

## RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

VLADIRENE MACEDO VIEIRA<sup>1</sup>; PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA<sup>2</sup>; LUÍS SANGOI<sup>3</sup>; NILZA MARIA DOS REIS CASTRO<sup>4</sup>; MÉRCIO LUIZ STRIEDER<sup>1</sup>; DOUGLAS BATISTA JANDREY<sup>5</sup>; PAULO CESAR ENDRIGO<sup>5</sup> E MICHAEL DA SILVA SERPA<sup>6</sup> e JOSÉ ANTÔNIO SALDANHA LOUZADA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Trigo, BR 285, Km 294, Caixa Postal 451, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS. Email: vladirene.vieira@embrapa.br.

<sup>2</sup> Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS.

<sup>3</sup> Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre, RS.

<sup>5</sup> Pioneer Sementes Ltda., Coxilha, RS.

<sup>6</sup> Emater/RS - Ascar, Lajeado, RS.

### 1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes sistemas de irrigação por aspersão e seus efeitos sobre o rendimento de grãos de milho, no sul do Brasil. Três experimentos foram conduzidos em Eldorado do Sul, RS. A data de semeadura e os tratamentos testados em cada experimento foram: Experimento 1 – 08 de novembro de 2005; dois sistemas de irrigação, aspersão convencional e autopropelido com canhão sem sobreposição e quatro híbridos de milho (AS 1560, Dow 2A120, P 30F53 e PENTA); Experimento 2 – 12 de setembro de 2006; três sistemas de irrigação, aspersão convencional, autopropelido com canhão sem sobreposição e autopropelido com barras; Experimento 3 – 01 de outubro de 2007; três sistemas de irrigação, autopropelido com barras, autopropelido com canhão sem sobreposição e autopropelido com canhão com sobreposição. Cada experimento contou com um tratamento testemunha sem irrigação. O uso de irrigação complementar por aspersão aumentou o rendimento de grãos de milho em relação aos tratamentos sem irrigação, com incrementos de 6,2, 3,4 e 9,2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente nos Experimentos 1, 2 e 3, na média de híbridos e sistemas de irrigação avaliados. Além disso, o rendimento de grãos de milho variou conforme o sistema de irrigação e, no primeiro ano, também com o híbrido testado. O uso de irrigação complementar com equipamentos de irrigação por aspersão é uma estratégia eficiente para aumentar o rendimento de grãos de milho no sul do Brasil. Os sistemas de irrigação autopropelido com barras, autopropelido com canhão com sobreposição e aspersão convencional são mais eficientes para atender a demanda hídrica do milho do que o autopropelido com canhão sem sobreposição de lâmina.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, rendimento de grãos, suplementação hídrica.

VIEIRA, V. M.; SILVA, P. R. F. DA; SANGOI, L.; CASTRO, N. M. DOS R.; STRIEDER, M. L.; JANDREY, D. B.; ENDRIGO, P. C.; SERPA, M. DA S.; LOUZADA, J. A. S.

## MAYZE GRAIN YIELD UNDER DIFFERENT SPRINKLER IRRIGATION SYSTEMS

### 2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of different sprinkler irrigation systems and their effects on maize grain yield in southern Brazil. The sowing date and treatments in each experiment were: Experiment 1 – November, 8 2005; two irrigation systems, spraying and self-propelled cannon without overlapping and four hybrids (AS 1560, Dow 2A120, P 30F53 and PENTA). Experiment 2– September, 12 2006; three irrigation systems, spraying, self-propelled cannon without overlapping and self-propelled with bars; Experiment 3– October, 01 2007; three irrigation systems, self-propelled with bars, self-propelled cannon without overlapping and self-propelled cannon with overlapping. Each experiment had also a control treatment with no irrigation. The use of sprinkler irrigation increased grain yield as compared to the control, regardless the system used. The increase of grain yield was 6.2, 3.4 and 9.2 t ha<sup>-1</sup> for experiments 1, 2 and 3, respectively for average of hybrids and irrigation systems tested. Moreover, maize grain yield varied according to the irrigation system, and also with the hybrid tested in the first year. The use of supplementary irrigation with sprinkler irrigation equipment is an effective strategy to increase maize grain yield in southern Brazil. The systems of self-propelled with bars, self-propelled cannon with overlapping and spraying are more efficient to meet water demand of maize than the the system of self-propelled cannon without overlapping.

**Keywords:** *Zea mays*, grain yield, water supply.

### 3 INTRODUÇÃO

Altos rendimentos de grãos de milho resultam do sucesso em se utilizar os fatores do meio com máxima eficiência, minimizando as causas adversas ao desenvolvimento da planta. Esta equação é dependente, principalmente, de três variáveis meteorológicas: radiação solar, temperatura do ar e disponibilidade hídrica (Sangoi et al., 2007).

Por ser uma espécie de metabolismo C<sub>4</sub>, o milho expressa seu potencial de rendimento de grãos quando o estágio de espigamento coincide com os dias mais longos do ano, desde que não ocorra déficit hídrico (Bergamaschi et al., 2004). Isso porque o período entre o pendoamento e o espigamento do milho é o mais sensível à deficiência hídrica (Bergamaschi et al., 2006). O intervalo da emergência do pendão até o aparecimento dos estigmas aumenta com a ocorrência de estresses, como a deficiência hídrica, resultando no desenvolvimento de espigas estéreis ou com poucos grãos por falta de polinização (Bolaños & Edmeades, 1996). Por isso, a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial têm sido os principais condicionantes do rendimento de grãos de milho obtido no sul do Brasil (Forsthofer et al., 2006).

Segundo Matzenauer et al. (2002), no Estado do Rio Grande do Sul o milho necessita de 412 a 648 mm durante seu ciclo, dependendo da região e, que entre 1913 e 1990, houve em média 40% de probabilidade de ocorrência de déficit hídrico para essa cultura no Estado. Dessa forma, em regiões ecoclimáticas com intensa e freqüente ocorrência de deficiência hídrica nos meses de verão é relevante avaliar a importância da irrigação complementar e o desempenho de

sistemas de irrigação que tornem o cultivo de milho menos dependente do regime de precipitação pluvial.

A escolha do método de irrigação deve considerar o tamanho da área cultivada, o custo do equipamento e a sua praticidade de manejo (Matzenauer et al., 2002; Bergamaschi et al., 2004). Além disso, a topografia, o tipo de solo, as disponibilidades de água, energia e mão-de-obra, e aspectos econômicos e ambientais são muito importantes na escolha do método de irrigação. Dentre estes, o uso de aspersão se destaca pela adaptação a diversas condições de solo e topografia, além de poder ser totalmente automatizado. Esse método apresenta ampla variação de sistemas, dentre eles a aspersão convencional e o autopropelido.

O sistema de irrigação por aspersão convencional pode ser fixo, semifixo ou portátil, e é muito utilizado em pequenas e médias propriedades devido sua ampla aplicabilidade (Martins et al., 2011). Já o sistema autopropelido foi a primeira evolução da aspersão em termos de automação, destacando-se pela facilidade de manejo (Rocha et al., 2005). Estes sistemas diferem quanto à uniformidade de distribuição da água (Andrade, 2001), o que torna importante a avaliação de seus desempenhos na suplementação hídrica para a cultura do milho. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes sistemas de irrigação por aspersão e seus efeitos sobre o rendimento de grãos de milho, no sul do Brasil.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos na Estação Experimental Agronômica (EEA), da Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul (30° 05' latitude Sul, 51° 39' longitude Oeste e 42 m de altitude), região ecoclimática da Depressão Central do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008. O clima da região é subtropical úmido (tipo Cfa), conforme classificação de Köppen. Segundo dados da Estação Meteorológica da EEA da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no período de 1970 a 2010 as precipitações médias mensais desta região variaram de 103 a 158 mm.

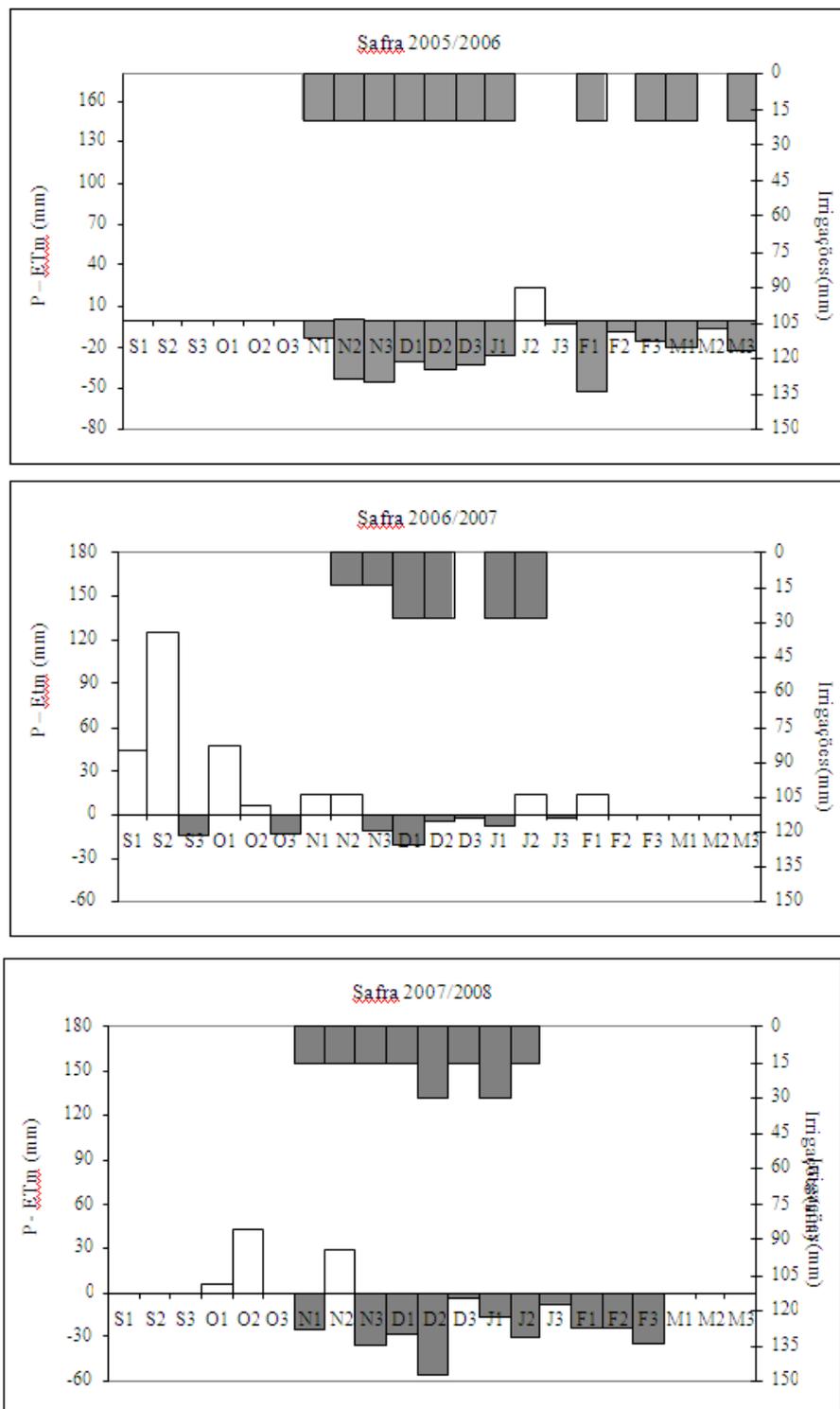
No Experimento 1, os tratamentos constaram de quatro híbridos de milho (AS 1560, Dow 2A120CL, Penta e P 30F53), dois sistemas de irrigação por aspersão (convencional e autopropelido com canhão sem sobreposição) e de um tratamento testemunha sem irrigação. A semeadura foi realizada em 08 de novembro de 2005, na densidade de 7,0 pl m<sup>-2</sup> e espaçamento entre linhas de 0,7 m. A adubação de base foi de 25, 100 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. A adubação em cobertura foi de 80, 60 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados nos estádios de cinco (V<sub>5</sub>), nove (V<sub>9</sub>) e quinze (V<sub>15</sub>) folhas expandidas, de acordo com a escala de Ritchie et al. (1993). Segundo o Departamento de Agrometeorologia da UFRGS, a precipitação pluvial durante o ciclo da cultura foi de 254 mm e a evapotranspiração do milho, calculada pelo método de Penman e corrigida pelo coeficiente de cultivo do milho (Bergamaschi et al., 1999), foi de 583 mm, havendo um déficit hídrico de 329 mm (Figura 1). Foram realizadas onze irrigações durante o período experimental, com lâmina média de água de 20 mm em cada evento, totalizando 220 mm irrigados. A colheita foi realizada em 30 de março de 2006.

No Experimento 2, os tratamentos constaram de três sistemas de irrigação por aspersão (convencional, autopropelido com barras e autopropelido com canhão sem sobreposição de lâminas) e de um tratamento testemunha sem irrigação. O híbrido de milho utilizado foi o AS

1560. Procedeu-se a semeadura em 12 de setembro de 2006, com adubação de 30, 120 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Utilizou-se a densidade de 6,0 pl m<sup>-2</sup> e o espaçamento entre linhas de 0,7 m. Aplicou-se 85 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, nos estádios V<sub>4</sub> e V<sub>10</sub>, respectivamente. A precipitação pluvial mensurada pelo Departamento de Agrometeorologia da UFRGS durante o ciclo do milho foi de 629 mm e a evapotranspiração, calculada da mesma maneira que no Experimento 1, foi de 429 mm, não apresentando déficit hídrico no balanço geral (Figura 1). Porém, devido à distribuição desuniforme da chuva, ocorreram períodos de déficit hídrico que coincidiram com o florescimento e o enchimento de grãos. Dessa forma, as irrigações iniciaram no estádio de espigamento (R<sub>1</sub>) da cultura, pois até este período não houve déficit hídrico. Foram feitas dez irrigações durante o período experimental, com lâmina média de água de 14 mm em cada evento, totalizando 140 mm irrigados. A colheita foi realizada em 07 de fevereiro de 2007.

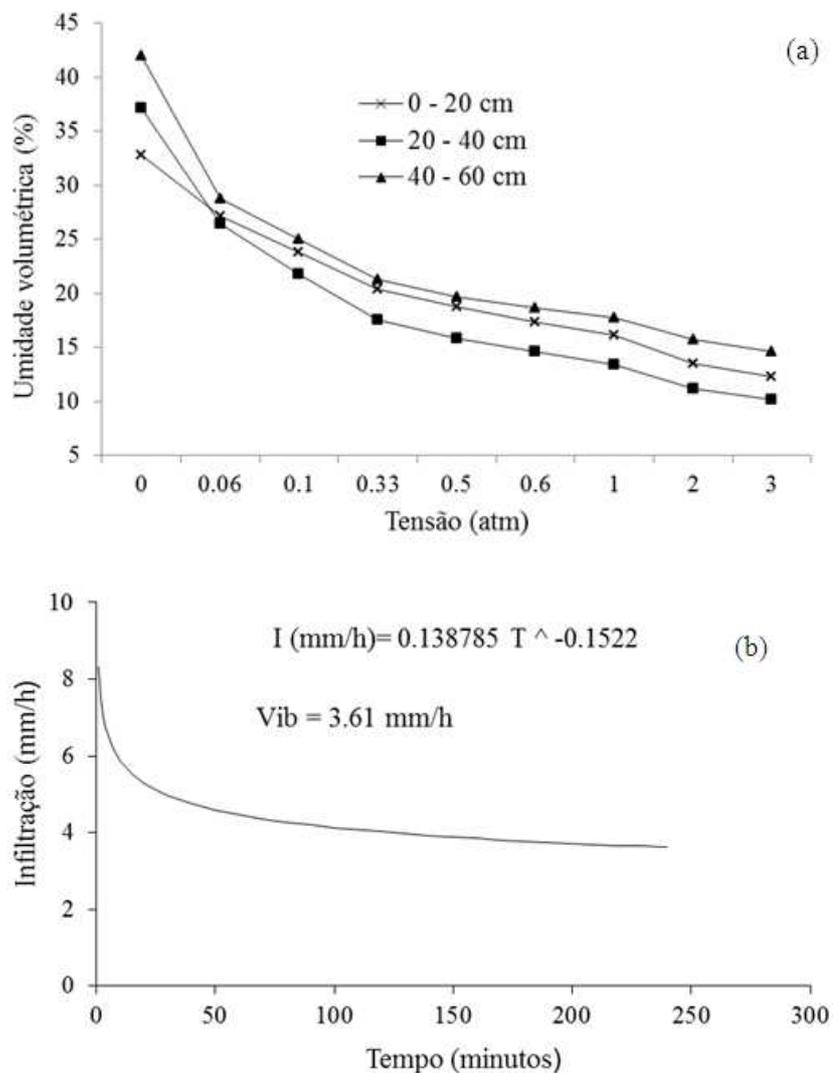
No Experimento 3, os tratamentos constaram de três sistemas de irrigação por aspersão (autopropelido com barras, autopropelido com canhão sem sobreposição e autopropelido com canhão com sobreposição) e de um tratamento testemunha sem irrigação. O híbrido utilizado foi o AS 1575. A semeadura foi realizada em 01 de outubro de 2007, com adubação de 30, 120 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Utilizou-se a densidade de 7,0 pl m<sup>-2</sup> e espaçamento entre linhas de 0,7 m. As doses e as épocas de aplicação da cobertura nitrogenada foram as mesmas do Experimento 2. A precipitação pluvial mensurada pelo Departamento de Agrometeorologia da UFRGS durante o desenvolvimento da cultura foi de 454 mm e a evapotranspiração do milho, calculada do mesmo modo que no Experimento 1, foi de 661 mm, havendo um déficit hídrico de 207 mm (Figura 1). Foram realizadas dez irrigações durante o período experimental, totalizando 140, 80 e 140 mm irrigados, respectivamente, nos tratamentos autopropelido com barras, autopropelido com canhão sem sobreposição e autopropelido com canhão com sobreposição. Nesse tratamento, para que houvesse sobreposição da lâmina aplicada, foram realizadas duas passadas distanciadas 15 m, equivalente ao raio molhado do equipamento. Por isso, a lâmina média aplicada foi maior (14 mm) em relação à do tratamento sem uso de sobreposição (8 mm). No tratamento autopropelido com barras a lâmina média aplicada foi de 14 mm. Procedeu-se a colheita em 27 de fevereiro de 2008.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Streck et al., 2008) e apresentava as seguintes características: Experimento 1 - densidade: 1500 g dm<sup>-3</sup>; argila: 270 mg kg<sup>-1</sup>; pH<sub>(água)</sub>: 5,8; índice SMP: 6,5; P (Mehlich 1): 16 mg dm<sup>-3</sup>; K (Mehlich 1): 154 mg dm<sup>-3</sup>; MO: 26 mg kg<sup>-1</sup> e CTC: 9,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Experimento 2 - densidade: 1490 g dm<sup>-3</sup>; argila: 240 mg kg<sup>-1</sup>; pH<sub>(água)</sub>: 5,6; índice SMP: 6,5; P (Mehlich 1): 21 mg dm<sup>-3</sup>; K (Mehlich 1): 137 mg dm<sup>-3</sup>; MO: 23 mg kg<sup>-1</sup> e CTC: 8,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e Experimento 3 - densidade: 1508 g dm<sup>-3</sup>; argila: 210 mg kg<sup>-1</sup>; pH<sub>(água)</sub>: 5,7; índice SMP: 6,5; P (Mehlich 1): 14 mg dm<sup>-3</sup>; K (Mehlich 1): 160 mg dm<sup>-3</sup>; MO: 28 mg kg<sup>-1</sup> e CTC: 10,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.



**Figura 1.** Balanço hídrico decenal dos anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008, calculado pelo método de Thornthwaite & Mather (1995). Eldorado do Sul-RS.

Para caracterizar o solo da área experimental e definir critérios para irrigação foram realizados três ensaios: curva de retenção de água no solo, curva de infiltração e ensaio da condutividade hidráulica saturada. A curva de retenção de água no solo foi realizada no laboratório do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, a partir de amostras de solo indeformado coletadas do local do experimento com cilindros de 5,0 cm de diâmetro e 2,8 cm de altura. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm e colocadas em painéis de pressão até 3,0 atm. O primeiro ponto (0,06 atm) foi obtido na mesa de tensão. Na Figura 2 são apresentados os resultados da umidade volumétrica média de três amostras para cada uma das profundidades e a umidade volumétrica média dessas três curvas (média de 0 a 60 cm), correspondentes às tensões de 0,06 a 3,0 atm.



**Figura 2.** Umidade volumétrica em três camadas de solo equivalentes às tensões de 0 a 3,0 atm (curva de retenção de água no solo) (a) e curva de infiltração de água no solo (b) calculada pelo método de cilindros concêntricos. Eldorado do Sul-RS.

A curva de infiltração foi realizada no local do experimento pelo método dos cilindros concêntricos. A velocidade de infiltração básica do solo ( $V_{ib}$ ) foi de  $3,61 \text{ mm h}^{-1}$ . Foram instalados três tensiômetros nas profundidades de 15 e 30 cm. A condutividade hidráulica saturada foi obtida pelo ensaio do poço invertido (Ulzurrún et al., 1977), realizado no local do experimento. O valor observado foi de  $4,14 \text{ mm h}^{-1}$ , o qual é muito próximo do valor da  $V_{ib}$  ( $3,61 \text{ mm h}^{-1}$ ) (Figura 2). Com base nestes valores, o tempo de deslocamento do autopropelido, tanto do canhão como do com barras, foi programado para que a intensidade de irrigação não ultrapassasse  $4,0 \text{ mm h}^{-1}$ , buscando evitar o escoamento superficial. Essa medida foi tomada por precaução, já que as irrigações eram feitas com o solo seco, condição em que, de acordo com a curva de infiltração, as taxas de infiltração eram superiores a  $8,5 \text{ mm h}^{-1}$ .

As lâminas de irrigação foram calculadas para que a umidade do solo fosse mantida entre o limite hídrico inferior do milho ( $-0,5 \text{ atm}$ ) e a capacidade de campo ( $0,06 \text{ atm}$ ). Estes pontos situam-se entre as umidades volumétricas de 18,1 e 27,4 %, obtidas pela curva de retenção de água no solo. A dose líquida máxima foi calculada pela diferença entre estas duas umidades multiplicadas pela profundidade da raiz do milho, obtendo-se os valores entre 9,3 e 46,5 mm para raízes entre 10 e 50 cm de comprimento. Em todos os experimentos utilizou-se dose líquida menor que estas, procurando deixar o solo com umidade entre 18,1 e 27,4 %, conforme já descrito. As irrigações foram realizadas sempre que o potencial de água no solo, medido por tensiômetros instalados a 15 e a 30 cm de profundidade, atingia  $-0,5 \text{ atm}$ .

No tratamento com sistema de aspersão convencional, os aspersores eram dotados de dois bocais, um com 4,0 e outro com 5,5 mm, espaçados seis metros um do outro. A pressão medida nos aspersores foi de 10 mca e o raio de alcance de 10 m. Nos tratamentos com irrigação por aspersão com sistema autopropelido com canhão foi utilizado o equipamento Irrigat 50/100, da empresa Hidrotec, que funcionou com dois bocais de 14,0 e 2,8 mm, pressão de 35 mca e raio de alcance de 20 m. Este equipamento apresenta um canhão acoplado a um carrinho que se desloca ao longo da área a ser irrigada por meio de um sistema composto de um carretel e de um pistão que enrola uma mangueira de 120 m. O equipamento autopropelido com barras possuía o mesmo sistema de traslado do autopropelido com canhão, porém, ao invés do canhão, o equipamento apresentava uma barra de 40 m de comprimento com aspersores dotados de bocais de 5,4 mm e pressão de 10,5 mca. Cada aspersor possuía reguladores de pressão que garantiam a mesma vazão ao longo da barra.

Em todos os experimentos foram realizados testes de uniformidade de irrigação. Nos tratamentos por aspersão convencional, a água proveniente da irrigação foi coletada em uma seção ortogonal ao deslocamento do sistema por meio de 30 pluviômetros dispostos diretamente na superfície do solo. Destes, 15 foram instalados dentro da área experimental e 15 fora da mesma, a uma distância de três metros das linhas dos aspersores. Nestas coletas, as plantas de milho apresentavam 10 a 20 cm de altura. Já quando as plantas de milho atingiram 30 cm de altura, as coletas foram realizadas somente pelos 15 pluviômetros colocados fora da área experimental, para evitar a coleta de amostras cuja lâmina de água tivesse sido parcialmente interceptada pelas folhas. Nos tratamentos irrigados com autopropelido por canhão e com barras os pluviômetros foram dispostos em duas linhas paralelas às fileiras de milho, a três e a seis metros de distância da posição inicial do equipamento. Cada pluviômetro foi instalado a três metros de distância um do outro. O coeficiente de uniformidade foi determinado pela metodologia de Christiansen (Brauer et al., 2011).

O delineamento experimental utilizado nos três ensaios foi o de blocos casualizados, com

quatro repetições. No Experimento 1, os tratamentos foram arranjados em parcelas divididas, com os sistemas de irrigação locados na parcela principal e os híbridos de milho nas subparcelas. As avaliações realizadas no Experimento 1 foram rendimento de grãos e duração do período vegetativo. Já nos Experimentos 2 e 3, avaliou-se também os componentes do rendimento (número de espigas por metro quadrado, número de grãos por metro quadrado e peso do grão). Cada unidade experimental foi constituída por oito linhas de 5 m de comprimento. O rendimento de grãos e os componentes do rendimento (Experimentos 2 e 3) foram avaliados nas quatro fileiras centrais da parcela, deixando-se 0,5 m em cada extremidade como bordadura, totalizando área útil de 11,2 m<sup>2</sup>. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo F-teste. Quando alcançada significância, a comparação de médias foi feita pelo teste Duncan ( $p < 0,05$ ).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados o balanço hídrico (P-ET) e as lâminas de água aplicadas via irrigação ao longo do ciclo do milho. Observou-se que durante o Experimento 1 ocorreu a menor precipitação (254 mm) dos três períodos avaliados (629 e 454 mm nos Experimentos 2 e 3, respectivamente) e que houve deficiência hídrica durante os Experimentos 1 (-329 mm) e 3 (-207 mm). No entanto, no Experimento 1 as precipitações concentraram-se na pré-floração, no pendoamento-espigamento e no início de enchimento de grãos, que são considerados períodos críticos da cultura à estiagem (ÇAKIR, 2004). Durante essa fase, a redução do rendimento de grãos de milho e o grau do déficit hídrico apresentam uma relação quadrática (Bergamaschi et al., 2006). Isto justifica o rendimento do tratamento sem irrigação no Experimento 1 ter alcançado 42% do rendimento obtido nas parcelas irrigadas (Tabela 1), enquanto que no Experimento 3 o rendimento do tratamento testemunha foi de apenas 6% dos valores registrados nos tratamentos com irrigação (Tabela 2). Nesse ensaio, apesar de contar com 200 mm a mais de precipitações durante o ciclo, observaram-se severos déficits hídricos antes e durante o período reprodutivo do milho. Assim, apesar de ter havido maior precipitação pluvial durante o Experimento 3 (454 mm) do que no 1 (254 mm), os benefícios da irrigação sobre o rendimento de grãos foram maiores na terceira do que na primeira estação de crescimento. Isto reforça que a distribuição da precipitação pluvial é tão importante quanto seu volume (Bergamaschi et al., 2004). Já no Experimento 2 não houve deficiência hídrica para o milho, ao contrário, choveu mais 200 mm do que o milho utilizou no processo de evapotranspiração. Isso resultou em elevado rendimento de grãos da testemunha sem irrigação, que correspondeu a 72% do obtido nos tratamentos com irrigação complementar (Tabela 2).

Nos três experimentos o rendimento de grãos de milho variou conforme o sistema de irrigação e, no primeiro, também com o híbrido testado (Tabelas 1 e 2). No Experimento 1, houve incremento do rendimento de grãos com o uso de irrigação em relação à testemunha, independentemente do sistema de irrigação (Tabela 1). Na média dos dois sistemas de irrigação, os incrementos de rendimento em relação à testemunha variaram de 5,0 a 7,4 t ha<sup>-1</sup>, dependendo do híbrido. Estes valores representam aumentos de 81 e de 322%, respectivamente, no rendimento de grãos e concordam com o observado por Çakir (2004), que na média de três anos de avaliação, registrou um incremento de quase três vezes no rendimento de grãos com uso de irrigação em relação à testemunha. O sistema de irrigação por aspersão convencional propiciou maiores rendimentos de grãos do que o autopropelido com canhão sem sobreposição para todos

os híbridos testados (Tabela 1). Os incrementos de rendimento com o sistema de aspersão convencional em relação ao uso do autopropelido com canhão sem sobreposição variaram entre 11,5 e 23%, dependendo do híbrido. O híbrido P 30F53 foi o mais produtivo nos tratamentos irrigados, enquanto que o híbrido Penta alcançou o maior rendimento no tratamento sem irrigação. O menor rendimento de grãos na testemunha sem irrigação foi o do híbrido Dow 2A120, sendo equivalente a 44% do valor médio obtido para os demais híbridos. Esse resultado provavelmente deveu-se à menor exigência desse híbrido em soma térmica para florescer. As diferenças na duração do sub-período emergência-espigamento (Tabela 1) possivelmente atuaram como mecanismos de escape da deficiência hídrica durante os períodos críticos da cultura, favorecendo os híbridos de ciclo mais longo.

No Experimento 2, à semelhança do observado no ano anterior, o rendimento de grãos obtido com a utilização do sistema autopropelido com canhão sem sobreposição foi inferior ao dos sistemas por aspersão convencional e autopropelido com barras, que não diferiram entre si. No entanto, o rendimento de grãos no sistema com uso de canhão foi semelhante ao obtido no tratamento sem irrigação (Tabela 2). Na média dos sistemas de irrigação, houve incremento de  $3,4 \text{ t ha}^{-1}$  no rendimento de grãos em relação ao tratamento sem irrigação. Neste ano, a semeadura foi realizada em setembro, o que fez com que a cultura aproveitasse o elevado volume de precipitação pluvial que ocorreu na primavera. Isso contribuiu para minimizar os efeitos da deficiência hídrica mais intensa que ocorreu no mês de dezembro. O comportamento do rendimento de grãos também foi observado para componente do rendimento peso do grão, indicando sua relevância na composição dos rendimentos de grãos obtidos (Tabela 2). Esse dado difere dos observados em experimentos que contrastam situações de déficit hídrico com disponibilidade hídrica adequada no cultivo do milho, onde o número de grãos por espiga ou por área são frequentemente associados ao rendimento de grãos (Bergonci et al., 2001; O'Neill et al., 2004). O resultado observado nesse experimento pode estar relacionado a pequena magnitude dos déficits hídricos ocorridos, os quais não comprometeram esses componentes do rendimento (Tabela 2).

Da mesma forma que no Experimento 1, no Experimento 3 a irrigação complementar aumentou o rendimento de grãos do milho em relação à testemunha sem irrigação, independentemente do sistema utilizado (Tabela 2). O maior rendimento de grãos foi observado com o uso do equipamento autopropelido com canhão com sobreposição, que foi 20 vezes superior ( $12,0 \text{ t ha}^{-1}$ ) ao do tratamento sem irrigação ( $0,6 \text{ t ha}^{-1}$ ). Conforme observado nos dois anos anteriores, o menor incremento no rendimento de grãos propiciado pela irrigação em relação à testemunha ocorreu com a utilização do sistema autopropelido com canhão sem sobreposição. Conforme já descrito, neste experimento, a baixa produtividade do tratamento sem irrigação ( $0,6 \text{ t ha}^{-1}$ ) é resultado do severo déficit hídrico ocorrido em 2007/2008, o qual iniciou ainda no período vegetativo e se estendeu até o final do ciclo do milho. Da mesma forma que o rendimento de grãos, o número de espigas e o número de grãos por metro quadrado foram reduzidos em 58 e 93% na testemunha sem irrigação em relação à média dos tratamentos com irrigação, semelhante ao observado por Bergamaschi et al. (2004) e Serpa et al. (2012) em ensaios realizados no mesmo local.

Nos Experimentos 1 e 3 a duração do sub-período emergência-espigamento foi maior nas testemunhas sem irrigação, o que comprometeu a polinização e o rendimento de grãos em relação aos tratamentos com irrigação complementar (Tabelas 1 e 2). Sob condições de deficiência hídrica aumenta a defasagem entre os florescimentos masculino e feminino (Campos et al.,

2006). Como o período de liberação e viabilidade dos grãos de pólen é curto, isto faz com estes sejam liberados e não encontrem estilo-estigmas receptivos (Fuad-Hassan et al., 2008), o que diminui o número de óvulos fertilizados e, conseqüentemente, o número de grãos produzidos por espiga.

A baixa resposta à irrigação com o sistema autopropelido com canhão sem sobreposição observada nos três experimentos pode ser atribuída à desuniformidade de aplicação da lâmina de água devida, principalmente, à lâmina de irrigação ser máxima próxima ao canhão e ir decrescendo conforme se afasta do equipamento. Estas observações concordam com a medida do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) que, na média dos três experimentos, foram de 70% na faixa interna (entre o canhão e 7,5 m afastado do canhão) e de apenas 20% na faixa externa (de 7,5 m a 15 m do canhão), valores considerados inaceitáveis para esse sistema (Keller & Bliesner, 1990). A distribuição da água por este equipamento é muito influenciada pelo vento (Andrade, 2001), podendo ocorrer o lançamento da lâmina somente numa direção, o que intensifica a desuniformidade. Mantovani et al. (2012) observaram que a produtividade de feijão cultivado sob irrigação por aspersão convencional foi 1.974 e 2.946 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para valores de CUC de 65 e 90%, o que reforça a importância da uniformidade da lâmina de água aplicada para o rendimento de grãos.

**Tabela 1.** Produtividade e duração do período vegetativo (emergência-espigamento), de quatro híbridos de milho em função de dois sistemas de irrigação complementar no Experimento 1. Eldorado do Sul-RS, 2005/06.

Híbrido	Sistemas de irrigação		
	Aspersão convencional	Autopropelido com canhão sem sobreposição	Testemunha sem irrigação
	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )		
AS 1560	10,6 Ca*	9,5 Bb	4,6 Bc
Dow 2A120	10,7 Ca	8,7 Bb	2,3 Cc
P 30F53	13,1 Aa	10,6 Ab	5,0 Bc
PENTA	12,0 Ba	10,5 Ab	6,2 Ac
	Período vegetativo (dias)		
AS 1560	70 Ab	71 Ab	76 Aa
Dow 2A120	63 Cb	62 Bb	70 Ca
P 30F53	68 ABb	70 Ab	76 Aa
PENTA	67 Bb	71 Aa	73 Ba

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação entre híbridos) e seguidas pela mesma letra minúscula na linha (comparação entre sistemas de irrigação dentro de cada híbrido) não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ).

No sistema auto-propelido com canhão com sobreposição das lâminas, o CUC foi de 70%, o mesmo valor observado na faixa interna para esse sistema sem uso de sobreposição. Isso evidencia que essa estratégia aumentou a uniformidade de distribuição da lâmina aplicada, embora não tenha alcançado valores de CUC considerados satisfatórios para esse sistema (acima de 75%) (Keller & Bliesner, 1990). No entanto, esse equipamento proporcionou rendimento de grãos superior ao obtido pelo mesmo equipamento sem uso de sobreposição, conforme já descrito (Tabela 2). Segundo Rocha et al. (2005), a sobreposição de lâminas é necessária para corrigir as distorções no perfil de distribuição de água em sistemas autopropelidos, os quais comumente apresentam esse problema. Na prática, observa-se que muitos agricultores utilizam este método sem sobreposição por desconhecimento técnico e por falta de informação no momento da aquisição do equipamento. No entanto, há que se considerar que o uso do autopropelido com canhão com sobreposição implica em menor tamanho de área irrigada por turno de irrigação e em maior custo da irrigação, devido ao maior número de passagens do equipamento.

**Tabela 2.** Produtividade, componentes do rendimento e duração do período vegetativo (emergência-espigamento) do milho em função de três sistemas de irrigação complementar nos Experimentos 2 e 3. Eldorado do Sul-RS, 2006/07 e 2007/08.

Sistema de Irrigação	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	Espigas m <sup>-2</sup> (nº)	Grãos m <sup>-2</sup> (nº)	Peso grão (mg)	Período vegetativo (dias)
Experimento 2 - 2006/07					
Aspersão convencional	13,5 a*	5,9 a	3676 <sup>ns</sup>	367 a	69 <sup>ns</sup>
Autopropelido com canhão sem sobreposição	10,5 b	5,9 a	3188	331 b	71
Autopropelido com barras	13,4 a	6,1 a	3671	365 a	70
Testemunha sem irrigação	9,0 b	5,6 b	3383	267 c	70
Experimento 3 - 2007/08					
Autopropelido com canhão com sobreposição	12,0 a*	6,6 a	3887 a	373 a	71 b
Autopropelido com canhão sem sobreposição	7,7 c	5,9 a	2401 b	352 ab	77 b
Autopropelido com barras	9,8 b	6,5 a	3263 a	364 a	77 b
Testemunha sem irrigação	0,6 d	2,6 b	210 c	330 b	84 a

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não significativo pelo F-teste.

O maior valor do CUC foi observado no sistema autopropelido com barras, cuja média nos Experimentos 2 e 3 foi de 80%, o que indica boa uniformidade de distribuição da água (Keller & Bliesner, 1990). Nesse sistema, os aspersores são distribuídos na barra de forma a haver sobreposição da lâmina de água, além de possuir reguladores de pressão em cada aspersor, o que garante a mesma vazão em todos eles. Já no sistema de aspersão convencional, na média dos dois primeiros anos, o CUC foi de 52%, demonstrando que a distribuição da água por esse sistema foi bastante desuniforme (Dechmi et al., 2003; Bernardo et al., 2005). Os canos e aspersores utilizados eram antigos e apresentaram alguns vazamentos que foram corrigidos ao longo do experimento, o que dificulta a avaliação do desempenho desse sistema. Entretanto, nos Experimentos 1 e 2 esse sistema alcançou rendimentos de grãos superiores aos obtidos pelo autopropelido com canhão sem sobreposição (Tabelas 1 e 2).

Os incrementos no rendimento de grãos com uso da irrigação complementar em relação às testemunhas sem irrigação devem-se às diferenças na quantidade e na distribuição da precipitação pluvial, e à coincidência da ocorrência de déficit hídrico com os períodos críticos de desenvolvimento da planta, conforme observado por Bergamaschi et al. (2004). No Experimento 1, a suplementação hídrica aumentou em 6,2 t ha<sup>-1</sup> o rendimento de grãos em relação à testemunha sem irrigação, na média de híbridos e sistemas de irrigação avaliados. Já no Experimento 3, o incremento médio foi de 9,2 t ha<sup>-1</sup>. Isto representa acréscimos superiores a 100 e 150 sacos de milho ha<sup>-1</sup>, respectivamente, numa única estação de crescimento. Em Eldorado do Sul-RS e Lages-SC, a elevação do nível de manejo no cultivo do milho, incluindo o uso de irrigação, incrementou o rendimento de grãos e a margem bruta por hectare (Sangoi et al., 2003). Portanto, os dados demonstram que a irrigação complementar é uma prática com alto potencial para elevar os tetos produtivos do milho no sul do Brasil e para viabilizar seu cultivo em sistemas de rotação e sucessão de culturas em regiões mais quentes, com longa estação estival de crescimento.

## 6 CONCLUSÕES

O uso da irrigação complementar com equipamentos de irrigação por aspersão é uma estratégia eficiente para aumentar o rendimento de grãos de milho no sul do Brasil.

Os sistemas de irrigação autopropelido com barras, autopropelido com canhão com sobreposição e aspersão convencional são mais eficientes para atender a demanda hídrica do milho do que o autopropelido com canhão sem sobreposição de lâmina.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. L.T. **Seleção do sistema de irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 18 p. (Circular Técnica, 14).

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, A. M.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R.; SANTOS, M. L. V.; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1999. 125 p.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I; MULLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P. G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

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**, Brasília, v.36, n.7, p.949-956, 2001.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2005. 611 p.

BOLANÕS, J. & EDMEADES, G.O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, n.1, p.65-80, 1996.

BRAUER, R. L.; CRUZ, R. L.; VILLAS BÔAS, R. L.; PLETSCH, T. A. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em gotejadores em função do teor de ferro. **Irriga**, Botucatu, v.16, n.1, p.21-30, 2011.

ÇAKIR, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.89, n.1, p.1-16, 2004.

CAMPOS, H.; COOPER, M.; EDMEADES, G. O.; LÖFFLER, C.; SCHUSSLER, J. R.; IBANÑEZ, M. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. **Maydica**, Bergamo, v.51, n.2, p.369-381, 2006.

DECHMI, F., PLAYÁN, E., CAVERO, J., FACI, J.M., MARTINEZ-COB, A. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). **Irrigation Science**, Heidelberg, v.22, n.2, p.67-77, 2003.

FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A. A. Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.399-407, 2006.

FUAD-HASSAN, A., TARDIEU, F.; TURC, O. Drought-induced changes in anthesis-silking interval are related to silk expansion: a spatio-temporal growth analysis in maize plants subjected to soil water deficit. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v.31, n.9, p.1349-1360, 2008.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: AnaviBook; Van Nostrand Reinhold, 1990, 652 p.

MANTOVANI, E. C.; MONTES, D. R. P.; VIEIRA, G. H. S.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.110-120, 2012.

MARTINS, C. A. S., REIS, E. F., PASSOS, R. R., GARCIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Idesia**, Arica, v.29, n.3, p.65-74, 2011.

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).

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S.; CALDWELL, B. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.6, p.1660-1667, 2004.

RITCHIE, S. W.; JOHN, J. H.; GARREN, O. B. **How a corn plant develops?** Ames: Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, 1993. (Special Report, 48).

ROCHA, F. A.; PEREIRA, G. M.; ROCHA, F.S.; SILVA, J. O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.1, p.96-106, 2005.

SANGOI, L.; ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; MINETTO, T. J.; BISOTTO, V. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1021-1029, 2003.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2007. 95 p.

SERPA, M. S.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. VIEIRA, V. M.; MARCHESI, D. Densidade de plantas de milho em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigado e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n.4, p.541-549, 2012.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER-RS, 2008. 222 p.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. **Publications in Climatology**, v.10, n.3, p.181-311, 1957.

ULZURRUN, M. D. D; CASTILLO. F. E., BELTRAN, J. M., LASALA, L. C. **Principios y aplicaciones del drenaje**. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1977. p. 197. (Estudios e Investigaciones, 16, vol. III).