

Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho

Homero Bergamaschi⁽¹⁾, Genei Antonio Dalmago⁽¹⁾, Flávia Comiran⁽¹⁾, João Ito Bergonci⁽¹⁾, Artur Gustavo Müller⁽²⁾, Solange França⁽³⁾, Antonio Odair Santos⁽⁴⁾, Bernadete Radin⁽⁵⁾, Cleusa Adriane Menegassi Bianchi⁽¹⁾ e Pedro Gabert Pereira⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15.100, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: homerobe@ufrgs.br ⁽²⁾Universidade de Ijuí, Rua São Francisco, nº 501, São Geraldo, CEP 98700-000 Ijuí, RS. E-mail: agmuller@main.unijui.tche.br ⁽³⁾Universidade Estadual de Santa Cruz, Rod. Ilhéus-Itabuna, Km 16, Sobradinho, CEP 45662-000 Ilhéus, BA. E-mail: solafranca@yahoo.com.br ⁽⁴⁾Instituto Agronômico, Caixa Postal 26, CEP 13201-970 Jundiá, SP. E-mail: odairsan@iac.sp.gov.br ⁽⁵⁾Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Rua Gonçalves Dias, nº 570, CEP 90130-060 Porto Alegre, RS. E-mail: bernadete-radin@fepagro.rs.gov.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do deficit hídrico, no rendimento de grãos de milho, e a eficácia da irrigação em todo ciclo e, especificamente, no florescimento. Os dados foram obtidos em dez anos de experimentação, durante os quais doses variáveis de irrigação foram aplicadas por um sistema de aspersão, localizado no centro da área experimental. Foram calculados balanços hídricos, tendo como variáveis a água precipitada (chuva e irrigação) e a evapotranspiração máxima do milho. Foram ajustados modelos de regressão para 27 condições hídricas, relacionando-se rendimento de grãos com deficit hídrico e razão evapotranspiração real sobre evapotranspiração máxima (ET_r/ET_m). A maior redução na produção ocorre em consequência do deficit hídrico na polinização, formação do zigoto e desenvolvimento inicial do grão, numa relação quadrática. Nesse período, a razão ET_r/ET_m explica quase 80% das variações na produção de grãos, que se estabiliza acima de uma razão de 0,7. A irrigação aumenta e estabiliza a produção do milho; doses de rega de aproximadamente 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo aumentam a eficiência de uso da irrigação.

Termos para indexação: *Zea mays*, período crítico, eficiência de uso.

Water deficit and yield in maize crop

Abstract – The objective of this work was to evaluate the impact of water deficit on maize grain yield, as well as the irrigation effectiveness, considering all the crop cycle and, specifically, the flowering period. Data were collected during ten years in several experiments, in which variable doses of irrigation were applied by an aspersion system located in the center of the experimental area. Water balances were calculated, and the precipitated water (rainfall and irrigation) and the maximum evapotranspiration of the maize were considered as inputs. Models of regression for 27 water conditions were adjusted, relating grain yield to water deficit and actual evapotranspiration to maximum evapotranspiration ratio (ET_r/ET_m). The highest reduction on grain production occurred in consequence of the water deficit during pollination, zygote formation and initial development of the grain, with a quadratic relation. For this period, the ratio ET_r/ET_m explains almost 80% of the variations in grain yields, stabilizing over a ratio of 0.7. The irrigation increases and stabilizes the maize production; doses of irrigation of approximately 60% of that necessary to rise soil moisture up to field capacity increase the efficiency of use of the irrigation.

Index terms: *Zea mays*, irrigation, critical period, efficient use.

Introdução

As oscilações nas safras de milho, das principais regiões produtoras do Brasil, estão associadas à disponibilidade de água, sobretudo no período crítico da cultura, que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos (Matzenauer, 1994; Bergonci et al., 2001; Bergamaschi et al., 2004). Reduções nas colheitas são

freqüentes e intensas, principalmente no Rio Grande do Sul, apesar da tendência clara de aumento de rendimentos de lavoura, decorrentes de avanços tecnológicos em insumos, melhoramento genético e manejo da cultura, além da redução dos riscos climáticos proporcionada pelo zoneamento agrícola (Matzenauer et al., 2002; Bergamaschi et al., 2004). As oscilações de safras fazem com que o Estado importe milho na

maioria dos anos, já que a produção estadual supre a demanda interna somente nas melhores colheitas (Matzenauer et al., 2002).

A maior parte do Rio Grande do Sul apresenta fortes restrições ao cultivo do milho em decorrência do déficit hídrico, que abrange toda a metade sul e o extremo oeste do Estado. Mesmo nas regiões mais ao norte, onde se encontram as áreas consideradas preferenciais pelo zoneamento climático, as médias de precipitação não atendem às necessidades da cultura, e a ocorrência de estiagens também afeta a produção de milho, embora com menor intensidade e frequência (Matzenauer et al., 2002).

Bergamaschi et al. (2004) constataram que pode haver redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos. Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa. Porém, nesse período não estão sendo formados os componentes do rendimento. Assim, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, o que poderá garantir níveis satisfatórios de rendimento de grãos. Por outro lado, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início do enchimento de grãos (Morizet & Togola, 1984), a recuperação da capacidade produtiva da cultura não poderá ocorrer de forma satisfatória, uma vez que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo. Nessa etapa fenológica, o milho é extremamente sensível ao déficit hídrico, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (Shussler & Westgate, 1991; Zinselmeier et al., 1995), além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada carga energética proveniente da radiação solar.

A solução deste problema passa pela decisão correta do produtor e pela assistência técnica. É necessário seguir o zoneamento agrícola e adotar práticas como a rotação de culturas e o escalonamento da semeadura, como medidas de redução de riscos. Outra maneira consiste na utilização da irrigação, principalmente no período crítico da cultura. Segundo Matzenauer et al. (2002) e Bergamaschi et al. (2004), o adequado suprimento hídrico, próximo ao pendoamento-espigamento do milho, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados.

Há alguns empecilhos na adoção da prática da irrigação em milho. Entre eles, existem argumentos de que esta prática demandaria grande disponibilidade de água (mananciais) e elevados custos de implantação dos sistemas. Bergonci et al. (2001) relataram aumento na eficiência de uso da água (redução de custos), se a irrigação for feita somente no período crítico, com doses de rega entre 60 e 80% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

Embora seja fundamental avaliar os efeitos do fator água, durante todo o ciclo da cultura, vários trabalhos concentraram estudos no impacto do déficit hídrico no período crítico do milho, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos (Medeiros et al., 1991; Matzenauer et al., 1995; Bergamaschi et al., 2004).

Partindo de dados de campo, Medeiros et al. (1991) e Matzenauer et al. (1995) elaboraram modelos que permitem estimar o rendimento final do milho, com antecedência ao momento da colheita, apenas utilizando-se o déficit hídrico ou variáveis derivadas do balanço hídrico, durante o período crítico da cultura. Segundo Medeiros et al. (1991), esta estimativa pode ser realizada considerando-se a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima, no período de dez dias antes do pendoamento a dez dias depois do espigamento.

Matzenauer et al. (1995) obtiveram resultados semelhantes para diversos locais do Estado do Rio Grande do Sul, mas consideraram o período do pendoamento até trinta dias depois, como adequado para estimar o rendimento final da cultura. Portanto, os períodos considerados nesses dois trabalhos não se restringiram aos principais eventos reprodutivos do milho, segundo Shussler & Westgate (1991) e Zinselmeier et al. (1995). É importante avaliar o efeito do déficit hídrico em períodos mais restritos e precisos, quando o impacto é mais severo, para salientar as relações de causa-efeito.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do déficit hídrico, no rendimento de grãos de milho, e a eficácia da irrigação em todo ciclo, especificamente, no florescimento.

Material e Métodos

Este trabalho foi elaborado a partir de dados obtidos em dez anos de experimentação em campo, de 1994/1995 a 2002/2003, conduzida no Município de Eldorado do Sul, RS (30°5'S; 51°40'W; altitude de 40 m). O clima da região é subtropical úmido, com verão quente, do tipo

fundamental Cfa, pela classificação de Köppen. A precipitação pluvial média anual é de 1.445 mm e a média anual de evapotranspiração de referência (ET_o) (Penman) é de 1.210 mm. As normais climatológicas do local, nos meses de novembro a fevereiro (período do experimento), correspondem a 426 mm de precipitação pluvial e 567 mm de ET_o (Bergamaschi et al., 2003). Nos dez anos de experimentos, a precipitação pluvial média foi de 497 mm e a evapotranspiração de referência média foi de 522 mm, de novembro a fevereiro. O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 1999).

Para a execução dos experimentos, foi utilizada uma área de 0,54 ha até a safra 1998/1999. A partir de 1999/2000 foi utilizada outra área adjacente de 0,50 ha; as datas de semeadura e os nomes dos híbridos utilizados estão descritos na Tabela 1.

A cultura foi conduzida num sistema em sucessão de milho no verão, com preparo convencional do solo, e consórcio de aveia-preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*) no inverno, em plantio direto. Antes da semeadura do milho, era feita a incorporação da biomassa verde de aveia-preta e ervilhaca, na base de 4 a 6 t ha⁻¹ de biomassa seca, com arado de disco e grade niveladora. A cultura foi semeada em fileiras

espaçadas de 0,75 m, obtendo-se uma população em torno de 66 mil plantas por hectare. A adubação de base (aplicada a lanço) constou de 40, 160 e 160 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, na forma de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Aos 20 e 30 dias depois da emergência (DAE), foram feitas duas aplicações de 60 kg ha⁻¹ de N (uréia). Os demais tratamentos culturais, para controlar plantas daninhas e pragas, foram feitos conforme a necessidade e recomendações para alta tecnologia.

No centro da área experimental, na direção das fileiras de plantas, foi instalada linha de aspersores distanciados em 6 m entre si, com vazão aproximada de 16 L min⁻¹ e raio de alcance de 12 m. Essa configuração permitiu a aplicação de diferentes tratamentos de irrigação e promoveu diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo para as plantas. Na faixa junto à linha de aspersores, que recebia a maior dose de rega, a umidade do solo foi mantida entre a capacidade de campo (potencial mátrico aproximado de -0,006 MPa) e o limite inferior de potencial mátrico de -0,06 MPa. Nas quatro faixas restantes, à medida que se distanciavam da linha de irrigação, houve redução no volume de água aplicada até o limite de alcance da aspersão, fora do qual a cultura não foi irrigada.

Tabela 1. Híbridos utilizados, data de semeadura, irrigação em dose completa aplicada e rendimento de grãos de milho sob irrigação máxima (A) e intermediária (B) e sem irrigação (C).

Ano	Híbrido	Semeadura	Irrigação (mm) ⁽¹⁾			Grãos (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾		
			Ciclo	30P	2P-7P	A	B	C
1993/1994	Pioneer 3230	28/10/1993	306	0	0	11.759	10.450 (50%)	4.381
1994/1995	Pioneer 3230	04/11/1994	179	38	27	7.445	7.801 (47%)	6.905
1995/1996 ⁽³⁾	Pioneer 3230	25/10/1995	233	60	30	11.192	9.142 (26%) 9.480 (80%)	7.556
1996/1997 ⁽³⁾	Pioneer 3230	29/10/1996	213	81	33	9.950	4.885 (26%) 9.238 (80%)	3.769
1997/1998 ⁽³⁾	Pioneer 3063	24/10/1997	41	14	0	10.458	10.586 (26%) 11.193 (80%)	10.088
1998/1999	Pioneer 3063	22/10/1998	209	122	33	12.416	12.602 (58%)	8.525
1999/2000 ⁽³⁾	Pioneer 3063	08/11/1999	401	159	24	8.950	4.859 (26%) 8.782 (80%)	2.250
2000/2001	Pioneer 3063	31/10/2000	135	0	0	9.700	-	8.750
2001/2002	Pioneer 32R21	16/11/2001	154	54	55	9.583	7.529 (41%)	5.953
2002/2003	Pioneer 32R21	25/11/2002	170	111	29	9.596	8.711 (41%)	1.451
Média			204,1	63,9	23,1	10.105	8.866 (56%)	5.963
CV (%)			47,8	60,1	77,9	14,2	25,2	48,8

⁽¹⁾Irrigação em dose completa (umidade do solo próxima à capacidade de campo), nos seguintes períodos: da emergência à maturação fisiológica (ciclo); durante 30 dias a partir do pendoamento (30P); e no período de dois dias antes do pendoamento a sete dias depois do pendoamento (2P-7P). ⁽²⁾Rendimento de grãos, com diferentes doses de irrigação: A: irrigação em dose completa, para elevar a umidade do solo à capacidade de campo; B: dose intermediária, com porcentual em relação à irrigação completa entre parênteses; C: sem irrigação. ⁽³⁾Anos em que foram utilizados dados de duas doses intermediárias nas análises de regressão (26 e 80%, na dose B).

O monitoramento do potencial matricial da água no solo foi feito com tensiômetros de coluna de mercúrio, para se definir o momento de irrigar, normalmente, quando o potencial da água no solo a 0,45 m de profundidade (maior concentração do sistema radicular do milho) atingia $-0,06$ MPa, nas parcelas com máxima aplicação de irrigação. O volume de água aplicada, em cada irrigação, foi determinado em um lisímetro de pesagem com área de $5,1$ m², cultivado com milho e instalado no centro da área experimental de $0,54$ ha. A irrigação na área do lisímetro seguiu o procedimento do restante da área experimental.

Foi adotado delineamento em faixas, com quatro repetições, na mesma linha dos aspersores. As faixas com diferentes disponibilidades de água iniciavam-se rente à linha dos aspersores, com largura de $3,75$ m. Além das faixas de máxima irrigação e não irrigada, foram utilizados resultados de faixas intermediárias. Os períodos diferentes de irrigação, isto é, ciclo completo (ciclo), 30 dias a partir do pendoamento (30P), e período de dois dias antes do pendoamento a sete dias depois do pendoamento (2P–7P), foram definidos, considerando-se o volume total de água aplicada apenas nos respectivos períodos considerados (Tabela 1).

A estimativa do balanço hídrico do solo, segundo Thornthwaite & Mather (1957), foi feita com dados diários de precipitação pluvial e outras variáveis necessárias, coletados em uma estação meteorológica automática Campbell, localizada junto à área experimental. Para o cálculo dos balanços hídricos, as doses de irrigação aplicadas à cultura foram somadas à precipitação pluvial, nos tratamentos irrigados (dose máxima ou intermediária). A evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) foi estimada, multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_o – Penman) pelo coeficiente de cultura (K_c). Adotou-se uma capacidade de armazenagem de água disponível no solo de 75 mm, baseada em estudos na própria área experimental (Muller, 2001).

O coeficiente K_c foi estimado em função do índice de área foliar (IAF), mediante a equação: $K_c = 0,723 + 0,100IAF$. Esta função foi ajustada para todo o ciclo do milho, com dados dos primeiros quatro anos da série de experimentos (Radin, 1998). No período, o IAF foi determinado em amostras semanais de folhas de plantas, e os valores de K_c foram calculados pela razão entre os valores de ET_m medidos em lisímetro de pesagem e ET_o – Penman (Radin, 1998; Bergamaschi et al., 2001).

Foi ajustado um modelo de regressão segmentado, para estimar o IAF ao longo do ciclo da cultura, em função de dias depois da emergência das plantas. Para o ajuste do modelo, foram utilizados dados semanais de IAF, obtidos em parcelas com irrigação máxima, e com dois híbridos diferentes, nos seis primeiros anos (Figura 1). Um segmento exponencial se ajustou ao período da emergência das plantas ao máximo IAF, ocorrido aos 56 DAE: $IAF = 0,0009DAE^{2,1553}$, $R^2 = 0,986$. Outro segmento exponencial, quadrático, se ajustou ao período do máximo IAF ao final do ciclo, que se deu aos 133 DAE: $IAF = 4,1468 + 0,04180DAE - 0,0004DAE^2$, $R^2 = 0,989$.

Para determinar o rendimento de grãos, foi colhida uma área útil de 15 m², correspondente às duas linhas centrais de cada parcela. O rendimento de grãos foi calculado a 13% de umidade.

Pelas análises de regressão, mediante o método dos mínimos quadrados, foi avaliada a variabilidade do rendimento de grãos do milho, para 27 condições hídricas diferentes (Tabela 1), em função da deficiência hídrica (DEF) e da razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ET_r/ET_m), ambas estimadas pelo balanço hídrico de cada condição. As relações do rendimento de grãos com essas variáveis foram estabelecidas para os três períodos diferentes: ciclo completo da cultura, período de 30 dias depois do pendoamento (30P) e dois dias antes do pendoamento a sete dias depois do pendoamento (2P–7P), considerando-se como critério de significância o coeficiente de determinação (R^2) e os coeficientes dos modelos a 5% de probabilidade, pelo teste F.

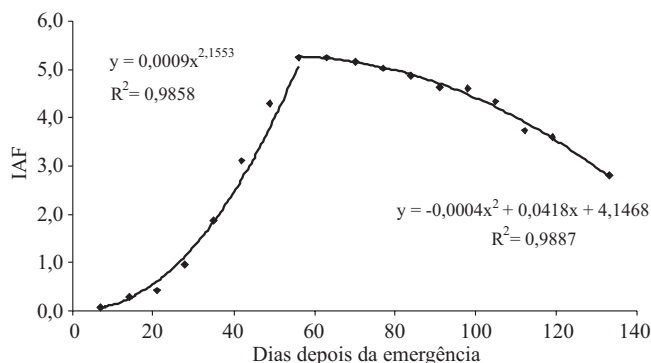


Figura 1. Modelos de estimativa do índice de área foliar (IAF), para dois híbridos precoces de milho (Pioneer 3230 e Pioneer 3063), em função de dias depois da emergência (DAE), tendo o máximo IAF (aos 56 DAE) como ponto de separação entre ambos, no período de 1993/1994 a 1998/1999.

Resultados e Discussão

Na média dos dez anos, a irrigação máxima proporcionou aumento próximo a 70% no rendimento de grãos de milho, em relação à cultura não irrigada (Tabela 1). A irrigação intermediária, com dose de rega média próxima a 60% da irrigação completa, aumentou o rendimento em quase 50%. Bergonci et al. (2001) e Bergamaschi et al. (2004) constataram que uma dose intermediária de irrigação, a partir de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados de milho. Bergonci et al. (2001) demonstraram que essa redução na dose de rega resulta em acréscimo no rendimento de grãos, em relação à quantidade de água aplicada. Com efeito, na média dos dez anos, na dose intermediária a redução foi de 44% na quantidade de água aplicada, com redução de apenas 12% no rendimento de grãos, em relação à dose completa. Para cada milímetro de água aplicada por irrigação, em todo o ciclo, houve acréscimo de 20,3 kg ha⁻¹ de grãos, na dose máxima, e de 25,4 kg ha⁻¹ de grãos, na intermediária, o que significa maior eficiência desta irrigação.

Na máxima irrigação, o rendimento variou de aproximadamente 7,5 t ha⁻¹ até 12,5 t ha⁻¹, com coeficiente de variação de 14,2%. Neste caso, convém salientar que o rendimento do ano 1994/1995 foi menor que os demais, devido à ocorrência de um vendaval depois do espigamento, que reduziu o número de plantas nas parcelas irrigadas. Se fosse desconsiderado este resultado, o coeficiente de variação diminuiria para 11,1%, e o rendimento médio no período (série de anos) aumentaria para 10,4 t ha⁻¹. Assim, desconsiderando-se a safra 1994/1995, em apenas um ano (1999/2000), o rendimento do milho irrigado teria sido inferior a 9 t ha⁻¹, definido como limite inferior para lavouras cultivadas com alta tecnologia (Pioneer, 2004). Em 50% dos anos, o rendimento do milho não irrigado não atingiu 6 t ha⁻¹, considerado como limite superior para lavouras com boa tecnologia (Pioneer, 2004) e, em apenas um ano, teria sido atingido o limite para alta tecnologia (9 t ha⁻¹). Com base nas médias do período, deduz-se que, em tais condições, o produtor da região assume o risco de perder duas safras a cada cinco, se cultivar milho sem irrigação.

Na irrigação intermediária, a redução foi de 12% no rendimento, em relação à irrigação máxima, porém com um coeficiente de variação de 25%. Isto foi ocasionado,

principalmente, pela redução do limite inferior de rendimento (4,9 t ha⁻¹), que foi menor do que na de máxima irrigação (7,5 t ha⁻¹), já que o rendimento máximo se manteve em torno de 12,5 t ha⁻¹.

Quando a cultura não foi irrigada, os rendimentos máximo e mínimo foram inferiores, ficando em 10 e 1,5 t ha⁻¹, respectivamente. Neste caso, a variabilidade interanual do rendimento de grãos aumentou tanto em relação à irrigação intermediária quanto à máxima irrigação, conforme evidencia o coeficiente de variação de 48,8% (Tabela 1). A redução do coeficiente de variação no rendimento de grãos, em resposta à irrigação, demonstra que esta prática tem efeito estabilizador no rendimento do milho, o que pode ser traduzido em redução de risco climático para o milho na região.

Na média dos dez anos, a cultura do milho necessitou da suplementação média de 204 mm no ciclo todo, 64 mm do pendoamento a 30 dias depois (30P) e 23 mm de dois dias antes a sete dias depois do pendoamento (2P-7P) (Tabela 1). Há grande variação interanual na necessidade de irrigação, tanto no total do ciclo quanto nos dois períodos avaliados. Essa oscilação se deve à grande variabilidade das condições pluviométricas entre safras e dentro da mesma estação. As quantidades máximas de água aplicada foram de 400 mm para o ciclo todo, 160 mm para o período P30 e 55 mm para o período 2P-7P. Esses valores máximos são importantes para o dimensionamento de sistemas e mananciais, para fins de planejamento e execução da irrigação em milho.

Os modelos ajustados demonstram que o grau de dependência é menor (r^2 menor), quando se considera todo o ciclo, e é maior (r^2 maior), quando o período fica restrito aos dez dias que abrangem o florescimento, a polinização, a fecundação e a formação inicial do grão (Figura 2). Para todo o ciclo do milho, observou-se redução linear no rendimento de grãos, à medida que aumentou o deficit hídrico, mas com baixo grau de dependência. Para o período 30P, considerado como o período crítico do milho (Medeiros et al., 1991; Matzenauer et al., 1995), o modelo de resposta também é quadrático, com elevação do grau de dependência entre as variáveis. Durante os dez dias, entre dois dias antes e sete dias depois do pendoamento, a relação é quadrática e com maior grau de associação entre o rendimento de grãos e o deficit hídrico. Observa-se que, para esse curto período, a razão E_{Tr}/E_{Tm} explica quase 80% das variações do rendimento de milho na região. A razão E_{Tr}/E_{Tm} representa a água consumida pela cultura, em relação à sua necessidade, no período.

Há duas razões biológicas importantes para a forma quadrática e para os elevados coeficientes de determinação, no período 2P–7P: a primeira é a estabilização de rendimento de grãos com baixa deficiência hídrica ou elevada razão ETr/ETm, que caracterizam uma situação de baixo risco, quando há deficit hídrico menor do que 25 mm, aproximadamente, e uma razão ETr/ETm igual ou maior do que 0,7. Esses dados ratificam conclusões de Matzenauer et al. (2002) e Bergamaschi et al. (2004). A segunda é que, nesse curto período (2P–7P), o grau de dependência da produção de grãos à disponi-

bilidade hídrica é coerente com as observações de Shussler & Westgate (1991) e Zinselmeier et al. (1995); segundo esses autores, a extrema sensibilidade do milho ao deficit hídrico, nesse período, se deve aos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto, e ao desenvolvimento inicial de grãos. Segundo Westgate & Boyer (1985), o deficit hídrico induz à redução no fluxo de assimilados, causando acentuada diminuição no número de grãos por espiga.

O elevado grau de associação, entre o rendimento de grãos de milho e as condições hídricas do período de

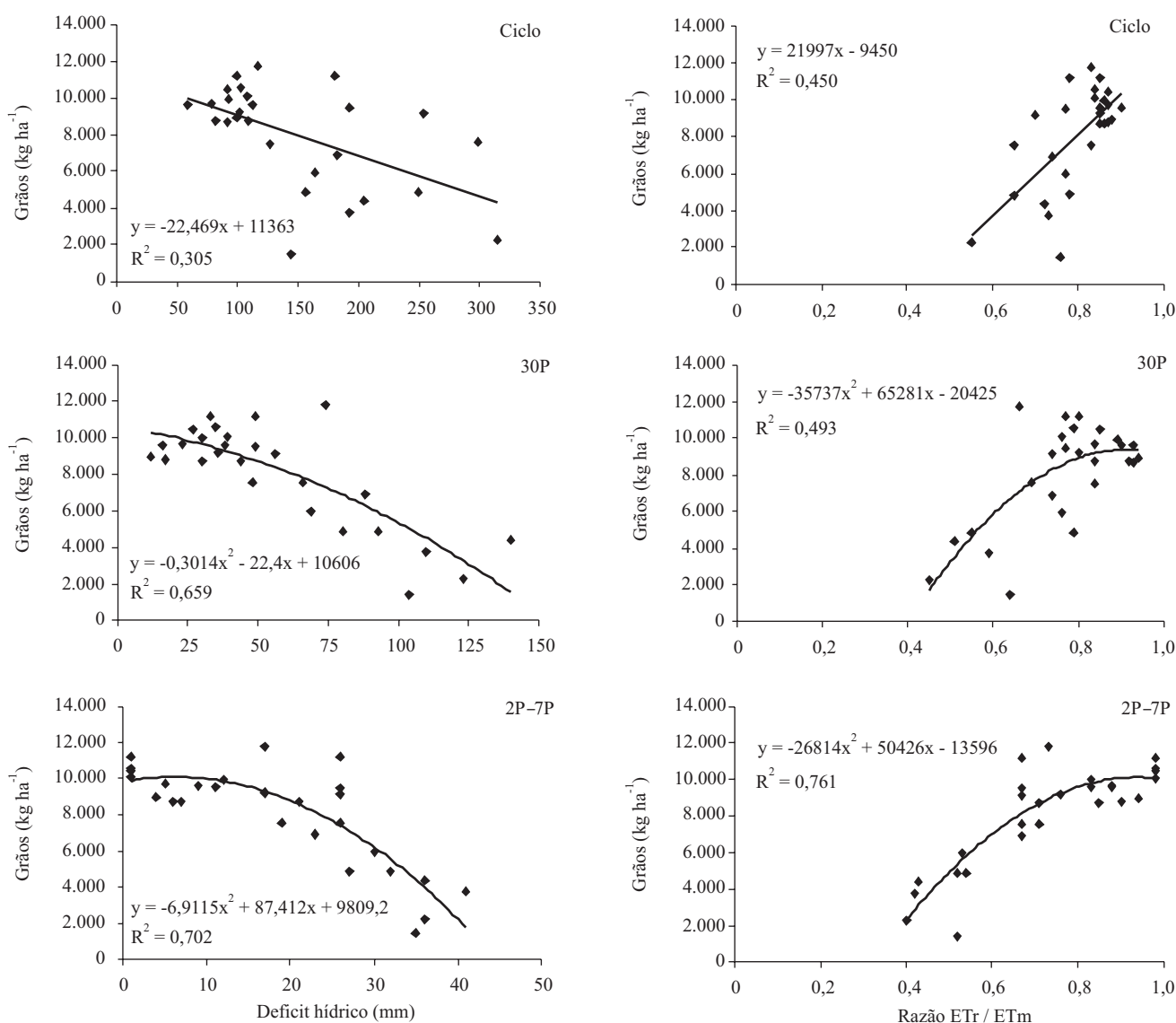


Figura 2. Rendimento de grãos de milho, em função da deficiência hídrica e da razão entre evapotranspiração real e máxima (ETr/ETm), em todo o ciclo da cultura, no período de 30 dias a partir do pendoamento (período 30P) e no período de dois dias antes a sete dias depois do pendoamento (período 2P–7P), na média de 27 ambientes, de 1993/1994 a 2002/2003.

dez dias (2P–7P) tem base teórica, quando considera os processos envolvidos na fixação e na formação inicial dos grãos. Bergamaschi et al. (2004) forneceram a base experimental e o ponto de partida, para fixar este período como o mais crítico, a partir de elevadas respostas do milho a um deficit de curta duração no período considerado. Esses resultados indicaram que o estresse hídrico causa grande impacto no rendimento de grãos, durante este período, por afetar o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga.

Conclusões

1. O deficit hídrico tem maior impacto sobre o rendimento de grãos de milho quando ocorre no florescimento.
2. A redução no rendimento de grãos de milho e o grau do deficit hídrico no florescimento apresentam uma relação quadrática.
3. A adoção de uma dose de rega de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo permite aumentar a eficiência de uso da irrigação.

Referências

- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G. da. *Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)*. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77p.
- BERGAMASCHI, H.; RADIN, B.; ROSA, L.M.G.; BERGONCI, J.I.; ARAGONÉS, R.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; LANGENSIEPEN, M. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. *Revista Argentina de Agrometeorología*, v.1, p.23-27, 2001.
- BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.949-956, 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa-SPI; Embrapa-CNPS, 1999. 412p.
- MATZENAUER, R. *Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul*. 1994. 172p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MALUF, J.R.T.; BARNI, N.A.; BUENO, A.C.; DIDONÉ, I.A.; ANJOS, C.S.; MACHADO, F.A.; SAMPAIO, M.R. *Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.1, p.225-241, 1995.
- MEDEIROS, S.L.P.; WESTPHALEN, S.L.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Relação entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, p.1-10, 1991.
- MORIZET, J.; TOGOLA, D. Effect et arrière-effect de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotypes de maïs. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Versailles. *Les besoins en eau des cultures*. Paris: Inra, 1984. p.351-360.
- MÜLLER, A.G. *Modelagem da matéria seca e do rendimento de grãos de milho em relação à disponibilidade hídrica*. 2001. 120p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PIONEER. *Milho e soja: o que plantar*. Disponível em: <<http://www3.pioneer.com/Brasil/imagens/diversos/tab4gg.htm>>. Acesso em: 11 ago. 2004.
- RADIN, B. *Necessidades de água do milho quantificada em lisímetro e pelo modelo de Penman-Monteith modificado*. 1998. 97p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SCHUSSLER, R.J.; WESTGATE, M.E. Maize kernel set at low potential. I. Sensivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Science*, v.31, p.1189-1195, 1991.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, v.10, p.181-311, 1957.
- WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. *Crop Science*, v.25, p.762-769, 1985.
- ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M.E.; JONES, R.J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. *Crop Science*, v.35, p.158-164, 1995.