	13	9	35	0,0	-10,0	30,0	12,5	9,4
	01/Dez	2	5	13	3	23	2	6	15	3	26	0,0	20,0	15,4	0,0	13,0
Valores médios																
	01/Set	1,7	37,0	72,6	42,0	153,2	1,2	27,9	58,3	32,8	120,2	-29,4	-24,6	-19,7	-21,9	-21,5
	01/Out	4,7	54,2	67,2	24,7	150,7	3,5	48,4	71,3	27,6	150,3	-25,5	-10,7	6,1	11,7	-0,3
	01/Nov	15,7	52,0	41,9	15,3	124,7	16,5	49,9	40,1	15,9	122,2	5,1	-4,0	-4,3	3,9	-2,0
	01/Dez	19,7	29,6	23,5	18,9	91,7	23,0	31,1	28,7	20,6	103,1	16,8	5,1	22,1	9,0	12,4

\* Em – emergência; 30Em – 30 dias após Em; IP – início do pendoamento; 30IP – 30 dias após IP; MF – maturação fisiológica

19,7% a 22,1%, com os menores desvios para as épocas de outubro e novembro com 6,1% e -4,3%, respectivamente.

Verifica-se que, para o ciclo completo da cultura no período avaliado (1975/76 a 1997/98), a variação dos desvios foi de -32,9% para a época de setembro no ano 1993/94 a 110,0% para a época de novembro no ano 1980/81. De uma maneira geral, os maiores desvios estão relacionados com valores menores de deficiência hídrica, em que poucos milímetros representam uma percentagem muito alta de desvio. Das 80 estimativas realizadas no ciclo completo da cultura, em 70,0% dos casos os desvios ficaram abaixo de  $\pm 20\%$  (Tabela 2), o que é um indicativo de

que as deficiências hídricas estimadas através do método de radiação solar são promissoras para utilização em situações onde não se dispõe de dados completos para a utilização do método de Penman.

## Conclusões

Para o local e as condições em que foi desenvolvido o trabalho, pode-se concluir que:

1. O modelo de radiação solar subestima a deficiência hídrica média no ciclo completo do milho, para a época de semeadura de setembro, e superestima para a época de dezembro,

2. As melhores estimativas das deficiências hídricas pelo método de radiação solar são obtidas para as épocas de semeadura de outubro e novembro,
3. É viável a utilização do método de radiação solar para estimar as deficiências hídricas da cultura do milho, quando não se dispõe de dados meteorológicos completos para estimar por outro método.

#### Referências bibliográficas

- ÁVILA, A.M.H. de, BERLATO, M.A., SILVA, J.B. da et al. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 149-154. 1996.
- 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. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987. 93 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987.
- 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.
- 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 : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 198 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1991.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Seção de Ecologia Agrícola. Porto Alegre, 1989. (3 v).
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York : American Society of Civi Engineers, 215 p., 1973.

Tabela 2. Número e percentagem de ocorrências em diferentes faixas de variação dos desvios das estimativas de deficiências hídricas, nos diferentes subperíodos de desenvolvimento do milho e no ciclo completo. Cruz Alta, RS, período 1975/76 a 1997/98.

Subperíodo	Faixa de variação do desvio (%)	Número de ocorrências	% de ocorrências
Em - 30 Em	Até $\pm 10,0$	46	57,5
	de $\pm 10,1$ a $\pm 20,0$	10	12,5
	de $\pm 20,1$ a $\pm 50,0$	17	21,3
	< - 50,1 e > 50,1	7	8,7
30Em - IP	Até $\pm 10,0$	26	32,5
	de $\pm 10,1$ a $\pm 20,0$	20	25,0
	de $\pm 20,1$ a $\pm 50,0$	29	36,2
	< - 50,1 e > 50,1	5	6,3
IP - 30IP	Até $\pm 10,0$	28	35,0
	de $\pm 10,1$ a $\pm 20,0$	19	23,8
	de $\pm 20,1$ a $\pm 50,0$	27	33,7
	< - 50,1 e > 50,1	6	7,5
30IP - MF	Até $\pm 10,0$	44	55,0
	de $\pm 10,1$ a $\pm 20,0$	9	11,3
	de $\pm 20,1$ a $\pm 50,0$	19	23,7
	< - 50,1 e > 50,1	8	10,0
Em - MF	Até $\pm 10,0$	30	37,5
	de $\pm 10,1$ a $\pm 20,0$	26	32,5
	de $\pm 20,1$ a $\pm 50,0$	20	25,0
	< - 50,1 e > 50,1	4	5,0

\* Em: emergência; 30Em: 30 dias após Em; IP: início do pendramento; 30IP: 30 dias após IP; MF: maturação fisiológica

MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. 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. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 15-21, 1998.

MATZENAUER, R., MALUF, J.R.T., BARNI, N.A., et al. Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura do milho na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. xx-xx, 2000.

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: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1981, Pelotas. **Resumos ampliados...**, Pelotas : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1981, p. 102-105.

PENMAN, H.L. Evaporation: and introductory survey. **Netherland Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 4, p. 9-29, 1956.

PERRIER, A. Updated evapotranspiration, and crop water requirement definitions for the ICID Multilingual Dictionary (May 1984). In: LES BESOINS DES

CULTURES (CROP REQUERIMENTS). Paris, 11-14 sept. 1984, Paris : INRA. p.885-887. 1985.

SANTOS, A.O. **Evapotranspiração máxima da alfafa na Depressão Central do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993, 106 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia),

Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1993.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. The water **budget and its use in irrigation.** **Yearbook of Agriculture**, Washington, 1955, p. 346-358.