

ISSN 0104-1347

Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura do milho na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

Agroclimatic analysis of water availability for crop maize in Planalto Médio of Rio Grande do Sul State, Brazil

Ronaldo Matzenauer¹, Jaime Ricardo Tavares Maluf², Nídio Antonio Barni³, Flávio Alves Machado⁴ e Fábio Simon da Rosa⁴

Resumo - A variabilidade interanual e interregional nos rendimentos da cultura do milho no Rio Grande do Sul, deve-se, em grande parte, à variabilidade da precipitação pluvial que ocorre principalmente, durante os meses de novembro a fevereiro. O objetivo do trabalho foi determinar as disponibilidades hídricas para a cultura do milho na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, em diferentes épocas de semeadura. Utilizou-se uma série histórica de cerca de 24 anos de dados meteorológicos das localidades de Passo Fundo, Cruz Alta e Júlio de Castilhos. As necessidades hídricas da cultura foram estimadas em diferentes subperíodos, utilizando-se coeficientes de cultura obtidos regionalmente a partir da relação entre a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) e a evapotranspiração de referência calculada pela equação de Penman (ET_o). Os valores médios de evapotranspiração total no ciclo da cultura variaram de 452mm na época de semeadura de dezembro para Cruz Alta a 648mm na época de semeadura de setembro, para Júlio de Castilhos. Os maiores valores médios de evapotranspiração foram verificados para a localidade de Júlio de Castilhos, seguindo-se Passo Fundo e com menores valores para Cruz Alta. Para as três localidades, o maior consumo de água foi observado na época de semeadura de setembro, vindo a seguir as épocas de outubro, novembro e, com menor consumo, a época de dezembro. Verificou-se que, nas três localidades, é comum a ocorrência de deficiência hídrica para a cultura do milho, com valores totais médios no ciclo variando de 82mm a 175mm. Os maiores valores médios de deficiência hídrica foram verificados em Júlio de Castilhos e Cruz Alta, e os menores valores para Passo Fundo. Verificou-se, 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.

Palavras-chave: milho, evapotranspiração, deficiência hídrica

Abstract - The great variability among years and areas that happens on crop maize yield in the Rio Grande do Sul State, Brazil, are largely due to the variability of the rainfall, mainly from November to February. With the aim of analyse the water availability for crop maize in the climatic area of Planalto Médio – Rio Grande do Sul, Brazil, at different sowing dates, this work was performed being used a historical series of about 24 years of meteorological data. The water needs of the crop was evaluated at different subperiods, using crop coefficients locally obtained from relation between the crop evapotranspiration (ET_m) and the reference evapotranspiration (ET_o), calculated by Penman's formula. The medium values of total evapotranspiration in the complete crop cycle varied from 452mm, at time of sowing date of December for Cruz Alta to 648mm, at time of sowing date of October, for Julio de Castilhos. The largest medium values of evapotranspiration were verified to Julio de Castilhos, and after for Passo Fundo and Cruz Alta. To the three places the greater consumption of water was observed for the sowing date of september, being folowed the time of october, november and with smaller consumption the time of December. It was verified that in this locals, it is common water deficiency for the crop maize, with medium total values in the cycle varying from 82mm to 175mm. The largest medium values of water deficiency was verified in Julio de Castilhos and Passo Fundo, with lower values for Cruz Alta. It was verified, also, that the water deficiency decreased as the sowing time was delayed and the period of larger deficiency happened from the flowering beginning to thirty days after, to the three places.

Key words: maize, evapotranspiration, water deficiency

¹ Eng^o Agr^o, Dr., pesquisador da Equipe de Agrometeorologia da FEPAGRO/SCT. Rua Gonçalves Dias, 570, 90130-060. Porto Alegre - RS. Bolsista do CNPq. E-mail - agrome@fepagro.rs.gov.br

² Eng^o Agr^o, M.Sc., pesquisador do CNPT/ EMBRAPA. 99001-970, Passo Fundo - RS.

³ Eng^o Agr^o, Dr., pesquisador da Equipe de Agrometeorologia da FEPAGRO/SCT.

⁴ Estagiário da Equipe de Agrometeorologia da FEPAGRO/SCT.

Introdução

O Rio Grande do Sul tem uma posição destacada na produção agrícola Nacional. É o segundo maior produtor de milho, com uma produção de 4,45 milhões de toneladas na safra 1997/98. Apesar da importância econômica e social, a cultura do milho apresenta índices de produtividade ainda baixos, se comparados aos obtidos em outros países ou mesmo em outros Estados do Brasil, como por exemplo o Paraná. Outra característica da produção agrícola gaúcha, é a grande variabilidade espacial e temporal dos rendimentos, sendo apontada como a principal causa, a variação e a baixa disponibilidade hídrica para esta cultura. Segundo ÁVILA (1996), a probabilidade de a precipitação pluvial superar a evapotranspiração 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.

MATZENAUER et al. (1995a) estabeleceram a relação entre o rendimento de grãos de milho e algumas variáveis hídricas. Concluíram que o consumo relativo de água (índice E_{Tr}/E_{Tm}) e a deficiência hídrica são as variáveis mais eficientes para indicar as variações de rendimento de grãos de milho no Rio Grande do Sul.

Desta forma, as condições meteorológicas desfavoráveis caracterizam-se como o principal fator responsável pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas, no Rio Grande do Sul. Diversas análises da produção agrícola já apontaram alta correlação entre as variações das safras das principais culturas com as condições meteorológicas e climáticas no Estado (BERLATO, 1992; MATZENAUER et al., 1995a). Dentre estas, a variável hídrica é a que, com maior frequência e intensidade, afeta a produção das lavouras.

Segundo BERLATO (1992), em algumas regiões do Estado como a Campanha e Baixo Vale do Uruguai, a frequência média de anos secos atinge 20%. Levando-se em conta que os rendimentos médios podem ser elevados pela melhoria do manejo das culturas e, principalmente, pela adoção de práticas que reduzam os riscos associados ao ambiente físico, a conclusão é de que o impacto causado pelas adversidades climáticas, em especial das estiagens, é bem mais intenso. Em trabalho realizado com a cultura do milho em quatro locais do Estado, MATZENAUER et al. (1995b) encontraram alta associação entre o rendimento de grãos e a evapotranspiração relativa (evapotranspiração real/evapotranspiração máxima - E_{Tr}/E_{Tm}), estabelecen-

do modelos de previsão do rendimento da cultura a partir do índice utilizado. No teste de validação dos modelos, os coeficientes de determinação obtidos foram próximos de 0,90, indicando a dependência da cultura ao fator água.

MATZENAUER et al. (1998a), determinaram a evapotranspiração da cultura do milho para as condições da Depressão Central do Rio Grande do Sul, para três épocas de semeadura. Encontraram valores médios durante o ciclo da cultura que variaram de 4,0 a 4,6mm.dia⁻¹. O maior consumo médio diário foi de 6,6mm durante o subperíodo compreendido entre o pendoamento e a maturação leitosa. O consumo total de água durante o ciclo da cultura (semeadura-maturação fisiológica) variou de 541 a 570mm. JENSEM (1973) cita valores de evapotranspiração para a cultura do milho, em diversos locais e períodos, que variam de 373 a 640mm.

A sensibilidade do milho ao déficit hídrico, em termos de rendimento de grãos, aumenta à medida que a planta avança em suas fases de crescimento e desenvolvimento, apresentando menor sensibilidade durante o período vegetativo e maior sensibilidade durante a floração e enchimento de grãos. GRANT et al. (1989) verificaram que o intervalo em que o número de grãos foi mais sensível ao déficit hídrico iniciou dois a sete dias após o espigamento e terminou 16 a 22 dias após o espigamento.

Este trabalho teve como objetivo, avaliar as condições de disponibilidade hídrica para a cultura do milho na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, através da determinação da evapotranspiração máxima (E_{Tm}), da evapotranspiração real (E_{Tr}) e das deficiências hídricas.

Material e métodos

Foram elaborados arquivos de séries decenais dos seguintes elementos meteorológicos necessários às análises: precipitação pluvial (mm), radiação solar global (cal.cm⁻²), temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m.s⁻¹ ou km.dia⁻¹). Os dados meteorológicos foram obtidos no banco de dados da Equipe de Agrometeorologia da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Secretaria de Ciência e Tecnologia/RS.

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 (UR) foi obtida pela equação:

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

sendo ur_9 , ur_{15} e ur_{21} , 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 ($T_{máx}$) e mínimas ($T_{mín}$), onde a temperatura média diária ($T_{média}$) é dada por:

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

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

Calcularam-se balanços hídricos decendiais pelo método de THORNTHWAITE e MATHER (1955) para uma capacidade de armazenamento de água disponível no solo de 75mm, utilizando-se a evapotranspiração específica para a cultura do milho, para o período de 1975 a 1999, para as localidades de Júlio de Castilhos ($29^{\circ}13'26''$ de latitude sul, $53^{\circ}40'45''$ de longitude oeste e 514m de altitude), Passo Fundo ($28^{\circ}15'41''$ de latitude sul, $52^{\circ}24'45''$ de longitude oeste e 709m de altitude) e Cruz Alta ($28^{\circ}38'41''$ de latitude sul, $53^{\circ}36'42''$ de longitude oeste e 473m de altitude), localizadas na região climática do Planalto do Rio Grande do Sul.

Utilizou-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). No texto, utiliza-se, também, como sinônimo, a expressão consumo de água.

A evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), foi calculada utilizando-se coeficientes de cultura (K_c) determinados regionalmente (MATZENAUER et al., 1998b), segundo a relação:

$$K_c = ET_m / E_{To} \quad (3)$$

sendo, E_{To} a evapotranspiração de referência calculada pelo método de PENMAN (1956), dada pela equação:

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

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

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

sendo $e_s - e_a$ o déficit de saturação de vapor d'água

do ar ($mm\ Hg$) e U_2 a velocidade do vento a 2m de altura ($milhas.dia^{-1}$).

Para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman, o saldo de radiação (R_n) foi estimado por uma função ajustada para a cultura do milho (MATZENAUER et al., 1981) onde R_n 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_n estimado sobre superfície gramada (CUNHA, 1991; SANTOS, 1993).

As determinações de evapotranspiração máxima do milho (ET_m), evapotranspiração real (E_{Tr}) e deficiência hídrica, foram feitas para as épocas de semeadura de setembro, outubro, novembro e dezembro, iniciadas no dia primeiro de cada mês, nos seguintes períodos 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 ($Em - MF$).

Resultados e discussão

Nas Tabelas 1, 2 e 3, são apresentados os resultados de evapotranspiração máxima (ET_m), evapotranspiração real (E_{Tr}) e deficiência hídrica (D), valores totais em milímetros, para as localidades de Júlio de Castilhos, Cruz Alta e Passo Fundo, respectivamente, em quatro subperíodos de desenvolvimento da cultura do milho e no ciclo completo, para quatro épocas de semeadura.

Os maiores valores de evapotranspiração (ET_m) total no ciclo completo, foram verificados durante os anos agrícolas de 1978/79, 1981/82, 1985/86 e 1990/91. Foram anos em que ocorreram estiagens no Rio Grande do Sul, e, segundo FARIAS et al. (1993), perdas nas safras de soja que variaram de 38% a 58%. A evapotranspiração diária de cada espécie sem limitação de água no solo, depende do estágio de desenvolvimento das plantas, do teor de água do solo e da demanda evaporativa da atmosfera, e seu valor absoluto varia, portanto, em função das condições climáticas de cada região e em função do ano e época de semeadura na mesma região. Desta forma, os principais elementos meteorológicos determinantes da demanda evaporativa da atmosfera, e portanto, da evapotranspiração das culturas, são a radiação solar, a temperatura, a umidade do ar e o vento (CHANG, 1968; BERLATO & MOLION, 1981). Como em anos de estiagem ocorre maior número de dias claros, é normal que as condições meteorológicas favoreçam

Tabela 1. Evapotranspiração máxima (ETm), evapotranspiração real (ETr) e deficiência hídrica (D), valores totais em mm, em diferentes subperíodos* e no ciclo completo do milho, para quatro épocas de semeadura. Júlio de Castilhos, RS, período 1975/76-1995/96.

Ano	Época	ETm					ETr					D				
		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	01/09	71	258	205	120	654	67	218	161	118	564	4	40	43	2	90
	01/10	99	219	178	137	633	84	215	142	136	577	15	4	36	1	56
	01/11	103	172	180	113	568	103	152	169	100	523	0	20	11	13	44
	01/12	112	161	147	92	512	108	157	129	84	478	4	4	18	8	34
76/77	01/09	84	263	194	120	661	79	209	72	113	474	5	54	122	7	188
	01/10	101	222	160	136	619	101	143	118	114	475	0	79	42	22	144
	01/11	111	162	159	120	552	99	112	128	88	427	12	50	31	32	125
	01/12	107	143	157	99	506	96	127	101	92	416	11	16	56	7	90
77/78	01/09	87	242	190	143	662	79	205	84	120	489	8	37	106	23	173
	01/10	95	210	187	135	627	95	166	110	104	476	0	44	77	31	151
	01/11	97	178	182	123	580	96	110	122	87	415	1	68	60	36	164
	01/12	117	162	162	104	545	95	129	101	47	373	22	34	61	57	173
78/79	01/09	75	216	192	173	656	71	153	97	22	343	4	63	95	151	313
	01/10	85	197	224	149	655	81	144	50	51	326	5	53	174	98	330
	01/11	93	187	226	92	598	90	97	27	86	301	2	90	199	6	297
	01/12	124	201	120	98	543	89	40	105	36	269	35	161	15	62	274
79/80	01/09	56	223	171	161	611	56	202	133	52	443	0	21	38	109	169
	01/10	87	183	208	164	642	82	173	76	29	359	6	11	132	135	282
	01/11	89	165	222	125	601	88	110	36	59	293	1	55	186	66	308
	01/12	109	198	160	99	566	92	52	73	99	316	17	145	87	1	250
80/81	01/09	72	218	173	120	583	68	218	152	92	529	5	0	21	29	54
	01/10	78	199	167	115	559	78	188	126	110	502	0	11	41	5	58
	01/11	99	159	149	110	517	99	129	143	104	475	0	30	7	7	43
	01/12	105	134	145	123	507	100	133	130	42	406	5	1	15	81	102
81/82	01/09	65	252	191	166	674	65	188	128	54	435	1	63	63	113	239
	01/10	103	217	201	137	658	89	201	44	119	452	15	16	157	18	206
	01/11	110	165	200	125	600	109	116	104	104	434	1	50	96	21	166
	01/12	110	176	165	126	577	85	110	124	28	347	25	65	41	98	229
82/83	01/09	68	230	204	139	641	67	220	153	106	546	1	10	51	32	94
	01/10	86	216	198	134	634	86	189	126	113	514	0	27	72	21	120
	01/11	107	174	187	102	570	97	163	117	102	480	10	11	70	0	90
	01/12	115	167	134	99	515	114	132	134	90	471	0	35	0	9	44
83/84	01/09	72	252	216	119	659	72	198	152	113	536	1	53	64	6	124
	01/10	91	229	183	131	634	91	145	170	128	534	0	84	13	3	100
	01/11	119	180	151	116	566	107	150	151	99	507	11	30	0	17	58
	01/12	119	136	151	106	512	115	136	114	72	437	4	0	36	34	74
84/85	01/09	70	247	206	158	681	70	227	110	64	472	0	20	95	94	210
	01/10	82	229	228	103	642	82	162	100	74	418	0	67	127	29	224
	01/11	114	197	174	102	587	102	108	104	76	390	13	89	70	26	197
	01/12	131	152	137	97	517	102	112	92	97	404	28	40	45	0	114
85/86	01/09	73	316	253	175	817	56	96	42	40	235	17	219	211	135	582
	01/10	112	292	236	162	802	77	69	41	66	252	35	223	195	97	550
	01/11	151	215	214	127	707	47	41	75	93	255	104	174	140	34	452
	01/12	142	191	165	82	580	43	76	121	82	323	99	115	44	0	257
86/87	01/09	70	253	218	147	688	70	240	121	119	549	0	13	97	29	138
	01/10	100	225	189	150	664	100	177	122	111	511	0	48	68	39	154
	01/11	110	181	191	122	604	99	117	143	106	465	11	64	48	16	140
	01/12	119	171	161	124	575	106	150	129	86	472	13	21	32	37	103
87/88	01/09	83	239	203	141	666	76	227	95	85	483	7	12	107	56	183
	01/10	89	233	188	145	655	89	158	92	127	466	0	74	96	18	188
	01/11	112	186	185	119	602	101	77	160	82	421	10	108	26	36	180
	01/12	123	168	156	132	579	83	142	92	43	360	40	26	64	89	218
88/89	01/09	66	267	200	132	665	66	230	75	120	491	0	38	125	12	175
	01/10	108	220	196	129	653	94	152	121	115	483	14	69	75	13	170
	01/11	111	176	173	117	577	92	102	152	104	450	19	75	21	12	128
	01/12	117	156	153	89	515	97	135	118	89	440	19	21	34	0	74

Continua.

Continuação da Tabela 1.

Ano	Época	ETm					ETr					D				
		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	01/09	70	258	207	143	678	70	232	124	117	542	0	27	84	27	137
	01/10	105	229	186	152	672	95	166	154	136	551	10	63	32	16	121
	01/11	108	189	187	110	594	97	152	172	80	501	11	37	15	30	93
	01/12	125	169	142	99	535	112	161	102	99	475	12	8	40	0	60
90/91	01/09	67	236	203	163	669	67	223	183	87	560	0	13	19	76	108
	01/10	92	208	224	151	675	92	188	128	78	486	0	20	97	73	190
	01/11	100	192	209	130	631	98	160	99	56	413	2	32	110	74	217
	01/12	127	186	169	114	596	113	102	67	84	366	14	83	102	30	229
91/92	01/09	52	225	182	126	585	52	156	144	103	455	0	69	39	23	130
	01/10	87	209	163	110	569	78	161	132	110	481	10	48	31	0	89
	01/11	109	139	159	98	505	98	139	135	98	471	11	0	24	0	35
	01/12	92	140	128	89	449	92	128	127	89	436	0	13	2	0	14
92/93	01/09	65	222	185	120	592	64	182	121	120	487	1	39	64	0	105
	01/10	85	200	165	126	576	85	141	133	112	471	0	59	32	14	105
	01/11	97	155	164	99	515	84	132	138	80	434	14	23	26	19	81
	01/12	102	146	128	77	453	101	141	110	65	417	1	6	18	12	36
93/94	01/09	62	208	185	158	613	58	199	182	103	542	4	9	3	55	71
	01/10	86	188	210	117	601	82	186	134	112	514	4	2	76	5	87
	01/11	89	178	190	87	544	89	157	118	86	450	0	22	72	1	95
	01/12	119	168	117	74	478	107	121	111	73	412	11	47	6	1	65
94/95	01/09	74	216	171	106	567	74	182	99	79	434	0	34	72	27	134
	01/10	76	202	143	108	529	76	151	74	106	407	0	52	69	2	123
	01/11	104	148	131	77	460	96	89	124	77	386	8	58	7	0	73
	01/12	98	119	101	92	410	88	114	101	78	380	10	5	0	14	29
95/96	01/09	67	235	171	98	571	67	153	60	64	343	0	83	110	35	227
	01/10	92	204	140	98	534	82	80	97	98	357	10	124	43	0	177
	01/11	99	145	122	90	456	71	78	119	87	356	29	67	3	3	101
	01/12	95	110	118	74	397	68	110	111	66	355	27	0	8	8	42
Valores médios																
Época	01/09	70	242	196	140	648	67	198	119	90	474	3	44	78	50	175
	01/10	92	216	189	133	630	87	160	109	102	458	6	56	80	31	173
	01/11	106	173	179	110	568	93	119	121	88	421	13	55	58	21	147
	01/12	115	160	144	100	519	96	120	109	73	398	19	40	34	26	119

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

maior demanda evaporativa da atmosfera e, portanto, maior demanda de água pelas culturas. Para a localidade de Júlio de Castilhos, por exemplo, os valores de evapotranspiração da cultura foram superiores a 800mm durante o ciclo completo, para as épocas de semeadura de setembro e outubro, durante o ano agrícola 1985/86, ano que se caracterizou pela ocorrência de forte estiagem, com perdas significativas nas lavouras do Estado. Os menores valores de ETm total foram verificados durante os anos agrícolas 1994/95 e 1997/98, que coincidiram com períodos de maior disponibilidade hídrica e menor demanda evaporativa da atmosfera.

Os valores médios de evapotranspiração total no ciclo completo da cultura variaram de 452mm na época de semeadura de dezembro para Cruz Alta, a

648mm na época de semeadura de setembro para Júlio de Castilhos. Os maiores valores médios de evapotranspiração foram verificados em Júlio de Castilhos, seguindo-se Passo Fundo e com menores valores para Cruz Alta. Para as três localidades, o maior consumo de água foi observado para a época de semeadura de setembro, ocorrendo redução gradativa até a época de dezembro.

Os subperíodos de desenvolvimento do milho em que foram verificados os maiores valores de ETm foram de 30 dias após a emergência até o início do pendoamento (30Em-IP) e do início do pendoamento até 30 dias após (IP-30IP), com valores médios que variaram de 138mm a 242mm e de 122mm a 196mm, respectivamente. MATZENAUER et al. (1998a) também encontraram maior consumo de água durante os

Tabela 2. Evapotranspiração máxima (ETm), evapotranspiração real (ETr) e deficiência hídrica (D), valores totais em mm, em diferentes subperíodos* e no ciclo completo do milho, para quatro épocas de semeadura. Cruz Alta, RS, período 1975/76-1997/98.

Ano	Época	ETm					ETr					D				
		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	01/09	54	184	157	92	487	54	169	130	92	445	0	15	27	0	42
	01/10	67	164	138	106	475	61	161	114	106	442	6	3	23	0	33
	01/11	77	130	142	85	434	77	113	141	81	412	0	17	1	5	23
	01/12	85	128	111	68	392	82	127	102	63	374	3	1	8	5	18
76/77	01/09	80	247	196	117	640	78	222	168	116	585	2	25	28	1	56
	01/10	93	216	166	131	606	93	197	151	122	563	0	19	15	8	42
	01/11	105	170	158	111	544	99	164	151	91	505	6	5	7	20	39
	01/12	112	143	145	94	494	112	138	110	77	437	0	5	35	17	57
77/78	01/09	82	243	184	140	649	71	220	126	67	484	10	23	58	72	164
	01/10	96	203	190	132	621	93	174	67	78	412	3	29	123	54	208
	01/11	94	175	177	128	574	90	94	81	87	352	3	81	96	42	222
	01/12	115	157	169	120	561	81	89	99	21	290	34	68	70	99	271
78/79	01/09	84	221	189	171	665	78	167	101	31	378	6	53	88	140	287
	01/10	91	197	215	145	648	81	164	49	77	372	10	33	166	68	276
	01/11	91	181	219	95	586	91	101	53	95	340	1	81	166	0	247
	01/12	120	194	124	91	529	93	67	124	68	352	27	127	0	23	177
79/80	01/09	50	230	160	144	584	50	205	136	83	473	0	26	24	62	111
	01/10	92	173	196	139	600	89	164	101	47	401	3	9	95	92	198
	01/11	82	163	192	108	545	80	132	66	46	323	2	32	126	63	223
	01/12	108	171	140	93	512	99	79	62	80	320	9	91	78	13	192
80/81	01/09	67	189	174	118	548	66	189	159	116	530	0	0	15	2	17
	01/10	71	187	162	114	534	71	176	155	114	516	0	11	8	0	19
	01/11	92	149	149	110	500	91	145	145	109	489	1	5	4	1	11
	01/12	99	133	144	109	485	98	133	140	76	447	0	0	4	33	38
81/82	01/09	61	226	194	156	637	61	200	154	39	455	0	26	40	117	183
	01/10	90	208	195	130	623	82	201	75	79	437	9	7	120	51	186
	01/11	103	161	198	105	567	103	127	75	90	396	0	33	123	14	171
	01/12	106	174	138	108	526	96	88	106	57	348	9	85	32	51	177
83/84	01/09	76	233	208	118	635	76	203	84	118	480	0	30	124	0	154
	01/10	85	219	177	132	613	85	138	128	125	476	0	81	49	6	136
	01/11	117	164	158	114	553	85	115	158	102	460	32	49	0	12	93
	01/12	108	142	148	96	494	96	142	121	78	438	12	0	27	18	57
84/85	01/09	63	239	200	166	668	63	206	81	30	380	0	34	119	136	289
	01/10	87	215	222	124	648	87	128	61	66	341	0	88	161	58	307
	01/11	102	197	192	96	587	86	77	76	94	333	17	120	116	2	254
	01/12	131	170	127	89	517	83	85	121	85	373	48	85	6	4	143
85/86	01/09	65	283	203	133	684	59	89	12	82	241	7	194	191	52	443
	01/10	100	257	175	122	654	73	35	60	103	270	28	222	115	19	384
	01/11	136	167	159	83	545	39	20	144	61	263	97	147	16	22	282
	01/12	110	142	108	73	433	23	134	86	66	308	88	8	22	7	125
86/87	01/09	62	248	213	133	656	62	231	117	124	534	0	17	96	9	122
	01/10	89	231	183	129	632	89	191	121	113	514	0	40	62	17	118
	01/11	117	172	176	98	563	102	124	153	96	476	15	49	23	1	87
	01/12	113	157	129	98	497	99	139	120	75	433	14	18	9	23	64
87/88	01/09	73	215	179	127	594	67	199	72	77	415	6	16	107	49	179
	01/10	76	207	172	128	583	76	130	81	101	387	0	78	92	27	196
	01/11	100	170	159	105	534	82	66	141	57	345	18	104	18	48	189
	01/12	113	144	137	103	497	68	126	65	62	321	45	18	72	41	176
88/89	01/09	58	237	196	113	604	58	208	97	93	455	0	29	99	21	149
	01/10	95	208	179	106	588	84	140	122	96	442	11	68	57	10	146
	01/11	104	169	144	93	510	86	108	128	82	404	18	61	16	11	105
	01/12	112	130	121	78	441	100	114	103	78	395	12	16	18	0	45
89/90	01/09	64	252	180	121	617	64	200	87	110	460	0	52	94	11	157
	01/10	99	218	154	123	594	94	137	139	113	483	5	81	16	9	111
	01/11	102	161	155	88	506	94	129	151	72	446	8	32	5	16	61
	01/12	106	140	114	85	445	95	135	94	85	409	11	5	20	0	36

Continua.

Continuação da Tabela 2.

Ano	Época	ETm					ETr					D				
		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
92/93	01/09	60	204	183	101	548	60	197	134	101	493	0	6	49	0	55
	01/10	74	194	156	95	519	74	174	129	89	466	0	20	27	6	54
	01/11	95	149	130	87	461	89	127	127	64	407	6	22	3	23	54
	01/12	98	115	113	86	412	89	113	81	84	366	9	2	33	2	45
93/94	01/09	52	205	167	123	547	52	195	147	68	462	0	10	20	55	85
	01/10	83	170	185	84	522	81	167	90	84	422	2	3	95	0	100
	01/11	82	162	136	77	457	82	110	99	77	367	1	52	37	0	90
	01/12	107	119	103	86	415	82	97	103	86	368	26	22	0	0	48
94/95	01/09	52	195	147	100	494	51	171	77	85	384	1	25	70	15	110
	01/10	64	182	132	108	486	64	115	119	46	343	0	67	13	62	141
	01/11	99	121	136	70	426	74	107	69	57	307	25	14	68	14	119
	01/12	80	123	91	79	373	80	93	75	54	301	0	30	16	25	72
95/96	01/09	43	256	201	102	602	43	136	46	73	298	0	120	155	29	304
	01/10	94	238	153	82	567	80	65	92	81	319	14	173	61	1	249
	01/11	116	164	110	78	468	65	68	110	76	319	51	96	0	2	149
	01/12	107	97	102	64	370	69	97	99	60	325	39	0	4	5	47
96/97	01/09	46	177	124	105	452	46	133	115	80	374	1	44	9	26	79
	01/10	56	157	142	81	436	55	134	111	80	380	1	23	31	0	55
	01/11	84	121	118	65	388	77	101	117	64	359	7	21	1	1	29
	01/12	81	104	86	69	340	74	103	83	62	322	7	1	3	8	18
97/98	01/09	46	158	134	85	423	45	158	104	81	388	1	0	30	4	35
	01/10	46	176	114	71	407	46	150	104	67	367	0	26	10	4	40
	01/11	90	105	97	72	364	86	95	87	64	331	4	10	10	8	32
	01/12	69	85	93	77	324	67	80	80	74	301	2	5	13	3	23
Valores médios																
Época	01/09	62	222	179	123	586	60	185	107	83	435	2	37	72	40	151
	01/10	82	201	170	114	567	78	147	103	89	417	5	54	67	25	151
	01/11	99	158	155	93	506	84	106	114	78	382	16	51	42	15	124
	01/12	104	138	122	88	452	84	109	99	70	362	20	29	24	19	92

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

referidos subperíodos. Durante o período inicial de desenvolvimento das plantas (subperíodo Em-30Em), os valores de evapotranspiração da cultura foram menores, variando na média, de 62mm a 115mm, para os diferentes locais e épocas de semeadura. Com o aumento da área foliar durante os subperíodos 30Em-IP e IP-30IP foram observados valores elevados de evapotranspiração da cultura, atingindo, como referido anteriormente, os maiores valores de consumo de água. No final do ciclo, durante o subperíodo 30IP-MF, verificou-se uma redução no consumo de água, devido à redução da atividade fisiologia das plantas e senescência das folhas próximo à maturação, com a conseqüente redução da área foliar.

Os valores totais de evapotranspiração real (ETr) durante o ciclo da cultura, na média do período estudado, variaram de 362mm para a época de semeadura de dezembro em Cruz Alta, a 501mm para a época de semeadura de setembro em Passo Fundo.

Os maiores valores de ETr foram verificados para a localidade de Passo Fundo, sendo os menores valores observados para a localidade de Cruz Alta. Em um trabalho realizado com a cultura da soja, nos mesmos locais, foi observada a mesma tendência (MATZENAUER et al., 1998c). A evapotranspiração real de uma cultura depende das condições de disponibilidade hídrica no solo, do estágio de desenvolvimento da cultura e das condições meteorológicas que determinam a demanda evaporativa da atmosfera. Em anos com maior disponibilidade hídrica, como ocorrido, por exemplo, durante o ano agrícola 1992/93 para a localidade de Passo Fundo, os valores de ETr se aproximaram mais dos valores de ETm da cultura, acarretando baixos valores de deficiência hídrica. BUNCE (1989) comenta a ocorrência de déficit hídrico na planta como um fenômeno quase diário, sendo observado mesmo em condições de alta disponibilidade hídrica no solo. Ou seja, em condições de

Tabela 3. Evapotranspiração máxima (ETm), evapotranspiração real (ETr) e deficiência hídrica (D), valores totais em mm, em diferentes subperíodos* e no ciclo completo do milho, para quatro épocas de semeadura. Passo Fundo, RS, período 1975/76-1998/99.

Ano	Época	ETm					ETr					D				
		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	01/09	67	229	171	119	586	67	213	135	116	531	0	17	37	3	57
	01/10	83	195	168	126	572	77	192	134	111	514	6	3	34	15	58
	01/11	92	150	172	114	528	92	124	155	95	466	0	25	17	19	61
	01/12	98	154	149	86	487	90	145	111	84	430	8	8	39	2	57
76/77	01/09	84	253	204	108	649	83	243	197	108	631	1	10	6	0	17
	01/10	98	221	159	125	603	98	217	152	123	590	0	4	7	3	14
	01/11	105	171	146	111	533	105	167	141	110	523	0	5	5	2	12
	01/12	112	132	145	92	481	112	129	135	87	463	0	3	10	5	18
77/78	01/09	81	229	184	138	632	73	226	153	105	557	7	3	32	34	76
	01/10	87	202	185	133	607	87	179	128	100	494	0	23	58	33	114
	01/11	91	180	174	117	562	91	125	121	66	403	0	55	53	51	159
	01/12	119	156	153	117	545	102	129	91	97	419	17	27	62	20	126
78/79	01/09	84	232	194	175	685	80	223	127	50	480	4	8	67	125	204
	01/10	92	205	223	157	677	92	169	60	70	391	0	36	163	87	286
	01/11	98	184	235	94	611	97	109	45	93	344	1	75	190	1	267
	01/12	122	209	122	93	546	102	63	116	81	362	20	146	6	12	184
79/80	01/09	59	214	142	140	555	58	214	142	133	547	0	0	0	7	7
	01/10	87	156	184	138	565	87	156	165	122	530	0	0	19	16	35
	01/11	77	146	190	104	517	77	142	148	104	471	0	4	42	0	46
	01/12	97	169	134	101	501	97	148	132	84	461	1	21	2	17	41
80/81	01/09	70	211	172	127	580	70	197	170	119	556	0	14	2	7	23
	01/10	77	196	164	118	555	77	186	153	118	534	0	10	11	0	21
	01/11	95	157	155	100	507	92	147	150	94	483	4	10	5	6	25
	01/12	104	138	131	113	486	100	138	120	50	408	4	1	11	62	78
81/82	01/09	63	230	176	157	626	63	224	168	88	543	0	6	8	69	83
	01/10	89	204	184	135	612	89	202	139	68	498	0	1	45	67	113
	01/11	101	151	201	107	560	101	147	74	76	398	0	4	127	32	163
	01/12	100	177	142	116	535	99	82	84	43	308	1	95	58	74	228
82/83	01/09	59	202	178	125	564	59	195	102	110	466	0	7	76	15	98
	01/10	83	177	176	118	554	83	121	143	81	428	0	55	33	37	125
	01/11	88	156	160	93	497	72	131	100	93	396	15	25	60	0	100
	01/12	103	143	121	93	460	101	111	121	84	417	3	32	0	9	44
83/84	01/09	69	222	185	113	589	69	195	149	99	512	0	27	36	14	77
	01/10	84	197	167	120	568	84	157	143	116	500	0	40	24	4	68
	01/11	103	155	147	108	513	91	144	144	85	464	13	11	3	23	50
	01/12	102	132	140	97	471	102	129	95	73	399	0	3	45	24	72
84/85	01/09	61	210	186	155	612	61	125	102	80	368	0	84	84	74	242
	01/10	88	185	202	116	591	82	97	97	89	365	7	88	106	27	228
	01/11	88	177	180	91	536	63	123	99	86	371	25	53	81	6	165
	01/12	117	159	121	88	485	110	114	107	78	409	7	45	14	10	76
85/86	01/09	64	275	206	146	691	55	128	64	68	315	9	147	141	78	375
	01/10	99	246	193	142	680	73	116	81	34	304	26	130	112	108	376
	01/11	129	174	183	113	599	72	79	88	59	298	58	95	94	55	302
	01/12	116	163	148	84	511	74	94	73	76	317	42	69	75	8	194
86/87	01/09	66	245	180	123	614	66	205	118	115	504	0	40	63	8	111
	01/10	93	204	159	118	574	89	166	121	101	477	5	38	38	17	98
	01/11	102	153	154	101	510	88	124	134	83	429	14	29	20	18	81
	01/12	101	137	133	106	477	98	125	94	75	392	3	12	39	31	85
87/88	01/09	72	222	171	133	598	72	193	131	105	501	0	29	40	28	97
	01/10	79	206	176	120	581	79	165	142	99	485	0	41	33	21	95
	01/11	101	162	159	108	530	88	140	150	53	431	12	22	9	55	98
	01/12	107	142	140	113	502	104	133	58	52	347	4	9	83	62	158
88/89	01/09	67	253	180	108	608	66	234	142	108	550	1	19	38	0	58
	01/10	102	205	163	105	575	96	184	161	104	545	7	22	1	1	31
	01/11	107	150	140	95	492	100	149	137	95	481	7	1	4	0	12
	01/12	99	126	124	90	439	99	122	124	90	435	0	4	0	0	4

Continua.

Continuação da Tabela 3.

Ano	Época	ETm					ETr					D				
		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	01/09	66	240	185	108	599	66	217	140	100	523	0	23	45	8	76
	01/10	96	211	146	125	578	92	176	137	121	526	4	35	10	4	53
	01/11	102	153	154	87	496	96	149	146	86	477	6	3	8	1	18
	01/12	100	140	113	84	437	100	132	108	81	421	1	8	5	3	17
90/91	01/09	60	203	176	146	585	60	190	123	56	429	0	13	53	90	156
	01/10	74	189	201	125	589	74	168	53	106	401	0	20	148	18	186
	01/11	91	169	182	109	551	84	106	115	53	358	7	62	67	56	192
	01/12	112	161	142	99	514	82	114	58	41	295	30	47	84	58	219
91/92	01/09	42	174	162	161	539	42	162	162	136	502	0	12	0	25	37
	01/10	64	137	174	129	504	60	137	148	127	472	4	0	26	2	32
	01/11	100	146	153	91	490	100	146	127	89	462	0	0	25	2	27
	01/12	97	134	119	82	432	97	121	115	82	415	0	14	4	0	18
92/93	01/09	67	219	190	120	596	67	215	165	120	567	0	4	26	0	30
	01/10	82	200	173	114	569	82	195	151	114	542	0	5	22	0	27
	01/11	99	160	154	92	505	98	143	154	89	484	1	18	0	3	22
	01/12	105	137	119	84	445	98	137	112	84	431	7	0	6	0	13
93/94	01/09	57	226	183	139	605	57	226	168	80	531	0	0	15	60	75
	01/10	96	180	202	98	576	96	180	124	69	469	0	0	78	29	107
	01/11	85	176	159	85	505	85	148	79	83	395	0	28	80	2	110
	01/12	116	139	114	98	467	110	90	106	90	396	7	49	7	8	71
94/95	01/09	66	203	177	109	555	66	191	162	106	525	0	12	16	3	31
	01/10	67	207	140	114	528	67	191	140	106	504	0	17	0	8	25
	01/11	107	138	143	80	468	104	138	133	72	447	3	0	11	9	23
	01/12	91	128	104	106	429	91	120	90	69	370	0	8	14	37	59
95/96	01/09	48	243	185	126	602	48	204	50	97	399	0	39	135	29	203
	01/10	94	210	174	117	595	86	122	96	117	421	8	88	78	0	174
	01/11	105	170	141	107	523	94	87	141	105	427	11	83	0	2	96
	01/12	113	126	139	102	480	85	126	125	84	420	28	0	14	18	60
96/97	01/09	67	235	166	147	615	66	187	124	136	513	2	48	42	11	103
	01/10	83	199	196	121	599	83	140	155	121	499	0	60	41	0	101
	01/11	105	164	175	93	537	80	150	163	88	481	25	13	12	5	55
	01/12	109	155	123	129	516	109	155	114	45	423	0	0	9	85	94
97/98	01/09	59	189	181	120	549	59	189	138	120	506	0	0	43	0	43
	01/10	64	207	161	98	530	64	170	161	97	492	0	37	0	1	38
	01/11	101	145	141	97	484	91	135	141	94	461	11	10	0	3	24
	01/12	95	123	126	82	426	95	123	121	82	421	0	0	5	0	5
98/99	01/09	53	241	166	128	588	53	208	121	88	470	0	34	45	41	120
	01/10	80	210	173	113	576	78	165	118	113	474	3	45	55	0	103
	01/11	108	159	150	106	523	85	124	150	93	452	23	36	0	13	72
	01/12	106	134	139	98	477	96	134	122	66	418	10	0	18	31	59
Valores médios																
Época	01/09	65	225	179	132	601	64	200	135	102	501	1	25	44	30	100
	01/10	85	198	177	122	582	82	165	129	101	477	3	33	48	21	105
	01/11	99	160	164	100	523	89	132	126	85	432	10	28	38	15	91
	01/12	106	146	131	98	481	98	122	106	74	400	8	25	25	24	82

* Em – emergência; 30Em – 30 dias após Em; IP – início do pendramento; 30IP – 30 dias após IP; MF – maturação fisiológica.

alta demanda evaporativa da atmosfera, mesmo que o solo esteja em capacidade de campo, ocorre déficit hídrico na planta, pelo fato da taxa de absorção de água não acompanhar a taxa de transpiração. Duran-

te o dia a planta perde mais água do que consegue absorver, aumentando o déficit até aproximadamente o meio da tarde. Após, com a diminuição da demanda evaporativa, a planta começa a absorver maior

quantidade de água do que a perda por transpiração, iniciando o processo de recuperação do déficit, ocorrendo um equilíbrio dos potenciais da água na planta durante a noite. Se não houver reposição de água no solo, chegará o momento em que o processo se tornará irreversível. A duração deste período depende da demanda evaporativa da atmosfera, da capacidade de armazenamento de água do solo, das características da cultura e do estágio de desenvolvimento da planta.

Pelos resultados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, verifica-se que é comum a ocorrência de deficiência hídrica para a cultura do milho, nos vários locais e épocas de semeadura estudados. A deficiência total média no ciclo variou de 82mm na época de 01/12 em Passo Fundo, a 175mm na época de 01/09 em Júlio de Castilhos. Dentre os locais analisados, o que apresentou os maiores valores médios de deficiência hídrica total no ciclo do milho, foi Júlio de Castilhos. Os menores valores de deficiência hídrica foram verificados para Passo Fundo, com valores intermediários para Cruz Alta. CUNHA et al. (1998) determinaram a perda potencial de rendimento para a cultura da soja por deficiência hídrica, para algumas localidades do Rio Grande do Sul, entre elas Passo Fundo e Cruz Alta. Observaram, que a perda potencial de rendimento foi maior para Cruz Alta em relação a Passo Fundo, indicando maior deficiência hídrica para Cruz Alta, estando de acordo com resultados obtidos neste trabalho para a cultura do milho. Observaram ainda, que a medida que a época de semeadura foi retardada, diminuiu a perda de rendimento potencial, principalmente para Cruz Alta, com uma perda estimada em 58% para a época de 15 de outubro, 50% para a época de 5 de novembro e 36% para a época de 5 de dezembro.

As maiores deficiências hídricas ocorreram durante o subperíodo compreendido entre o início do pendoamento até 30 dias após, caracterizado como o subperíodo de desenvolvimento com maior consumo de água pela cultura. Durante este subperíodo, as deficiências médias variaram de 24mm para a semeadura de dezembro em Cruz Alta, a 80mm para a semeadura de outubro, em Júlio de Castilhos, verificando-se, portanto, grandes diferenças entre locais e épocas de semeadura. Os menores valores de deficiência hídrica foram observados durante o subperíodo da emergência a 30 dias após. Este subperíodo caracteriza-se pelo baixo índice de área foliar, sendo este o principal fator responsável pelo menor consumo de água, ocorrendo desta forma, menor deficiência hídrica. Dezembro foi a época de semeadura em que foram

verificadas as menores deficiências hídricas durante o período crítico da cultura (IP-30IP), para as três localidades. Os maiores valores no mesmo período foram observados para as épocas de setembro e outubro. Pelos resultados obtidos, evidencia-se maior risco por deficiência hídrica para as épocas de semeadura de setembro e outubro, e menor risco para a época de dezembro. Em períodos de forte estiagem como ocorreu durante o ano agrícola 1985/86, foram observados valores de deficiência hídrica total no ciclo, superiores a 500mm. Em um trabalho realizado para a cultura da soja (MATZENAUER et al., 1998c), foram encontrados valores de deficiência superiores a 800mm, para a localidade de Júlio de Castilhos, no mesmo ano agrícola.

Os resultados demonstram que a deficiência hídrica é um dos principais fatores limitantes à obtenção de elevados rendimentos de grãos na cultura do milho e de safras agrícolas estáveis no Estado do Rio Grande do Sul. Os dados gerados servem de subsídio ao aperfeiçoamento dos estudos de zoneamento agroclimático para a cultura do milho no Rio Grande do Sul; para a melhoria na indicação da época de semeadura por região agroecológica e para a recomendação das necessidades de irrigação, visando reduzir os riscos da cultura associados ao fator hídrico.

Conclusões

Para as condições e locais em que foi desenvolvido este trabalho, conclui-se que:

1. É normal a ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho;
2. A cultura do milho apresenta consumo médio de água no ciclo completo entre 480mm e 641mm;
3. Os maiores valores de evapotranspiração máxima da cultura são verificados para a localidade de Júlio de Castilhos, vindo a seguir Passo Fundo, e com menores valores Cruz Alta;
4. Para as três localidades, o maior consumo de água é observado na época de semeadura de setembro, com menor consumo na época de dezembro;
5. A deficiência hídrica total no ciclo do milho, diminui a medida que se atrasa a época de semeadura, de setembro a dezembro;
6. Os valores mais elevados de deficiência hídrica ocorrem durante o subperíodo compreendido entre o início do pendoamento a 30 dias após.

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.
- BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre : Editora da Universidade-UFRGS, 1992. p. 11-24.
- BERLATO, M.A., MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre : IPAGRO, 1979. 95 p. (Boletim Técnico, 7).
- BUNCE, J.A. Water Stress as an almost everyday phenomenon. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas...** Brasília : A.J.Pascale, 1989. p. 232-237.
- CHANG, J.H. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago : Aldine. 1968. 304 p.
- CUNHA, G.R. **Evapotranspiração e função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa**. Porto Alegre : UFRGS, 1991. 198 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1991.
- CUNHA, G.R., HAAS, J.C., DALMAGO, G.A. et al. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 111-119, 1998.
- FARIAS, J.R.B., NEUMAIER, N., NEPOMUCENO, A.L. Impactos da seca na produção de soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 20., 1992. Chapecó, SC. **Ata e Resumos**. Chapecó : EPAGRI, 1993. p. 186.
- GRANT, R.F., JACKSON, B.S., KINIRY, J.R. et al. Water deficit timing effects on yield components in mayze. **Agronomy journal**, Madison, v. 81, n. 1, p. 61-65. 1989.
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York : American Society of Civi Engineers, 1973. 215 p.
- MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995a.
- MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 225-241, 1995b.
- 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, 1998a.
- 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, 1998b.
- MATZENAUER, R., BARNI, N.A., MACHADO, F.A. et al. Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura da soja na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 263-275, 1998c.
- 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 requeriment definitions for the ICID Multilingual Dictionary (May 1984). In: **LES BESOINS DES CULTURES (CROP REQUERIMENTS)**. Paris, 11-14 sept. 1984. Paris : INRA, 1985. p. 885-887.
- SANTOS, A.O. **Evapotranspiração máxima da alfafa na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : UFRGS, 1993. 106 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1993.
- THORNTHWAIT, C.W., MATHER, J.R. The water budget and its use in irrigation. **Yearbook of Agriculture**, Washington : US Departament of agriculture, 1955. p. 346-358.