

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR ESTRESSE POR
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E PARA POTENCIALIZAR RENDIMENTO DE
GRÃOS EM MILHO SOB CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO.**

Guilherme Batista Menegati
Engenheira Agrônoma/UFRGS

Dissertação apresentada com um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Junho de 2013

CIP - Catalogação na Publicação

Menegati, Guilherme Batista
ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR ESTRESSE POR
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E PARA POTENCIALIZAR RENDIMENTO
DE GRÃOS EM MILHO IRRIGADO / Guilherme Batista
Menegati. -- 2013.
xix, 132 f.

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2013.

1. irrigação. 2. densidade de plantas. 3. híbridos.
I. Ferreira da Silva, Paulo Regis, orient. II.
Título.

GUILHERME BATISTA MENEGATI
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 07.06.2013
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 14.07.2014
Por

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
Orientador - PPG Fitotecnia

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

CHRISTIAN BREDEMEIER
PPG Fitotecnia

ALDO MEROTTO JUNIOR
PPG Fitotecnia

LUÍS SANGOI
PPG Agronomia
UDESC/SC

PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de
Agronomia

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelo apoio e
incentivo constante.

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar ao professor Paulo Regis Ferreira da Silva, orientador incansável e amigo, responsável por minha formação científica nesses dois anos de orientação, exemplo de pessoa e profissional.

Aos colegas da pós-graduação Silmara da Luz Correia, Michael da Silva Serpa e Darlan Marchezi, aos bolsistas de iniciação científica Matheus Barreto Maas, Cristhiano Gehlen, Guilherme Borba Menezes e Bruna Guterres Soares, pela ajuda na realização do trabalho e, sobretudo, pela amizade.

Aos bolsistas voluntários Cristhian Riquetti, Laís Corrêa Miozzo, Gabriela Inveninato Carmona, Isadora Jaeger, Daniele Camargo e Fabiane Lopes, pelo período de convivência e ajuda na condução dos trabalhos.

Ao professor Renato Levien e ao colega Rodrigo Schoenfeld pelo incentivo ao meu retorno à universidade para fazer mestrado.

Aos meus padrinhos Zilá e Ismael Maguilnik pelo incentivo, hospitalidade e carinho.

À minha namorada Fernanda Schimitt, pelo incentivo e compreensão.

À Estação Experimental Agronômica da UFRGS e, em especial, aos funcionários Adriano Hull da Fonseca, Paulo Vinicius de Lima e José Miguel dos Santos Lenzi, pela amizade e ajuda na realização do trabalho.

Aos demais colegas de pós-graduação, em especial a Juliano Fuhrmann Wagner, Taiguer Cerutti, Felipe Matzembacher, Giliardi Dalazen, Catarine Markus e Danielle Almeida, pelo companheirismo e amizade.

Ao técnico Fábio Berndt e aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, em especial aos professores Christian Bredemeier e André Thomas, pelos ensinamentos e amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR ESTRESSE POR DEFICIÊNCIA HÍDRICA E PARA POTENCIALIZAR RENDIMENTO DE GRÃOS EM MILHO IRRIGADO¹

Autor: Guilherme Batista Menegati
Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva

RESUMO

A utilização inadequada do arranjo de plantas e da época de semeadura, principalmente quanto à adequação à disponibilidade hídrica, são fatores que comumente limitam a obtenção de altos rendimentos de grãos de milho. Os objetivos do presente trabalho foram avaliar, durante dois anos agrícolas, a eficiência de três práticas de manejo (época de semeadura, ciclo de híbrido e densidade de plantas) para: minimizar efeitos de estresse por deficiência hídrica em situações em que não se dispõe de irrigação; minimizar efeitos de estresse por deficiência hídrica quando se dispõe de baixa disponibilidade hídrica para irrigação e para potencializar a produtividade de grãos de milho quando cultivado sob condições não limitantes de disponibilidade hídrica, na região ecoclimática da Depressão Central-RS. Foram conduzidos três experimentos nos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12, em Eldorado do Sul-RS. Cada experimento constituiu-se de um nível de disponibilidade hídrica. O primeiro experimento foi conduzido sem irrigação, ou seja, sob condições naturais de precipitação pluvial; o segundo foi irrigado apenas durante o período considerado mais crítico para a cultura, compreendido entre os estádios V₁₅ e R₂, e o terceiro foi conduzido sob condições de irrigação durante todo o ciclo da cultura. Em cada experimento, os tratamentos constaram de duas épocas de semeadura, sendo uma até o final do inverno (18 de agosto e 14 de setembro, respectivamente para o primeiro e segundo anos agrícolas) e outra em outubro (06 e 24 de outubro, respectivamente para o primeiro e segundo anos agrícolas), de quatro densidades de plantas (5,0; 7,0; 9,0; e 11,0 pl m⁻²) e de dois híbridos simples de milho: P 30F53H, da empresa Pioneer Sementes (ciclo precoce), e Celeron, da empresa Syngenta Seeds (ciclo superprecoce). Os dois anos agrícolas se caracterizaram por apresentar períodos de deficiência hídrica para a cultura do milho, porém estes foram maiores no segundo ano agrícola (2011/12), que se caracterizou pela presença do fenômeno La Niña. Sob condições naturais, a antecipação da época de semeadura do milho para até o final de inverno é uma estratégia eficiente para minimizar estresses por deficiência hídrica durante seu ciclo de desenvolvimento. A realização de irrigações durante o período mais crítico da cultura (V₁₅ a R₂), constituiu-se em uma estratégia eficiente para obtenção de rendimento de grãos altos e estáveis. A utilização de altas densidades de plantas, ao redor de 9,0 plantas m⁻², é essencial para otimizar o rendimento de grãos de milho quando cultivado sob condição não limitante de disponibilidade hídrica e com manejo integrado das demais práticas, independentemente da época de semeadura e do híbrido utilizado.

¹Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (132 p.) Junho, 2013.

MANAGEMENT STRATEGIES TO MINIMIZE STRESS CAUSED BY WATER SHORTAGE AND TO INCREASE YIELD FOR IRRIGATED MAIZE GRAINS ¹

Author: Guilherme Batista Menegati
Adviser: Paulo Regis Ferreira da Silva

ABSTRACT

Inappropriate planting procedures and the time for sowing, which mainly relate to the availability of water, are the most common factors that limit high yields in grain production of the maize culture. This study aimed to assess the efficiency of three management practices over two growing seasons, namely the sowing season, the hybrid cycles and the plant density: a) to minimize the effects of stress caused by water shortage in situation which there is no additional irrigation; b) to minimize the effects of stress caused by water shortage when there is low water availability of additional irrigation; and c) to increase yield of maize grains when grown under favourable water availability conditions. This study was undertaken in an ecoclimatic Central Depression of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. Three experiments were carried out during the 2010/11 and 2011/12 growing seasons in Eldorado do Sul, in the State of Rio Grande do Sul. Each experiment consisted of different levels of water availability. The first one was carried out without additional irrigation, i.e., under natural conditions of rainfall; the second one was carried out with irrigation only during the most critical period for the maize culture between stages V₁₅ and R₂ according to Ritchie scale *et al.* (1993), and the third one was carried out with additional irrigation whenever necessary during all the cycle of development of the culture. In each experiment, treatments consisted of two sowing seasons, one by the end of winter (August 18 the first year, and September 14 the second year of the growing seasons), and another in October (06 and 24 October respectively for the first and second years of the growing seasons); of four plant densities (5.0, 7.0, 9.0, and 11.0 pl m⁻²); and of two maize hybrids of different cycles: P 30F53H from the Pioneer Seeds Company (early cycle) and Celeron from Syngenta Seeds Company (very early cycle). The two agricultural years was characterized by periods of water shortage for the maize crop; however they were longer in the second growing season (2011/12), because of La Niña phenomenon. Under natural rainfall conditions, the early sowing of maize by the end of winter is an effective strategy to minimize stresses caused by water shortage during its development cycle. The use of irrigation during the most critical period of the crop (V₁₅ to R₂), was found to be an efficient strategy to obtain a yield from high and stable grains. The use of high plant densities, around 9.0 plants per square meter, is essential to optimize the yield of maize grown when water is freely available, and an integrated management of other practices, regardless of the period of sowing and the hybrid used.

¹Master of Science Dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (132 p.) June, 2013.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Importância da cultura do milho	6
2.2 Manejo para mitigar estresse por deficiência hídrica na cultura do milho	7
2.2.1 Época de semeadura	7
2.2.2 Ciclo de híbrido e características de resistência	10
2.2.3 Densidade de plantas	12
2.2.4 Fertilidade do solo	13
2.3 Manejo para maximizar o potencial produtivo do milho cultivado sob condições de irrigação	15
2.3.1 Base genética	15
2.3.2 Época de semeadura	17
2.3.3 Fertilidade do solo	18
2.3.4 Densidade de plantas	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Local de execução do estudo	21
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	22
3.3 Manejo da cultura do milho	24
3.4 Parâmetros avaliados	26
3.4.1 Cobertura de solo no inverno	26
3.4.2 Cultura do milho	27
3.4.2.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento	27
3.4.2.2 Índice de área foliar (IAF) no estádio R ₁	27
3.4.2.3 Estatura de planta e altura de inserção de espiga	28
3.4.2.4 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento	29
3.4.2.5 Diâmetro de colmo	29
3.4.2.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento	29
3.5 Análise estatística	30
4 RESULTADOS	31
4.1 Dados meteorológicos referentes aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12	31
4.1.1 Radiação solar global	31
4.1.2 Temperatura média do ar	33
4.2 Práticas de manejo para minimizar estresse por deficiência hídrica	35

4.2.1	Experimento sem irrigação.....	35
4.2.2	Balanço hídrico.....	35
4.3	Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta.....	41
4.3.1	Duração dos subperíodos de desenvolvimento.....	41
4.3.2	Índice de área foliar (IAF) no estágio R ₁	42
4.3.3	Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento (estádio R ₁).....	44
4.3.4	Estatura de planta.....	44
4.3.5	Altura de inserção da espiga.....	45
4.3.6	Diâmetro de colmo.....	45
4.4	Componentes do rendimento e rendimento de grãos.....	47
4.4.1	Número de espigas por metro quadrado.....	47
4.4.2	Número de grãos por espiga.....	49
4.4.3	Peso do grão.....	51
4.4.4	Rendimento de grãos.....	52
4.4.5	Experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura.....	54
4.4.5.1	Balanço hídrico.....	54
4.5	Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta.....	58
4.5.1	Duração dos subperíodos de desenvolvimento.....	58
4.5.2	Índice de área foliar (IAF) no estágio R ₁	60
4.5.3	Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento.....	62
4.5.4	Estatura de planta.....	62
4.5.5	Altura de inserção de espiga.....	65
4.5.6	Diâmetro de colmo.....	66
4.6	Componentes do rendimento e rendimento de grãos.....	67
4.6.1	Número de espigas por metro quadrado.....	67
4.6.2	Número de grãos por espiga.....	69
4.6.3	Peso do grão.....	72
4.6.4	Rendimento de grãos.....	73
4.7	Práticas de manejo para otimizar o potencial produtivo de milho cultivado sob condições de irrigação.....	75
4.7.1	Experimento sob condições de irrigação.....	75
4.7.1.1	Balanço hídrico.....	75
4.8	Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta.....	78
4.8.1	Duração dos subperíodos de desenvolvimento.....	78
4.8.2	Índice de área foliar (IAF) no estágio R ₁	80
4.8.3	Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento.....	82
4.8.4	Estatura de planta.....	85
4.8.5	Altura de inserção de espiga.....	86
4.8.6	Diâmetro do colmo.....	87
4.9	Componentes do rendimento e rendimento de grãos.....	88
4.9.1	Número de espigas por metro quadrado.....	88
4.9.2	Número de grãos por espiga.....	90
4.9.3	Peso do grão.....	92
4.9.4	Rendimento de grãos.....	94

	Página
5 DISCUSSÃO	98
5.1 Práticas de manejo para mitigar efeitos de estresse por deficiência hídrica	98
5.1.1 Experimento sem irrigação.....	98
5.1.2 Experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura	102
5.2 Práticas de manejo para maximizar o potencial produtivo do milho sob condições de irrigação	106
5.2.1 Experimento sob condições de irrigação.....	106
6 CONCLUSÕES	110
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
8 APÊNDICES.....	117

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Características físico-químicas do solo da área experimental, nos dois anos agrícolas. Eldorado do Sul - RS.	22
2. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2010 a março de 2011 e quantidade de água aplicada nas irrigações do milho em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V ₁₅ a R ₂), na primeira época de semeadura (18/08/10). Eldorado do Sul - RS, 2010/11	37
3. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2010 a março de 2011 e quantidade de água aplicada em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V ₁₅ a R ₂), na segunda época de semeadura (06/10/10). Eldorado do Sul - RS, 2010/11.	38
4. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2011 a março de 2012 e quantidade de água aplicada nas irrigações do milho em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V ₁₅ a R ₂), na primeira época de semeadura (14/09/11). Eldorado do Sul - RS, 2011/12.	39
5. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2011 a março de 2012 e quantidade de água aplicada em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V ₁₅ a R ₂), na segunda época de semeadura (24/10/11). Eldorado do Sul - RS, 2011/12.	40
6. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11	41

7. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	42
8. Índice de área foliar (IAF) no estágio de espigamento (R1)1de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	43
9. Estatura de planta de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	45
10. Número de espigas por metro quadrado de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	47
11. Número de espigas por metro quadrado de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	48
12. Número de grãos por espiga de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.....	50
13. Peso do grão de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.	52
14. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12	52
15. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de híbridos e época de semeadura de milho, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.....	58
16. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de híbridos e época de semeadura de milho, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	59
17. Índice de área foliar (IAF) no estágio R ₁ ¹ em função de híbrido e de época de semeadura de milho, na média de densidade de plantas, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	60

18. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de híbridos e épocas de semeadura, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul -RS, 2010/11.....	68
19. Número de grãos por espiga de milho em função de híbridos e épocas de semeadura, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	71
20. Rendimento de grãos de milho em função de efeitos simples de semeadura, híbridos e densidades de plantas, na média dos demais fatores, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	74
21. Rendimento de grãos de milho em função de efeitos simples de épocas de semeadura, híbridos e densidades de plantas, na média dos demais fatores, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	74
22. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.....	79
23. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.....	80
24. Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidade de plantas, no experimento irrigado sempre que necessário. Eldorado do Sul -RS, 2010/11.....	84
25. Diâmetro de colmo de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidade de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	87
26. Rendimento de grãos em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11.....	91
27. Peso do grão de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	93
28. Peso do grão de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	94

29. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11	96
30. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.	97

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Radiação solar global por decêndio nos meses de agosto a fevereiro referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e a média do período de 1969 a 1999. Eldorado do Sul-RS. Fontes: Bergamaschi et al. (2003) e Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia - UFRGS (2010).....	33
2. Temperatura do ar, por decêndio, durante os meses de agosto a fevereiro referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à média do período de 1969 a 1999. Eldorado do Sul - RS. Fontes: Bergamaschi <i>et al.</i> (2003) e Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia - UFRGS (2010).....	34
3. Balanço hídrico referente ao primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), correspondendo às duas épocas de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	35
4. Balanço hídrico referente ao segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), correspondendo às duas épocas de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	36
5. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (estádio R ₁) em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos de milho, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	43
6. Diâmetro de colmo de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura: A)18/08/10 e B) 06/10/10, em função de densidade de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	46
7. Número de espigas por metro quadrado, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos de milho, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.....	48
8. Número de grãos por espiga de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na primeira época de semeadura (A) e na segunda época de semeadura (B), no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul – RS, 2010/11.....	49

9. Número de grãos por espiga em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos de milho e duas épocas de semeadura, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	51
10. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.	53
11. Rendimento de grãos de milho em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos e duas épocas de semeadura, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12	54
12. Balanço hídrico referente à primeira época de semeadura (18 de agosto de 2010) do milho do primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.	55
13. Balanço hídrico referente à segunda época de semeadura do milho (06 de outubro de 2010) do primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.	56
14. Balanço hídrico referente à primeira época de semeadura (18 de agosto de 2011) do milho do segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.	57
15. Balanço hídrico referente à segunda época de semeadura (06 de outubro de 2011) do milho no segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.	57
16. Índice de área foliar (IAF) de milho no estágio R_1^1 em função de densidade de plantas, na média de híbridos e épocas de semeadura, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11. ¹ Segundo escala de Ritchie <i>et al.</i> , (1993).	61
17. Índice de área foliar (IAF) de milho no estágio R_1^1 em função de densidade de plantas, na média de híbridos e época de semeadura, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12. ¹ Segundo escala de Ritchie <i>et al.</i> (1993).	61

18. Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento de milho em função de densidades de plantas e híbridos na primeira época de semeadura (18/08/10), no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11. ¹ Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)..... 63
19. Rendimento de massa seca da parte aérea do milho no espigamento em função de densidades de plantas, na média de épocas de semeadura e híbridos, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.¹ Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)... 63
20. Estatura de planta de milho em função de densidades de plantas e de híbridos, na média de épocas de semeadura, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul -RS, 2010/11..... 64
21. Estatura de planta de milho em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: A) 14/09/11 e B) 24/10/11, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12..... 65
22. Altura de inserção de espiga de milho em função de densidade de plantas, na média de híbridos e épocas de semeadura, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11 66
23. Diâmetro de colmo de milho em função de densidades de plantas, na média de híbridos e épocas de semeadura, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11 67
24. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidades de plantas e épocas de semeadura, na média de híbridos, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11..... 68
25. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: (A) 14/09/11 e B) 24/10/11), no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12. 69
26. Número de grãos por espiga de milho em função de densidades de plantas e híbridos na segunda época de semeadura (06/10/10), no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11..... 70
27. Número de grãos por espiga de milho em função de densidades de plantas e épocas de semeadura, na média de híbridos, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12..... 71

28. Peso do grão de milho em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: A) primeira época (18/08/10) e B) segunda época (06/10/10), no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.	72
29. Peso do grão de milho em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: A) 14/09/11) e B) 24/10/11, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.	73
30. Balanço hídrico referente ao primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), correspondendo à primeira época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2010/11	76
31. Balanço hídrico referente ao primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), correspondendo à primeira época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.	77
32. Balanço hídrico referente ao segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), correspondendo à primeira época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2011/12	78
33. Balanço hídrico referente ao segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), correspondendo a segunda época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.	79
34. Índice de área foliar (IAF) no estágio R_1^1 em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos de milho e duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11. ¹ Segundo escala de Ritchie <i>et al.</i> (1993).	81
Índice de área foliar (IAF) no estágio R_1^1 em duas épocas de semeadura, em função da densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12. ¹ Segundo escala de Ritchie <i>et al.</i> , (1993).	82
36. Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.	83

37. Rendimento de massa seca da parte aérea do milho no espigamento, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	83
38. Rendimento de massa seca da parte aérea de milho no espigamento em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	85
39. Estatura de planta de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	85
40. Estatura de planta de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	86
41. Altura de inserção de espiga de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.....	87
42. Diâmetro de colmo de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	88
43. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul – RS, 2010/11.....	89
44. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	89
45. Número de grãos por espiga de dois híbridos de milho na segunda época de semeadura (06/10/10), em função de densidade de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	90
46. Número de grãos por espiga de milho, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.....	91
47. Peso do grão do milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.....	92

48. Peso do grão de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.	93
49. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11	95
50. Rendimento de grãos de milho, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.	95
51. Rendimento de grãos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.	97

1 INTRODUÇÃO

Apesar da elevada importância sócio-econômica do milho no Estado do Rio Grande do Sul, o rendimento médio de grãos nas últimas cinco safras (2006/07 a 2011/12) foi de 3,9 t ha⁻¹ (CONAB, 2012) o que está muito abaixo do obtido em experimentos realizados sob condições controladas, onde se obteve 17,2 t ha⁻¹ (Endrigo *et al.*, 2009). Os fatores que mais comumente limitam a produtividade de milho são a utilização inadequada do arranjo de plantas e da época de semeadura, principalmente quanto à adequação à disponibilidade hídrica. Este é o principal fator determinante das baixas produtividades ao longo dos últimos anos, especialmente quando ocorre deficiência hídrica no período considerado o mais crítico da cultura, que é entre 15 dias antes a 15 dias após o florescimento feminino (espigamento). Além destes, ainda somam-se o baixo uso da tecnologia disponível, devido a baixa capacidade de investimento dos produtores, e à grande oscilação, ao longo dos anos, dos preços pagos pelo produto.

As condições climáticas das regiões mais quentes do Sul do Brasil, como o caso da região da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, permitem que a cultura do milho seja cultivada em uma ampla faixa de época de semeadura. Quando não há limitação hídrica, a época preferencial para semeadura do milho é aquela que faz coincidir a maior área foliar da planta (estádio de espigamento) com o período do ano com maior disponibilidade de radiação solar (meados de dezembro a meados de janeiro). Para a região sul do país, isso ocorre quando a semeadura é realizada no mês de outubro. No entanto,

nessas regiões mais quentes há maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica no período mais crítico para a cultura, compreendido entre os estádios V_{15} e R_2 , de acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993), quando se faz a semeadura do milho nesse mês do ano. Por esta razão, na ausência de irrigação, tem-se recomendado para estas regiões a antecipação da época de semeadura para até o final do inverno. No entanto, com a antecipação da época de semeadura, as temperaturas do ar e do solo e a radiação solar são menores, resultando em menor desenvolvimento das plantas, o que pode ser compensado pelo uso de maiores densidades de plantas, com objetivo de aumentar o índice de área foliar e, assim, aumentar a interceptação da radiação solar incidente.

Outra prática de manejo para minimizar os efeitos de deficiência hídrica é o uso de cultivares de ciclo superprecoce, que tem como característica a menor exigência térmica para atingir o florescimento. Sendo assim, híbridos com este ciclo requerem maior densidade de plantas para gerar área foliar, potencializando a interceptação da radiação solar incidente. Portanto, a utilização destes genótipos de ciclo mais curto, associada à antecipação da época de semeadura, podem se constituir em estratégias de escape da ocorrência da deficiência hídrica, garantindo, assim, maior estabilidade na produtividade e maior rentabilidade com o cultivo do milho.

Em função disso, a primeira hipótese do presente trabalho é de que, para minimizar riscos de ocorrência de estresse por deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho cultivado sem irrigação na região do Estado do RS da Depressão Central, a antecipação da época de semeadura para até o final de inverno, a utilização de híbridos de ciclo superprecoce e o uso de menor densidade de plantas são estratégias eficientes para obter maior estabilidade na produtividade de grãos e, assim, garantir rentabilidade com essa cultura.

No estado do RS, há situações, especialmente em anos onde ocorrem déficit hídrico, em que o produtor dispõe de pouco manancial hídrico para uso com a irrigação. Neste caso, é importante quantificar qual o aumento do rendimento que esta irrigação pontual promoverá no rendimento de grãos. Assim, a segunda hipótese desse trabalho é de que, sob condição de limitada disponibilidade de água para irrigação, a realização de irrigações complementares apenas durante o período mais crítico da cultura é uma estratégia eficiente para assegurar maior estabilidade na produtividade de grãos de milho e, com isso, evitar maiores prejuízos econômicos sob condições severas de estiagens para garantir rentabilidade com essa atividade agrícola. Com base no exposto, foram realizados dois experimentos com estratégias de manejo para minimizar efeitos de estresse por deficiência hídrica em milho: sem irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura.

Por outro lado, existem produtores que dispõem de equipamentos para realização de irrigação complementar sempre que necessário para a cultura ou suas lavouras estão localizadas em regiões do Estado em que o volume e a distribuição da precipitação pluvial são favoráveis, na maioria dos anos, ao cultivo do milho. Para otimizar a produtividade de grãos, a antecipação da época de semeadura para até o final do inverno (agosto a meados de setembro), em que os recursos hídricos não são fatores limitantes e as temperaturas do ar e do solo e a disponibilidade de radiação solar são menores em relação à época de semeadura de outubro, a escolha correta do arranjo de plantas é uma das práticas de manejo mais importantes, pelo fato de influenciar a quantidade de radiação solar interceptada. Entretanto, é importante lembrar que esse incremento na produtividade só será factível se todas as demais práticas de manejo da cultura não estiverem em níveis limitantes (adubação e calagem, controle de plantas daninhas, pragas e doenças e inserção do milho em sistema de semeadura direta, com rotação e sucessão de culturas) e se não há

restrições na capacidade de investimento do produtor para garantir este alto custo de produção.

Outro possível benefício do uso da irrigação em regiões mais quentes do Estado, com estação de crescimento muito longa, seria o de viabilizar o cultivo de duas culturas de verão em um mesmo ano, como, por exemplo, implantar as culturas da soja ou feijão (safrinha) em sucessão ao milho de ciclo superprecoce semeado até o final de inverno. Isso propiciaria maior eficiência de uso da terra e contribuiria para o incremento da rentabilidade dos produtores e da sustentabilidade da atividade agrícola e para facilitar a amortização do custo de aquisição do equipamento de irrigação.

Assim, a terceira hipótese deste trabalho é que, em situações em que a disponibilidade hídrica não é um fator limitante durante o ciclo de desenvolvimento do milho, devido ao uso de irrigação, a semeadura em outubro, que faz coincidir os dias mais longos do ano com o estágio de desenvolvimento em que a planta apresenta a máxima área foliar, o uso de maiores densidades de plantas são estratégias eficientes para se obter altas produtividades de grãos e, em consequência, aumentar a rentabilidade e sustentabilidade obtidas com o cultivo do milho.

Vários trabalhos sobre densidade de plantas em milho foram desenvolvidos no Brasil, envolvendo adubação nitrogenada (Pinho *et al.*, 2008), espaçamento entrelinhas (Penariol *et al.*, 2003), híbridos de arquitetura e ciclos contrastantes (Piana *et al.*, 2008) e níveis de manejo (Peixoto *et al.*, 1997). Entretanto, poucas pesquisas foram realizadas para estudar a interação de densidade de plantas e nível de disponibilidade hídrica em duas épocas de semeadura em regiões quentes do sul do país. Assim, os objetivos do presente trabalho foram avaliar, durante dois anos agrícolas, a eficiência de três práticas de manejo, época de semeadura, ciclo de híbrido e densidade de plantas para: minimizar efeitos de estresses por deficiência hídrica em situações em que não se dispõe de irrigação; minimizar

efeitos de estresse por deficiência hídrica quando se dispõe de baixa disponibilidade hídrica para irrigação e para potencializar a produtividade de grãos de milho quando cultivado sob condições não limitantes de disponibilidade hídrica, na região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância da cultura do milho

Atualmente, o milho é o cereal mais cultivado no mundo. Sua relevância se deve essencialmente à multiplicidade de seus usos, os quais incluem os consumos humano e animal e diversas aplicações industriais. É extensivamente utilizado como alimento humano e para ração animal devido à suas qualidades nutricionais, sendo que o uso do grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal (cerca de 70% no mundo).

Os Estados Unidos são os maiores produtores, consumidores e exportadores de milho do mundo. A China está na segunda posição na produção e no consumo, e o Brasil é o terceiro em produção, consumo e exportação. De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012), o Brasil contribui com 72,9 milhões de toneladas, em uma área de 15,2 milhões de hectares, com produtividade média de 4.808 kg ha⁻¹, que é uma das mais baixas dentre os países maiores produtores. Já nos Estados Unidos, somente o estado de Iowa produziu próximo de 60 milhões de toneladas numa área que corresponde a menos da metade da área cultivada no Brasil, segundo dados da CONAB (2012) e do USDA (2012).

A produção nacional do milho é relativamente dispersa no país, sendo as regiões Sul e Centro as responsáveis por 37 e 31% da produção nacional, respectivamente. Na

região Sul, a liderança é do Estado do Paraná, enquanto que na região Centro Oeste, o Mato Grosso, sendo atualmente estas as maiores regiões produtoras de milho no país.

O estado do Rio Grande do Sul (RS) é o quinto maior produtor de milho do Brasil, atrás do Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás. Na safra 2011/2012 foram produzidas no RS, aproximadamente 5,7 milhões de toneladas, com média de produtividade de 5.250 kg ha⁻¹, em uma área de 1,009 milhão de hectares (Emater, 2012). Apesar da grande importância na economia, o rendimento médio de grãos de milho é muito baixo, o que pode ser atribuído a várias causas, como a escolha inadequada da época de semeadura, baixa adição de fertilizantes, o uso de cultivares com baixo potencial de rendimento de grãos, a utilização de densidade de plantas inadequada e deficiências no controle de plantas daninhas, pragas e moléstias (Sangoi *et al.*, 2007). Embora a natureza seja responsável pela maior parte da variação do efeito ambiental no rendimento de grãos, o produtor de milho pode manipular práticas de manejo para proporcionar as melhores condições possíveis de desenvolvimento da planta e, assim, aproximar o rendimento de grãos de seu potencial.

O rendimento de grãos de milho é altamente dependente do volume de água disponível durante a estação de crescimento e da distribuição da precipitação pluvial, sendo muito suscetível à ocorrência de déficits hídricos, comuns no RS (Matzenauer e Machado, 2002).

2.2 Manejo para mitigar estresse por deficiência hídrica na cultura do milho

2.2.1 Época de semeadura

Para obter elevados rendimentos de grãos de milho, é necessário adequar as práticas de manejo aos recursos disponíveis no ambiente, para proporcionar as melhores condições ao desenvolvimento das plantas. Dentre as estratégias de manejo que podem ser utilizadas

para aumentar a produtividade de milho, a adequação da época de semeadura e da densidade de plantas é de fundamental importância.

Em regiões de clima subtropical, as condições meteorológicas são distintas nas diferentes épocas de semeadura. As variações na temperatura do ar e na radiação solar, principalmente, influenciam a fenologia e o desenvolvimento das plantas de milho (Forsthofer *et al.*, 2001). Ao se semear milho em uma época mais precoce em relação à época preferencial de semeadura, há redução na taxa de crescimento e aumento na duração dos subperíodos de desenvolvimento, ocorrendo o inverso com a semeadura realizada mais tardiamente (Sangoi e Silva, 2010). Para se planejar a escolha da época de semeadura, levando em consideração o melhor aproveitamento da disponibilidade hídrica quando não se tem sistema de irrigação, é importante se conhecer a probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial numa determinada região e o consumo de água pela planta. Outro fator importante que deve ser levado em consideração nas semeaduras antecipadas é a ocorrência de formação de geadas tardias (agosto-setembro), durante o período de emergência – diferenciação dos primórdios florais, o que compromete o componente de rendimento número de plantas por unidade de área. Até a diferenciação da inflorescência masculina (pendão), as plantas têm a capacidade de recuperar-se caso ocorra a morte de folhas devido à formação de geada, uma vez que, na maioria das vezes, o ponto de crescimento não é afetado por estar debaixo da superfície do solo.

Quando não há limitação hídrica, a época preferencial é aquela que faz coincidir a maior área foliar por planta (espigamento) com os dias mais longos do ano (solstício de verão), o que ocorre com a semeadura no mês de outubro (Sangoi *et al.*, 2010). No entanto, a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica durante o desenvolvimento do milho nos meses com maior disponibilidade de radiação solar (dezembro e janeiro) no estado do

Rio Grande do Sul é de 60%, ou seja, em seis de cada dez anos de observações ocorre déficit hídrico nesses meses (Matzenauer *et al.*, 2002).

O milho é muito sensível à deficiência hídrica no período entre duas e três semanas em torno do espigamento, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação e ao início de enchimento de grãos (Shussler & Westgate, 1991; Zinselmeier *et al.*, 1995), e da alta transpiração, decorrente da máxima área foliar e da alta carga energética proveniente da elevada incidência de radiação solar. É importante que haja sincronia entre os florescimentos masculino (pendoamento) e feminino (estigmas) da planta de milho. Tollenaar & Wu (1999) e Tollenaar & Lee (2002) constataram que o intervalo entre a emergência do pendão até o aparecimento de estigmas aumenta com a ocorrência de estresses, como de deficiência hídrica, resultando no desenvolvimento de espigas estéreis ou com poucos grãos, por falta de polinização. A quantidade de pólen produzida raramente é um fator limitante para adequada polinização e fertilização na cultura do milho. No entanto, a liberação de pólen dura apenas de cinco a oito dias e o mesmo permanece viável por um período de apenas 24 horas, sendo que a espiga deve estar desenvolvida e os estilo-estigmas exteriorizados e receptivos aos grãos de pólen nesse curto espaço de tempo. Estresses ocasionados nesse subperíodo, principalmente o de restrição hídrica, atrasam o desenvolvimento de espiga e resultam em assincronia entre os florescimentos masculino e feminino, produzindo plantas estéreis e/ou espigas falhadas, devido à baixa fertilização, que resultam em baixa produtividade (Sangoi *et al.*, 2007).

Assim, nas regiões mais quentes do Sul do Brasil e com estação de crescimento longa, quando não se dispõe de irrigação, preconiza-se a semeadura mais cedo (agosto, setembro) como estratégia para minimizar a ocorrência de deficiência hídrica no período de maior sensibilidade da cultura. No entanto, as temperaturas do ar e do solo e a disponibilidade de radiação solar são menores nestas épocas, o que poderia limitar o

potencial produtivo do milho semeado nessa época. Em experimentos realizados na Depressão Central do Estado do RS, conduzidos sob condições de irrigação tem-se obtido altas produtividades de grãos, mesmo quando o milho é semeado em agosto (Vieira *et al.*, 2007; Piana *et al.*, 2008; Serpa *et al.*, 2011). Como a maioria das propriedades dessa região do país não dispõe de sistema de irrigação, o aumento na produtividade de grãos passa obrigatoriamente pela adequação da época de semeadura, para possibilitar que a cultura se desenvolva sob condições mais favoráveis de disponibilidade hídrica.

2.2.2 Ciclo de híbrido e características de resistência

A recomendação de densidade de plantas foi alterada ao longo do tempo à medida que modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica foram incorporadas na planta pelos programas de melhoramento, junto com as mudanças no manejo da cultura. Em pesquisas desenvolvidas com híbridos comerciais de diferentes décadas, Duvick & Cassman (1999) e Tollenaar & Lee (2002) demonstraram que, quando há adequada disponibilidade de recursos no ambiente, manejo cultural para alto rendimento e uso de baixas densidades de plantas, as diferenças no desempenho agrônômico entre híbridos antigos (década de 30) e modernos (década de 90) são pequenas. Entretanto, à medida que os recursos do ambiente se tornam limitantes e se incrementa a densidade de plantas, diminui a produção por planta, com maior intensidade nos híbridos mais antigos em relação aos modernos.

Têm sido observadas diferenças na extração de água do solo entre híbridos liberados comercialmente em diferentes eras. Durante um período de limitação de água, o híbrido mais antigo extrai mais água da camada mais superficial do solo, enquanto o híbrido moderno absorve água de maior profundidade (Campos *et al.*, 2004). Os ganhos no rendimento sob condições de deficiência hídrica no florescimento são associados ao

aumento do número de grãos por espiga e às reduções do intervalo entre antese e espigamento e da esterilidade de plantas (Campos *et al.*, 2006, Bolaños e Edmeades, 1996). Sob condições limitadas de água em torno da floração, o híbrido com sistema radicular mais profundo é mais eficiente em sua absorção, mantendo taxa de crescimento das plantas superior, contribuindo para maior sincronia entre o florescimento masculino e feminino (Borras *et al.*, 2007).

No Brasil, as alterações na densidade de plantas de milho iniciaram-se na década de 40 com a introdução de híbridos duplos. A adoção desses híbridos determinou avanços expressivos em termos de práticas de manejo, como aumento nos níveis de fertilizantes aplicados, principalmente os nitrogenados, controle mais eficiente de plantas daninhas, pragas e moléstias e aumento na densidade de plantas. Essas mudanças refletiram-se em incrementos no rendimento de grãos nas décadas posteriores, embora melhoristas de plantas e fisiologistas reconheçam sendo complexas as características de tolerância à seca e rendimento (Cooper e Hammer, 1996; Bruce *et al.*, 2002; Campos *et al.*, 2004; Duvick *et al.*, 2004, Ribaut *et al.*, 2004).

Muitos estudos têm procurado desvendar a base genética e fisiológica de tolerância a seca e melhoria de rendimento das culturas de campo (Sinclair *et al.*, 1984; Ludlow e Muchow, 1990; Condon *et al.*, 2004; Ribaut, 2006). Em décadas anteriores, os aumentos no potencial de rendimento de culturas C3, como o trigo, foram amplamente conseguidas através de melhorias no índice de colheita. Grandes aumentos no índice de colheita ainda são considerados improváveis, porém ainda pode-se aumentar a produção de biomassa através da maior capacidade e eficiência fotossintética (Parry *et al.*, 2011).

2.2.3 Densidade de plantas

O milho é uma cultura que apresenta grande habilidade fisiológica de conversão de CO₂ em compostos orgânicos. Por consequência, apresenta elevado potencial produtivo. No entanto, a translocação desses compostos orgânicos para os grãos pode ser alterada pelas condições de solo, meteorológicas e nível de estresse da cultura (Tollenaar, 1977). Além disso, é uma cultura que demonstra grande dependência da densidade de plantas para maximizar o rendimento, uma vez que a espécie *Zea mays* (L.) não possui mecanismo de compensação de espaços tão eficiente quanto o mecanismo de outras espécies da família Poaceae, pois raramente perfilha efetivamente, e por apresentar capacidade limitada de expansão foliar e prolificidade (Andrade *et al.*, 1999). Esta característica decorreu do processo de seleção a que o milho foi submetido durante a sua evolução do teosinto, o qual priorizou a dominância apical, reduzindo o número de ramificações laterais e concentrando toda a energia da planta no colmo principal (Sangoi e Salvador, 1996; Doebley, 1997). Essas características fazem com que seu cultivo necessite ser rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, para que possa manifestar sua capacidade produtiva.

Nesse sentido, a densidade de plantas é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos, já que influencia o índice de área foliar, o ângulo de inserção foliar e a interceptação da radiação incidente por outras partes da planta, principalmente nos extratos inferiores do dossel. Além disso, a densidade de plantas afeta a disposição de folhas na planta e as características de absorção de radiação pelas folhas da comunidade. Esses efeitos são mais significativos no milho do que em outras espécies da família das poáceas, devido a características morfológicas, anatômicas e fisiológicas próprias da planta (Sangoi *et al.*, 2007).

De modo geral, híbridos mais precoces, de menor estatura e com menor exigência em soma térmica para florescerem, requerem maior densidade de plantas, em relação aos

de ciclo normal, para atingir seu potencial de rendimento. Isso se deve ao fato de que geralmente apresentam menor área foliar por planta e menor sombreamento do dossel da cultura. Esses híbridos normalmente requerem maior densidade de plantas para maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais plantas por unidade de área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar incidente.

A manipulação da densidade de plantas na época de semeadura final de inverno pode se constituir em importante estratégia para compensar o menor desenvolvimento das plantas de milho, devido à ocorrência de fatores meteorológicos menos favoráveis nessa época em relação à época preferencial de semeadura, que ocorre nos meses de outubro e novembro em nosso Estado.

2.2.4 Fertilidade do solo

A cultura do milho responde progressivamente à utilização de alta adubação, desde que os demais fatores estejam em níveis ótimos, sendo o nitrogênio o nutriente que apresenta maior resposta de incremento do rendimento de grãos. O nitrogênio é um nutriente que tem papel importante no acúmulo de proteína na cultura do milho e na produtividade de grãos. Ele é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e da clorofila (Cantarella, 1993). O nitrogênio também afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (Schroder *et al.*, 2000). Com nível de manejo alto, em que é utilizada maior quantidade de fertilizantes e irrigação suplementar, a resposta do rendimento de grãos ao incremento na densidade de plantas é maior do que a obtida sob nível de manejo médio, com menor quantidade de fertilizantes e sem irrigação.

A disponibilidade deste nutriente no solo para as plantas é controlada basicamente pela decomposição da matéria orgânica e por adubações nitrogenadas, sendo que, quando são utilizadas culturas com baixa relação C:N na matéria seca, em rotação, a decomposição e a mineralização é mais rápida e a ciclagem do N ocorre em curto espaço de tempo, como ocorre com as leguminosas. Também devem ser consideradas as perdas de N no solo, que são altas e ocorrem principalmente por lixiviação, na forma de nitrato, pois este nutriente não forma ligações fortes com as cargas permanentes do solo suficientes para reter o nitrato nas camadas de exploração radicular. Já o potássio é o mineral mais abundante no tecido vegetal, e, por apresentar-se predominantemente na forma iônica K^+ no tecido, seu retorno ao solo é muito rápido e ocorre logo após a senescência das plantas. Assim, a maior parte do potássio é ciclada, embora possa ocorrer perda por lixiviação, principalmente quando em solos arenosos. Contudo, deve-se considerar que estas perdas não são tão significativas no plantio direto porque este sistema favorece o acúmulo nas camadas mais superficiais do solo (Pavinato, 2004). Sendo assim, as perdas podem se mostrar mais expressivas por escoamento superficial devido à manutenção da palhada sobre o solo e às aplicações superficiais de fertilizantes potássicos.

Contudo, há ainda relação de resposta do milho à adubação nitrogenada com o tempo de adoção do sistema de semeadura direta. Na fase inicial de adoção do sistema, observa-se maior necessidade de utilização de N. Isto se deve ao processo de imobilização em função da maior oferta de carbono ao sistema e, conseqüentemente, da maior atividade da biomassa microbiana (Sá, 1996). Sendo assim, a necessidade nutricional da planta é outro aspecto a ser considerado na escolha da densidade de plantas, por ser o milho muito exigente em fertilidade do solo.

2.3 Manejo para maximizar o potencial produtivo do milho cultivado sob condições de irrigação

2.3.1 Base genética

Diversas alterações morfofisiológicas foram introduzidas nos híbridos modernos de milho para adaptá-los ao adensamento de plantas, como a redução do intervalo entre a emissão das inflorescências masculina e feminina (Sangoi, 2000), o que propiciou o desenvolvimento de híbridos com maior equilíbrio entre pendão e espigas em relação aos híbridos mais antigos (Mundstock, 1999). Dessa forma, os híbridos modernos produzem pendões com tamanho menor (Duvick & Cassmann, 1999), que requerem menores quantidades de nutrientes e fotoassimilados para seu desenvolvimento (Sangoi e Salvador, 1998b). Além disso, produzem menor quantidade de auxinas, diminuindo o seu efeito inibitório sobre o desenvolvimento de espigas (Sangoi e Salvador, 1996). Assim, a menor demanda por fotoassimilados e a menor dominância apical do pendão sobre as espigas contribuíram para maior sincronia entre o florescimento masculino e o feminino e obtenção de maior número de plantas sem espiga nos híbridos modernos cultivados sob altas densidades de plantas.

Além da atenuação do caráter protândrico da planta, outras características foram incorporadas aos híbridos modernos de milho que conferem ao mesmo maior tolerância a altas densidades de plantas. Dentre essas, observa-se nesses híbridos incrementos do número de espigas por unidade de área, folhas com disposição mais eretas e com capacidade de se manterem verdes por mais tempo (Duvick *et al.*, 2004). Além disso, alguns trabalhos têm evidenciado que os híbridos modernos têm apresentado maior resistência a outros tipos de estresses e maior resposta à aplicação de insumos, refletindo-se em aumento do rendimento de grãos com o incremento da densidade de plantas, dentro de uma dada faixa.

Outra característica enfatizada nos programas de melhoramento de milho no Brasil é a maior precocidade dos híbridos comerciais (Ramalho, 2005). Para potencializar a interceptação da radiação solar, híbridos precoces e de baixa estatura de planta requerem maior número de plantas por área para sombrear a superfície do solo e atingir o mesmo índice de área foliar que os híbridos com ciclo e estatura de plantas maiores (Argenta *et al.*, 2001b; Sangoi, 2001). Essas modificações introduzidas nos híbridos comerciais mais recentes, sobretudo quanto à estatura de planta, área e ângulo foliares, e a maior tolerância a altas densidades e a outros estresses, implicam a necessidade de novos estudos para definir a melhor combinação de densidade de plantas e espaçamento entrelinhas para obter maior rendimento de grãos pela exploração mais eficiente dos recursos ambientais.

Comparando híbridos antigos e modernos de milho, Duvick *et al.* (1997) demonstraram que, em baixas densidades de plantas (uma planta por metro quadrado), o potencial de produção de grãos por planta não variou entre os híbridos lançados na década de 30 e 90. No entanto, os híbridos mais recentes apresentaram maior tolerância ao incremento da densidade de plantas, obtendo os máximos rendimentos de grãos com densidades mais altas. Também foi evidenciado que o rendimento de grãos dos híbridos mais modernos são superiores aos mais antigos, tanto sob condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas quanto sob condições desfavoráveis (Duvick, 1992). Outra característica apresentada pelos híbridos mais recentes é a maior resposta à aplicação de insumos em relação aos mais antigos (Tollenar & Lee, 2002). Assim, a resposta à adubação nitrogenada dos híbridos da década de 80 já era maior do que a dos híbridos das décadas de 70 e 60 (Carlone & Russel, 1987).

2.3.2 Época de semeadura

O rendimento de grãos de uma cultura depende de fatores genéticos, condições favoráveis de solo, clima e manejo (Bugbee & Salisbury, 1988; Evans & Fischer, 1999) e da quantidade de radiação solar interceptada pelo dossel (Melges *et al.*, 1989). A interceptação de radiação exerce grande influência no rendimento de grãos do milho (Ottman & Welch, 1989), principalmente quando os demais fatores ambientais são favoráveis (Argenta *et al.*, 2001a). Entre as formas de aumentar a interceptação e o uso da radiação solar, está a escolha adequada do arranjo de plantas, que se constitui numa das práticas de manejo mais importantes para maximizar o rendimento de grãos da cultura (Ottman & Welch, 1989; Loomis & Amthor, 1999; Argenta *et al.*, 2001a).

Apesar do aumento da competição intraespecífica decorrente da elevação da densidade de plantas, nas regiões mais quentes do sul do Brasil pode-se aumentar a densidade de plantas nas semeaduras antecipadas para o final de inverno porque há maior probabilidade de escapar da deficiência hídrica no período mais crítico da cultura. Além disso, nas semeaduras feitas antes de meados de setembro, as temperaturas do ar e do solo e a disponibilidade de radiação solar são menores, resultando em plantas mais baixas, com menor área foliar. Em função disso, podem ser exigidas maiores densidades de plantas para aumentar o índice de área foliar, a interceptação da radiação solar incidente e o rendimento de grãos, compensando o menor desenvolvimento vegetativo das plantas (Piana *et al.*, 2008).

Mesmo com uso de irrigação, a antecipação da época de semeadura é uma alternativa interessante, pois pode viabilizar a introdução de uma segunda cultura de estação estival em sucessão, como a soja ou o feijão. Com a adoção desse sistema de sucessão de culturas, é possível se obter maior eficiência de uso da terra, com aumento da rentabilidade dos produtores e da sustentabilidade da atividade agrícola.

2.3.3 Fertilidade do solo

A distribuição irregular ou insuficiente de chuvas é um dos principais limitantes à produtividade estável no estado do Rio Grande do Sul. Nos últimos anos, tem aumentado significativamente o cultivo de milho sob irrigação, promovendo algumas alterações nas formas de manejo das lavouras, através do planejamento de uso mais intensivo das áreas para compensação do alto investimento, com maior número de cultivos e culturas envolvidas e possibilidade de uso de doses mais elevadas de fertilizantes. Como em áreas irrigadas os riscos de quebra na produção são minimizados, os produtores tendem a utilizar fertilizantes em quantidades mais elevadas e até acima das recomendadas, na expectativa de aumento de produtividade. Neste sentido, lavouras sob irrigação devem ser planejadas visando maior retorno econômico da produção e menor impacto no ambiente, pois os prejuízos ambientais do uso excessivo de fertilizantes, especialmente nitrogenados, são grandes (Link *et al.*, 2006).

Sob altas densidades de plantas, aumenta a competição intraespecífica por recursos do ambiente, sendo necessário maior aporte de nutrientes para evitar que haja aumento do número de plantas dominadas, as quais diminuem o rendimento médio da lavoura. Experimentos conduzidos por Fontoura e Bayer (2008), na região centro-sul do Paraná, demonstraram que, para densidades superiores a 6,5 plantas m^{-2} , é indicado aplicar dose adicional de 10 kg ha^{-1} de N para cada incremento de 0,5 plantas m^{-2} na população de plantas, corroborando a interação existente entre densidade ótima e disponibilidade de nitrogênio. Por outro lado, com menor disponibilidade de nutrientes e sob condições meteorológicas mais restritivas, o rendimento de grãos é normalmente menor, devendo a densidade indicada ser reduzida para minimizar a competição intraespecífica. Além da redução no rendimento de grãos, o aumento da densidade de plantas, sem o incremento na quantidade de fertilizantes aplicada, principalmente nitrogênio e potássio, poderá estimular

o quebramento de colmo. Isso ocorre porque, com a deficiência de nutrientes no solo, a planta irá translocar os nutrientes do colmo e das raízes para encher os grãos, debilitando e tornando o colmo mais suscetível ao quebramento.

2.3.4 Densidade de plantas

A otimização da exploração do ambiente é necessária para a maximização do rendimento do milho. Sendo assim, a densidade de plantas interage diretamente na competição intraespecífica por fatores do meio.

Sendo assim, a recomendação da densidade de plantas em milho foi alterada ao longo do tempo, à medida que modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica foram incorporadas na planta pelos programas de melhoramento, junto com as mudanças no manejo da cultura.

Na região do “cinturão do milho”, principal zona de cultivo deste cereal nos Estados Unidos, os últimos 70 anos foram marcados por incrementos lineares no rendimento de grãos, devido principalmente ao início de comercialização de híbridos duplos, ainda na década de 30, e de híbridos simples, em meados da década de 60. A adoção desses híbridos determinou avanços expressivos em termos de práticas de manejo, como aumento nos níveis de fertilizantes aplicados, principalmente os nitrogenados, controle mais eficiente de plantas daninhas, pragas e moléstias e aumento da densidade de plantas. Essas mudanças refletiram-se na obtenção de maior potencial de rendimento de grãos nas décadas posteriores. No entanto, apesar do aumento obtido no rendimento potencial de grãos de milho ao longo dos anos com o incremento da densidade de plantas, o aumento do número de plantas por área, além de um dado limite, aumenta a competição intraespecífica pelos recursos naturais, podendo diminuir o rendimento de grãos.

Uma das principais limitações ao uso de altas densidades de plantas é o possível aumento da suscetibilidade da planta à quebra e ao acamamento. Isto ocorre porque o incremento na densidade de plantas reduz a disponibilidade de fotoassimilados para enchimento de grãos e para manutenção das demais estruturas da planta. Após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente aos grãos. Quando o aparato fotossintético não produz fotoassimilados em quantidade suficiente para manutenção de todos os drenos, a maior demanda exercida pelos grãos por estes produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando estas regiões.

A estatura de planta da cultivar também pode interferir na sua suscetibilidade à quebra e ao acamamento de colmos. Híbridos de ciclo mais precoce, que têm menor exigência de soma térmica para florescerem, normalmente apresentam menor estatura de planta e menor altura de inserção de espigas. Estas características são benéficas à manutenção do colmo ereto até a colheita. Quanto maior a relação entre altura de inserção de espiga e estatura de planta, mais deslocado está o centro de gravidade da planta, favorecendo a quebra de colmos. Esse fato é particularmente relevante para espécies como milho, que aloca cerca de 50% da fitomassa total nos grãos ao final de seu ciclo. Há inúmeros trabalhos sobre densidade de plantas realizados nesta região ecoclimática, porém com semeadura na época intermediária (outubro) e sob condições de irrigação. Há poucos trabalhos de pesquisa realizados sobre densidade de plantas na época de semeadura do final de inverno, porém com o uso de híbridos com maior potencial de rendimento de grãos cultivados sob alto nível de manejo, tem-se atingido rendimentos superiores a 10 t ha⁻¹ na semeadura realizada na segunda quinzena de agosto nesta região climática (Forsthofer *et al.*, 2006; Piana *et al.*, 2008; Serpa *et al.*, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de execução do estudo

A pesquisa foi conduzida a campo, em dois anos agrícolas (2010/11 e 2011/12), na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central, do Estado do Rio Grande do Sul, situada a 30° 05' de latitude Sul e a 51° 39' de longitude Oeste e à altitude de 42 m.

O clima da região é considerado subtropical úmido, de verão quente, do tipo fundamental “Cfa”, conforme classificação climática de Köppen. Ocorrem variações nas médias mensais de radiação solar, sendo dezembro o mês de maior fluxo de radiação global, com média de 525 cal cm⁻² dia⁻¹. Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, enquanto junho e julho são os mais frios. A temperatura média anual é de 18,8 °C, sendo a média das mínimas de 13,4 °C e a média das máximas de 24,4 °C. A precipitação média anual é de 1.440 mm, apresentando, frequentemente, períodos de deficiência hídrica entre os meses de novembro a março.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). Para avaliação dos atributos físico-químicos do solo, nos dois anos agrícolas, foram coletadas amostras na profundidade de 0-10 cm, cujos resultados constam na Tabela 1.

TABELA 1. Características físico-químicas do solo da área experimental, nos dois anos agrícolas. Eldorado do Sul - RS.

Características do solo	Ano agrícola	
	2010/11	2011/12
Argila (%)	22	22
pH (água)	5,6	5,7
Índice SMP	5,8	6,1
P (mg dm ⁻³)	69	34
K (mg dm ⁻³)	223	172
M.O. (%)	2,8	2,2
CTC (cmol _c dm ⁻³)	11,8	9,4

A área experimental vem sendo conduzida sob sistema de semeadura direta há 21 anos. No verão, é feita rotação entre as culturas de soja e milho. No inverno, são cultivados nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*) ou aveia preta (*Avena strigosa*) como coberturas antecessoras ao milho e aveia preta (*Avena strigosa*) ou aveia branca (*Avena sativa*) como culturas antecessoras à soja. Especificamente nos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12, utilizou-se aveia preta como cobertura de solo no inverno antecedendo a cultura do milho.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Em cada um dos dois anos agrícolas, foram conduzidos três experimentos. No primeiro experimento, as plantas de milho não receberam irrigação, sendo cultivadas sob condições naturais de precipitação pluvial durante todo o ciclo de desenvolvimento. No segundo, foram realizadas irrigações complementares apenas durante o período mais crítico de desenvolvimento da cultura do milho (estádio V₁₅ até R₂, conforme escala de Ritchie *et al.*, 1993). O terceiro experimento foi conduzido sob condição de irrigação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Em cada experimento, os tratamentos constaram de duas épocas de semeadura, sendo uma considerada precoce (agosto/setembro) e outra intermediária (outubro), de quatro densidades de plantas (5; 7; 9

e 11 plantas m⁻²) e dois híbridos simples de milho (P 30F53H, da empresa Pioneer Sementes, e Celeron, da empresa Syngenta Seeds), sendo classificados como de ciclos precoce e superprecoce, respectivamente. Esta classificação baseia-se na exigência térmica de cada material para alcançar o pendoamento-espigamento, o qual, segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), é de 780 a 830 unidades calóricas (UC) nos híbridos superprecoces e 831 a 890 UC nos materiais precoces. O delineamento experimental utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, dispostos em fatorial 2 x 4 x 2, com três repetições.

Nos dois anos agrícolas, a aveia preta foi semeada na primeira quinzena de maio, em linhas, na densidade de 100 kg ha⁻¹ de sementes e espaçamento entrelinhas de 17,0 cm. A adubação de base constou da aplicação de 10, 60 e 30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, utilizando-se 200 kg ha⁻¹ de adubo químico NPK, da fórmula 5-30-15. A adubação nitrogenada em cobertura foi de 70 kg ha⁻¹ de N, no primeiro ano e, de 45 kg ha⁻¹ de N, no segundo ano, sob a forma de ureia, realizada aos 58 e 43 dias após a semeadura, respectivamente no primeiro e segundo anos. Nos dois anos agrícolas, utilizou-se para dessecação o herbicida glifosato (Glifosato Atanor, concentrado solúvel, 370 g L⁻¹ e.a.) na dose de 1780 g ha⁻¹ e.a.

No primeiro ano, a aveia preta foi dessecada no dia 09 de agosto de 2010, aos 09 dias antes da implantação da primeira época da cultura do milho. No segundo ano, a dessecação foi realizada aos 40 dias antes da implantação da primeira época de semeadura do milho, conforme descrito no item seguinte (3.3). Devido a aveia apresentar alta relação C/N, de 38 a 42 (Aita *et al.*, 1994), e apresentar baixa taxa de decomposição (Velloso e Roman, 1993), os microrganismos imobilizam o N do solo durante a decomposição de sua fitomassa (Argenta *et al.*, 1997). Assim, era de se esperar maior quantidade de nitrogênio disponível para a cultura do milho no segundo ano agrícola.

3.3 Manejo da cultura do milho

No primeiro ano agrícola, nos três experimentos, a cultura do milho foi semeada em 18 de agosto e 06 de outubro de 2010, correspondendo à primeira e à segunda épocas de semeadura. No segundo ano, a primeira época do milho foi instalada em 14 de setembro e a segunda em 24 de outubro de 2011. Neste segundo ano, devido a problemas de baixa germinação apresentadas pelo híbrido P 30F53H, optou-se em fazer a ressemeadura no mês de setembro, uma vez que na primeira semeadura não se atingiu o número de plantas por metro quadrado requeridos para o experimento. As sementes de milho foram tratadas com o inseticida imidacloprido + tiodicarbe (Cropstar, suspensão concentrada, 150 g L⁻¹ i.a. e 450 g L⁻¹ i.a.) nas doses de 45 e 135 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, e com fungicida carbendazim (Carben 500 SC, suspensão concentrada, 500 g L⁻¹ i.a.) na dose de 0,5 g i.a. kg⁻¹ de sementes.

Nos dois anos, o milho foi semeado em sistema de semeadura direta, com semeadora manual (saraquá), com espaçamento entrelinhas de 0,5m em sucessão à aveia preta. A adubação na semeadura foi realizada conforme interpretação das análises de solo e constou da aplicação de 20, 120 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, utilizando-se uma mistura de 400 kg ha⁻¹ do adubo da fórmula 05-30-15 mais 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O), visando atingir altas produtividades (15 a 18 t ha⁻¹). A adubação foi realizada por ocasião da implantação de cada época de semeadura.

Na primeira época de semeadura, a emergência do híbrido de ciclo superprecoce (Celeron) ocorreu aos 13 dias (31 de agosto de 2010) e aos nove dias (23 de setembro de 2011) após a semeadura, respectivamente no primeiro e segundo anos agrícolas. Para o híbrido de ciclo precoce (P 30F53H), a emergência ocorreu aos 17 dias (04 de setembro de 2010) e aos 13 dias (27 de setembro de 2011) após a semeadura, respectivamente no primeiro e no segundo anos agrícolas.

Na segunda época de semeadura, a emergência do híbrido de ciclo superprecoce (Celeron) ocorreu aos oito dias (14 de outubro de 2010) e aos seis dias (30 de outubro de 2011) após a emergência, respectivamente no primeiro e segundo anos agrícolas. Para o híbrido de ciclo precoce (P 30F53H) a emergência ocorreu aos 10 dias (16 de outubro de 2010) e aos oito dias (01 de novembro de 2011) após a semeadura, respectivamente no primeiro e segundo anos agrícolas.

Para o ajuste das densidades de plantas estabelecidas como tratamentos, foi efetuado desbaste manual quando as plantas tinham duas a três folhas expandidas (V_{2-3}), nos dois anos e nas duas épocas de semeadura. A dose utilizada de adubação nitrogenada em cobertura foi de 300 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia tratada com inibidor da urease NBPT, dividida em três parcelas iguais de 100 kg ha^{-1} nos estádios V_{3-4} , V_{9-10} , V_{12-13} , segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). Cada unidade experimental foi composta por oito linhas de 5,0 m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,5 m, totalizando área de 20 m^2 .

Nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas durante o período mais crítico da cultura, a necessidade de irrigação foi estimada pela instalação de sensores no solo para determinar a umidade volumétrica do solo, com medidas feitas pelo equipamento HIDROFARM. Com base nessas medições, as irrigações foram realizadas quando a umidade do solo atingia $0,18 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Este é o valor próximo da umidade correspondente ao limite hídrico inferior da cultura do milho, obtido a partir da curva de retenção de água no solo da área experimental. Foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão, com vazão de $8,0 \text{ mm h}^{-1}$. A precipitação pluvial ocorrida, os estádios de desenvolvimento da cultura em que as irrigações foram efetuadas e a quantidade de água aplicada em cada irrigação e em cada experimento estão descritos nas Tabelas 2 e 3, referentes ao ano agrícola 2010/11 e, nas Tabelas 4 e 5, relativas ao ano

agrícola 2011/12. Os balanços hídricos foram calculados segundo metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm para as duas épocas de semeadura e para os dois anos agrícolas. Os balanços hídricos referentes ao primeiro e ao segundo anos agrícolas estão discriminados, respectivamente, nas Figuras 3 e 4.

Nos dois anos, o controle de plantas daninhas foi efetuado em pós-emergência precoce, quando as plantas de milho estavam no estágio V₃, utilizando-se a mistura dos herbicidas atrazina e simazina (Extrazin SC, concentrado solúvel, atrazina 250 g L⁻¹ i.a. e simazina 250 g L⁻¹ i.a.) na dose de 1.000 g i.a. ha⁻¹ de cada um dos ingredientes ativos, e tembotriona (Soberan, suspensão concentrada, tembotriona 420 g L⁻¹ i.a.) na dose de 105 g ha⁻¹ misturado a um adjuvante (Áureo, concentrado emulsionável, éster metílico de óleo de soja 720 g L⁻¹ i.a.) na dose de 216 g ha⁻¹.

Apenas no segundo ano foi realizada aplicação de fungicida na cultura do milho, no estágio V₁₃, utilizando o fungicida piraclostrobina + epoxiconazol (Ópera, susp/emulsão, piraclostrobina 133 g L⁻¹ i.a. e epoxiconazol 50 g L⁻¹ i.a.) nas doses de 100 e 38 g i.a. ha⁻¹ respectivamente, adicionados a óleo mineral (Assist, concentrado emulsionável 756 g L⁻¹ i.a.) na dose de 151 g ha⁻¹.

Nas duas épocas de semeadura e nos dois anos agrícolas, não foi necessária aplicação de inseticidas durante o desenvolvimento do milho, pois os dois híbridos utilizados são tolerantes a lagartas, pelo uso da tecnologia Bt.

3.4 Parâmetros avaliados

3.4.1 Cobertura de solo no inverno

Para determinação do rendimento de massa seca da parte aérea da aveia preta foram coletadas, no dia da realização da dessecação, quatro amostras de 0,25 m² da parte aérea

das plantas representativas da área experimental. Posteriormente, estas foram secas em estufa a 60 °C até atingir peso constante. Os rendimentos de massa seca da parte aérea da aveia preta obtidos foram de 1,4 e 2,2 t ha⁻¹, respectivamente no primeiro e segundo anos agrícolas.

3.4.2 Cultura do milho

3.4.2.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento

As durações dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento foram determinadas pelo número de dias decorridos entre a emergência (exteriorização do coleóptilo acima da superfície do solo) e o pendoamento (exteriorização do pendão em 50% das plantas) e entre o pendoamento e o espigamento (estigmas com 1,0 cm de comprimento nas espigas de 75% das plantas). A duração do subperíodo emergência-maturação fisiológica foi determinada pelo número de dias transcorridos entre a emergência e a maturação fisiológica. A maturação fisiológica dos grãos foi determinada amostrando-se três espigas por unidade experimental, considerando-se atingido este estágio quando 75% dos grãos apresentassem as células da placenta (chalaza) escurecidas, evidenciando a camada preta em sua base. Para tanto, foram avaliados cinco grãos da parte mediana da espiga, a partir de 40 dias após o espigamento, em intervalos de três dias, sendo suspensas as avaliações quando observada a camada preta nos grãos.

3.4.2.2 Índice de área foliar (IAF) no estágio R₁

O IAF foi avaliado em três plantas por unidade experimental. Para sua determinação, foram consideradas as medidas das folhas fotossinteticamente ativas, ou seja, nas folhas completamente expandidas e nas folhas com, pelo menos, 50% das medidas finais. Ao final da primeira avaliação, a última folha expandida de cada planta era

identificada com uma borracha. Nas avaliações subsequentes, foram tomadas como medidas apenas as dimensões das folhas expandidas a partir da identificada, sendo a borracha transferida para a última folha expandida. A partir da segunda avaliação, foram consideradas as folhas anteriormente expandidas e as expandidas após esta avaliação. Foi descontada da área foliar final da planta, a área das folhas que senesceram no período compreendido entre as avaliações. Foram consideradas folhas senescentes aquelas que apresentavam menos de 50% da área da folha verde.

A área de cada folha foi obtida pelo produto das medidas do comprimento e da largura máxima, multiplicando-se o valor obtido pelo fator de correção 0,75, conforme metodologia descrita por Francis *et al.* (1969). A área foliar da planta correspondeu ao somatório da área foliar de cada folha fotossinteticamente ativa. Todas as avaliações foram realizadas nas mesmas plantas, já que o método utilizado não é destrutivo. A área ocupada por planta foi obtida pela razão entre o número de plantas e a área útil da respectiva unidade experimental. O valor obtido foi multiplicado por três, tendo-se assim a área ocupada por três plantas. O IAF foi obtido pela razão entre o somatório da área foliar das três plantas avaliadas e a superfície de solo por elas ocupada.

3.4.2.3 Estatura de planta e altura de inserção de espiga

Estes parâmetros foram determinados no estágio do espigamento, em três plantas por unidade experimental, com uso de uma régua, a qual podia ser estendida até 4,0 m de comprimento. A altura de inserção da espiga foi determinada apenas no primeiro ano agrícola (2010/11).

3.4.2.4 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento

Esta determinação foi realizada no estágio do espigamento, coletando-se quatro plantas de cada unidade experimental, que foram acondicionadas em estufa sob temperatura de 60 °C até atingir peso constante. Este material foi pesado e os valores obtidos extrapolados para um hectare.

3.4.2.5 Diâmetro de colmo

O diâmetro de colmo foi medido com paquímetro, por ocasião da maturação de colheita, apenas no primeiro ano agrícola. A medição foi efetuada no segundo entrenó acima da superfície do solo, em cinco plantas por unidade experimental. Esta avaliação foi realizada apenas no primeiro ano agrícola (2010/11).

3.4.2.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

Nos dois anos, o rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção obtida na área útil da parcela (9,6 m²) para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg⁻¹.

O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela razão entre o número de espigas colhidas na unidade experimental pelo valor da área útil colhida. O peso do grão foi obtido pela contagem manual de 200 grãos de cada unidade experimental, com posterior pesagem e correção de umidade para 130 g kg⁻¹, e dividindo-se a massa obtida por 200. Já o número de grãos por espiga foi calculado, indiretamente, da seguinte forma: obteve-se inicialmente o número de grãos das plantas da área útil pela razão entre o peso dos grãos da área útil e o peso do grão. Após, dividiu-se este valor pela área útil, obtendo-se o número de grãos por metro quadrado. Por fim, o número de grãos por espiga

foi obtido pela razão entre o número de grãos por metro quadrado e o número de espigas por metro quadrado.

3.5 Análise estatística

Nos três experimentos analisados em cada ano agrícola, os dados foram submetidos à análise de variância pelo F-teste ($p \leq 0,05$). Os efeitos simples das médias dos tratamentos foram comparados pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Quando houve interação significativa entre os fatores, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, ao nível de 10% de probabilidade. Também realizou-se, em cada experimento, a análise de regressão das variáveis em função da densidade de plantas e híbridos, testando-se os modelos linear e quadrático.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos nos dois anos agrícolas (2010/11 e 2011/12) serão apresentados por nível de disponibilidade hídrica, constituindo-se cada nível em um experimento. Assim, serão descritos inicialmente os dados obtidos no experimento conduzido sem irrigação, depois os do experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura e, por fim, os dados obtidos no experimento sob condições de irrigação.

Nos três experimentos, em cada ano agrícola, inicialmente será feita a descrição dos dados meteorológicos verificados durante a estação de crescimento nas duas épocas de semeadura do milho. Em seguida, serão apresentados os resultados dos parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta e, por fim, os referentes aos componentes do rendimento e ao rendimento de grãos.

4.1 Dados meteorológicos referentes aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12

4.1.1 Radiação solar global

Na estação de crescimento do milho do primeiro ano agrícola, a radiação solar global foi maior em relação a média da normal climática durante a maior parte de seu ciclo (Figura 1). Para a primeira época de semeadura (18/08/10), o período compreendido entre o primeiro decêndio de novembro e o terceiro decêndio de janeiro, abrangendo os estádios V_{11} e R_6 do desenvolvimento da planta, a radiação solar foi, em média, 8% maior em

relação à normal climática, atingindo o máximo de $632 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, no terceiro decêndio de dezembro. Na segunda época de semeadura (06/10/10), do terceiro decêndio de novembro até o terceiro decêndio de fevereiro, abrangendo os estádios V_{11} e R_6 , a radiação solar foi, em média, 4% maior em relação à normal climática, sendo o máximo valor ($632 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) atingido no terceiro decêndio de dezembro (Figura 1).

No entanto, em dois dos subperíodos de desenvolvimento da planta, a radiação solar incidente na estação de crescimento do milho no primeiro ano foi menor em relação à normal climática. O primeiro ocorreu do segundo decêndio de agosto ao primeiro decêndio de outubro, abrangendo os estádios V_6 e de emergência, respectivamente, para a primeira e segunda épocas de semeadura. O segundo subperíodo em que a radiação solar global foi menor em relação à normal climática ocorreu entre o segundo e o terceiro decêndios do mês de novembro, correspondendo ao subperíodo pendramento-espigamento, para a primeira época de semeadura, e ao estádio V_{13} , para a segunda época de semeadura.

Diferentemente do observado no primeiro ano, no segundo ano agrícola não se observaram valores de radiação normal que fossem iguais ou superiores aos da normal climática durante todo o período de desenvolvimento da cultura, nas duas épocas de semeadura. O valor máximo registrado foi de $628 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, no terceiro decêndio de janeiro. Para a primeira época de semeadura (14/09/11), a radiação solar foi, em média, 11% maior em relação à normal climática durante o período compreendido pelos estádios V_{11} e R_6 , que correspondeu ao primeiro decêndio de novembro ao primeiro decêndio de fevereiro. Na segunda época de semeadura (24/10/11), a radiação solar foi, em média, 13% maior em relação à normal climática para o período compreendido pelos estádios V_{11} até R_6 , correspondendo ao segundo decêndio de dezembro até o terceiro decêndio de fevereiro.

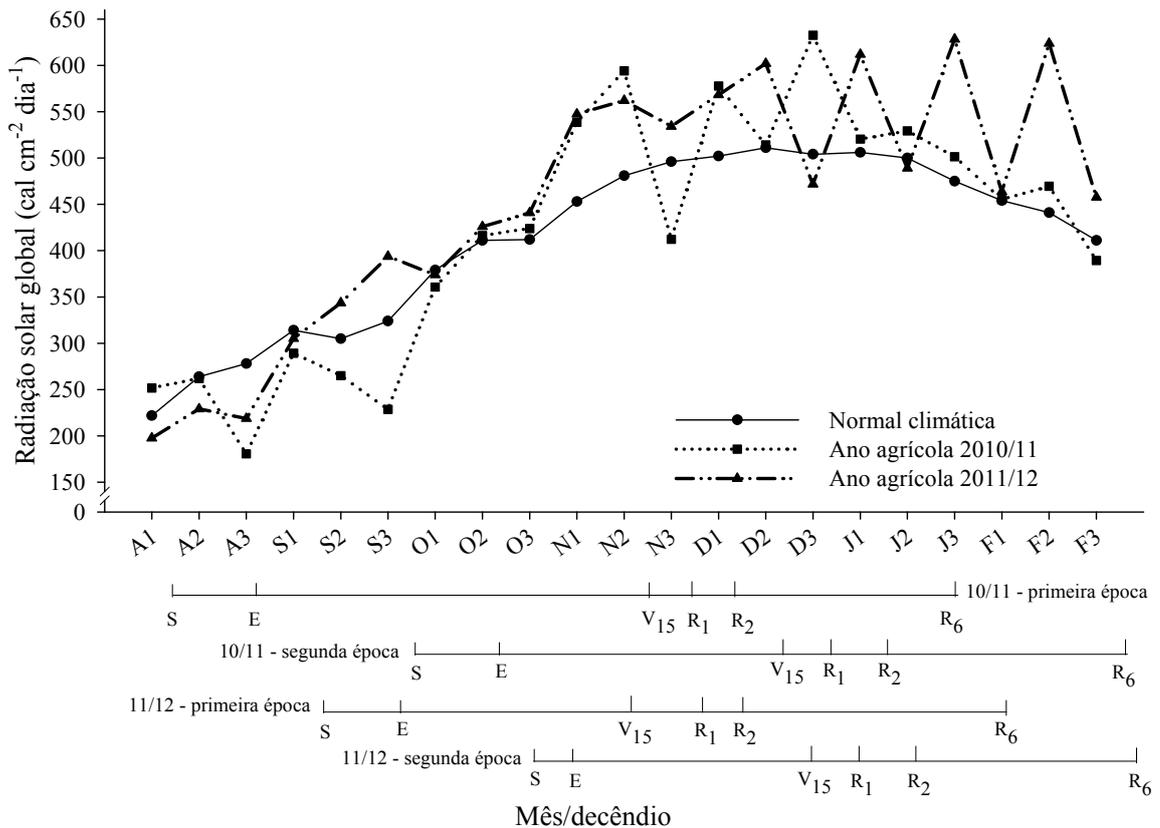


FIGURA 1. Radiação solar global por decêndio nos meses de agosto a fevereiro referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e a média do período de 1969 a 1999. Eldorado do Sul-RS. Fontes: Bergamaschi et al. (2003) e Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia - UFRGS (2010).

4.1.2 Temperatura média do ar

Durante a estação de crescimento do milho do primeiro ano, a temperatura do ar foi, em média, 5% menor em relação à normal climática durante todo seu ciclo (Figura 2). No entanto, em dois períodos a temperatura média do ar foi maior em relação à normal climática. O primeiro compreendeu o terceiro decêndio de agosto e o primeiro decêndio de setembro, correspondendo aos estádios de emergência e V₂ para a primeira época de semeadura (18/08/10). O outro período em que a temperatura média do ar foi maior em relação à normal climática compreendeu o primeiro e o terceiro decêndio de janeiro, correspondendo, respectivamente aos estádios R₄ e R₆, para a primeira época de semeadura, e aos estádios R₂ e R₄ para a segunda época de semeadura (06/10/10).

No segundo ano agrícola houve três períodos em que a temperatura média do ar foi maior em relação à normal climática (Figura 2). O primeiro compreendeu o primeiro decêndio de outubro, correspondendo ao estágio V_2 para a primeira época de semeadura (14/09/11). O segundo período ocorreu no terceiro decêndio de novembro, correspondendo aos estádios V_{15} e V_7 , respectivamente para a primeira e segunda épocas de semeadura (24/10/11). O terceiro período em que os valores da temperatura do ar foram superiores aos da normal climática, correspondeu ao primeiro e segundo decêndios de fevereiro, abrangendo os estádios R_3 e R_4 da segunda época de semeadura. Apenas no subperíodo de enchimento de grãos, verificou-se menores valores da temperatura média do ar em relação à normal climática, correspondendo aos meses de dezembro e janeiro.

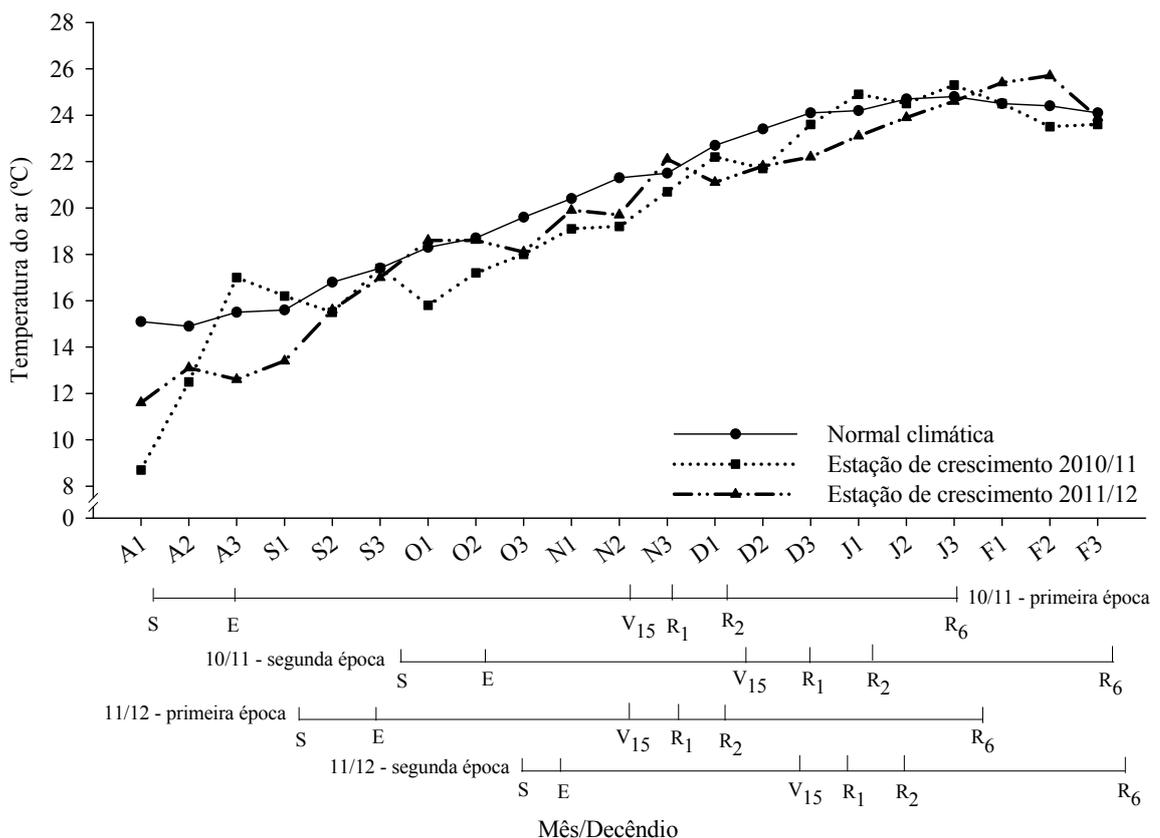


FIGURA 2. Temperatura do ar, por decêndio, durante os meses de agosto a fevereiro referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à média do período de 1969 a 1999. Eldorado do Sul - RS. Fontes: Bergamaschi *et al.* (2003) e Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia - UFRGS (2010).

4.2 Práticas de manejo para minimizar estresse por deficiência hídrica.

4.2.1 Experimento sem irrigação

4.2.2 Balanço hídrico

Ano agrícola 2010/11.

Neste primeiro ano agrícola, ocorreram dois períodos de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho (Figura 3). O primeiro ocorreu do primeiro decêndio de outubro até o segundo decêndio de novembro, abrangendo os estádios V_7 a V_{13} na média dos dois híbridos, na primeira época de semeadura (18/08/10), e os estádios de V_E a V_7 , para a segunda época de semeadura (06/10/10). O segundo período de deficiência estendeu-se do primeiro decêndio de dezembro ao final de primeiro decêndio de janeiro, englobando o período correspondente aos estádios R_2 a R_4 na média dos dois híbridos, para a primeira época de semeadura, e V_{13} a R_1 , para a segunda época de semeadura, abrangendo o período mais crítico da cultura em relação à deficiência hídrica (V_{15} a R_2).

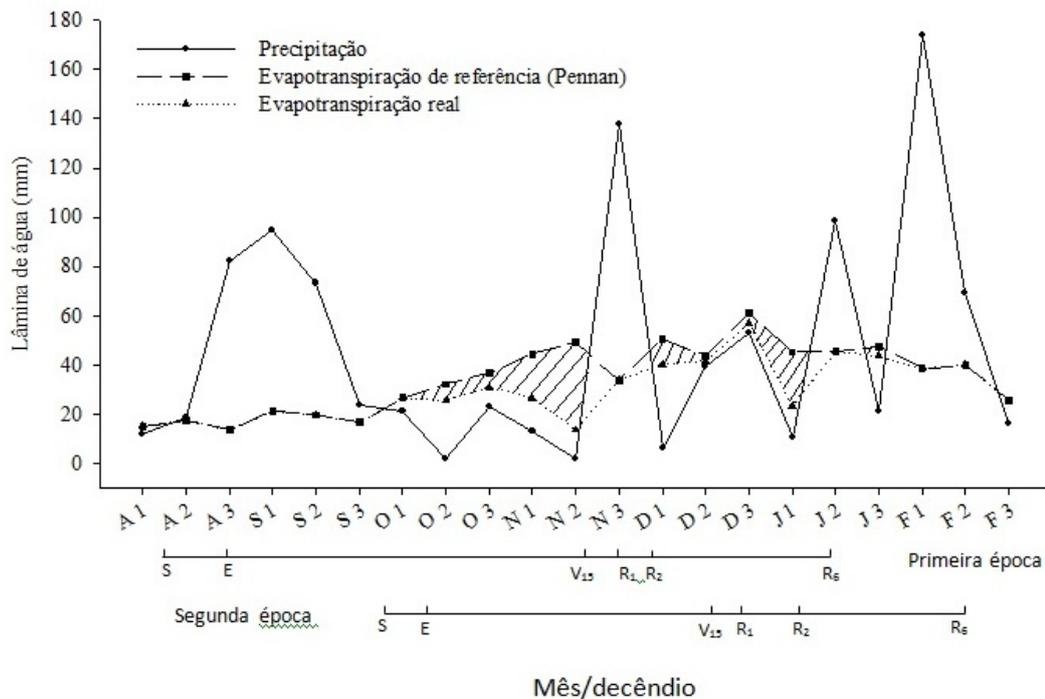


FIGURA 3. Balanço hídrico referente ao primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), correspondendo às duas épocas de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Ano agrícola 2011/12

Neste segundo ano, ocorreu deficiência hídrica em dois períodos, sendo o primeiro longo e com grande impacto negativo na cultura do milho, uma vez que se iniciou no primeiro decêndio de novembro, estendendo-se até o final de janeiro, o que compreendeu, respectivamente, os estádios de V_{13} a R_5 e V_1 a R_3 na primeira (14/09/11) e segunda épocas de semeadura (24/10/11) na média dos dois híbridos, coincidindo, portanto, nas duas épocas de semeadura, com o período mais crítico da cultura em relação à deficiência hídrica (V_{15} a R_2) (Figura 4). O segundo período de deficiência hídrica atingiu apenas a segunda época de semeadura, e compreendeu o período entre a metade do primeiro decêndio de fevereiro até o terceiro decêndio do mesmo mês, coincidindo com os estádios R_4 e R_5 na média entre os dois híbridos, do milho cultivado na segunda época de semeadura. Nesse ano agrícola, verificou-se forte influência do fenômeno La Niña, em que houve deficiência hídrica em praticamente todo o ciclo do milho, com volume de precipitação pluvial muito abaixo do requerido pela cultura do milho.

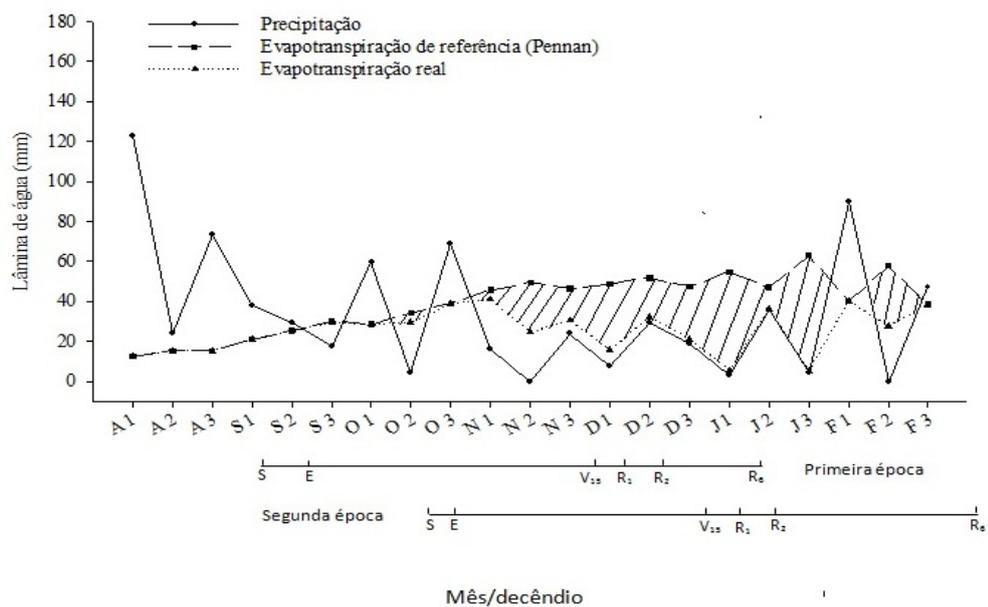


FIGURA 4. Balanço hídrico referente ao segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), correspondendo às duas épocas de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

TABELA 2. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2010 a março de 2011 e quantidade de água aplicada nas irrigações do milho em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V₁₅ a R₂), na primeira época de semeadura (18/08/10). Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Mês	Decêndio	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)		Estádio ¹	
			Todo ciclo	Período crítico	Celeron	P 30F53H
Ago	1	11,9	-	-	-	-
	2	18,6	-	-	S	S
	3	82,5	-	-	V1	S
Set	1	95,0	-	-	V1	V1
	2	73,2	-	-	V3	V3
	3	23,8	-	-	V5	V3
Out	1	21,2	-	-	V7	V5
	2	1,9	-	-	V9	V9
	3	23,1	20	-	V11	V11
Nov	1	13,2	72	36	V13	V13
	2	1,6	48	48	V15	V15
	3	137,7	-	-	R1	R1
Dez	1	6,1	72	48	R2	R2
	2	39,5	24	-	R3	R2
	3	53,0	32	-	R4	R3
Jan	1	10,3	24	-	R5	R4
	2	98,5	-	-	R6	R5
	3	20,9	24	-	-	R6
Fev	1	174,0	-	-	-	-
	2	69,0	-	-	-	-
	3	16,1	-	-	-	-
Mar	1	25,4	-	-	-	-
	2	26,3	-	-	-	-
	3	49,8	-	-	-	-
Total		1093	316	132	-	-

¹Conforme escala de Ritchie *et al.* (1993). Legenda: S = semeadura; Ve = emergência; V₁ = uma folha expandida, com colar visível; V₂ = duas folhas expandidas, com colar visível; V_n = n folhas expandidas, com colar visível; VT = pendoamento; R₁ = espigamento; R₂ = grão em forma de bolha; R₃ = grão leitoso; R₄ = grão pastoso; R₅ = grão farináceo e R₆ = maturação fisiológica.

TABELA 3. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2010 a março de 2011 e quantidade de água aplicada em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V₁₅ a R₂), na segunda época de semeadura (06/10/10). Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Mês	Decêndio	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)		Estádio ¹	
			Todo ciclo	Período crítico	Celeron	P 30F53H
Ago	1	11,9	-	-	-	-
	2	18,6	-	-	-	-
	3	82,5	-	-	-	-
Set	1	95,0	-	-	-	-
	2	73,2	-	-	-	-
	3	23,8	-	-	-	-
Out	1	21,2	-	-	S	S
	2	1,9	24	-	V1	V1
	3	23,1	24	-	V3	V3
Nov	1	13,2	24	-	V7	V7
	2	1,6	-	-	V9	V9
	3	137,7	-	-	V11	V11
Dez	1	6,1	24	24	V13	V13
	2	39,5	32	32	V15	V15
	3	53,0	40	40	R1	R1
Jan	1	10,3	48	48	R2	R2
	2	98,5	32	-	R3	R3
	3	20,9	32	-	R4	R3
Fev	1	174,0	-	-	R5	R4
	2	69,0	-	-	R6	R5
	3	16,1	-	-	-	R6
Mar	1	25,4	-	-	-	-
	2	26,3	-	-	-	-
	3	49,8	-	-	-	-
Total		1093	280	144		-

¹ Conforme escala de Ritchie et al. (1993).

TABELA 4. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2011 a março de 2012 e quantidade de água aplicada nas irrigações do milho em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V₁₅ a R₂), na primeira época de semeadura (14/09/11). Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Mês	Decêndio	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)		Estádio ¹	
			Todo ciclo	Período crítico	Celeron	P 30F53H
Ago	1	122,9	-	-	-	-
	2	24,1	-	-	-	-
	3	73,5	-	-	-	-
Set	1	38,2	-	-	-	-
	2	29,2	-	-	S	S
	3	17,3	-	-	V1	V1
Out	1	59,7	-	-	V3	V3
	2	4,2	20	-	V5	V3
	3	68,7	-	-	V7	V5
Nov	1	16,4	40	15	V9	V7
	2	0,0	40	40	V11	V9
	3	23,8	60	60	V15	V13
Dez	1	7,7	40	40	R1	VT
	2	29,5	40	40	R2	R1
	3	18,6	75	-	R3	R2
Jan	1	2,9	60	-	R4	R3
	2	35,8	25	-	R5	R4
	3	4,2	75	-	R6	R5
Fev	1	89,7	-	-		R6
	2	0,0	-	-		
	3	47,0	-	-		
Mar	1	30,8	-	-		
	2	57,1	-	-		
	3	24,1	-	-		
Total		825	475	195		-

¹ Conforme escala de Ritchie *et al.* (1993).

TABELA 5. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2011 a março de 2012 e quantidade de água aplicada em seus respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos sob condições de irrigação e com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura (estádio V₁₅ a R₂), na segunda época de semeadura (24/10/11). Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Mês	Decêndio	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)		Estádio ¹	
			Todo ciclo	Período crítico	Celeron	P 30F53H
Ago	1	122,9	-	-	-	-
	2	24,1	-	-	-	-
	3	73,5	-	-	-	-
Set	1	38,2	-	-	-	-
	2	29,2	-	-	-	-
	3	17,3	-	-	-	-
Out	1	59,7	-	-	-	-
	2	4,2	-	-	-	-
	3	68,7	-	-	S	S
Nov	1	16,4	20	-	V1	V1
	2	0,0	45	-	V3	V3
	3	23,8	20	-	V7	V7
Dez	1	7,7	20	20	V9	V9
	2	29,5	20	20	V13	V11
	3	18,6	75	75	VT	V13
Jan	1	2,9	60	60	R1	R1
	2	35,8	25	25	R2	R2
	3	4,2	75	-	R3	R3
Fev	1	89,7	-	-	R4	R3
	2	0,0	75	-	R5	R4
	3	47,0	50	-	R6	R5
Mar	1	30,8	50	-		R6
	2	57,1	-	-		
	3	24,1	-	-		
Total		825	535	200		-

¹ Conforme escala de Ritchie *et al.* (1993).

4.3 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta

4.3.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento

No primeiro ano agrícola (2010/11), a duração do subperíodo emergência-pendoamento praticamente não variou entre os híbridos testados na primeira época de semeadura (Tabela 6). Já na segunda época de semeadura, houve uma diferença um pouco maior entre os híbridos na duração deste subperíodo e, comparativamente à primeira época, este subperíodo foi, na média de híbridos, 14 dias mais curto. O subperíodo pendoamento-espigamento apresentou pequena variação entre híbridos para ambas épocas de semeadura. O subperíodo espigamento-maturação fisiológica apresentou maiores diferenças entre híbridos quando a semeadura foi realizada na segunda época de semeadura. Houve maior diferença no ciclo total dos híbridos (subperíodo emergência-maturação fisiológica) quando a semeadura foi realizada na segunda época de semeadura. Na média de híbridos, a duração deste subperíodo foi 13 dias maior na primeira época em relação à segunda época de semeadura.

TABELA 6. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emerg.-pend. ¹	Pend.-esp.	Esp. – mat. fis.	Emerg.-mat. fis.
Primeira época de semeadura (18/08/10)				
P 30F53H	86	4	53	142
Celeron	85	3	52	141
Segunda época de semeadura (06/10/10)				
P 30F53H	70	4	61	135
Celeron	67	4	51	122

¹Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Esp. – mat.fis. = subperíodo espigamento – maturação fisiológica. Emerg.-mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

No segundo ano agrícola (2011/12), a duração do subperíodo emergência-pendoamento apresentou menor variação entre os híbridos testados quando a semeadura foi

realizada na primeira época (Tabela 7). Já na segunda época de semeadura, a duração deste subperíodo foi de cinco dias maior no híbrido precoce (P 30F53H) em relação ao de ciclo superprecoce (Celeron). A duração do subperíodo pendoamento-espigamento apresentou maior diferença entre os híbridos quando a semeadura foi realizada na primeira época de semeadura, em que o híbrido precoce apresentou menor duração deste subperíodo (06 dias) em relação ao híbrido superprecoce. O subperíodo espigamento-maturação fisiológica apresentou maiores diferenças entre híbridos quando a semeadura foi realizada na primeira época em relação à segunda época de semeadura. Praticamente a diferença na duração do ciclo total (emergência-maturação fisiológica) entre os dois híbridos se manteve a mesma nas duas épocas de semeadura. Porém, na média de híbridos, a duração deste subperíodo foi 25 dias maior na segunda época em relação à primeira época de semeadura.

TABELA 7. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emerg.-pend. ¹	Pend.-esp.	Esp. - mat fis.	Emerg.-mat. fis.
Primeira época de semeadura (14/09/11)				
P 30F53H	76	04	43	122
Celeron	73	10	31	114
Segunda época de semeadura (24/10/11)				
P 30F53H	69	07	75	151
Celeron	64	09	64	136

¹Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Esp. - mat.fis. = subperíodo espigamento - maturação fisiológica. Emerg.-mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

4.3.2 Índice de área foliar (IAF) no estágio R₁

Na avaliação realizada no espigamento (estádio R₁) do primeiro ano agrícola, foi significativa a interação de época de semeadura e híbrido e o efeito simples de densidade de plantas. Enquanto na primeira época o híbrido precoce apresentou menor (9%) IAF em relação ao superprecoce, na segunda época não houve diferença entre híbridos (Tabela 8).

Nos dois híbridos, o IAF no estágio R_1 foi 22% e 11% inferiores na primeira época em relação à segunda, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

TABELA 8. Índice de área foliar (IAF) no estágio de espigamento (R_1)¹ de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
	IAF	
P 30F53H	B*4,40 b	A 5,67 a
Celeron	A 4,86 b	A 5,44 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).¹ Segundo escala de escala de Ritchie *et al.* (1993).

O IAF aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 5), aumentando de 3,5 para 6,6 com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m^{-2} , correspondendo a um incremento de 46%.

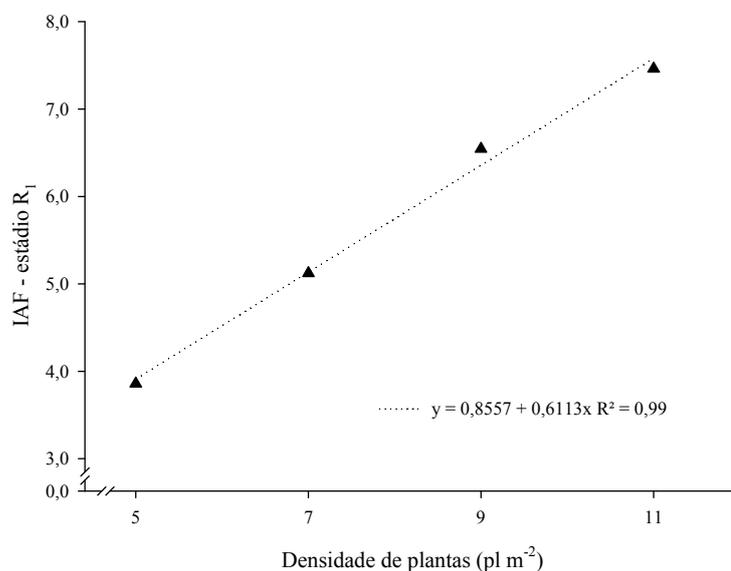


FIGURA 5. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (estádio R_1) em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos de milho, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

No segundo ano, o IAF no estágio R₁ foi significativo o efeito simples de época de semeadura e densidade de plantas. O aumento com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m⁻² foi de 46%. O atraso da época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro aumentou o IAF de 4,15 para 6,02 (estádio R₁), correspondendo a um aumento de 31%.

4.3.3 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento (estádio R₁)

Nos dois anos agrícolas, não foram significativos os efeitos simples e as interações dos fatores analisados para esta característica (Apêndices 1 e 2). Na média de todos os tratamentos, o rendimento de massa seca da parte aérea do milho no espigamento foi de 9,8 e 9,6 t ha⁻¹, respectivamente no primeiro e segundo anos

4.3.4 Estatura de planta

No primeiro ano, foi significativa a interação de híbrido e época de semeadura (Tabela 9). Na primeira época, a estatura de planta não diferiu entre híbridos, enquanto que na segunda época o híbrido precoce apresentou menor estatura de planta (13%) em relação ao superprecoce. Para os dois híbridos, a estatura de planta foi maior na segunda época de semeadura em relação à primeira época, sendo estas diferenças de 7 e 18%, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

TABELA 9. Estatura de planta de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
	Estatura de planta (m)	
P 30F53H	*A 1,87 b	B 2,01 a
Celeron	A 1,89 b	A 2,30 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de época de semeadura e híbrido. Com o atraso da época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro houve aumento de 14% na estatura de planta, sendo os valores de 1,70 m e 1,98 m, respectivamente. A estatura de planta foi 13% menor no híbrido precoce (1,70 m) em relação ao superprecoce (1,97 m).

4.3.5 Altura de inserção da espiga

Esta variável foi avaliada apenas no primeiro ano agrícola, tendo sido significativos os efeitos simples de época de semeadura e híbrido. Com o atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro houve aumento de 28% na altura de inserção da espiga, sendo os valores de 0,81m e 1,13 m, respectivamente. A altura de inserção de espiga foi 10% menor no híbrido precoce (0,92 m) em relação ao superprecoce (1,02 m).

4.3.6 Diâmetro de colmo

Essa variável foi avaliada apenas no primeiro ano agrícola (2010/11), em que foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, o diâmetro de colmo não variou em função de densidade de plantas para o híbrido precoce (P 30F53H), enquanto que para o híbrido superprecoce

(Celeron) este parâmetro diminuiu linearmente à medida que se incrementou a densidade de plantas de 5,0 para 11,0 pl m^{-2} (Figura 6A). Para este híbrido, para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade, houve decréscimo de 9,0 mm no diâmetro de colmo. Na segunda época de semeadura, os dois híbridos reduziram linearmente o diâmetro de colmo com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m^{-2} (Figura 6B). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve decréscimos de 6,0 e 7,0 mm no diâmetro de colmo, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

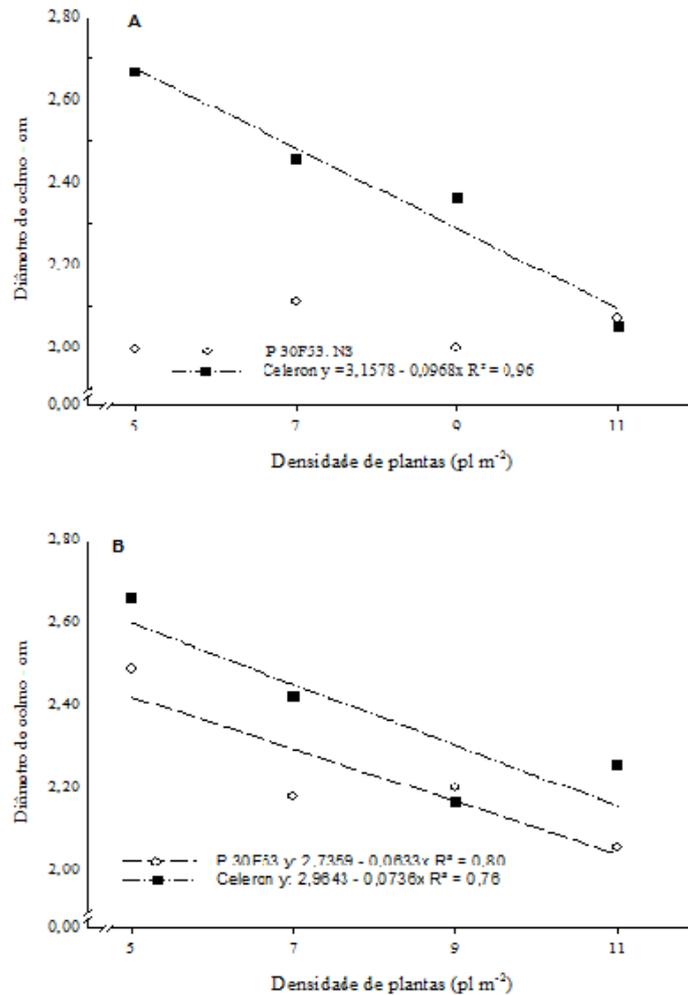


FIGURA 6. Diâmetro de colmo de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura: A) 18/08/10 e B) 06/10/10, em função de densidade de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

4.4 Componentes do rendimento e rendimento de grãos

4.4.1 Número de espigas por metro quadrado

No primeiro ano agrícola, foram significativas as interações de híbrido e época de semeadura e época de semeadura e densidade de plantas. Nas duas épocas de semeadura, o número de espigas por metro quadrado foi menor no híbrido precoce (P 30F53H) em relação ao superprecoce (Celeron), sendo esta diferença de 11 e 4%, respectivamente na primeira e segunda épocas de semeadura (Tabela 10). Nos dois híbridos, o número de espigas por metro quadrado foi superior na primeira época em relação à segunda, sendo a diferença de 11 e 16%, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

TABELA 10. Número de espigas por metro quadrado de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
Nº espigas m ²		
P 30F53H	*B 7,6 a	B 6,8 b
Celeron	A 8,5 a	A 7,1 b

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O número de espigas por metro quadrado aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas, sendo este incremento mais acentuado na primeira época de semeadura (Figura 7). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado, o número de espigas por metro quadrado aumentou em 0,6 e 0,5 espiga por metro quadrado, respectivamente, para a primeira e segunda épocas de semeadura.

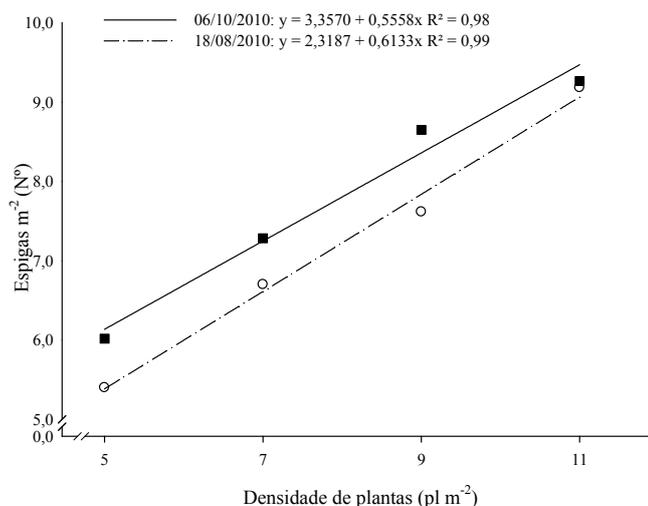


FIGURA 7. Número de espigas por metro quadrado, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos de milho, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.

No segundo ano agrícola, foi significativa a interação de época de semeadura e híbrido. Na primeira época, o híbrido precoce (P 30F53H) apresentou maior número de espigas por metro quadrado (39%) em relação ao superprecoce (Celeron), enquanto na segunda época não houve diferença entre híbridos para este componente (Tabela 11). No híbrido precoce este parâmetro não variou em função de época de semeadura, enquanto no superprecoce o número de espigas por metro quadrado foi 34% menor na primeira época de semeadura em relação à segunda época.

TABELA 11. Número de espigas por metro quadrado de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
Nº espigas m ²		
P 30F53H	*A 4,1 a	A 4,0 a
Celeron	B 2,5 b	A 3,8 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

4.4.2 Número de grãos por espiga

No primeiro ano agrícola, foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, o híbrido superprecoce não variou o número de grão por espiga em função de densidade de plantas, obtendo-se em média 212 grãos por espiga (Figura 8A). Já no híbrido precoce, o número de grãos por espiga decresceu de forma linear com o incremento da densidade de plantas. Na segunda época de semeadura, os dois híbridos reduziram de forma linear e com a mesma magnitude este componente à medida em que se incrementou o número de plantas por metro quadrado (Figura 8B).

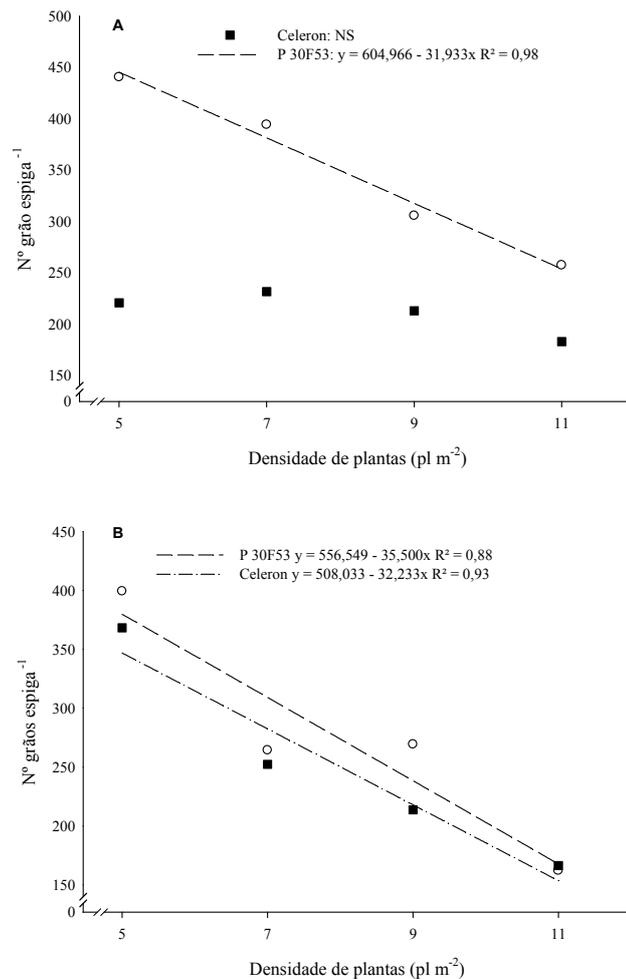


FIGURA 8. Número de grãos por espiga de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na primeira época de semeadura (A) e na segunda época de semeadura (B), no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul – RS, 2010/11

No segundo ano, foram significativos a interação de época de semeadura e híbrido e o efeito simples de densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, o número de grãos por espiga não diferiu entre os dois híbridos, enquanto na segunda época de semeadura o híbrido precoce apresentou menor (15%) número de grãos por espiga em relação ao superprecoce. O número de grãos por espiga foi influenciado pela época de semeadura apenas no híbrido superprecoce, sendo 21% inferior na primeira época em relação à segunda época (Tabela 12).

TABELA 12. Número de grãos por espiga de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
	Nº grãos espiga ⁻¹	
P 30F53H	*A 133 a	B 128 a
Celeron	A 120 b	A 151 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O número de grãos por espiga diminuiu de forma linear com o incremento da densidade de plantas (Figura 9). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve decréscimo de 7 grãos por espiga.

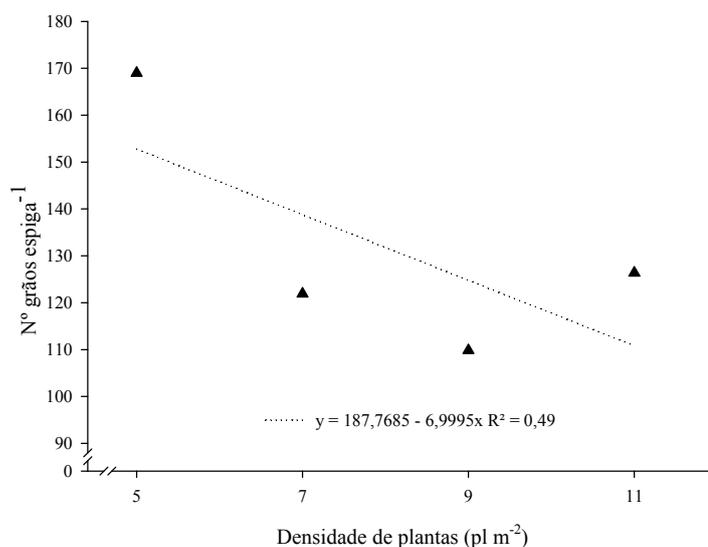


FIGURA 9. Número de grãos por espiga em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos de milho e duas épocas de semeadura, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

4.4.3 Peso do grão

No primeiro ano, este parâmetro não foi influenciado por nenhum dos fatores testados (Apêndice 1). Na média de todos os tratamentos, o peso do grão foi de 332mg. Já no segundo ano, foi significativa a interação de época de semeadura e híbrido. Na primeira época de semeadura, o peso do grão não variou entre os híbridos utilizados, enquanto na segunda época de semeadura o peso do grão do híbrido precoce foi 27% superior em relação ao do superprecoce (Tabela 13). O peso do grão do híbrido precoce foi 14% maior na segunda época em relação à primeira época de semeadura. O inverso ocorreu com o híbrido superprecoce, em que o peso do grão foi 14% superior na primeira época em relação à segunda época de semeadura.

TABELA 13. Peso do grão de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
Peso do grão (mg)		
P 30F53H	*A 305 b	A 355 a
Celeron	A 303 a	B 259 b

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

4.4.4 Rendimento de grãos

No primeiro ano agrícola foram significativas as interações de época de semeadura e híbrido e híbrido e densidade de plantas. Nas duas épocas de semeadura, o híbrido precoce (P 30F53H) apresentou maior rendimento de grãos em relação ao superprecoce (Celeron), com diferenças de 27% e 7%, respectivamente para a primeira e segunda épocas de semeadura (Tabela 14). Nos dois híbridos, o rendimento de grãos foi superior na primeira época em relação à segunda época de semeadura, obtendo-se diferenças de 31% e 11%, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

TABELA 14. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)		
P 30F53H	*A 8,4 a	A 5,8 b
Celeron	B 6,1 a	B 5,4 b

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Para o híbrido superprecoce, o rendimento de grãos não variou em função de densidade de plantas (Figura 10). No entanto, o rendimento de grãos do híbrido precoce diminuiu linearmente com o incremento na densidade de plantas. Para este híbrido, para

cada incremento de uma planta por metro quadrado, o rendimento de grãos diminuiu em 279 kg ha^{-1} .

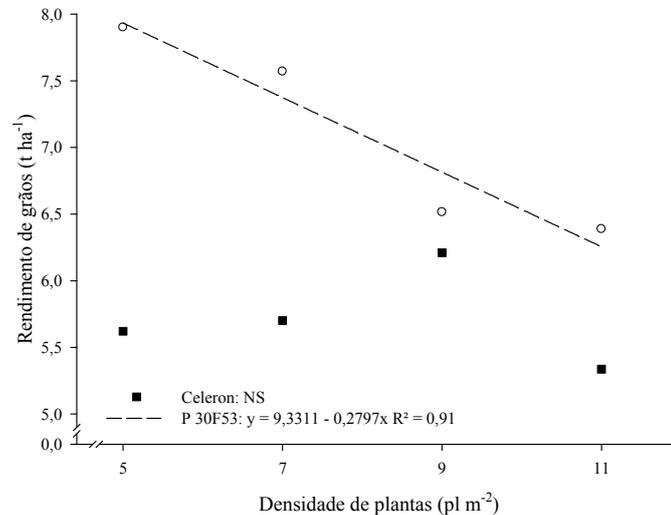


FIGURA 10. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Os rendimentos de grãos obtidos neste ano no experimento sem irrigação foram muito baixos, variando de $1,2$ a $1,9 \text{ t ha}^{-1}$.

Com o atraso da época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro o rendimento de grãos aumentou em 24%, sendo obtidos valores de $1,3 \text{ t ha}^{-1}$ e $1,7 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. O rendimento de grãos do híbrido precoce (P 30F53H) foi 28% superior ao do híbrido superprecoce (Celeron), sendo os valores de $1,7 \text{ t ha}^{-1}$ e $1,3 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. O rendimento de grãos não diferiu com o incremento da densidade de plantas (Figura 11).

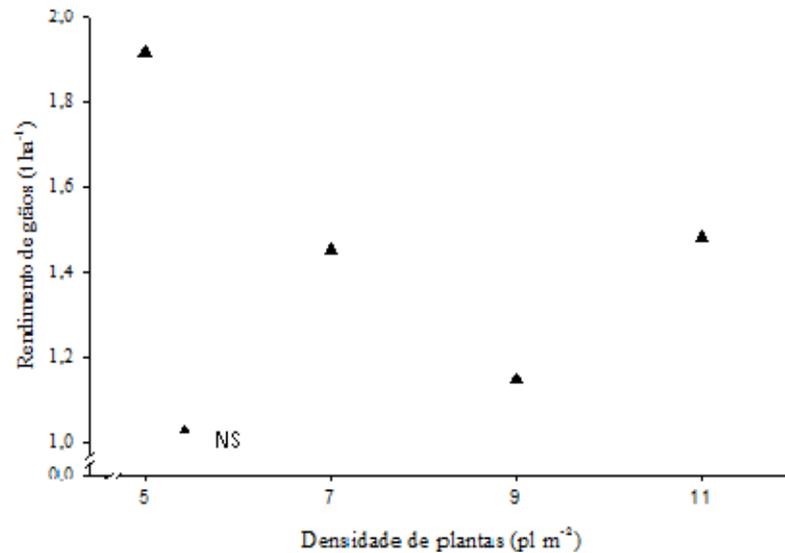


FIGURA 11. Rendimento de grãos de milho em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos e duas épocas de semeadura, no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12

4.4.5 Experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura

4.4.5.1 Balanço hídrico

Na primeira época de semeadura do primeiro ano agrícola, ocorreram dois períodos de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho, justamente no período considerado mais crítico à deficiência hídrica. O primeiro período ocorreu nos dois primeiros decêndios do mês de novembro, correspondendo aos estádios V₁₃ a V₁₅ da cultura, e o segundo período no primeiro decêndio de dezembro, que coincidiu com o estádio R₂. O total de lâmina de água aplicado durante o período crítico da cultura na primeira época de semeadura foi de 132 mm (Figura 12 e Tabela 2).

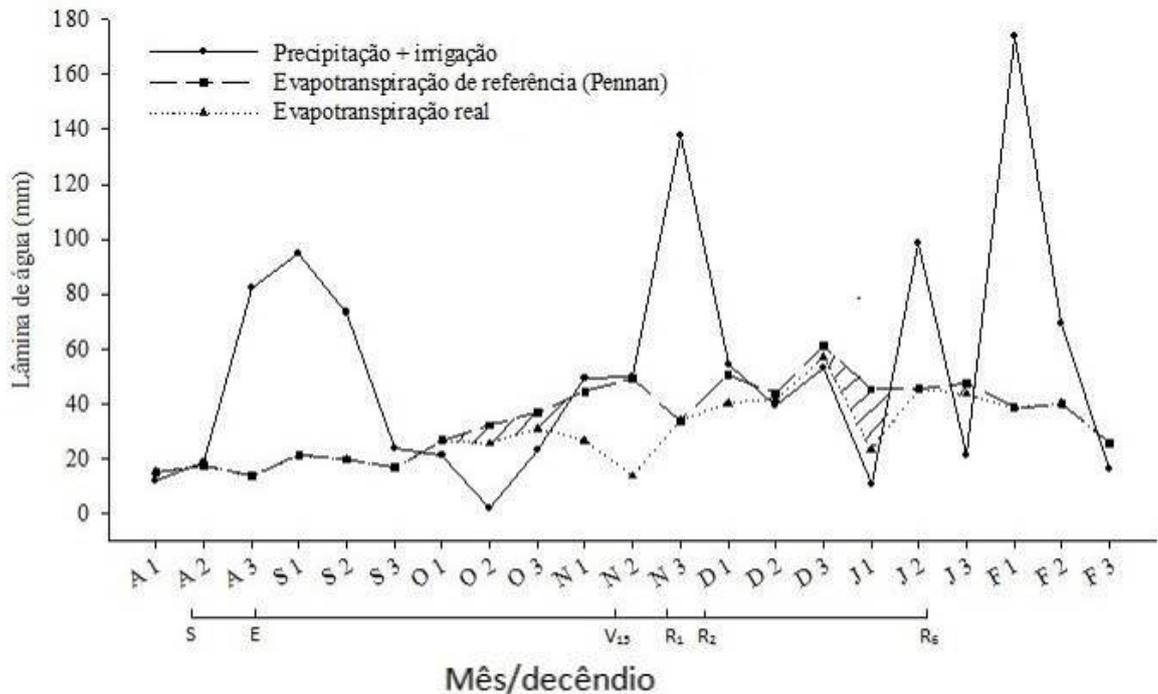


FIGURA 12. Balanço hídrico referente à primeira época de semeadura (18 de agosto de 2010) do milho do primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.

Na segunda época de semeadura, a quantidade total de água aplicada com a irrigação durante o período crítico foi de 144 mm, sendo as irrigações realizadas entre o primeiro decêndio de dezembro e o primeiro decêndio de janeiro, correspondendo aos estádios V_{13} a R_1 (Figura 13 e Tabela 3).

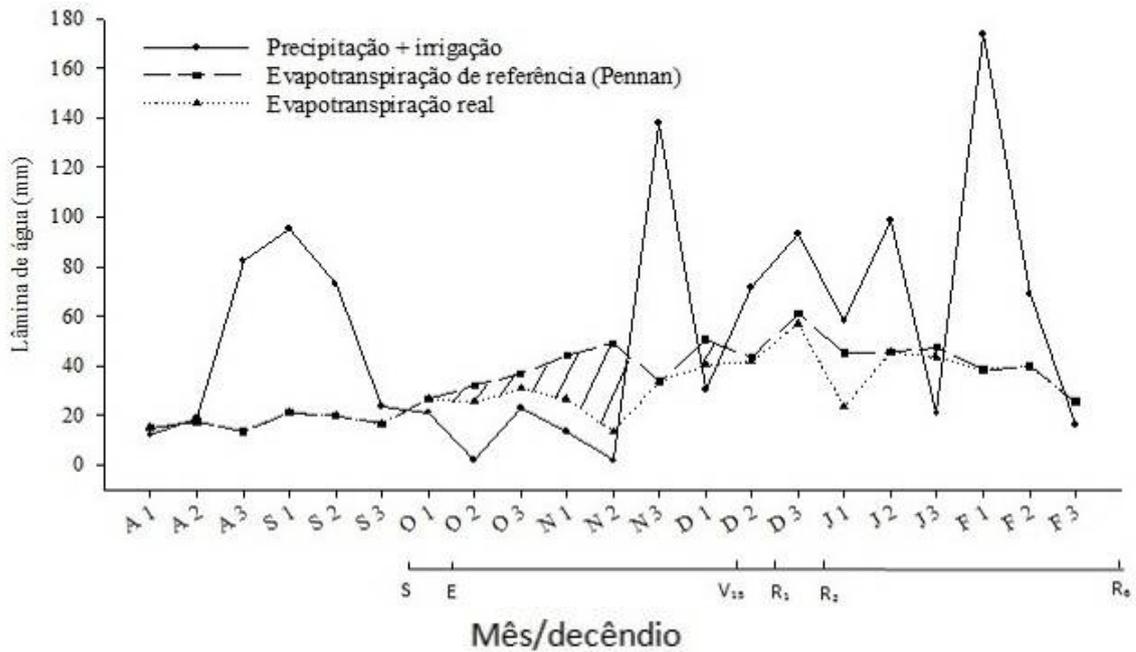


FIGURA 13. Balanço hídrico referente à segunda época de semeadura do milho (06 de outubro de 2010) do primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.

Na primeira época de semeadura do segundo ano agrícola foram adicionados 115 mm de água durante o mês de novembro e mais 80 mm nos dois primeiros decêndios do mês de dezembro, somando assim 195mm de água para suprir a deficiência hídrica entre os estádios V_{13} a R_2 (Figura 14 e Tabela 4).

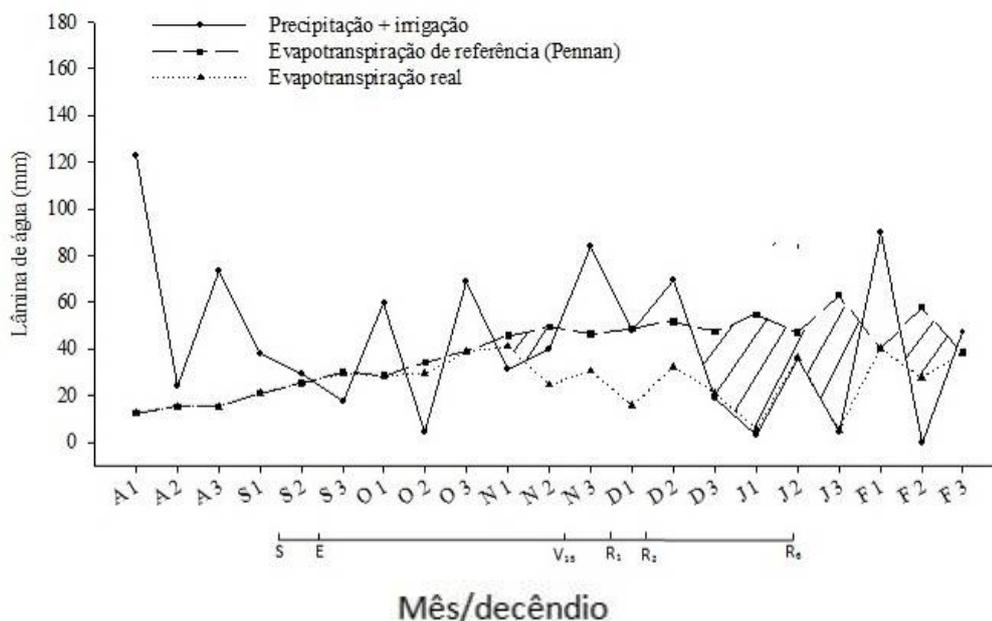


FIGURA 14. Balanço hídrico referente à primeira época de semeadura (18 de agosto de 2011) do milho do segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.

Na segunda época de semeadura, aplicou-se 115 mm de água no mês de dezembro, e mais 85 mm nos dois primeiros decêndios de janeiro, totalizando 200 mm de água entre estes dois meses, correspondendo aos estádios V_1 a R_3 (Figura 15 e Tabela 5).

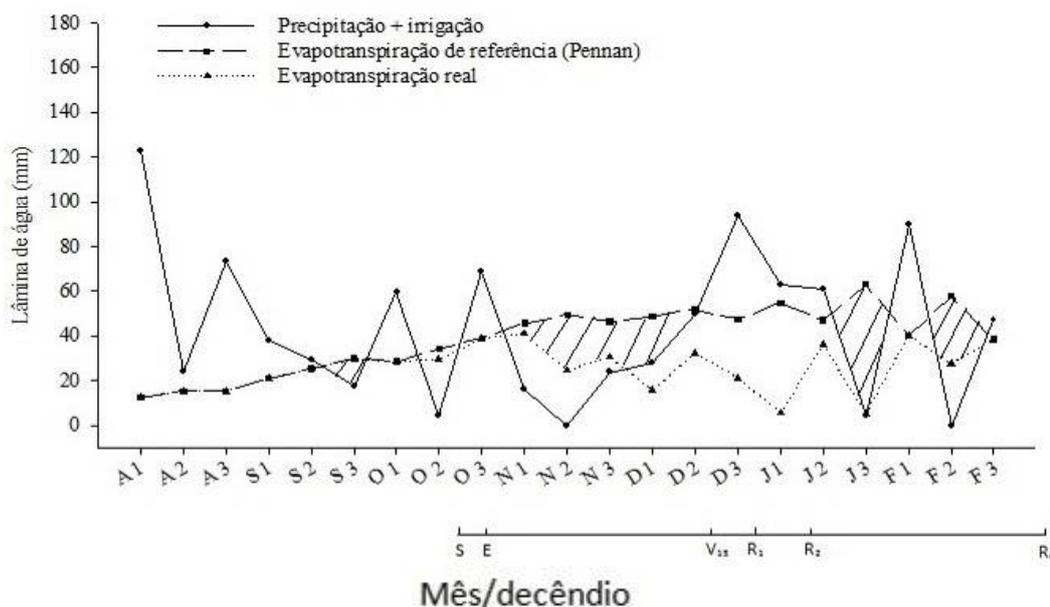


FIGURA 15. Balanço hídrico referente à segunda época de semeadura (06 de outubro de 2011) do milho no segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.

4.5 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta

4.5.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento

Na primeira época de semeadura do primeiro ano, as durações dos subperíodos e do ciclo total foram similares para os dois híbridos (Tabela 15). Já na segunda época, o híbrido superprecoce (Celeron) diferiu do híbrido precoce (P 30F53H) apenas na duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica, que foi seis dias menor. Assim, houve pequena diferença entre híbridos na duração dos subperíodos.

Para os dois híbridos, o atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro reduziu a duração dos subperíodos emergência-pendoamento, pendoamento-espigamento, espigamento-maturação fisiológica e do ciclo total. A exceção ocorreu com a duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica do híbrido Celeron, que não variou entre épocas.

TABELA 15. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de híbridos e época de semeadura de milho, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emerg.-pend. ¹	Pend.-esp.	Esp. - mat fis.	Emerg.-mat. fis.
Primeira época de semeadura (18/08/10)				
P 30F53H	83	4	54	141
Celeron	82	2	56	141
Segunda época de semeadura (06/10/10)				
P 30F53H	69	2	62	133
Celeron	67	0	56	124

¹Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Esp. - mat.fis. = subperíodo espigamento - maturação fisiológica. Emerg. - mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

Na primeira época de semeadura do segundo ano, as durações dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento foram similares entre os híbridos (Tabela 16). Já a duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica foi 11 dias

menor no híbrido superprecoce Celeron em relação ao híbrido precoce P 30F53H. A duração total do ciclo foi 14 dias menor no híbrido superprecoce.

TABELA 16. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de híbridos e época de semeadura de milho, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emerg.-pend. ¹	Pend.-esp.	Esp. - mat fis.	Emerg.-mat. fis.
Primeira época de semeadura (14/09/11)				
P 30F53H	69	4	49	122
Celeron	68	2	38	108
Segunda época de semeadura (24/10/11)				
P 30F53H	63	4	43	110
Celeron	59	2	45	106

¹Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Esp. - mat.fis. = subperíodo espigamento - maturação fisiológica. Emerg. - mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

Para os dois híbridos, o atraso da época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro reduziu a duração dos subperíodos emergência-pendoamento, pendoamento-espigamento e espigamento-maturação fisiológica e do ciclo total (Tabela 16). No segundo ano, a duração do subperíodo emergência-pendoamento apresentou menor variação entre os híbridos testados quando a semeadura foi realizada na primeira época. Já na segunda época de semeadura, o híbrido P 30F53H apresentou em relação ao Celeron uma diferença de quatro dias a mais para completar este subperíodo de emergência-pendoamento. A duração do subperíodo pendoamento-espigamento teve a mesma duração de dias para as duas épocas de semeadura, onde a duração deste subperíodo foi de quatro dias para o híbrido precoce (P 30F53H) e dois dias para o híbrido superprecoce (Celeron). O subperíodo espigamento- maturação fisiológica apresentou maiores diferenças entre híbridos quando a semeadura foi realizada na primeira época de semeadura em relação à segunda época.

4.5.2 Índice de área foliar (IAF) no estágio R₁

Nas avaliações realizadas no primeiro ano agrícola, foi significativa a interação época de semeadura e híbrido, em que, nas duas épocas de semeadura, o IAF não diferiu entre híbridos. Para os dois híbridos, o IAF aumentou à medida que se atrasou a época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro (Tabela 17). O atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro aumentou o IAF em 19% no estágio R₁ na média entre os dois híbridos.

TABELA 17. Índice de área foliar (IAF) no estágio R₁¹ em função de híbrido e de época de semeadura de milho, na média de densidade de plantas, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
	IAF R₁	
P 30F53H	A 4,49 b	A 5,95 a
Celeron	A 5,14 b	A 5,90 a

¹Segundo escala de escala de Ritchie *et al.*, (1993). *Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Também foi significativo o efeito simples de densidade de plantas, em que o IAF aumentou de forma linear com o incremento da densidade de plantas (Figura 16). O aumento do IAF com o incremento na densidade de plantas de 5,0 para 11,0 pl m⁻² foi de 48%.

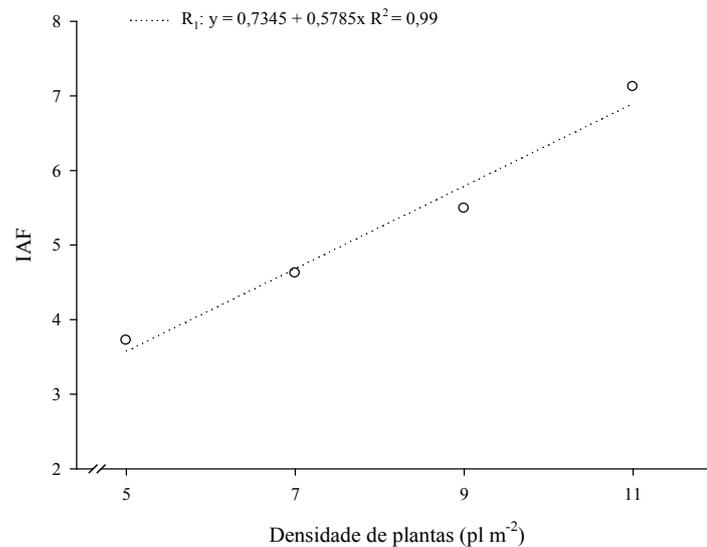


FIGURA 16. Índice de área foliar (IAF) de milho no estádio R₁¹ em função de densidade de plantas, na média de híbridos e épocas de semeadura, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.¹ Segundo escala de Ritchie *et al.*, (1993).

No segundo ano agrícola, nenhuma interação foi significativa. Porém, foi significativo o efeito simples de época de semeadura e densidade de plantas. O IAF aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas, em 31% com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m⁻² (Figura 17).

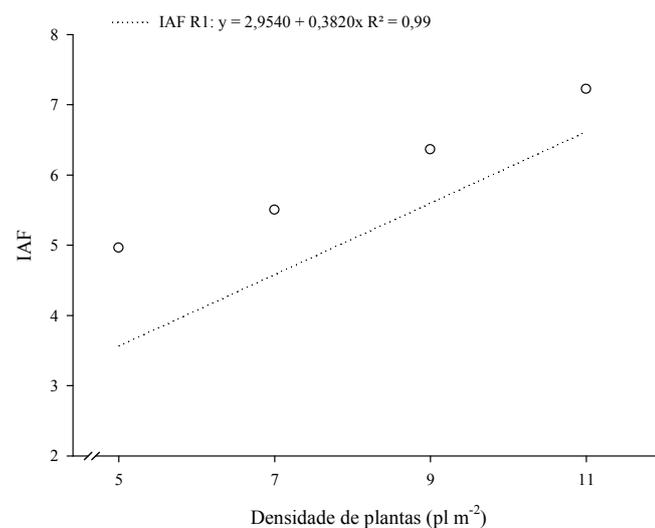


FIGURA 17. Índice de área foliar (IAF) de milho no estádio R₁¹ em função de densidade de plantas, na média de híbridos e época de semeadura, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.¹ Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

O atraso na época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro aumentou o IAF no estágio R₁ em 24%, sendo estes valores respectivamente 5,2 e 6,8.

4.5.3 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento.

No primeiro ano agrícola, foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época, o rendimento de massa seca da parte aérea não variou em função de densidade de plantas para o híbrido precoce P 30F53H (Figura 18). Já para o híbrido superprecoce Celeron, este parâmetro aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas. De uma maneira geral, os valores de rendimento de massa seca foram maiores no híbrido precoce em relação ao superprecoce.

Na segunda época de semeadura, não houve variação no rendimento de massa seca na parte aérea no espigamento em função de densidade de plantas. Na média de quatro densidades, o rendimento de massa seca no espigamento foi de 11,5 e 12,7 t ha⁻¹, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce. De modo inverso ao que ocorreu na primeira época, os valores de rendimento de massa seca, de uma maneira geral, foram maiores no híbrido superprecoce em relação ao precoce.

Nas duas épocas de semeadura do segundo ano, foi significativo apenas o efeito simples de densidade de plantas. O rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 19). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 0,75 toneladas de massa seca da parte aérea.

4.5.4 Estatura de planta

No primeiro ano, foram significativos a interação híbrido e densidade de plantas e o efeito simples de época de semeadura. Para o híbrido superprecoce (Celeron), a estatura de

planta aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas, enquanto que o híbrido precoce (P 30F53H) não variou a estatura de planta em função da densidade de plantas, obtendo-se em média altura de planta de 2,47m. (Figura 20).

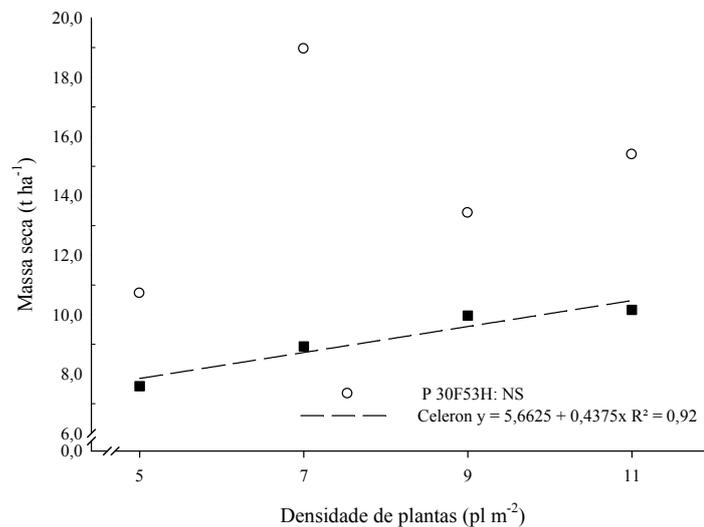


FIGURA 18. Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento de milho em função de densidades de plantas e híbridos na primeira época de semeadura (18/08/10), no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11. ¹ Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

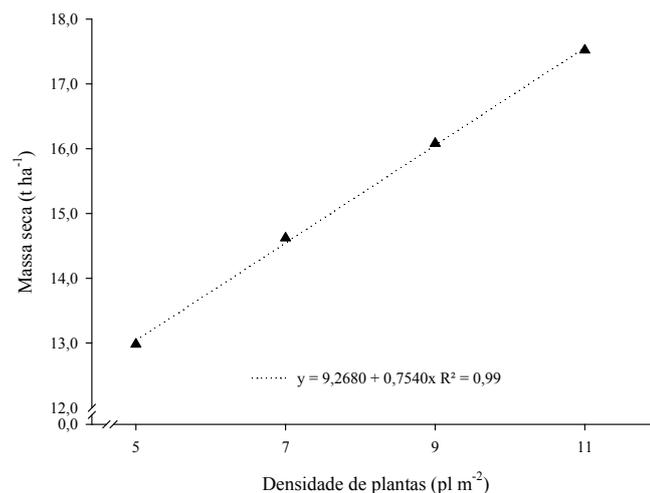


FIGURA 19. Rendimento de massa seca da parte aérea do milho no espigamento em função de densidades de plantas, na média de épocas de semeadura e híbridos, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12. ¹ Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

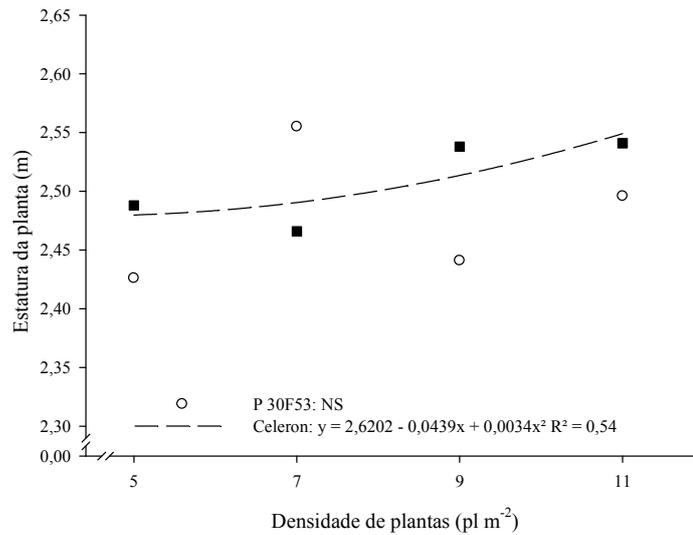


FIGURA 20. Estatura de planta de milho em função de densidades de plantas e de híbridos, na média de épocas de semeadura, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Com o atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro houve aumento de 13% na estatura de planta, na média dos demais fatores testados, sendo os valores de 2,32 m e 2,66 m, respectivamente.

No segundo ano agrícola, foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, a estatura de planta aumentou de forma quadrática com o incremento de densidade de plantas, nos dois híbridos (Figura 21A). No entanto, a densidade em que se obteve maior estatura de planta variou entre híbridos, sendo de 7,7 pl m⁻² e 11,0 pl m⁻², respectivamente para os híbridos superprecoce (Celeron) e precoce (P 30F53H).

Na segunda época de semeadura, o híbrido superprecoce aumentou de forma quadrática a estatura de planta com o incremento da densidade de plantas, enquanto o híbrido precoce reduziu de forma linear a estatura de planta com o incremento da

densidade de plantas (Figura 21B). A densidade que propiciou a maior estatura de planta no híbrido superprecoce, foi a de 8,9 pl m⁻².

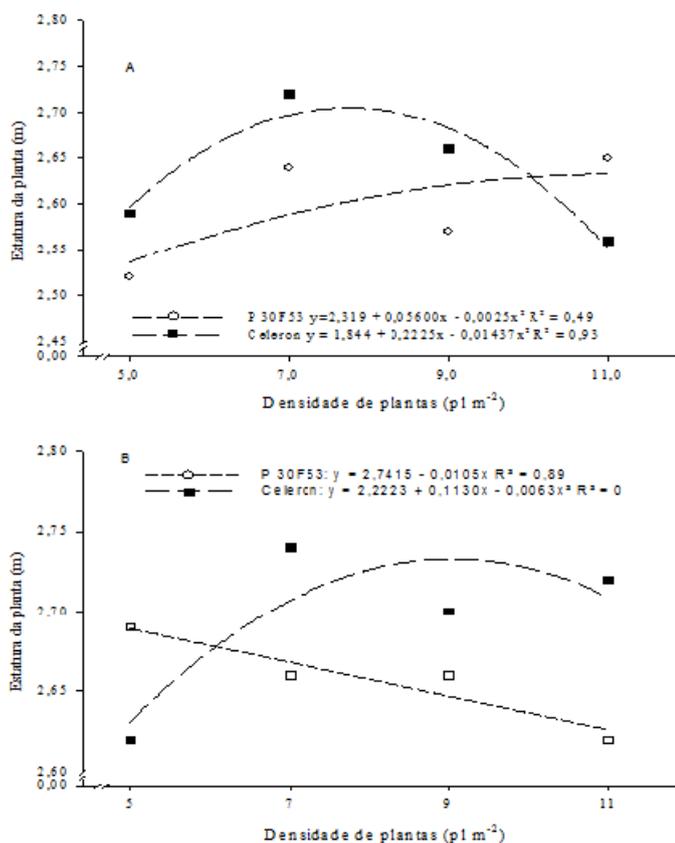


FIGURA 21. Estatura de planta de milho em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: A) 14/09/11 e B) 24/10/11, no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12

4.5.5 Altura de inserção de espiga

Essa variável foi avaliada apenas no primeiro ano agrícola (2010/11), tendo sido significativos os efeitos simples de densidade de plantas e época de semeadura. A altura de inserção de espiga aumentou linearmente com o incremento na densidade de plantas (Figura 22). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 2,0 cm na altura de inserção de espiga.

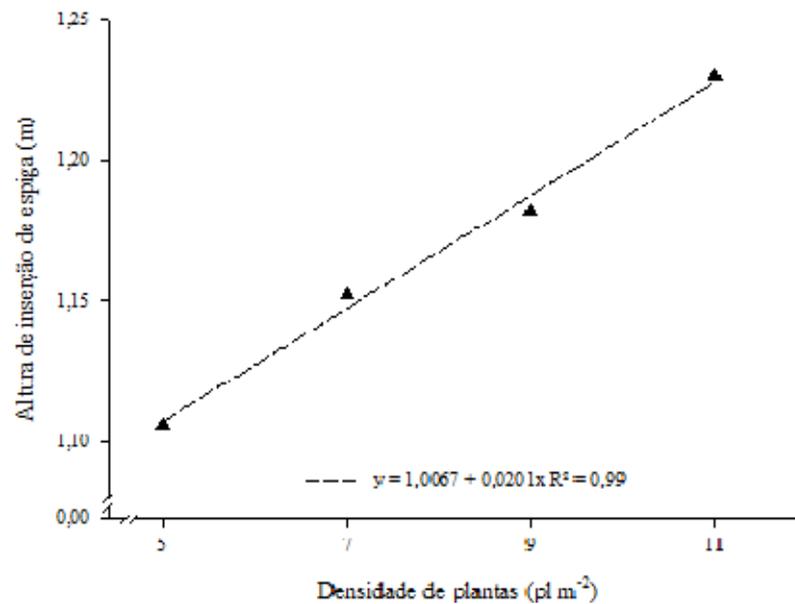


FIGURA 22. Altura de inserção de espiga de milho em função de densidade de plantas, na média de híbridos e épocas de semeadura, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

A altura de inserção de espiga foi 25% menor na primeira época (18 de agosto) em relação à da segunda época de semeadura (06 de outubro), sendo os valores de 1,00 e 1,33m, respectivamente.

4.5.6 Diâmetro de colmo

Essa variável foi avaliada apenas no primeiro ano agrícola (2010/11), sendo significativos os efeitos simples de densidade de plantas, híbrido e época de semeadura. O diâmetro de colmo diminuiu de forma linear com o incremento da densidade de plantas (Figura 23). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve decréscimo de 0,04cm no diâmetro de colmo.

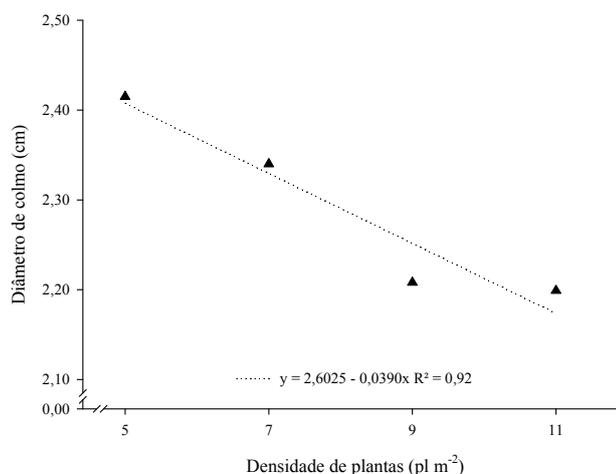


FIGURA 23. Diâmetro de colmo de milho em função de densidades de plantas, na média de híbridos e épocas de semeadura, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Na primeira época de semeadura (18 de agosto) o diâmetro de colmo foi 8% superior ao da segunda época (06 de outubro), sendo os valores de 2,20 e 2,38 cm, respectivamente. O diâmetro de colmo do híbrido precoce (P 30F53H) foi 5% inferior ao do híbrido superprecoce (Celeron), sendo os valores de 2,23 e 2,35cm, respectivamente.

4.6 Componentes do rendimento e rendimento de grãos

4.6.1 Número de espigas por metro quadrado

No primeiro ano agrícola foram significativas as interações de época de semeadura e densidade de plantas e de época de semeadura e híbrido. Nas duas épocas de semeadura, o número de espigas por metro quadrado aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas, sendo este incremento mais acentuado na segunda época (Figura 24). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado, o número de espigas por metro quadrado aumentou em 0,42 e 0,60, respectivamente na primeira e segunda épocas de semeadura.

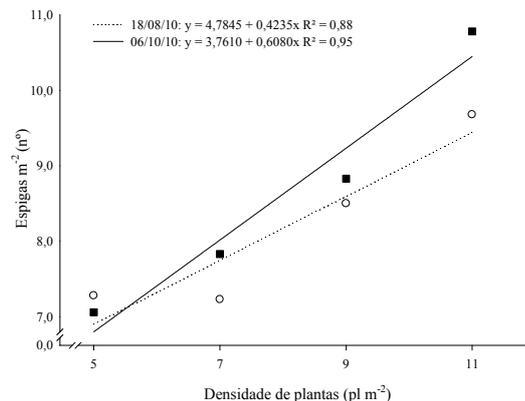


FIGURA 24. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidades de plantas e épocas de semeadura, na média de híbridos, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Na primeira época de semeadura, o número de espigas por metro quadrado foi 8% superior no híbrido precoce (P 30 F53) em relação ao superprecoce (Celeron), enquanto na segunda época não houve diferença entre híbridos (Tabela 18). No híbrido precoce, este parâmetro não variou em função de época de semeadura, enquanto no superprecoce houve aumento de 12% no número de espigas por metro quadrado com o atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro.

TABELA 18. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de híbridos e épocas de semeadura, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/2010	06/10/2010
Espigas m ⁻² (nº)		
P 30F53H	*A 8,5 a	A 8,3 a
Celeron	B 7,8 b	A 8,9 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No segundo ano, foi significativa a interação tripla entre época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, o número de espigas por metro quadrado aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas, sendo

este incremento mais acentuado no híbrido precoce (Figura 25A). Para cada incremento na densidade de uma planta por metro quadrado, o número de espigas por metro quadrado aumentou em 0,78 e 0,44, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

Na segunda época de semeadura, o número de espigas por metro quadrado também aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas, no entanto os incrementos foram similares para os dois híbridos (Figura 25B), Para cada incremento na densidade de uma planta por metro quadrado, o número de espigas por metro quadrado aumentou em 0,64 e 0,72, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

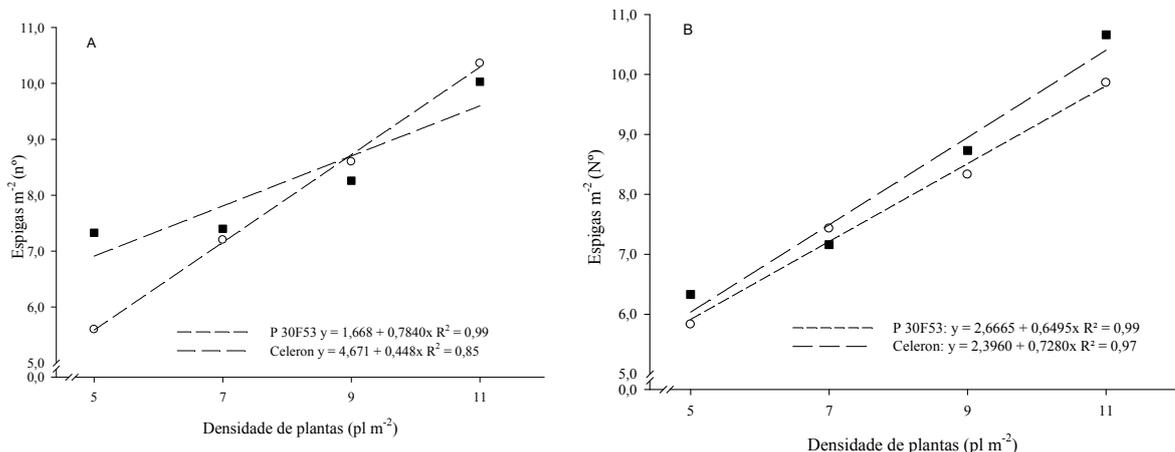


FIGURA 25. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: (A) 14/09/11 e B) 24/10/11), no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

4.6.2 Número de grãos por espiga

No primeiro ano agrícola, foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, o número de grãos por espiga não variou em função de densidade de plantas para os dois híbridos. Já na segunda época de semeadura, os dois híbridos reduziram este componente do rendimento de forma linear com o incremento da densidade de plantas, com maior magnitude no híbrido precoce P 30F53H (Figura 26). Para cada incremento na densidade de uma planta por metro

quadrado, houve redução de 28 e 13 grãos por espiga respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

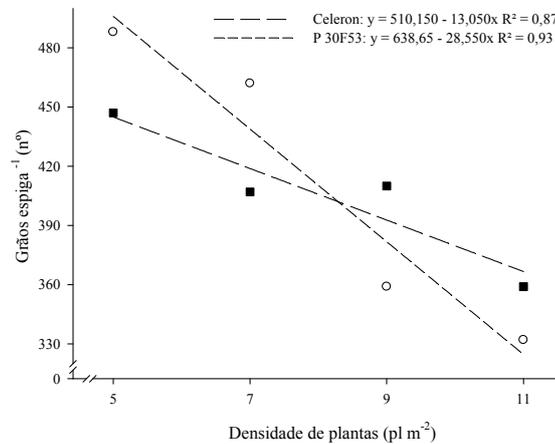


FIGURA 26. Número de grãos por espiga de milho em função de densidades de plantas e híbridos na segunda época de semeadura (06/10/10), no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

No segundo ano, foram significativas as interações de época de semeadura e densidade de plantas e época de semeadura e híbrido. Nas duas épocas de semeadura, o número de grãos por espiga reduziu-se de forma linear com o incremento na densidade de plantas, sendo esta redução mais acentuada na segunda época (Figura 27). Para cada incremento na densidade de uma planta por metro quadrado, houve redução de 19 e 30 grãos por espiga, respectivamente na primeira e segunda épocas de semeadura.

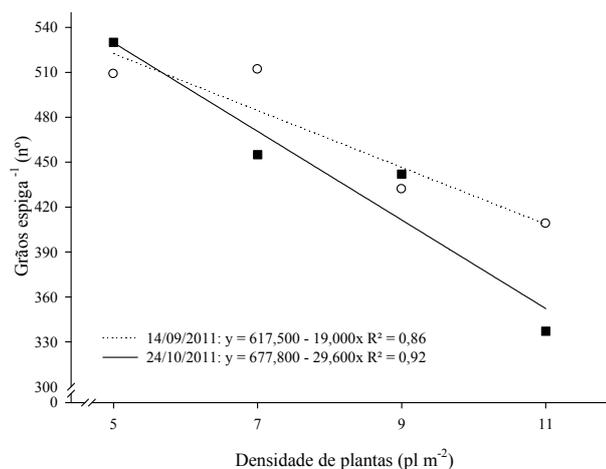


FIGURA 27. Número de grãos por espiga de milho em função de densidades de plantas e épocas de semeadura, na média de híbridos, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12

Na primeira época de semeadura, o número de grãos por espiga foi 12% superior no híbrido precoce (P 30F53H) em relação ao superprecoce (Celeron), enquanto na segunda época não houve diferença entre híbridos (Tabela 19). Para o híbrido precoce, este parâmetro foi 13% superior na primeira época em relação à segunda época, enquanto para o híbrido superprecoce não houve efeito de época de semeadura para este parâmetro.

TABELA 19. Número de grãos por espiga de milho em função de híbridos e épocas de semeadura, na média de densidades de plantas, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
Grãos espiga ⁻¹ (nº)		
P 30F53H	*A 491 a	A 429 b
Celeron	B 433 a	A 453 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

4.6.3 Peso do grão

No primeiro ano, foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, para os dois híbridos, o peso do grão reduziu-se linearmente com o incremento na densidade de plantas, com maior magnitude no híbrido precoce (P 30F53H) (Figura 28A). Para cada incremento na densidade de uma planta por metro quadrado, houve redução de 7,8 e 3,3 mg no peso do grão, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

Na segunda época de semeadura, os dois híbridos também reduziram este componente do rendimento de forma linear com o incremento da densidade de plantas, mas com intensidades similares (Figura 28B). Para cada incremento na densidade de uma planta por metro quadrado, houve redução de 4,0 e 5,6 mg no peso do grão, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

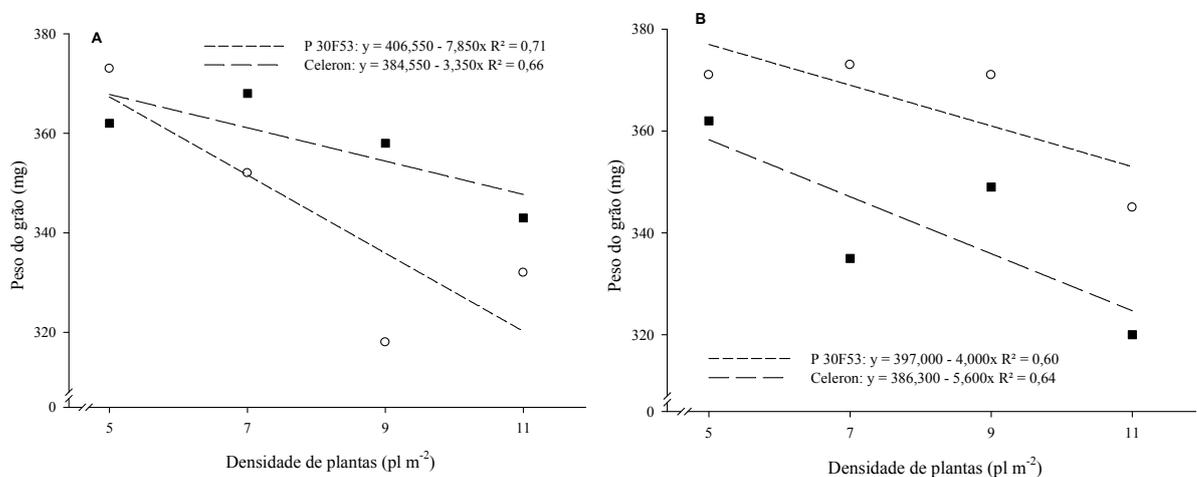


FIGURA 28. Peso do grão de milho em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: A) primeira época (18/08/10) e B) segunda época (06/10/10), no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.

No segundo ano, também foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas. Na primeira época de semeadura, nos dois híbridos, o peso do grão reduziu-se linearmente com o incremento na densidade de plantas, com maior

magnitude no híbrido precoce (P 30F53H) (Figura 29A). Para cada incremento na densidade de uma planta por metro quadrado, houve redução de 12,3 e 9,5 mg no peso do grão, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce. Já na segunda época de semeadura, a densidade de plantas influenciou o peso do grão apenas no híbrido precoce, que aumentou de forma linear esse parâmetro com o incremento na densidade de plantas (Figura 29B).

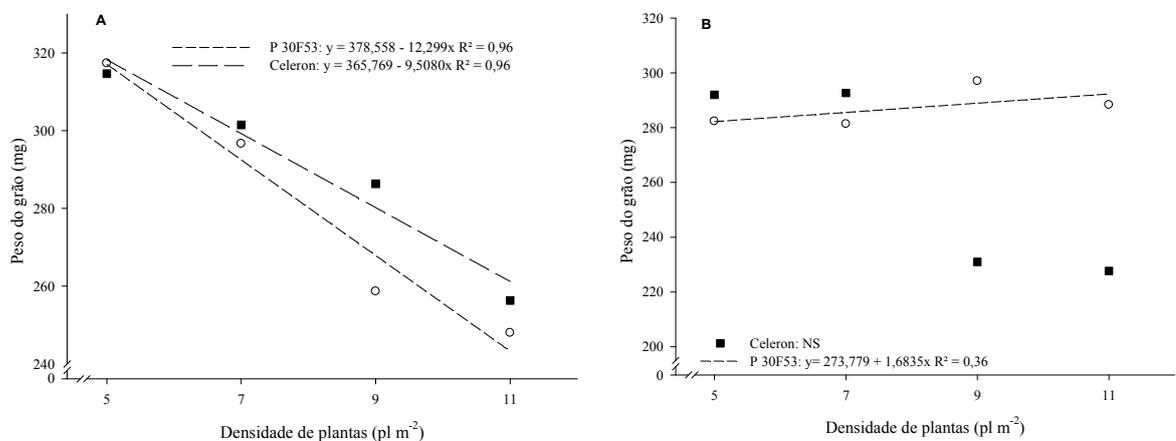


FIGURA 29. Peso do grão de milho em função de densidades de plantas, híbridos e épocas de semeadura: A) 14/09/11) e B) 24/10/11, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

4.6.4 Rendimento de grãos

No primeiro ano (2010/11), o rendimento de grãos não variou em função de nenhum dos fatores testados, obtendo-se, na média dos tratamentos, 11,8 t ha⁻¹ (Tabela 20).

TABELA 20. Rendimento de grãos de milho em função de efeitos simples de épocas de semeadura, híbridos e densidades de plantas, na média dos demais fatores, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Época de semeadura	
1º época – 18/08	11,6 ^{ns}
2º época – 06/10	12,0
Híbrido	
P 30F53H	12,1 ^{ns}
Celeron	11,7
Densidade de plantas – pl m⁻²	
5	11,3 ^{ns}
7	11,7
9	12,2
11	12,2

ns: não significativo ao nível de probabilidade de 5%.

Já no segundo ano (2011/12), foi significativo apenas o efeito simples de época de semeadura. Na média dos demais fatores, o rendimento de grãos foi 10% superior na primeira época de semeadura (10,4 t ha⁻¹) em relação à segunda época (9,4 t ha⁻¹).

TABELA 21. Rendimento de grãos de milho em função de efeitos simples de épocas de semeadura, híbridos e densidades de plantas, na média dos demais fatores, no experimento com irrigação apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Época de semeadura	
1º época – 14/09	10,4 A*
2º época – 24/10	9,4 B
Híbrido	
P 30F53H	10,0 ^{ns}
Celeron	9,8
Densidade de plantas – pl m⁻²	
5	9,7 ^{ns}
7	10,3
9	9,9
11	9,7

*Nas colunas, médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). ns = não significativo ao nível de probabilidade de 5%.

4.7 Práticas de manejo para otimizar o potencial produtivo de milho cultivado sob condições de irrigação.

4.7.1 Experimento sob condições de irrigação

4.7.1.1 Balanço hídrico

Ano agrícola 2010/11

Na primeira época de semeadura, ocorreram dois períodos de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho. Inicialmente houve deficiência hídrica no terceiro decêndio de outubro até o segundo decêndio de novembro, correspondendo aos estádios V_{11} a V_{15} , em que foram aplicados 140 mm de lâmina de água. Posteriormente, houve outro período de deficiência hídrica que se estendeu do primeiro decêndio de dezembro ao final do segundo decêndio de janeiro, correspondendo aos estádios R_2 a R_5 , em que foram aplicados mais 176 mm, totalizando assim 316 mm de água aplicada na cultura na primeira época (Figura 30 e Tabela 24).

O período de deficiência hídrica na segunda época de semeadura deste primeiro ano agrícola ocorreu entre os estádios V_e a V_7 e entre V_{13} a R_1 . Para suprir esta demanda hídrica foram irrigados 72mm entre o segundo decêndio de outubro ao primeiro decêndio de janeiro, que correspondeu ao primeiro período de deficiência hídrica e 208mm entre o primeiro decêndio de dezembro ao terceiro decêndio de janeiro, somando assim 280mm de água adicionadas durante todo ciclo de desenvolvimento da cultura. (Figura 31 e Tabela 25).

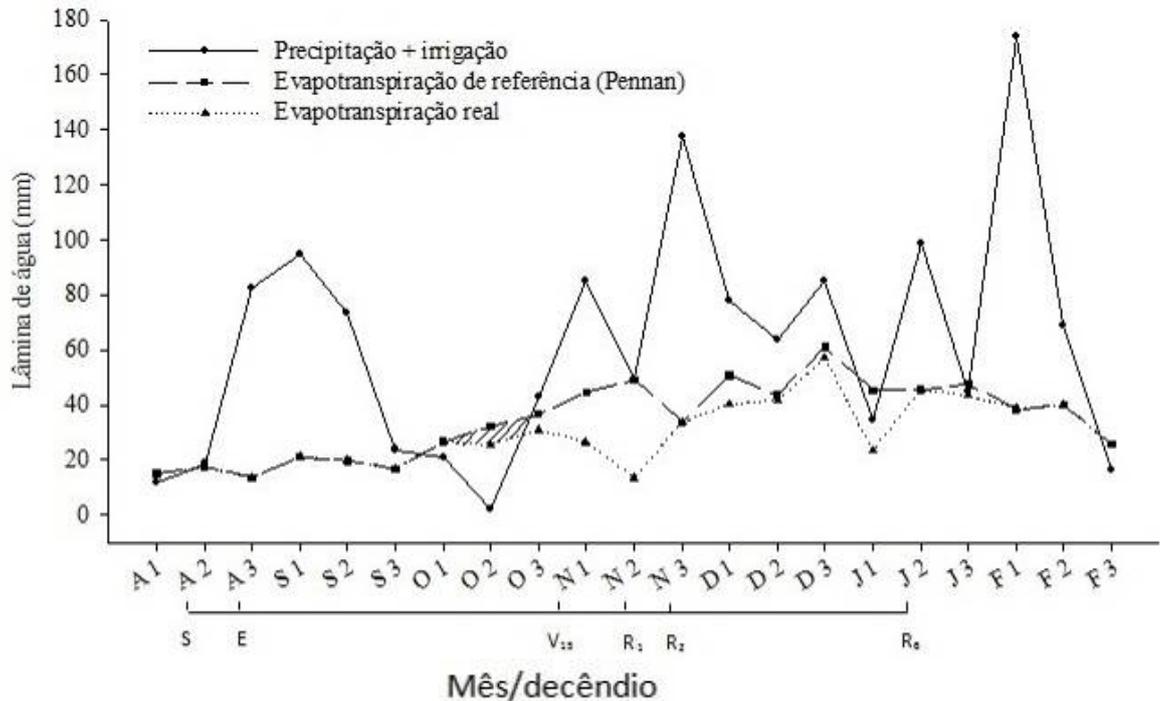


FIGURA 30. Balanço hídrico referente ao primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), correspondendo à primeira época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Ano agrícola 2011/12

No segundo ano agrícola houve forte influência do fenômeno La Niña, com precipitação pluvial muito abaixo do requerido pela cultura do milho. Neste ano, ocorreram dois períodos de deficiência hídrica, sendo que o segundo período afetou apenas a segunda época de semeadura.

Na primeira época de semeadura, o período de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho ocorreu entre o segundo decêndio de outubro e o terceiro decêndio de janeiro, correspondendo aos estádios V_5 a R_6 , em que foram aplicados 475 mm de água neste período, em que a precipitação pluvial foi de apenas 212mm durante o período de 100 dias de duração (Figura 32 e Tabela 26).

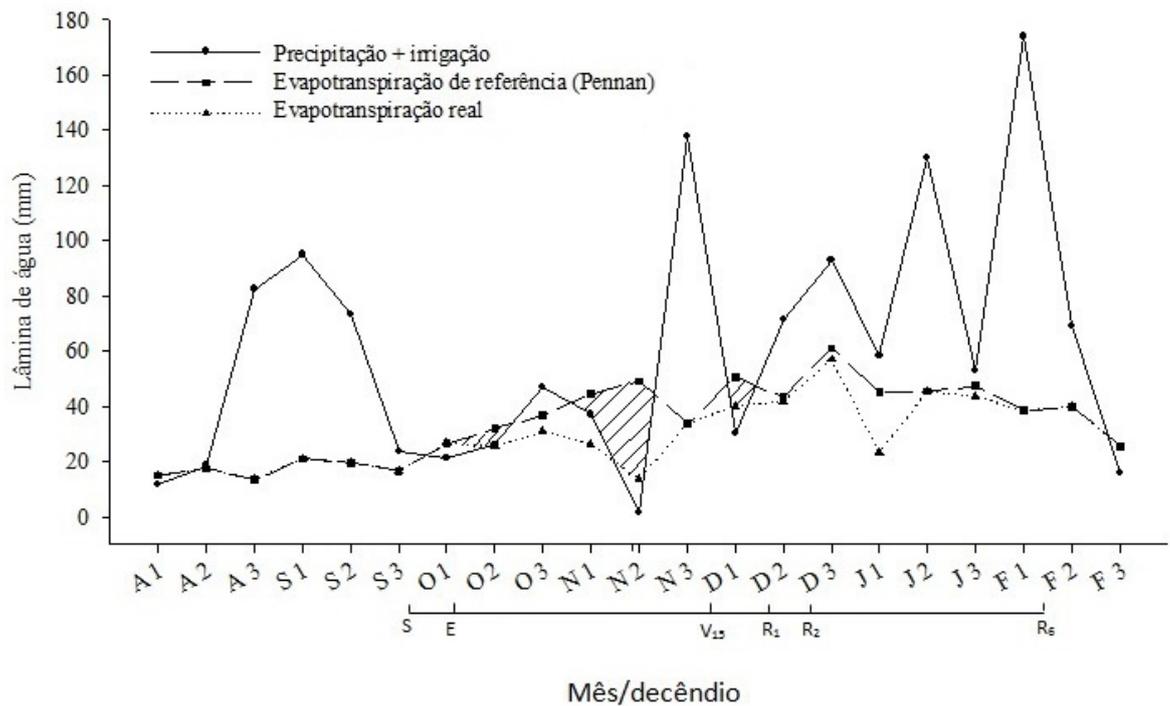


FIGURA 31. Balanço hídrico referente ao primeiro ano agrícola (período de agosto de 2010 a fevereiro de 2011), correspondendo à primeira época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Na segunda época houve dois períodos de deficiência hídrica, sendo o primeiro entre os estádios V_1 a R_3 , onde foram necessários 360 mm de água entre o início do mês de novembro ao final do mês de janeiro, e o segundo período compreendeu os estádios R_4 a R_6 , entre a metade do primeiro decêndio de fevereiro até o primeiro decêndio de março, onde foram aplicados mais 175mm de água, somando assim 535mm ao longo de todo período de desenvolvimento da cultura (Figura 33 e Tabela 27).

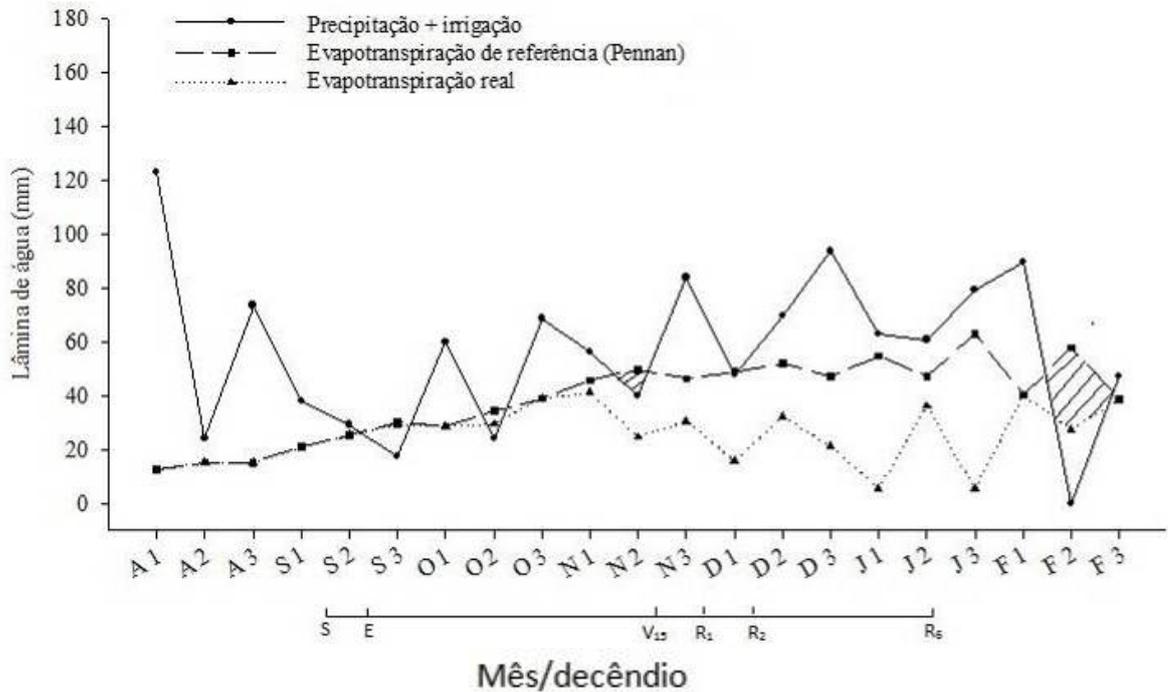


FIGURA 32. Balanço hídrico referente ao segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), correspondendo à primeira época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2011/12

4.8 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta

4.8.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento

Ano agrícola 2010/11

Nas duas épocas de semeadura, as durações dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento foram similares para os dois híbridos (Tabela 22). O híbrido superprecoce (Celeron) diferiu do híbrido precoce (P 30F53H) na duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica, que foi de quatro e cinco dias menor, respectivamente na primeira e segunda épocas de semeadura.

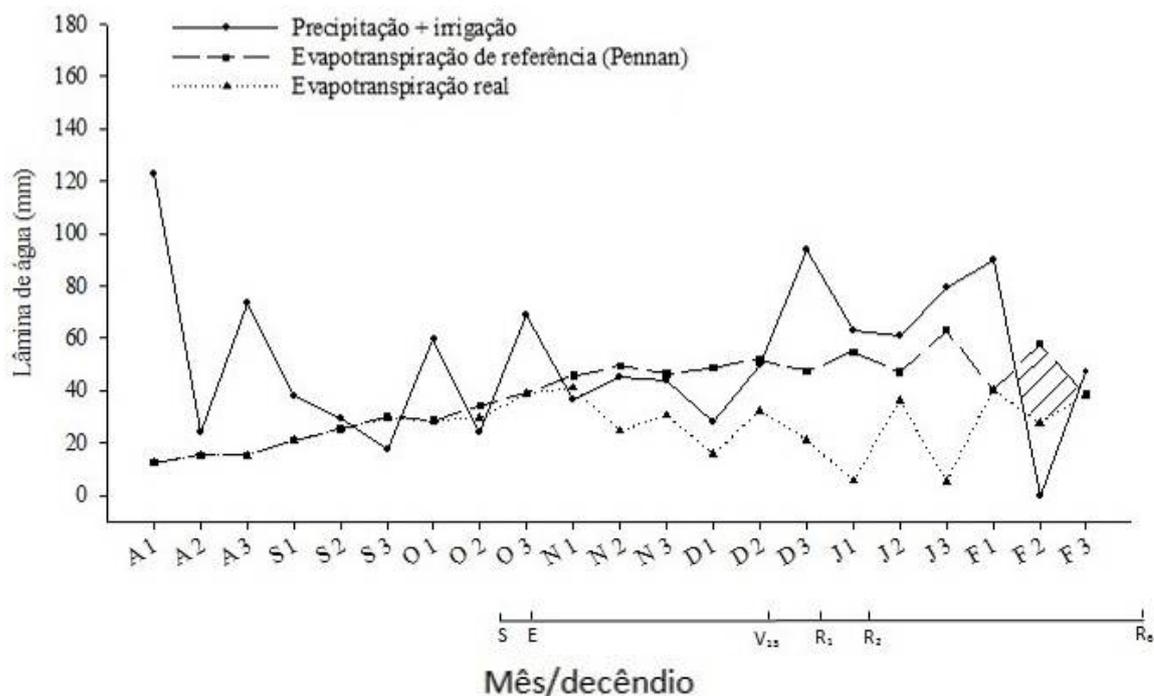


FIGURA 33. Balanço hídrico referente ao segundo ano agrícola (período de agosto de 2011 a fevereiro de 2012), correspondendo a segunda época de semeadura do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Para os dois híbridos, o atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro reduziu a duração dos subperíodos emergência-pendoamento, pendoamento-espigamento e do ciclo total. Já a duração do subperíodo espigamento-maturação fisiológica não variou entre épocas de semeadura.

TABELA 22. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emerg.-pend.	Pend.-esp.	Esp.-mat.fis.	Emerg.-mat. fis.
Primeira época de semeadura (18/08/10)				
P 30F53H	80	3	64	147
Celeron	81	3	60	143
Segunda época de semeadura (06/10/10)				
P 30F53H	68	2	64	135
Celeron	67	1	59	127

¹Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Esp. - mat.fis. = subperíodo espigamento - maturação fisiológica. Emerg.-mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

Ano agrícola 2011/12

Na primeira época de semeadura, as durações dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento foram similares entre os híbridos. Já as durações do subperíodo espigamento-maturação fisiológica e do ciclo total foram sete dias menor no híbrido superprecoce (Celeron) em relação ao híbrido precoce (P 30F53H) (Tabela 23). Já na segunda época, à exceção do subperíodo pendoamento-espigamento, as durações dos subperíodos emergência-pendoamento, pendoamento-espigamento e do ciclo total foram, respectivamente, quatro, 14 e 19 dias menores no híbrido superprecoce.

Para os dois híbridos, o atraso na época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro reduziu a duração dos subperíodos emergência-pendoamento, espigamento-maturação fisiológica e do ciclo total dos híbridos. A duração do subperíodo pendoamento-espigamento não variou entre épocas de semeadura.

TABELA 23. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de dois híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emerg.-pend. ¹	Pend.-esp.	Esp. - mat fis.	Emerg.-mat. fis.
Primeira época de semeadura (14/09/11)				
P 30F53H	68	3	58	130
Celeron	69	2	54	126
Segunda época de semeadura (24/10/11)				
P 30F53H	62	3	55	121
Celeron	59	2	51	112

¹Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Esp. - mat.fis. = subperíodo espigamento - maturação fisiológica. Emerg. - mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

4.8.2 Índice de área foliar (IAF) no estágio R₁

No primeiro ano agrícola foi significativo o efeito simples de densidade de plantas e época de semeadura. O IAF aumentou linearmente com o incremento da densidade de

plantas (Figura 34). Para cada incremento na densidade de uma planta por metro quadrado houve acréscimo de 0,61 no IAF.

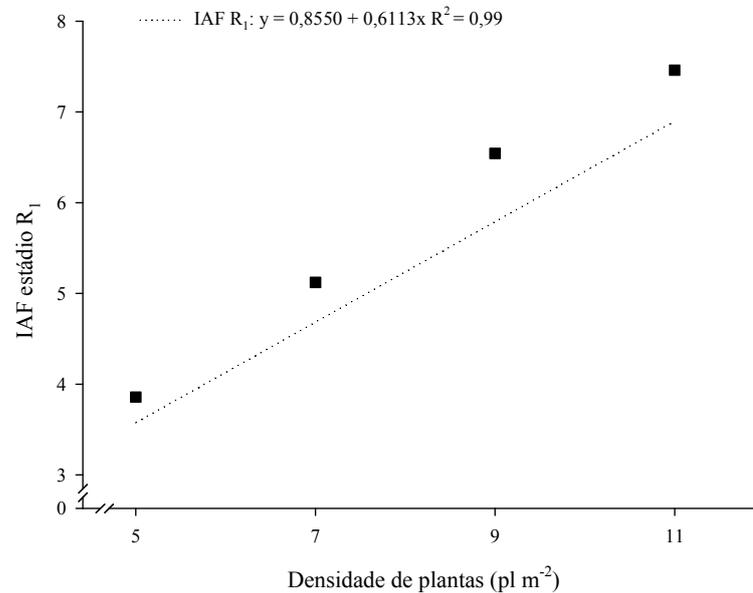


FIGURA 34. Índice de área foliar (IAF) no estágio R₁ em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos de milho e duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11. ¹ Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

O atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro aumentou em 8% o IAF, de 5,5 para 6,0, no estágio R₁.

No segundo ano agrícola, foi significativa a interação de época de semeadura e densidade de plantas. O IAF aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas quando a semeadura foi realizada na primeira época. Já na segunda época de semeadura, o IAF não variou em função de densidade de plantas (Figura 35).

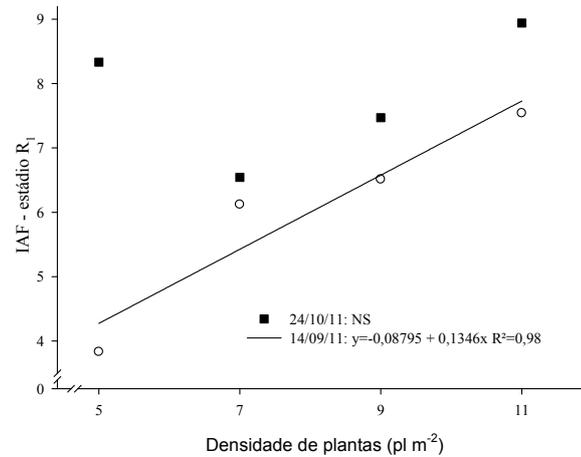


FIGURA 35. Índice de área foliar (IAF) no estágio R₁¹ em duas épocas de semeadura, em função da densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.¹ Segundo escala de Ritchie *et al.*, (1993).

Também foi significativo o efeito simples de híbrido, em que o IAF do híbrido precoce (6,5) foi 10% menor em relação ao do superprecoce (7,3).

4.8.3 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento

No primeiro ano agrícola, foram significativas as interações de híbrido e densidade de plantas, época de semeadura e densidade de plantas e época de semeadura e híbrido.

O rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas para o híbrido precoce (Figura 36). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 0,78 tonelada de massa seca da parte aérea. Já para o híbrido superprecoce, esta característica não variou em função de densidade de plantas.

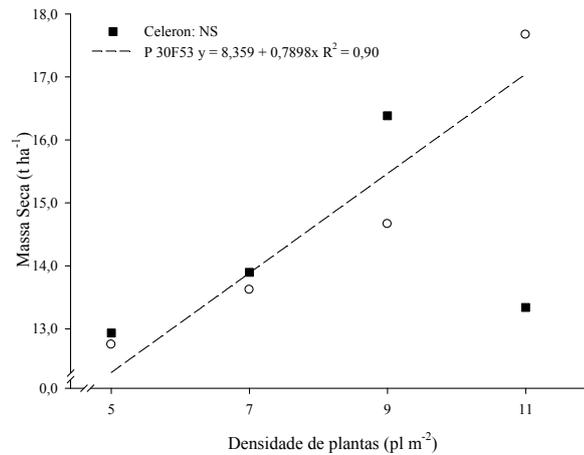


FIGURA 36. Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Na primeira época, o rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 37). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 0,96 tonelada de massa seca da parte aérea. Já na segunda época de semeadura, o rendimento de massa seca na parte aérea não variou em função da densidade de plantas.

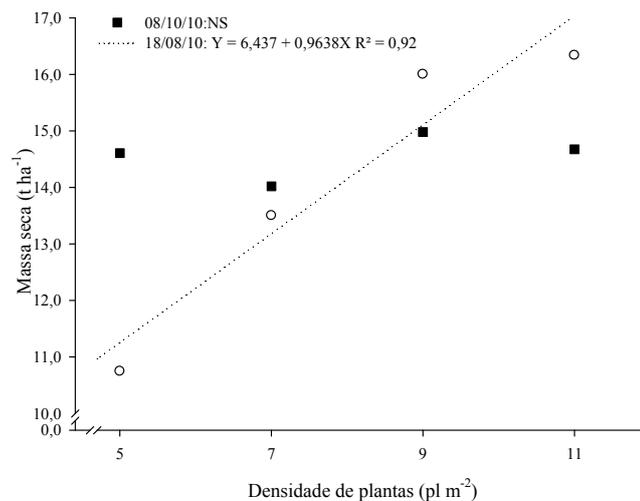


FIGURA 37. Rendimento de massa seca da parte aérea do milho no espigamento, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Na primeira época de semeadura, o híbrido precoce (P 30F53H) apresentou maior rendimento de massa seca da parte aérea (26%) em relação ao superprecoce (Celeron), enquanto na segunda época ocorreu o inverso, ou seja, o rendimento de massa seca da parte aérea do híbrido precoce foi 16% menor em relação ao híbrido superprecoce (Tabela 24). Para o híbrido precoce, o rendimento de massa seca da parte aérea foi 18% maior na primeira época de semeadura em relação à segunda época. Já para o híbrido superprecoce, o rendimento de massa seca na parte aérea foi 23% menor na primeira época em relação à segunda época.

TABELA 24. Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidade de plantas, no experimento irrigado sempre que necessário. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
Massa seca (t ha ⁻¹)		
P 30F53H	A 16,31 a	B 13,33 b
Celeron	B 12,12 b	A 15,80 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e época de semeadura. O rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 38). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 0,66 toneladas de massa seca da parte aérea.

O atraso da época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro aumentou o rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento em 23%, obtendo-se, respectivamente, valores de 13,5 e 17,5 t ha⁻¹.

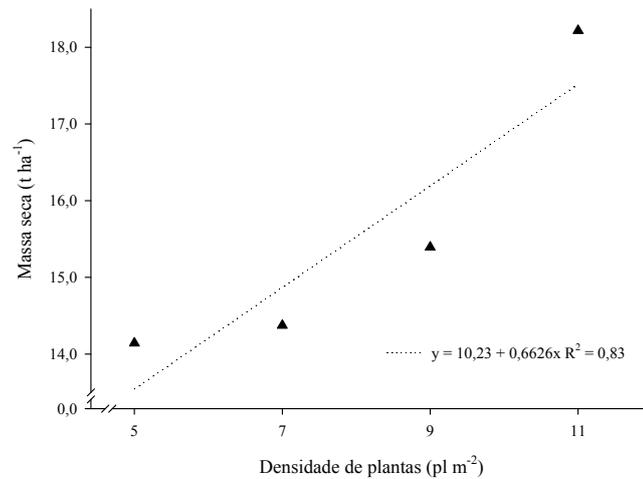


FIGURA 38. Rendimento de massa seca da parte aérea de milho no espigamento em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

4.8.4 Estatura de planta

No primeiro ano agrícola, foram significativos os efeitos simples de densidade de planta, híbrido e época de semeadura. A estatura de planta aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 39). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 1,96 cm na altura de planta.

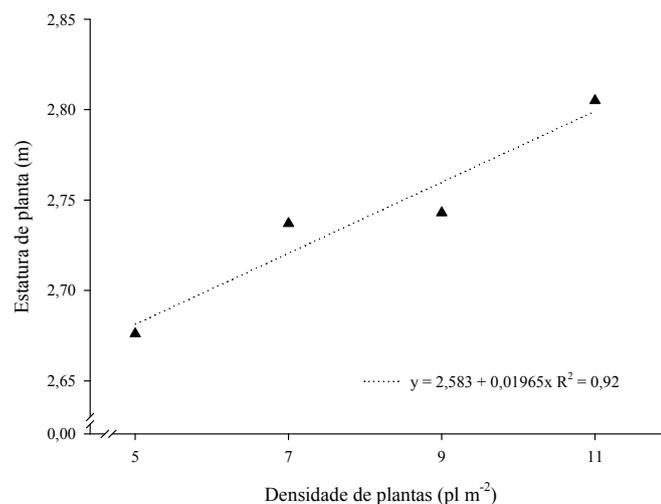


FIGURA 39. Estatura de planta de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Com o atraso da época de semeadura de 18 de agosto para 06 de outubro houve aumento de 13% na estatura de planta, sendo os valores de 2,54 e 2,93 m, respectivamente. A estatura de planta foi 3% menor para o híbrido precoce (2,70m) em relação ao híbrido superprecoce (2,77m).

No segundo ano agrícola, foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e híbrido. A estatura de planta aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 40). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 1,72cm na estatura de planta.

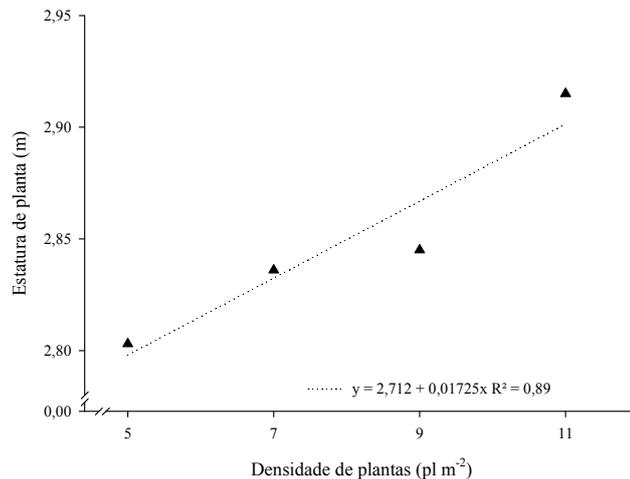


FIGURA 40. Estatura de planta de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

A estatura de plantas foi 2% menor para o híbrido precoce (2,81m) em relação ao híbrido superprecoce (2,88m).

4.8.5 Altura de inserção de espiga

Essa variável foi avaliada apenas no primeiro ano agrícola (2010/11), sendo significativos os efeitos simples de densidade de plantas, híbrido e época de semeadura. A altura de inserção de espiga aumentou linearmente com o incremento da densidade de

plantas (Figura 41). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 1,62cm na altura de inserção de espiga.

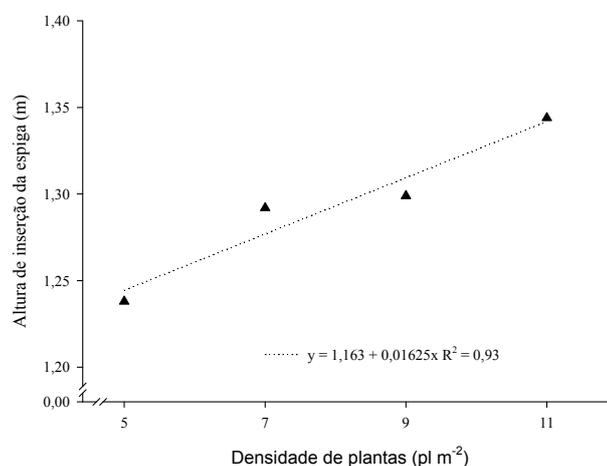


FIGURA 41. Altura de inserção de espiga de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11.

Na primeira época de semeadura (18 de agosto) a altura de inserção de espiga foi 21% inferior à segunda época (06 de outubro), sendo os valores de 1,14 e 1,45m, respectivamente. A altura de inserção de espiga do híbrido precoce (P 30F53H) foi 4% superior à do híbrido superprecoce (Celeron), sendo os valores de 1,32 e 1,27m, respectivamente.

4.8.6 Diâmetro do colmo

TABELA 25. Diâmetro de colmo de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidade de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
Diâmetro de colmo (cm)		
P 30F53H	B 2,28 a	B 2,29 a
Celeron	A 2,37 b	A 2,62 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O diâmetro de colmo diminuiu de forma linear com o incremento da densidade de plantas (Figura 42). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve decréscimo de 0,4 mm no diâmetro de colmo.

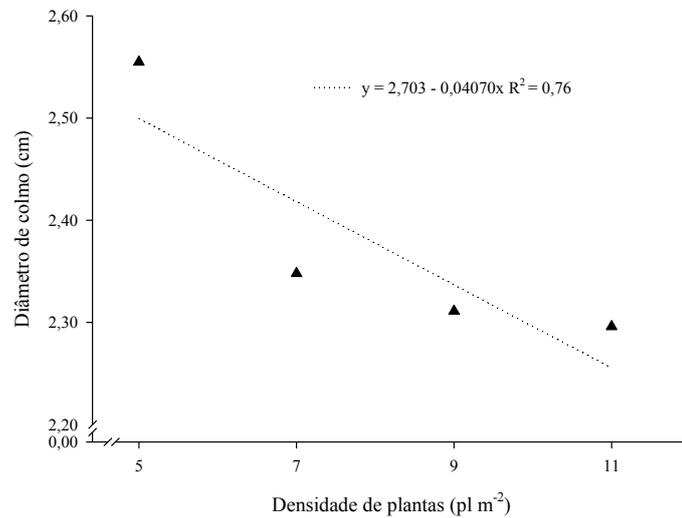


FIGURA 42. Diâmetro de colmo de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

4.9 Componentes do rendimento e rendimento de grãos

4.9.1 Número de espigas por metro quadrado

No primeiro ano, apenas o efeito simples de densidade de plantas foi significativo. O número de espigas por metro quadrado aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 43). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade, houve aumento de 0,48 espiga por metro quadrado.

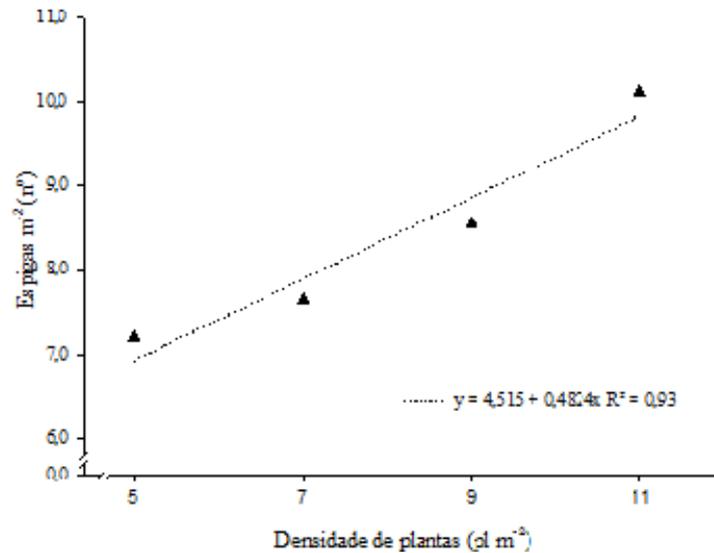


FIGURA 43. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul – RS, 2010/11.

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de densidade de planta e época de semeadura. O número de espigas por metro quadrado aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 44). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade, houve aumento de 0,65 espiga por metro quadrado.

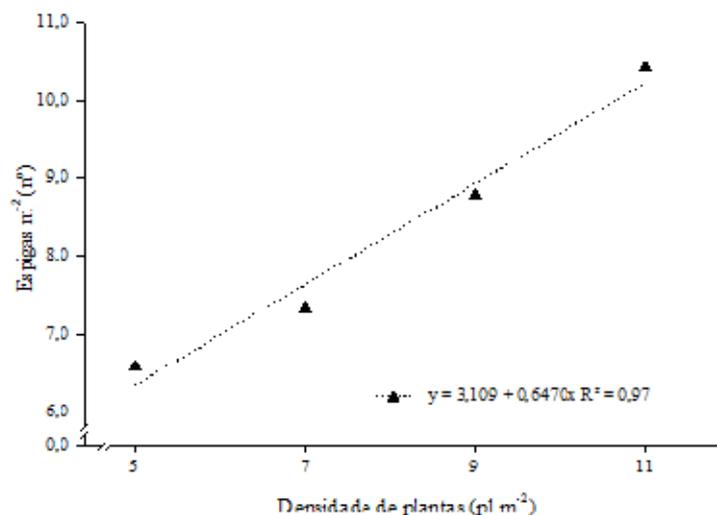


FIGURA 44. Número de espigas de milho por metro quadrado em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Com o atraso da época de semeadura de 14 de setembro para 24 de outubro houve redução de 6% no número de espigas por metro quadrado, sendo os valores de 8,5 e 8,0 respectivamente.

4.9.2 Número de grãos por espiga

No primeiro ano, foi significativa a interação tripla de época de semeadura, híbrido e densidade de plantas.

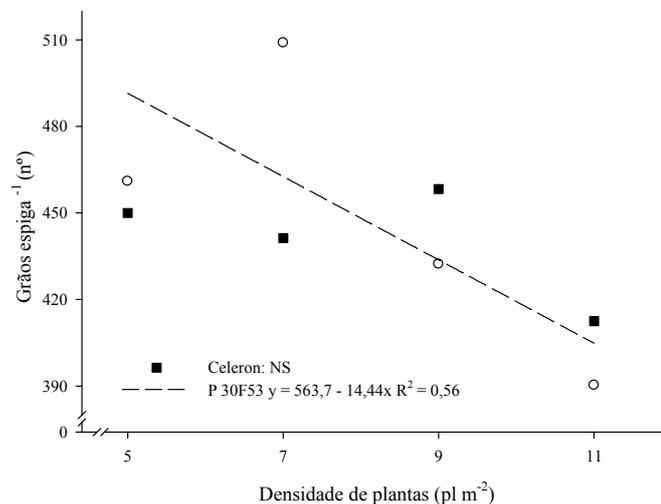


FIGURA 45. Número de grãos por espiga de dois híbridos de milho na segunda época de semeadura (06/10/10), em função de densidade de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Na primeira época de semeadura, o número de grãos por espiga não variou em função de densidade de plantas. Na média de densidades, o número de grãos por espiga foi de 459 e 419, respectivamente para os híbridos precoce (P 30F53H) e superprecoce (Celeron). Na segunda época, o número de grãos por espiga não variou em função de densidade de plantas para o híbrido superprecoce. Já para o híbrido precoce, este parâmetro diminuiu linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 45).

No segundo ano, foram significativas as interações de época de semeadura e densidade de plantas e de época de semeadura e híbrido. Na primeira época de semeadura,

o número de grãos por espiga não variou em função de densidade de plantas (Figura 46). Já na segunda época, o número de grãos por espiga reduziu-se linearmente com o incremento da densidade de plantas. Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade, houve redução de 18 grãos por espiga.

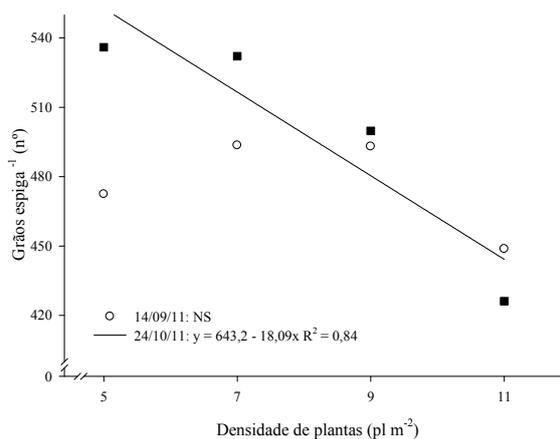


FIGURA 46. Número de grãos por espiga de milho, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12

Na primeira época, o híbrido precoce apresentou maior número de grãos por espiga (16%) em relação ao superprecoce, enquanto na segunda época não houve diferença entre híbridos (Tabela 26). No híbrido precoce, este parâmetro não variou em função de época de semeadura, enquanto no superprecoce o número de grãos por espiga foi 13% menor na primeira época em relação à segunda época.

TABELA 26. Rendimento de grãos em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
	-----nº-----	
P 30F53H	A 519 a	A 497 a
Celeron	B 435 b	A 500 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

4.9.3 Peso do grão

No primeiro ano, foram significativos a interação de época de semeadura e híbrido e o efeito simples de densidade de planta. O peso do grão diminuiu de forma linear com o incremento da densidade de plantas (Figura 47). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade, houve decréscimo de 4,9 mg no peso do grão.

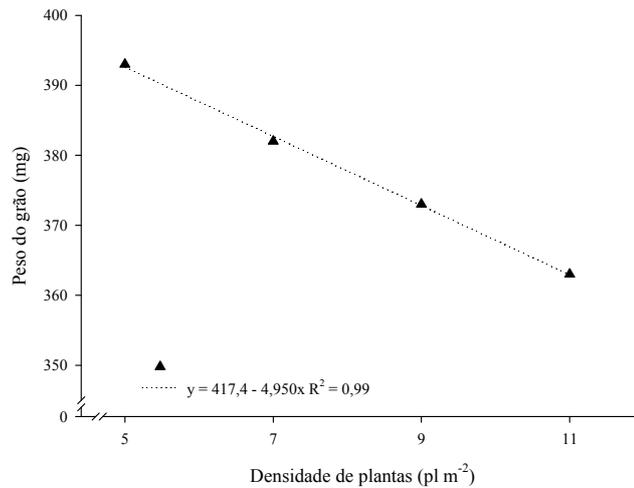


FIGURA 47. Peso do grão do milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Na primeira época de semeadura, não houve diferença entre híbridos no peso do grão, enquanto na segunda época o peso do grão foi 4% inferior no híbrido precoce em relação ao superprecoce (Tabela 27). Nos dois híbridos, o peso do grão foi superior na primeira época em relação à segunda, sendo a diferença de 7% e 3%, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

TABELA 27. Peso do grão de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
P 30F53H	A 388 a	B 361 b
Celeron	A 387 a	A 375 b

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No segundo ano, foram significativas as interações de híbrido e densidade de planta e de época de semeadura e híbrido. Nos dois híbridos, o peso do grão reduziu-se linearmente com o incremento da densidade de plantas, sendo este incremento mais acentuado no híbrido precoce (P 30F53H) (Figura 48). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado, o peso do grão diminuiu 7,2 e 3,4 mg, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

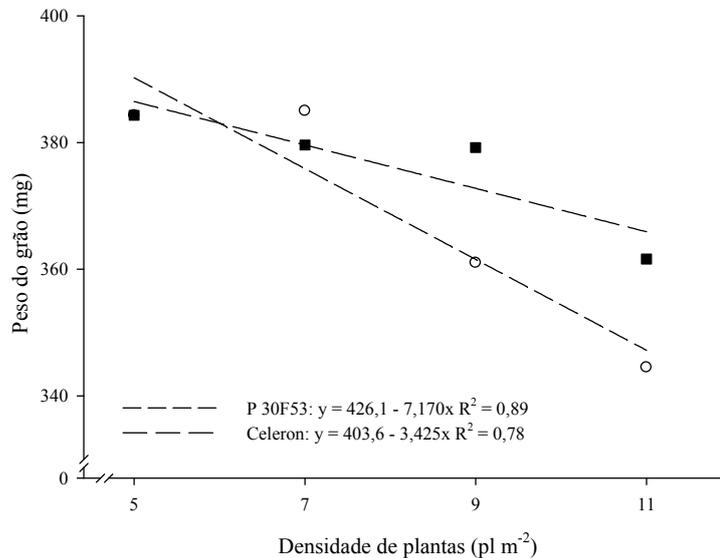


FIGURA 48. Peso do grão de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Na primeira época de semeadura, o híbrido precoce apresentou menor peso do grão (6%) em relação ao superprecoce, enquanto na segunda época ocorreu o inverso, ou seja, o peso do grão do híbrido precoce foi 3% superior ao do superprecoce (Tabela 28). Apenas no híbrido superprecoce o peso do grão foi maior (6%) na primeira época de semeadura em relação à segunda época.

TABELA 28. Peso do grão de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
Peso do grão (mg)		
P 30F53H	B 364 a	A 373 a
Celeron	A 388 a	B 364 b

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

4.9.4 Rendimento de grãos

No primeiro ano, foram significativas as interações de híbrido e densidade de plantas, época de semeadura e densidade de plantas e de época de semeadura e híbrido.

Nos dois híbridos, o rendimento de grãos aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas, sendo este incremento mais acentuado no híbrido superprecoce (Celeron) (Figura 49). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado, o rendimento de grãos aumentou em 344 e 588 kg ha⁻¹, respectivamente para os híbridos precoce e superprecoce.

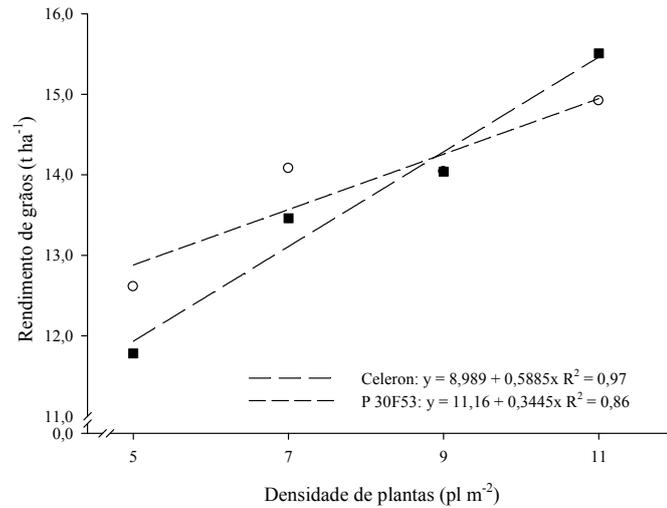


FIGURA 49. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Na primeira época de semeadura o rendimento de grãos aumentou de forma linear com o incremento da densidade de plantas, em que para cada incremento de uma planta por metro quadrado na densidade houve aumento de 332 kg ha^{-1} no rendimento de grãos (Figura 50). Já na segunda época aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas. A densidade que propiciou o maior rendimento de grãos na segunda época foi a de $10,0 \text{ pl m}^{-2}$.

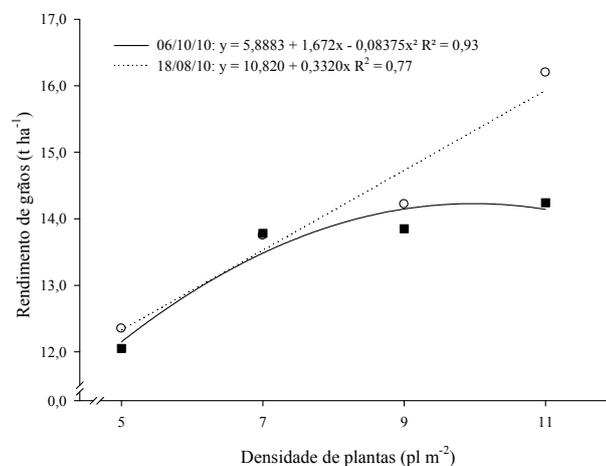


FIGURA 50. Rendimento de grãos de milho, em duas épocas de semeadura, em função de densidade de plantas, na média de dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11.

Na primeira época de semeadura, o rendimento de grãos do híbrido precoce foi 9% maior em relação ao superprecoce, enquanto na segunda época ocorreu o inverso, ou seja, esse parâmetro foi 6% inferior no híbrido precoce em relação ao superprecoce (Tabela 29). Apenas no híbrido precoce o rendimento de grãos foi maior (12%) na primeira época em relação à segunda época de semeadura.

TABELA 29. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Híbrido	Época de semeadura	
	18/08/10	06/10/10
	----- t ha ⁻¹ -----	
P 30F53H	A 14,8 a	B 13,1 b
Celeron	B 13,5 a	A 13,9 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No segundo ano, foram significativos a interação de época de semeadura e híbrido e o efeito simples de densidade de plantas. Na primeira época, o híbrido precoce (P 30F53H) apresentou maior (7%) rendimento de grãos em relação ao superprecoce (Celeron), enquanto na segunda época não houve diferença entre híbridos (Tabela 30). De forma similar ao que ocorreu no primeiro ano, no híbrido superprecoce este parâmetro não variou em função de época de semeadura, enquanto no precoce, o rendimento de grãos foi 9% maior na primeira época de semeadura em relação à segunda época.

TABELA 30. Rendimento de grãos de dois híbridos de milho, em duas épocas de semeadura, na média de quatro densidades de plantas, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2011/12.

Híbrido	Época de semeadura	
	14/09/11	24/10/11
	----- t ha ⁻¹ -----	
P 30F53H	A 15,7 a	A 14,3 b
Celeron	B 14,5 a	A 14,7 a

*Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O rendimento de grãos aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas, em que os rendimentos obtidos com 9,0 e 11,0 pl m⁻² foram, respectivamente, 16,13 e 16,04 t ha⁻¹ (Figura 51).

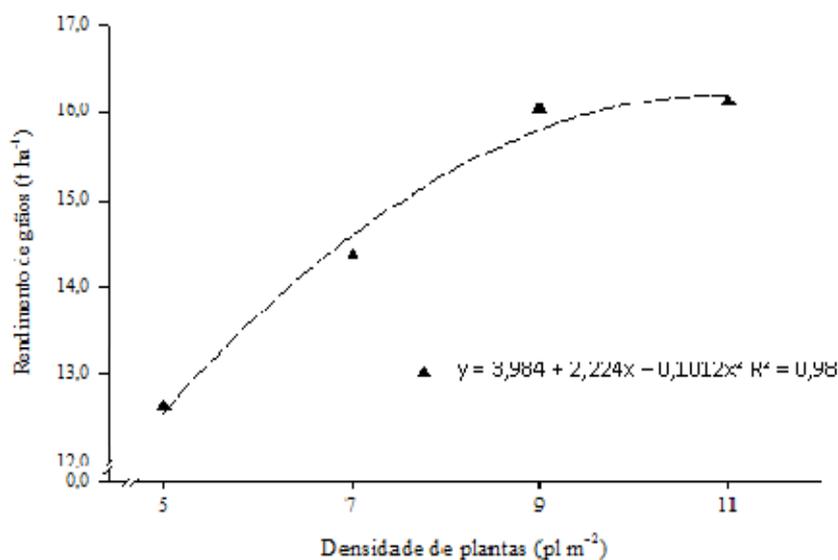


FIGURA 51. Rendimento de grãos de milho em função de densidade de plantas, na média de duas épocas de semeadura e dois híbridos, no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12.

5 DISCUSSÃO

Três experimentos foram conduzidos em dois anos agrícolas (2010/11 e 2011/12), sendo dois com o objetivo de mitigar efeitos de estresse por deficiência hídrica e um visando potencializar o rendimento de grãos de milho sob condições de irrigação durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta. Em cada um dos experimentos, as estratégias de manejo testadas foram época de semeadura, densidade de plantas e híbridos de milho com ciclos contrastantes.

5.1 Práticas de manejo para mitigar efeitos de estresse por deficiência hídrica

5.1.1 Experimento sem irrigação

De acordo com a primeira hipótese deste trabalho, para minimizar riscos de ocorrência de estresse por deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho cultivado sem irrigação em uma região mais quente do Estado do RS, como a Depressão Central, a antecipação da época de semeadura para até o final de inverno, a utilização de híbridos de ciclo superprecoce e o uso de menor densidade de plantas seriam estratégias eficientes para obter maior estabilidade na produtividade de grãos e, assim, garantir rentabilidade com a cultura.

No primeiro ano (2010/11), as médias de rendimento de grãos obtidas no experimento sem irrigação foram de 7,2 e 5,5 t ha⁻¹, respectivamente na primeira e segunda

épocas de semeadura, na média dos dois híbridos (Tabela 14). Na primeira época de semeadura (18 de agosto de 2010), a deficiência hídrica ocorreu durante parte do período de enchimento de grãos (estádios R_2 a R_4) atingindo, portanto, o final do período mais crítico da cultura (Figura 3). Já na segunda época (06 de outubro de 2010), o período de deficiência hídrica foi mais longo, estendendo-se desde o estágio de formação do número potencial de grãos por espiga (V_{13}) até o final do período mais crítico da cultura (estádio R_2), com duração aproximada de 50 dias (Figura 3). Essa maior duração do período de deficiência hídrica ocorrida na segunda época foi a principal causa determinante da obtenção de menores rendimentos de grãos para os dois híbridos nessa época de semeadura em relação à época de agosto (Tabela 14). O maior rendimento de grãos obtido pelos dois híbridos na primeira época deveu-se, principalmente, ao maior número de espigas por metro quadrado (Tabela 10), uma vez que os outros dois componentes, número de grãos por espiga e peso do grão, não foram influenciados pela época de semeadura (Apêndice 1).

Além da menor magnitude de deficiência hídrica observada no milho cultivado na época de semeadura de agosto, houve menor desenvolvimento de planta nessa época, evidenciado por menores valores de IAF, avaliados em três estádios (Figura 5) e estatura de planta (Tabela 9). Esse menor desenvolvimento de plantas pode ter se refletido em menor competição intraespecífica, especialmente por água, na primeira época.

Nas semeaduras consideradas precoces, que são realizadas até o final de inverno no sul do Brasil, a menor radiação incidente e a temperatura mais baixa do ar diminuem o desenvolvimento da planta, resultando em menor área foliar por planta, IAF e estatura de planta (Sangoi *et al.*, 2010). Isto se confirma pelos dados do primeiro ano agrícola, em que o IAF no estágio R_1 e a estatura de planta dos dois híbridos foram menores na primeira época de semeadura em relação à segunda (Tabelas 8 e 9). Como a fotossíntese depende do tamanho da área foliar, o rendimento de grãos da cultura será maior quanto mais rápido a

planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (Manfron *et al.*, 2003). Era de se esperar que o rendimento de massa seca da parte aérea fosse maior na segunda época de semeadura, o que aumenta a competição intraespecífica, porém não foram significativos os efeitos simples e interações para esta característica (Apêndices 1 e 2).

Na primeira época do primeiro ano desse experimento, a resposta à densidade de plantas variou em função de híbrido. Enquanto o híbrido precoce diminuiu o rendimento de grãos com o incremento da densidade de plantas, o híbrido superprecoce não respondeu à variação de densidade (Figura 10). Esse decréscimo de rendimento observado no híbrido precoce com o incremento da densidade deveu-se à redução do componente número de grãos por espiga (Figura 8A), já que no híbrido superprecoce esse componente não foi influenciado pela densidade de plantas. O decréscimo no número de grãos por espiga reflete o aumento da competição intraespecífica, uma vez que altas densidades de plantas reduzem os suprimentos de nitrogênio (Lemcoff & Loomis, 1994), fotoassimilados (Jacobs & Pearson, 1992) e água (Westgate, 1994) às espigas.

A duração dos subperíodos de desenvolvimento do milho, especialmente no período vegetativo (emergência-pendoamento) diminuiu à medida que a semeadura foi atrasada da primeira época de semeadura para a segunda época para os dois híbridos, nos dois anos agrícolas (Tabelas 6 e 7). Isso ocorreu em razão do aumento das temperaturas do solo e do ar à medida que se atrasou a semeadura.

Em grande parte do Estado do Rio Grande do Sul, a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica em dezembro e janeiro é de 60% (Matzenauer *et al.*, 2002), o que coincide com o período mais crítico da cultura do milho (estádios V₁₅ a R₂) quando a semeadura é realizada no mês de outubro. No entanto, com a antecipação da época de semeadura para agosto, são exigidas maiores densidades de plantas para aumentar o IAF e,

consequentemente, a interceptação da radiação solar incidente, o que compensa o menor desenvolvimento vegetativo das plantas nessa época antecipada em relação à de outubro (Piana *et al.*, 2008). Com efeito, a recomendação de se utilizar maior densidade de plantas na semeadura de até o final de inverno, nas regiões mais quentes do Estado do RS, é contemplada nas Indicações Técnicas da Cultura do Milho (2012).

No segundo ano (2011/12), os rendimentos de grãos obtidos no experimento sem irrigação foram menores em relação aos do primeiro ano, sendo de 1,3 e 1,7 t ha⁻¹, respectivamente na primeira e segunda época de semeadura. Esse ano foi caracterizado pela forte influência do fenômeno La Niña, com precipitação pluvial abaixo da requerida durante o ciclo de desenvolvimento do milho. Nesse ano, nas duas épocas de semeadura, ocorreu um longo período de deficiência hídrica, abrangendo os estádios V₁₃ a R₅, na primeira época (Figura 4), e os estádios V₁ a R₅ na segunda época.

Além disso, verificou-se, no segundo ano, redução de 52% no número de espigas por metro quadrado em relação ao primeiro ano, na média dos fatores testados (Tabelas 10 e 11), ou seja, no momento da colheita mais da metade das plantas não apresentava espigas. Estresse por deficiência hídrica no florescimento atrasa o desenvolvimento das espigas e resulta em assincronia entre os florescimentos masculino e feminino, produzindo plantas estéreis e/ou espigas com baixo número de grãos devido à baixa fertilização, com obtenção de baixa produtividade de grãos (Sangoi *et al.*, 2007).

Assim, no segundo ano agrícola, em função do maior período de deficiência hídrica, não se evidenciou vantajosa a antecipação da época de semeadura para até o final do inverno como mecanismo de escape de estresse por deficiência hídrica. No entanto, há que se considerar que as condições de disponibilidade hídrica ocorridas nesse ano não são representativas da normal climática da região da Depressão Central do RS, referente ao período de 1970 a 2000.

Nos dois anos agrícola deste experimento, os maiores rendimentos foram obtidos com o híbrido de ciclo precoce (Tabela 14 e apêndices 1 e 2), não evidenciando vantagens da utilização de híbrido com menor ciclo como mecanismo para diminuir riscos de ocorrência de deficiência hídrica durante o período mais crítico da cultura. O que se percebe, assim como nos demais experimentos, é que, embora exista uma classificação de materiais segundo a duração do ciclo (superprecoce, precoce e tardio) de acordo com o número de unidades de calor (UC) que cada genótipo requer para florescer, na prática muitas vezes esta diferença de ciclo não se expressou ou apresentou uma diferença muito sutil entre os materiais.

Diante dos aspectos expostos, foi possível confirmar, parcialmente, a hipótese de que a antecipação da época de semeadura para até final de inverno constitui-se em uma estratégia eficiente para minimizar os efeitos de estresse por deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho, em relação à época de outubro. Isso se deve ao fato de que a vantagem da antecipação da época de semeadura ocorreu apenas em um dos dois anos agrícolas. De outra parte, os resultados obtidos não confirmam a hipótese de que a utilização de híbridos de ciclo superprecoce é uma estratégia eficiente para minimizar os efeitos de deficiência hídrica, pois, nos dois anos agrícolas, os maiores rendimentos de grãos de milho foram obtidos com o híbrido de ciclo precoce.

5.1.2 Experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura

O uso da irrigação apenas durante o período mais crítico da cultura do milho pode constituir-se em uma prática importante para produtores que não dispõem de manancial hídrico com capacidade de armazenamento de água suficiente para realizar as irrigações durante todo seu ciclo de desenvolvimento. Assim, a segunda hipótese desse trabalho é de

que, sob condição de limitada disponibilidade de água para irrigação, a realização de irrigações complementares apenas durante o período mais crítico da cultura é uma estratégia eficiente para assegurar maior estabilidade na produtividade de grãos de milho e, com isso, evitar maiores prejuízos econômicos sob condições severas de estiagens e garantir rentabilidade com essa atividade agrícola.

Considera-se como período mais crítico o que compreende os estádios V₁₅ e R₂ do ciclo de desenvolvimento do milho, de acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993) (Sangoi *et al.*, 2010). Segundo estes autores, o período de aproximadamente duas semanas antes a duas semanas após o florescimento, que compreende o subperíodo pendoamento-espigamento, é o mais crítico, porque cerca de 95% do peso fresco dos estilo-estigmas é constituído por água. A alongação dessas estruturas depende do turgor celular, que é um dos primeiros processos limitados pela deficiência hídrica. Em condições de falta de umidade e alta temperatura do ar há aumento na defasagem entre os florescimentos masculino e feminino, uma vez que os grãos de pólen liberados não encontram os estilo-estigmas receptivos. Além disso, os grãos de pólen que alcançam os estilo-estigmas, muitas vezes não germinam devido ao ressecamento dos estigmas, que ocorre principalmente sob condições de baixa umidade relativa do ar e temperatura elevada (Sangoi *et al.*, 2010).

No primeiro ano agrícola, foram aplicados 132 e 144 mm de água durante o período mais crítico do milho, respectivamente na primeira (Tabela 2) e segunda (Tabela 3) épocas de semeadura. Nesse ano, o rendimento de grãos não variou em função de nenhum dos fatores testados (época de semeadura, híbrido e densidade de plantas) (Apêndice 3). A realização de irrigações apenas durante o período mais crítico garantiu a obtenção de altos rendimentos de grãos, de 11,6 e 12,1 t ha⁻¹, respectivamente na primeira e segunda épocas

de semeadura, resultando em aumentos de, respectivamente, 61 e 115% em relação ao rendimento de grãos médio obtido no experimento sem irrigação.

A realização da irrigação complementar apenas durante o período mais crítico garante a polinização de estigmas e, em consequência, maior número de grãos por espiga. Sob condições de deficiência hídrica durante o subperíodo pendoamento-espigamento, verifica-se que o pendoamento é menos afetado que o espigamento (Sangoi *et al.*, 2010). Com isso, ocorre assincronia entre a liberação de pólen e a emissão de estigmas da espiga, resultando em menor polinização e, conseqüentemente grãos mal formados nas espigas. Assim, a possibilidade de irrigação ao menos durante o período mais crítico assegura maior polinização, resultando em maior número de grãos por espiga (Tabela 19), refletindo em maior número de espigas por metro quadrado (Tabela 18) e, em consequência, em alto rendimento de grãos. Em relação ao experimento sem irrigação, foram observados aumentos de 12 e 58%, respectivamente, no número de espigas por metro quadrado e no número de grãos por espiga em relação ao experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico.

Já no segundo ano agrícola, fez-se necessária a aplicação de maiores quantidades de água durante o período mais crítico, sendo de 195 e 200 mm de água, respectivamente na primeira (Tabela 4) e segunda (Tabela 5) épocas de semeadura. Nesse ano, houve deficiência hídrica já antes do início do período mais crítico da cultura (estádio V_{15}) e prolongou-se após seu final (estádio R_2). Mesmo assim, o rendimento médio de grãos obtido no experimento pode ser considerado alto, $9,9 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabela 21) em relação ao rendimento médio obtido no experimento sem irrigação ($1,5 \text{ t ha}^{-1}$).

Nesse segundo ano, o rendimento de grãos só variou em função de época de semeadura para rendimento de grãos (Apêndice 4), sendo 10% superior na primeira época em relação à segunda época, com valores de $10,4$ e $9,4 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. Esse maior

rendimento de grãos obtido na primeira época (14 de setembro) pode ser devido à menor competição intraespecífica, principalmente por água, uma vez que o IAF, avaliado no estágio R_1 foi menor em relação ao obtido na época de outubro. O componente do rendimento mais associado ao maior rendimento de grãos obtido na primeira época foi o peso do grão (Figura 29A e 29B).

Por outro lado, foi observado que houve deficiência hídrica antes e depois do período crítico no qual se realizou as irrigações complementares, especialmente no segundo ano agrícola (Tabelas 4 e 5). Pode-se, portanto, inferir que o uso de densidades maiores do que as recomendadas para situações em que se pode irrigar a cultura apenas durante o período mais crítico, como por exemplo de $7,0 \text{ pl m}^{-2}$, além de não reduzir o rendimento de grãos em anos em que ocorra maior deficiência hídrica fora desse período crítico, pode resultar em maior rendimento de grãos em anos em que ocorra menor deficiência hídrica nos estádios que antecedem ou sucedem a realização de irrigação apenas durante o período mais crítico.

Embora tenha havido diferenças na magnitude da deficiência hídrica entre anos, foram obtidos altos rendimentos de grãos nesse experimento, sendo de $11,7$ e $12,0 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente na primeira e segunda épocas do primeiro ano agrícola, e de $10,4$ e $9,4 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente na primeira e segunda épocas do segundo ano agrícola (Tabelas 20 e 21). Os rendimentos de grãos foram menores na segunda época de semeadura no segundo ano agrícola em função da maior ocorrência de deficiência hídrica que ocorreu antes e depois do período mais crítico da cultura, o que refletiu no menor peso de grão no segundo ano agrícola em comparação ao primeiro ano (Figuras 28 e 29). Isso evidencia que o uso de irrigação complementar apenas durante o período mais crítico da cultura é importante para obtenção de maior estabilidade na produtividade de grãos ao longo dos anos, o que é

importante para evitar prejuízos ao produtor de milho devido ao estresse por deficiência hídrica.

Os resultados obtidos nos dois anos de realização desse experimento confirmam a hipótese de que, quando se dispõe de mananciais hídricos com limitada quantidade de água, a utilização de irrigação complementar apenas durante o período mais crítico do milho à deficiência hídrica é uma estratégia eficiente para obter maior estabilidade na produtividade de grãos e garantir rentabilidade seu cultivo.

5.2 Práticas de manejo para maximizar o potencial produtivo do milho sob condições de irrigação

5.2.1 Experimento sob condições de irrigação

A terceira hipótese deste trabalho era de que, em situações em que não há limitação de disponibilidade hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho, seja devido ao uso de irrigação ou quando a cultura é cultivada em regiões mais quentes e com adequados volume e distribuição de precipitação pluvial, a semeadura em outubro, que faz coincidir os dias mais longos do ano com o estágio de desenvolvimento em que a planta apresenta a máxima área foliar, o uso de híbridos com maior potencial produtivo e a utilização de altas densidades de plantas são estratégias eficientes para obter altas produtividades de grãos e, em consequência, aumentar a rentabilidade do cultivo.

No primeiro ano agrícola, foram aplicados 316 e 280 mm de água, respectivamente na primeira e segunda épocas de semeadura do milho (Tabelas 2 e 3). Já no segundo ano agrícola, que foi caracterizado pela forte influência do fenômeno La Niña, com precipitação pluvial muito abaixo da exigida pelo milho, foram aplicados 475 e 535 mm de água, respectivamente, na primeira e segunda épocas de semeadura, para suprir a demanda de água durante todo o ciclo de desenvolvimento (Tabelas 4 e 5). Considerando que a

demanda de água durante todo o ciclo de desenvolvimento de um híbrido precoce, na densidade de 6,7 pl m⁻², é de 650 mm (Bergamaschi *et al.*, 2001), conclui-se que a maior parte da água necessária para o desenvolvimento da cultura foi aplicada pela irrigação.

Nos dois anos agrícolas, observou-se interação entre época de semeadura e ciclo de híbrido. Para o híbrido de ciclo precoce, os maiores rendimentos foram obtidos na primeira época de semeadura, enquanto que para o de ciclo superprecoce os rendimentos de grãos foram similares nas duas épocas (Tabelas 29 e 30). Esta maior plasticidade do híbrido superprecoce pode estar relacionada ao número de grãos por espiga nos dois anos agrícolas (Figuras 45 e 46 e Tabela 26).

Dessa forma, com a possibilidade de se irrigar sempre que necessário, pode-se recomendar, independentemente de ciclo de híbrido, a semeadura na época antecipada de até o final de inverno. Isso seria importante especialmente em regiões mais quentes, para viabilizar a sucessão de milho e soja ou feijão (safrinha) na mesma estação de crescimento. Sob condições hídricas não limitantes, haveria garantia de obtenção de altos rendimentos de milho com a semeadura até o final de inverno e viabilizaria produtividades satisfatórias das culturas de soja e feijão em sucessão, conforme trabalhos de Marchezi *et al.* (2011) em regiões mais quentes, como a Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. A utilização desses sistemas de sucessão poderia gerar maior renda para o produtor e seria útil para amortização de custos de aquisição do equipamento de irrigação.

Nos dois anos, os rendimentos de grãos aumentou linearmente até a densidade de 11 pl m⁻², sendo o número de espigas por metro quadrado o componente de rendimento mais relacionado a esta resposta, em que foi independente de híbrido e época de semeadura para os dois anos agrícolas (Figuras 43 e 44). Já o número de grãos por espiga, na média dos dois híbridos, reduziu linearmente quando a semeadura foi realizada na segunda época de semeadura do segundo ano agrícola (Figura 46). Essa redução possivelmente está

associada ao aumento da competição intraespecífica pelo aumento da densidade de plantas (Sangoi, 2001b), pois a disponibilidade de carboidratos por unidade de grão decresce linearmente com o aumento da densidade de plantas. Contudo, se esperava que essa resposta linear do rendimento de grãos ao incremento na densidade de plantas não ocorresse na segunda época de semeadura, em função do maior desenvolvimento das plantas nesta época, sendo favorável à uma maior competição intraespecífica. Aumentos lineares no rendimento de grãos com o incremento da densidade de plantas até 11,0 plantas por metro quadrado, especialmente com uso de espaçamento entrelinhas reduzido de 0,80m foram reportados por Schmitt *et al.*, (2011), no município de Lages-SC.

O aumento no rendimento de grãos com o incremento na densidade de plantas pode ser explicado pelo aumento linear do IAF avaliado no estágio R₁ do primeiro ano agrícola (Figura 34). O maior IAF obtido com uso de maiores densidades de plantas contribui para aumentar a interceptação da radiação solar incidente e a produção de fotoassimilados pelas plantas da comunidade, resultando em maiores rendimentos de massa seca da parte aérea.

Este maior rendimento de massa seca com o incremento na densidade de plantas teve resposta diferenciada para cada híbrido (Figura 36), o que se relaciona com o rendimento de grãos de dois híbridos em função da densidade de plantas (Figura 49), mostrando que há maior competição intraespecífica para o híbrido precoce em relação ao superprecoce.

Por outro lado, o uso de altas densidades de plantas pode ser prejudicial, uma vez que pode aumentar a probabilidade de ocorrer acamamento de plantas, o que pode limitar o potencial de rendimento de grãos (Sangoi *et al.*, 2010). Esse possível aumento do acamamento com o incremento na densidade de plantas poderia ser devido aos aumentos da estatura de planta (Figura 39) e da altura de inserção de espiga (Figura 41) e à redução no diâmetro de colmo (Figura 42). No entanto, nos dois anos de realização desse

experimento, não se registrou a ocorrência de acamamento e/ou quebra de plantas, independentemente de época de semeadura e ano.

Embora não tenha sido avaliada a esterilidade de plantas, no primeiro ano, obteve-se, na média das duas épocas de semeadura e dos dois híbridos, 9,8 espigas por planta na densidade de 11 plantas por metro quadrado (10,9% de esterilidade), e, no segundo ano, obteve-se, em média 10,2 espigas por planta (7,2% de esterilidade). Como os períodos de deficiência hídrica foram compensados com o uso de irrigação, pode-se afirmar que houve sincronia entre a emissão das inflorescências masculina e feminina nos dois anos, o que pode explicar esta baixa esterilidade de plantas.

Na comparação de rendimentos de grãos entre os dois anos, observa-se que foi maior no segundo ano (Tabela 30), 15,1 e 14,5 t ha⁻¹, respectivamente na primeira e segunda épocas de semeadura, em relação ao primeiro ano, 14,1 e 13,5 t ha⁻¹, respectivamente na primeira e segunda épocas (Tabela 29). Estes resultados podem ser atribuídos ao fato que a radiação solar foi mais alta no segundo ano, em que não se observaram valores inferiores aos da normal climática durante todo o período de desenvolvimento da cultura nas duas épocas de semeadura (Figura 1).

Os resultados obtidos não confirmam a hipótese de que, sob condições não limitantes de disponibilidade hídrica durante todo o ciclo de desenvolvimento do milho, os máximos rendimentos de grãos são obtidos na época de semeadura de outubro. Para os dois híbridos, os máximos rendimentos de grãos foram obtidos na época de semeadura de até final de inverno, embora o híbrido de ciclo mais curto (superprecoce) tenha alcançado rendimentos similares nas duas épocas de semeadura.

6 CONCLUSÕES

Considerando-se as condições edafoclimáticas da região ecoclimática da Depressão Central do Estado do RS, pode-se concluir que:

- a. Sob condições naturais de precipitação pluvial, a antecipação da época de semeadura do milho para até o final de inverno é uma estratégia eficiente para minimizar estresses por deficiência hídrica durante seu ciclo de desenvolvimento. Por outro lado, o uso de híbrido de ciclo mais curto (superprecoce) em relação ao precoce, não foi efetivo como um mecanismo de escape de deficiência hídrica durante o período mais crítico da cultura.
- b. Com alto risco de ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento de milho, deve-se utilizar menor densidade de plantas no híbrido de ciclo precoce (5,0 pl m⁻²) em relação ao superprecoce (7,0 pl m⁻²), independentemente de época de semeadura, devido à sua menor elasticidade de resposta.
- c. Com limitação de água em mananciais hídricos, a realização de irrigações complementares apenas durante o período mais crítico do milho (estádios V₁₅ a R₂) é uma estratégia eficiente para obtenção de rendimentos de grãos altos e estáveis, com diminuição de risco e garantia de rentabilidade com o cultivo de milho.
- d. Com a realização de irrigação sempre que necessária, o uso de altas densidades de plantas, ao redor de 9,0 pl m⁻², é essencial para otimizar o rendimento de grãos,

independentemente de época de semeadura e ciclo de híbrido, desde que as demais práticas de manejo não sejam limitantes.

- e. Sob condições não limitantes de água durante o ciclo de desenvolvimento da planta, máximos rendimentos de grãos do híbrido de ciclo mais curto (superprecoce) são obtidos em uma maior faixa de época de semeadura em relação ao híbrido de ciclo mais longo (precoce), em que a época ideal de semeadura é a de até o final de inverno.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. et al. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 101-108, 1994.

ARGENTA, G. et al. Manejo do nitrogênio em milho implantado em sucessão a cobertura de inverno. II – Rendimento de grãos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. p. 229-234.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77 p.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BOLAÑOS, 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.

BORRAS, L. et al. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 73-85, 2007.

CAMPOS, H. et al. Improving drought tolerance in maize: A view from industry. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 19-34, 2004.

CARLONE, M. R.; RUSSELL, W. A. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 3, p. 465-470, 1987.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **[Informações]**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

DUVICK, D. N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 1, p. 69-79, 1992.

DUVICK, D. N.; CASSMAN, K. G. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1622-1630, 1999.

DUVICK, D. N. et al. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. In: JANICK, J. (Ed.). **Plant breeding reviews**. New York: J. Wiley, 2004. p. 109-151.

EMATER– RS. Área, produção, rendimento e valor bruto da produção Rio Grande do Sul – 1970 / 2011: milho. **EMATER**. Disponível em: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/serie/serie_3320130305.pdf. Acesso em: 15 abr. 2013.

ENDRIGO, P. C. et al. Resposta de híbridos de milho irrigado à redução do espaçamento entre linhas na época de semeadura precoce, sob duas densidades de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 54., E REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 37., 2009, Veranópolis. **Atas e Resumos...** Veranópolis: EMATER, 2009. 1 CD-ROM.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FORSTHOFER, E. L. et al. Desempenho agrônomo 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.

FORSTHOFER, E. L. **Potencial de rendimento de grãos e desempenho econômico do milho em cinco níveis de manejo, em três épocas de semeadura**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FRANCIS, C. A. et al. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays*). **Crop Science**, Madison, v. 9, n. 5, p. 537-539, 1969.

HAMMER, G. L. et al. Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the U.S. Corn Belt? **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 1, p. 299-312, 2009.

JACOBS, B. C.; PEARSON, C. J. Potential yield of maize, determined by rates of growth and development of ears. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 281-298, 1991.

LEMCOFF, J. H.; LOOMIS, R. S. Nitrogen and density influences on silk emergence, endosperm development, and grain yield of maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 63-72, 1994.

LOOMIS, R. S.; AMTHOR, J. S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1584-1596, 1999.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).

MESSINA, C. D. et al. Yield-trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 855-868, 2011.

MUCHOW, R. C. Improving maize grain yield potential in the tropics. IN: SLAFFER, G. A.; OTEGUI (Ed.). **Physiological bases for maize improvement**. New York: Haworth Press, 2000. p. 47-58.

MUNDSTOCK, C. M. Bases fisiológicas para aumentar o rendimento de milho no sul do Brasil. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 2., 1999, Lages. **Resumos...** Passo Fundo: Editora Padre Berthier, 1999. p. 31-33.

NIED, A. H. et al. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005.

PIANA, A. T. et al. Densidade de plantas de milho em semeaduras precoces no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2608-2612, 2008.

RITCHEY, K. D. et al. Calcium leaching to increase rooting deep in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops?** Iowa State University. Special Report n. 48, Ames, 1993. Disponível em: <<http://www.biologie.uni-hamburg.de/bonline/library/maize/www.ag.iastate.edu/departments/agronomy/corngrows.html>>. Acesso em: 02 fev. 2011.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4. ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 1992. 681 p.

SALVADOR, R. J.; PEARCE, R. B. Proposed standard system of nomenclature for maize grain filling events and concepts. **Maydica**, Bergamo, v. 40, n. 1, p. 141-146, 1995.

SANGOI, L.; SALVADOR, R. J. Effect of maize detasseling on grain yield tolerance to high plant density and drought stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 677-684, 1998b.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2000.

SANGOI, L. et al. Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 757-764, 2001b.

SANGOI, L. et al. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010a. 87 p.

SANGOI, L. et al. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho**. Lages: Graphel, 2010b. 64 p.

SCHMITT, A. et al. Incremento na densidade de plantas como estratégia para aumentar o rendimento de grãos de milho In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: CBMS, 2012. 1CD-ROM.

SCHUSSLER, R. J.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low potential. I. Sensivity to reduced assimilates during early kernel growth. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1189-1195, 1991.

SERPA, M. S. et al. Sistemas de sucessão milho-soja e milho-feijão na Depressão Central do Rio Grande do Sul In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO, 56., E SORGO, 39., 2011, Ijuí. **Atas e Resumos...** Ijuí: v.1, 2011. p. 35.

SERPA, M. S et al. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 541-549, 2012.

SILVA, P. R. F. da et al. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 1, p. 48-57, 2010.

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

STRIEDER, M. L. et al. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007.

TOLLENAAR, M. et al. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G. A. **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 4. p. 183-236.

TOLLENAAR, M.; LEE, E. A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 75, n. 2-3, p. 161-169, 2002.

UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE. World Agricultural Supply and Demand Estimates. **USDA**. Disponível em: <<http://usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2012.

VELLOSO, J. A. R. O. de; ROMAN, E. S. Controle cultural, coberturas mortas e alelopáticas em sistemas conservacionistas. In: EMBRAPA-CNTP; FUNDACEP – FECOTRIGO; FUNDAÇÃO ABC. **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo, 1993. p. 77–84.

VIEIRA, V. M. et al. Desempenho agronômico de genótipos de milho na época de semeadura precoce sob níveis de manejo alto e médio. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO, 52., E REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE SORGO, 35., 2007, Santo Ângelo. **Atas e Resumos...** Santo Ângelo: EMATER, 2007. 1 CD-ROM.

WESTGATE, M. E. Seed formation in maize during drought. In: BOOTE, K.J. *et al.* **Physiology and determination of crop yield.** Madison: American Society of Agronomy, 1994. cap. 15. p. 361-364.

ZINSELMEIER, C. et al. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 158-163, 1995.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul - RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		IAF R ₁	Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R ₁ ¹	Estatura de planta	Altura de inserção de espiga
Época (E)	1	10,26750000**	3,68150178 ^{ns}	0,88563333**	1,20967500**
Repetição (época)	2	0,13762708 ^{ns}	3,69608330 ^{ns}	0,02535208 ^{ns}	0,00526458 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,17520833 ^{ns}	0,52046845 ^{ns}	0,29453333**	1,10830000**
Densidade (D)	3	20,73037778**	5,07032934 ^{ns}	0,00796111 ^{ns}	0,00120556 ^{ns}
ExH	1	1,40767500**	5,33900827 ^{ns}	0,21333333**	0,00067500 ^{ns}
ExD	3	0,20898889 ^{ns}	1,11379247 ^{ns}	0,00455000 ^{ns}	0,00792500 ^{ns}
HxD	3	0,09754167 ^{ns}	0,28454802 ^{ns}	0,01757222 ^{ns}	0,00328333 ^{ns}
ExHxD	3	0,12140833 ^{ns}	2,04273566 ^{ns}	0,00666111 ^{ns}	0,00278056 ^{ns}
CV ² (%)		6,2	15,1	4,5	7,5

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Diâmetro de colmo	Espigas m ⁻²	Nº grãos espiga ⁻¹	Peso do grão
Época (E)	1	0,09451875*	14,19187500**	4256,3333 ^{ns}	616,333333 ^{ns}
Repetição (época)	2	0,03596458 ^{ns}	0,23770833 ^{ns}	3357,2500 ^{ns}	2463,812500*
Híbrido (H)	1	0,70810208**	4,02520833*	77763,0000**	65,333333 ^{ns}
Densidade (D)	3	0,26827431**	27,37743056**	57167,9167*	1344,055556 ^{ns}
ExH	1	0,11310208*	1,23520833*	38874,0833**	1541,333333 ^{ns}
ExD	3	0,03620208 ^{ns}	0,84687500*	7850,3889*	344,055556 ^{ns}
HxD	3	0,06431875*	0,45354167 ^{ns}	4182,0556*	1623,722222 ^{ns}
ExHxD	3	0,07754097*	0,82020833 ^{ns}	3536,6944*	746,388889 ^{ns}
CV ² (%)		6,3	7,2	12,6	7,4

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coeficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios	
		Rendimento de grãos	
Época (E)	1	32,16050208**	
Repetição (época)	2	2,04099375*	
Híbrido (H)	1	22,72876875**	
Densidade (D)	3	1,90642431*	
ExH	1	10,35091875**	
ExD	3	1,21311875 ^{ns}	
HxD	3	2,31184097*	
ExHxD	3	0,01767986 ^{ns}	
CV ² (%)		10,5	

¹Coeficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

***Significativo pelo F-teste ao nível de 10% de probabilidade

APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		IAF R ₁	Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R ₁ ¹	Estatura de planta	Espigas m ⁻²
Época (E)	1	41,70140833**	9,24528738 ^{ns}	0,94360208**	4,90592699*
Repetição (época)	2	0,65845208 ^{ns}	1,71902519 ^{ns}	0,02691458 ^{ns}	0,72694925 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,11213333 ^{ns}	0,09675556 ^{ns}	0,85066875**	8,40355679*
Densidade (D)	3	13,15845278**	1,19270212 ^{ns}	0,01351319 ^{ns}	0,85443237 ^{ns}
ExH	1	0,35363333 ^{ns}	0,31790803 ^{ns}	0,00385208 ^{ns}	5,92651975*
ExD	3	1,17769722 ^{ns}	1,24868181 ^{ns}	0,00955208 ^{ns}	0,66485382 ^{ns}
HxD	3	0,90708889 ^{ns}	14,28287187 ^{ns}	0,02239653 ^{ns}	1,30528622 ^{ns}
ExHxD	3	0,29792222 ^{ns}	2,55021033 ^{ns}	0,00753542 ^{ns}	0,76576677 ^{ns}
CV ² (%)		15,5	26,3	7,0	25,7

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano no experimento sem irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		Nº grãos espiga ⁻¹	Peso do grão	Rendimento de grãos
Época (E)	1	2537,32914 ^{ns}	0,62473 ^{ns}	1,93678267*
Repetição (época)	2	561,43399 ^{ns}	152,95986 ^{ns}	0,09956989 ^{ns}
Híbrido (H)	1	1523,50020 ^{ns}	25203,95379**	1,67788844*
Densidade (D)	3	7763,7518*	98,15515 ^{ns}	1,21218571*
ExH	1	6450,19896*	23885,86984**	0,97614400 ^{ns}
ExD	3	3274,96551 ^{ns}	221,49897 ^{ns}	0,72945314 ^{ns}
HxD	3	88,24723 ^{ns}	176,62238 ^{ns}	0,12601501 ^{ns}
ExHxD	3	57,76166 ^{ns}	280,56713 ^{ns}	0,08101572 ^{ns}
CV ² (%)		29,3	4,4	36,8

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 3. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		IAF R ₁	Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R ₁ ¹	Estatura de planta	Altura de inserção de espiga
Época (E)	1	14,75191875**	0,4606680 ^{ns}	1,37025208**	1,31340833**
Repetição (época)	2	0,96158125*	4,1524102 ^{ns}	0,01102500 ^{ns}	0,01178958 ^{ns}
Híbrido (H)	1	1,05316875*	55,2700260**	0,00676875 ^{ns}	0,00120000 ^{ns}
Densidade (D)	3	27,03767431**	16,5681237*	0,00804097 ^{ns}	0,03222500*
ExH	1	1,43866875*	130,9371510**	0,00001875 ^{ns}	0,00653333 ^{ns}
ExD	3	0,28102431 ^{ns}	7,9030880 ^{ns}	0,00537986 ^{ns}	0,00946944 ^{ns}
HxD	3	0,08062986 ^{ns}	10,9805838*	0,02465208*	0,00571667 ^{ns}
ExHxD	3	0,37108542 ^{ns}	8,4203860*	0,00464653 ^{ns}	0,00220556 ^{ns}
CV ² (%)		8,6	14,1	3,1	6,5

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coeficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 3. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Diâmetro de colmo	Espigas m ⁻²	Nº grãos espiga ⁻¹	Peso do grão
Época (E)	1	0,38880000**	2,47520833*	15,18750 ^{ns}	65,333333 ^{ns}
Repetição (época)	2	0,02415833 ^{ns}	0,10333333 ^{ns}	248,58333 ^{ns}	55,145833 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,16100833*	0,03520833 ^{ns}	2625,52083 ^{ns}	290,083333 ^{ns}
Densidade (D)	3	0,13300556*	22,73576389**	16037,57639**	2174,833333**
ExH	1	0,02000833 ^{ns}	4,75020833*	1230,18750 ^{ns}	4144,083333**
ExD	3	0,00701667 ^{ns}	0,90298611*	7601,24306**	535,833333 ^{ns}
HxD	3	0,03700278 ^{ns}	0,53743056 ^{ns}	2521,35417*	247,916667 ^{ns}
ExHxD	3	0,01778056 ^{ns}	0,50243056 ^{ns}	3488,24306*	603,250000*
CV ² (%)		5,5	6,1	7,2	4,0

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 3. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios
		Rendimento de grãos
Época (E)	1	1,77870000 ^{ns}
Repetição (época)	2	0,53090208 ^{ns}
Híbrido (H)	1	2,64140833 ^{ns}
Densidade (D)	3	2,24305833 ^{ns}
ExH	1	1,87230000 ^{ns}
ExD	3	0,25889444 ^{ns}
HxD	3	1,14208056 ^{ns}
ExHxD	3	1,55407222 ^{ns}
CV ² (%)		9,0

¹Coeficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

***Significativo pelo F-teste ao nível de 10% de probabilidade

APÊNDICE 4. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2011/12

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		IAF R ₁	Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R ₁ ¹	Estatura de planta	Espigas m ⁻²
Época (E)	1	32,65350208**	7,4025521 ^{ns}	0,04625208*	0,0352083 ^{ns}
Repetição (época)	2	0,41216458 ^{ns}	42,6269812*	0,01750208*	0,5502083 ^{ns}
Híbrido (H)	1	1,29691875 ^{ns}	0,3383521 ^{ns}	0,01650208 ^{ns}	1,3668750*
Densidade (D)	3	11,70472431**	45,6332299*	0,01465208*	34,6629861**
ExH	1	0,10925208 ^{ns}	5,9996021 ^{ns}	0,00001875 ^{ns}	0,0052083 ^{ns}
ExD	3	1,10541875 ^{ns}	2,8132743 ^{ns}	0,00250764 ^{ns}	0,1496528 ^{ns}
HxD	3	0,98200208 ^{ns}	3,1375299 ^{ns}	0,00464653 ^{ns}	0,8479861*
ExHxD	3	1,17795764 ^{ns}	15,5579354 ^{ns}	0,01440764*	0,8885417*
CV ² (%)		14,3	17,4	2,6	5,7

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 4. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano no experimento com irrigação complementar apenas no período mais crítico da cultura. Eldorado do Sul-RS, 2011/12

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		Nº grãos espiga ⁻¹	Peso do grão	Rendimento de grãos
Época (E)	1	6223,2716 ^{ns}	1653,79348 ^{ns}	13,56813333**
Repetição (época)	2	4915,8010 ^{ns}	2645,64349*	16,23405833**
Híbrido (H)	1	2586,1297 ^{ns}	627,69471 ^{ns}	0,32670000 ^{ns}
Densidade (D)	3	47232,7376**	5693,55772**	1,03903889 ^{ns}
ExH	1	16797,5926*	4191,98792*	0,00213333 ^{ns}
ExD	3	6140,2280*	629,92075 ^{ns}	1,56817222 ^{ns}
HxD	3	2234,9694 ^{ns}	945,95906 ^{ns}	1,48898333 ^{ns}
ExHxD	3	3549,4924 ^{ns}	1926,77994*	2,93441667 ^{ns}
CV ² (%)		9,8	8,4	11,8

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 5. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		IAF R ₁	Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R ₁ ¹	Estatura de planta	Altura de inserção de espiga
Época (E)	1	3,25000208*	2,0653345 ^{ns}	1,82130208**	1,15630208**
Repetição (época)	2	1,64422708 ^{ns}	2,3769548 ^{ns}	0,03427500*	0,01013333 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,00226875 ^{ns}	3,6636087 ^{ns}	0,05671875*	0,03255208*
Densidade (D)	3	30,10229653**	18,9729910*	0,03300764*	0,02257431*
ExH	1	0,08250208 ^{ns}	102,5190000**	0,01300208 ^{ns}	0,01366875 ^{ns}
ExD	3	0,28412431 ^{ns}	14,7361726*	0,00495764 ^{ns}	0,00028542 ^{ns}
HxD	3	0,39534653 ^{ns}	18,9422334*	0,00704097 ^{ns}	0,01586875 ^{ns}
ExHxD	3	0,64569097 ^{ns}	2,7159862 ^{ns}	0,00923542 ^{ns}	0,00804097 ^{ns}
CV ² (%)		12,7	11,9	3,1	5,9

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 5. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Diâmetro de colmo	Espigas m ⁻²	Nº grãos espiga ⁻¹	Peso do grão
Época (E)	1	0,20280000*	0,00750000 ^{ns}	250,44590 ^{ns}	4855,462993**
Repetição (época)	2	0,02465208 ^{ns}	0,10187500 ^{ns}	10,11189 ^{ns}	185,967663 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,54613333**	0,52083333 ^{ns}	6895,44899*	393,425956*
Densidade (D)	3	0,16856389**	19,91833333**	7011,91036**	1894,186809**
ExH	1	0,17040833*	0,40333333 ^{ns}	2832,18664*	476,021635*
ExD	3	0,01042222 ^{ns}	0,75027778 ^{ns}	2530,38258*	130,208840 ^{ns}
HxD	3	0,03955556 ^{ns}	0,09472222 ^{ns}	1748,78775*	17,358265 ^{ns}
ExHxD	3	0,02311944 ^{ns}	0,40722222 ^{ns}	1957,27147*	33,196388 ^{ns}
CV ² (%)		5,3	7,9	5,4	2,6

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coefficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 5. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano no experimento sob condições de irrigação.
Eldorado do Sul-RS, 2010/11

Causas de variação	GL	Quadrados médios
		Rendimento de grãos
Época (E)	1	5,07650208*
Repetição (época)	2	0,23837708 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,54400208 ^{ns}
Densidade (D)	3	18,50736875**
ExH	1	13,74950208**
ExD	3	2,38006319*
HxD	3	1,24060764*
ExHxD	3	0,62566319 ^{ns}
CV ² (%)		4,7

¹Coeficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

***Significativo pelo F-teste ao nível de 10% de probabilidade

APÊNDICE 6. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		IAF R ₁	Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R ₁ ¹	Estatura de planta	Espigas m ⁻²
Época (E)	1	39,73060208**	188,6547000**	0,01505208 ^{ns}	3,1008333**
Repetição (época)	2	1,46060833 ^{ns}	8,0526583 ^{ns}	0,03031458*	0,0625000 ^{ns}
Híbrido (H)	1	6,69760208*	0,0001333 ^{ns}	0,05671875*	1,1408333 ^{ns}
Densidade (D)	3	11,18747431*	0,4067583*	0,02685764*	34,3741667**
ExH	1	0,22005208 ^{ns}	33,2334083 ^{ns}	0,00200208 ^{ns}	0,0208333 ^{ns}
ExD	3	10,07160764*	0,9107833 ^{ns}	0,00305208 ^{ns}	0,2897222 ^{ns}
HxD	3	0,78536319 ^{ns}	0,7386278 ^{ns}	0,00465208 ^{ns}	0,1230556 ^{ns}
ExHxD	3	1,92804653 ^{ns}	3,8559139 ^{ns}	0,01010208 ^{ns}	0,2719444 ^{ns}
CV ² (%)		18,1	21,7	3,1	4,5

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coeficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 6. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano no experimento sob condições de irrigação. Eldorado do Sul-RS, 2011/12

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		Nº grãos espiga ⁻¹	Peso do grão	Rendimento de grãos
Época (E)	1	5547,00000 ^{ns}	645,333333*	5,03755208*
Repetição (época)	2	594,52083 ^{ns}	111,083333 ^{ns}	1,41007708 ^{ns}
Híbrido (H)	1	20336,33333**	675,000000*	1,54441875 ^{ns}
Densidade (D)	3	14028,91667**	2478,250000**	32,25201319**
ExH	1	22620,08333**	3234,083333**	7,91375208*
ExD	3	4223,72222*	42,500000 ^{ns}	1,71851875 ^{ns}
HxD	3	801,38889 ^{ns}	428,166667*	0,61398542 ^{ns}
ExHxD	3	785,47222 ^{ns}	67,583333 ^{ns}	1,29367431 ^{ns}
CV ² (%)		5,4	2,7	5,5

¹Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

²Coeficiente de variação

^{ns}Não significativo

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade