

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

ADEQUAÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS DE MILHO À DISPONIBILIDADE  
HÍDRICA EM SEMEADURA NO FINAL DO INVERNO

Michael da Silva Serpa  
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

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

Porto Alegre (RS), Brasil  
Março de 2011



## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meu irmão e minha esposa,  
pelo amor, carinho e incentivo  
para conclusão dessa etapa.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, proteção e força para realização de mais uma etapa.

Ao professor Paulo Regis Ferreira da Silva, pela orientação, ensino e, sobretudo, pela grande amizade, companheirismo e exemplo de profissional e pessoa.

Aos colegas da pós-graduação Vladirene Macedo Vieira, Paulo Cesar Endrigo e Darlan Rodrigo Marchesi e aos bolsistas de iniciação científica Leonardo Barreto Maass, Cristhiano Gehlen, Bruna Guterres Soares e Guilherme Borba Menezes, pela ajuda na realização do trabalho e, sobretudo, pela amizade.

Aos meus pais José Miguel da Silva Serpa e Celita Thereza Serpa e ao meu irmão Giovani da Silva Serpa, pelo amor, carinho, incentivo e compreensão.

À minha esposa Denise, pelo amor, carinho, incentivo e compreensão.

À minha tia Erotildes Serpa e às minhas primas Claudia Serpa Chepp e Caroline Serpa Shepp, pela acolhida e companheirismo.

Aos amigos Jeferson Gass, Evandro Siqueira e Ricardo Siqueira, pela acolhida e amizade.

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 ajuda na realização do trabalho e pela amizade.

Aos demais colegas de pós-graduação, em especial a Ives Clayton, Augusto Kalsing, Felipe Matzembacher, Clever Variani e Anderson Nunes, pelo companheirismo e amizade.

À professora Nilza Castro, pela ajuda na realização do trabalho.

Aos técnicos Fábio e Jonathan e aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, em especial ao professor Christian Bredemeier e à professora Marisa Azzolini.

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

# ADEQUAÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS DE MILHO À DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM SEMEADURA NO FINAL DO INVERNO<sup>1</sup>

Autor: Michael da Silva Serpa

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva

## RESUMO

A escolha correta da densidade de plantas é um dos principais fatores determinantes de alta produtividade em milho. Entretanto, a determinação da densidade ótima de plantas para obtenção de altos rendimentos de grãos depende de alguns fatores, como época de semeadura, nível de disponibilidade hídrica e de nutrientes durante a estação de crescimento e híbrido utilizado. O objetivo do presente trabalho foi determinar a densidade de plantas mais adequada para obtenção de máximo rendimento de grãos para diferentes híbridos de milho, em função do nível de disponibilidade hídrica, em semeadura no final de inverno (agosto a primeira quinzena de setembro). Foram conduzidos dois experimentos na estação de crescimento 2008/09 e três na de 2009/10, em Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do RS. No primeiro ano, com semeadura realizada em 27 de agosto, foi conduzido um experimento com irrigação sempre que necessário durante todo o ciclo e outro com irrigação quando necessário apenas durante o período mais crítico da cultura (estádios  $V_{15}$  a  $R_2$ ). No segundo ano, com semeadura realizada em 16 de setembro, além dos dois níveis de disponibilidade hídrica utilizados na estação anterior, acrescentou-se um sob condições naturais de precipitação pluvial. Em cada experimento os tratamentos constaram de quatro densidades de plantas (5,0; 7,0; 9,0 e 11,0 pl  $m^{-2}$ ), quatro híbridos em 2008/09 e três híbridos em 2009/10. Ocorreram três períodos de deficiência hídrica no primeiro ano: nos estádios  $V_3$ ,  $V_{11}$  a  $R_2$  e  $R_4$ . Já no segundo ano, ocorreu deficiência hídrica apenas no estágio  $R_5$ . No primeiro ano, a densidade de plantas ótimas no experimento irrigado durante todo ciclo foi de 11 pl  $m^{-2}$  enquanto no irrigado apenas no período de  $V_{15}$  a  $R_2$  foi de 10,4 pl  $m^{-2}$ . No segundo ano, a densidade ótima de plantas variou em função de híbrido e nível de disponibilidade hídrica. Nos dois anos, os máximos rendimentos de grãos foram obtidos com densidades superiores a 9,0 pl  $m^{-2}$ , independentemente do nível de disponibilidade hídrica e do híbrido utilizado. A utilização de densidades de plantas superiores a 9,0 pl  $m^{-2}$  é uma estratégia eficiente para otimizar o rendimento de grãos em semeaduras de final de inverno, desde que não ocorra deficiência hídrica no período mais crítico da cultura.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (98 p.) Março, 2011.

# ADEQUATION OF DENSITY OF CORN TO WATER AVAILABILITY AT SOWING IN LATE WINTER<sup>1</sup>

Author: Michael da Silva Serpa  
Adviser: Paulo Regis Ferreira da Silva

## ABSTRACT

The correct choice of density is one of the major determinants of high productivity in maize. However, determining the optimal density of plants for obtaining high grain yield depends on factors such as sowing time, the level of available water and nutrients during the growing season and used hybrid. The purpose of this study was to determine the most appropriate plant density to obtain maximum grain yield for different hybrids of corn, depending on the level of water availability at sowing in late winter (August to mid-September). Two experiments were conducted in the 2008/09 growing season and three in 2009/10, in Eldorado do Sul, ecoclimatic Central Depression of the RS. In the first year, at sowing on 27 August, was conducted with irrigation when necessary throughout the cycle and another with irrigation when necessary only during the most critical period of culture (stage V<sub>15</sub> to R<sub>2</sub>). In the second year, at sowing on 16 September, in addition to two levels of water availability used in the previous season, was added to an under natural rainfall. In each experiment treatments consisted of four plant densities (5.0, 7.0, 9.0 and 11.0 pl m<sup>-2</sup>), four hybrids in 2008/09 and three hybrids in 2009/10. There were three periods of water shortage in the first year: at stages V<sub>3</sub>, V<sub>11</sub> to R<sub>2</sub> and R<sub>4</sub>. In the second year, water deficiency only at stage R<sub>5</sub>. In the first year, the optimum plant density in irrigated during the whole experiment cycle was 11 pl m<sup>-2</sup> while in irrigated only during the V<sub>15</sub> to R<sub>2</sub> was 10.4 pl m<sup>-2</sup>. In the second year, the optimal density of plants varied with hybrid and level of water availability. In both years, the maximum grain yields were obtained with densities exceeding 9.0 pl m<sup>-2</sup>, regardless of level of water availability and use of the hybrid. The use of plant densities in excess of 9.0 pl m<sup>-2</sup> is an effective strategy to optimize the yield by sowing in late winter, since there is never any stress at cutting edge of culture.

---

<sup>1</sup> Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (98 p.) March, 2011.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 Importância da cultura do milho para o Sul do Brasil .....	5
2.2 Época de semeadura .....	6
2.3 Importância do arranjo de plantas na cultura do milho e fatores que afetam a sua escolha .....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1 Local de execução do estudo .....	17
3.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	18
3.3 Manejo da cobertura de solo no inverno .....	19
3.4 Manejo da cultura do milho .....	20
3.5 Parâmetros avaliados .....	26
3.5.1 Cultura do nabo forrageiro .....	26
3.5.2 Cultura do milho .....	26
3.5.2.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento .....	26
3.5.2.2 Índice de área foliar (IAF) .....	27
3.5.2.3 Estatura de planta e altura de inserção de espiga .....	27
3.5.2.4 Rendimento de massa seca da parte aérea .....	28
3.5.2.5 Senescência foliar .....	28
3.5.2.6 Diâmetro de colmo .....	28
3.5.2.7 Índice de colheita (IC) .....	28
3.5.2.8 Teor de N na parte aérea da planta .....	29
3.5.2.9 Rendimento de grãos e componentes do rendimento .....	29
3.6 Análise estatística .....	29
4 RESULTADOS .....	31
4.1 Dados meteorológicos referentes às estações de crescimento 2008/09 e 2009/10 .....	31
4.1.1 Radiação solar global .....	31
4.1.2 Temperatura média do ar .....	33
4.1.3 Disponibilidade hídrica .....	35
4.2 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta .....	36
4.2.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento .....	36
4.2.2 Índice de área foliar (IAF) .....	38
4.2.3 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento (estádio R <sub>1</sub> ) .....	44
4.2.4 Estatura de planta .....	46
4.2.5 Altura de inserção da espiga .....	48
4.2.6 Senescência foliar no estágio R <sub>3</sub> .....	51
4.2.7 Diâmetro de colmo .....	53
4.2.8 Índice de colheita aparente (IC) .....	55
4.2.9 Teor de nitrogênio (N) na planta no espigamento (estádio R <sub>1</sub> ) .....	57

	Página
4.3 Componentes do rendimento e rendimento de grãos.....	58
4.3.1 Número de espigas por metro quadrado .....	58
4.3.2 Número de grãos por espiga .....	60
4.3.3 Peso do grão.....	64
4.3.4 Rendimento de grãos .....	66
5 DISCUSSÃO .....	72
6 CONCLUSÕES .....	85
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
8 APÊNDICES .....	91

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Precipitação pluvial decenal ocorrida durante os meses de agosto de 2008 a fevereiro de 2009 e quantidade de água aplicada nas irrigações do milho nos respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos com irrigação complementar sempre que necessário e com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (estádio V <sub>15</sub> a R <sub>2</sub> ). Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	24
2. Precipitação pluvial decenal ocorrida durante os meses de agosto de 2009 a fevereiro de 2010 e quantidade de água aplicada e seu respectivo estádio de aplicação nos experimentos com irrigação complementar sempre que necessário e com irrigação apenas no período mais crítico (estádio V <sub>15</sub> a R <sub>2</sub> ) e no conduzido sob condições naturais de precipitação pluvial. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	25
3. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	37
4. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	37
5. Índice de área foliar (IAF) nos estádios V <sub>6</sub> e V <sub>10</sub> de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	39
6. Índice de área foliar no emborrachamento (estádio V <sub>15</sub> ) de quatro híbridos de milho, sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	39
7. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (estádio R <sub>1</sub> ) de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	41
8. Índice de área foliar (IAF) nos estádios V <sub>10</sub> , V <sub>15</sub> e R <sub>1</sub> de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	43

9.	Rendimento de massa seca (MS) da parte aérea no espigamento (estádio R <sub>1</sub> ) de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	45
10.	Rendimento de massa seca (MS) da parte aérea no espigamento (estádio R <sub>1</sub> ) de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	46
11.	Estatura de planta de quatro híbridos de milho sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	47
12.	Estatura de planta de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	48
13.	Estatura de planta de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	48
14.	Altura de inserção da espiga de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	49
15.	Altura de inserção de espiga de três híbridos de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	50
16.	Senescência foliar no estágio R <sub>3</sub> de quatro híbridos de milho sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	52
17.	Senescência foliar de três híbridos de milho no estágio R <sub>3</sub> , na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	53
18.	Diâmetro de colmo de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	54
19.	Índice de colheita aparente (IC) de milho, sob três níveis de disponibilidade hídrica, em função de densidade de plantas, na média de três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	56
20.	Teor de nitrogênio na planta de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	58

21. Número de grãos por espiga de quatro híbridos de milho sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	61
22. Número de grãos por espiga de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	63
23. Peso do grão de quatro de híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas e dois níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	65
24. Peso do grão em função de nível de disponibilidade hídrica, na média de três híbridos de milho e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	65
25. Peso do grão de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	66
26. Rendimento de grãos de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	68
27. Rendimento de grãos em função de nível de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e três híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	68

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Radiação solar global, por decêndio, nos meses de agosto a fevereiro referentes às estações de crescimento 2008/09 e 2009/10 e à média do período de 1969 a 1999. Eldorado do Sul-RS.....	33
2. Temperatura do ar, por decêndio, nos meses de agosto a fevereiro referentes às estações de crescimento 2008/09 e 2009/10 e à média do período de 1970 a 2000. Eldorado do Sul-RS.....	34
3. Balanço hídrico referente ao período de agosto de 2008 a fevereiro de 2009 abrangendo a primeira estação de crescimento do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	35
4. Balanço hídrico referente ao período de agosto de 2009 a fevereiro de 2010 abrangendo a segunda estação de crescimento do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	36
5. Índice de área foliar (IAF) nos estádios $V_6$ e $V_{10}$ em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	38
6. Índice de área foliar (IAF) no emborrachamento (estádio $V_{15}$ ) em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	40
7. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (estádio $R_1$ ) em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	41
8. Índice de área foliar (IAF) no estádio $V_6$ de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	42
9. Índice de área foliar (IAF) nos estádios $V_{10}$ , $V_{15}$ e $R_1$ em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	43

10.	Rendimento de massa seca da parte aérea (MS) no espigamento (estádio R <sub>1</sub> ) em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	44
11.	Rendimento de massa seca da parte aérea (MS) no espigamento (estádio R <sub>1</sub> ) em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	46
12.	Altura de inserção de espiga de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	51
13.	Senescência foliar do milho no estágio R <sub>3</sub> em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	53
14.	Diâmetro de colmo de milho em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	54
15.	Diâmetro de colmo de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	55
16.	Índice de colheita aparente (IC) de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	57
17.	Número de espigas por metro quadrado de quatro híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	59
18.	Número de espigas por metro quadrado de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	60
19.	Número de grãos por espiga de quatro híbridos de milho em função da densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	62
20.	Número de grãos por espiga de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	63
21.	Peso do grão em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	64

22. Peso do grão de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	66
23. Rendimento de grãos de milho em função de densidade de plantas, sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.....	67
24. Rendimento de grãos de três híbridos de milho nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (V <sub>15</sub> a R <sub>2</sub> ) e sob condições naturais de precipitação pluvial em função de densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	70
25. Rendimento de grãos de três híbridos de milho em função de densidade de plantas nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (V <sub>15</sub> a R <sub>2</sub> ) e sob condições naturais de precipitação pluvial. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.....	71

## 1 INTRODUÇÃO

O rendimento médio de grãos de milho no Brasil está muito abaixo do obtido em experimentos realizados no Sul do Brasil. Os fatores que mais comumente têm limitado a produtividade do milho são a utilização inadequada do arranjo de plantas e da época de semeadura, principalmente quanto à adequação à disponibilidade hídrica, o uso de variedades com baixo potencial produtivo, a baixa adição de fertilizantes e os controles deficientes de plantas daninhas, pragas e doenças.

Para obter elevados rendimentos de grãos de milho é necessário adequar as práticas de manejo aos recursos disponíveis no ambiente, visando proporcionar as melhores condições possíveis ao desenvolvimento da planta. Dentre as estratégias de manejo que podem ser utilizadas para aumentar a produtividade de milho, a adequação da época de semeadura é uma das mais importantes. As condições climáticas das regiões mais quentes do Sul do Brasil permitem o cultivo do milho em uma ampla faixa de época de semeadura. No entanto, à medida que se deseja potencializar o rendimento de grãos, ela deve receber maior atenção no intuito de proporcionar melhores condições para o desenvolvimento das plantas, principalmente quanto aos elementos meteorológicos disponibilidade hídrica, temperatura do ar e radiação solar.

Quando não há limitação de disponibilidade 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, o que ocorre quando a semeadura é realizada no mês de outubro. No entanto, nas regiões mais

quentes do Sul do Brasil há maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica quando se implanta a cultura do milho nessa época. Em função disso, na ausência de irrigação, tem-se recomendado a antecipação da época de semeadura para o final do inverno (início do mês de agosto até meados de setembro), como estratégia de escape da ocorrência da deficiência hídrica no período mais crítico da cultura, que se encontra entre os estádios  $V_{15}$  e  $R_2$ , de acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993). Mesmo com o uso de irrigação, a antecipação da época de semeadura pode também viabilizar a introdução de uma segunda cultura de estação estival em sucessão, como a soja e o feijão (safrinha). 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. Outra vantagem da utilização do cultivo de duas espécies de estação estival na mesma estação de crescimento está no fato de propiciar maior facilidade de amortização do custo de aquisição do equipamento de irrigação.

Além da adequação da época de semeadura, a escolha do arranjo de plantas ideal é um dos fatores que também tem grande influência no rendimento de grãos de milho. Este pode ser manipulado de quatro formas: densidade de plantas, espaçamento entre linhas, distribuição espacial de plantas na linha e uniformidade de emergência das plantas. Dentre elas, a escolha adequada da densidade de plantas (número de plantas por área) é a que tem maior impacto no rendimento de grãos. Isto decorre do fato de que, diferentemente de outras espécies da família das poáceas, o milho possui baixa capacidade de compensar espaços vazios, por raramente perfilhar, apresentar limitada capacidade de expansão foliar e baixa prolificidade. Assim sendo, existe uma densidade ótima de plantas bem específica para determinar o máximo rendimento de grãos. O uso de densidades abaixo ou acima dessa densidade ótima reduz acentuadamente o rendimento de grãos.

A densidade de plantas recomendada para o milho foi alterada ao longo do tempo à medida que modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica foram

incorporadas nas plantas pelos programas de melhoramento, junto com as mudanças no manejo da cultura. Os híbridos mais modernos, principalmente os lançados a partir da década de 90, foram selecionados sob altas densidades de plantas, tornando-se também mais tolerantes aos diferentes estresses, como os ocasionados por deficiência hídrica ou nutricional. Além disso, estudos recentes evidenciam mudanças na arquitetura do sistema radicular dos híbridos mais recentes, que são capazes de absorver água de camadas mais profundas do solo, apresentando, assim, maior tolerância à deficiência hídrica.

No entanto, com a antecipação da época de semeadura para o final do inverno nas regiões mais quentes do Sul do Brasil, as temperaturas do ar e do solo e a disponibilidade de radiação solar são menores, resultando em menor desenvolvimento das plantas. Em função disso, a primeira hipótese do presente trabalho é que, em semeaduras de final de inverno, nas regiões mais quentes do Sul do Brasil, podem ser requeridas maiores densidades de plantas para aumentar o índice de área foliar e a interceptação da radiação solar incidente, compensando o menor desenvolvimento das plantas em relação à época de outubro e, conseqüentemente, aumentando o rendimento de grãos. Além disso, com o incremento da densidade de plantas há maior competição intra-específica pelos recursos disponíveis. Logo, a segunda hipótese do presente trabalho é que a resposta do rendimento de grãos de milho à densidade de plantas depende do nível de disponibilidade hídrica no solo durante a estação de crescimento.

Embora a ocorrência de menores radiação solar incidente e temperatura do ar e do solo com a semeadura do milho no final do inverno, tem-se obtido em experimentos realizados nas regiões mais quentes do Sul do Brasil altas produtividades com os híbridos modernos, cultivados sob alto nível de manejo, que inclui o uso de irrigação complementar.

A maioria dos trabalhos conduzidos na região da Depressão Central do RS sobre densidade de plantas foi realizada com a semeadura em outubro e uso de irrigação. No

entanto, em semeaduras de final de inverno, poucas pesquisas têm sido realizadas para determinar a densidade de plantas ideal, especialmente sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica e para diferentes híbridos, sob condições de alto nível de manejo. Como a maioria das propriedades do Sul do Brasil não dispõe de sistema de irrigação, a antecipação da época de semeadura pode constituir-se em estratégia para aumentar a produtividade, devido à maior probabilidade de escape de ocorrência de deficiência hídrica no período mais crítico da planta. Nesse sentido, é importante que se determine para essa época de semeadura, a densidade de plantas ótima que propicie os máximos rendimentos de grãos para diferentes híbridos e níveis de disponibilidade hídrica. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da disponibilidade hídrica na determinação da densidade de plantas ótima para híbridos de milho semeados no final do inverno no sul do Brasil.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Inicialmente será abordada a importância da cultura do milho para o Sul do Brasil e algumas informações sobre a produção de milho a nível mundial e de Brasil, bem como a produtividade brasileira e do Rio Grande do Sul. Em seguida, serão abordadas as importâncias da época de semeadura e do arranjo de plantas para a produtividade do milho e os fatores que afetam a escolha do arranjo de plantas.

### **2.1 Importância da cultura do milho para o Sul do Brasil**

No Sul do Brasil, o milho é uma cultura tradicional, essencial para as populações indígenas que aqui viviam e para os colonos que posteriormente chegaram, especialmente a partir do século XIX. O grão é utilizado diretamente na alimentação humana através da farinha, amido, milho verde, milho pipoca, óleo e outras formas de menor importância. A maior demanda de grãos é para a elaboração de rações para animais, com predominância para aves, suínos e gado leiteiro e, secundariamente, para outras espécies. Além disso, a planta é utilizada como forragem diretamente com a colheita das partes verdes, na forma de silagem de plantas inteira ou de silagem de grão úmido (Mundstock & Silva, 2005).

O milho, o arroz e o trigo são os três cereais mais cultivados no mundo. A produção mundial total de cereais estimada em 2010 é de 2286 milhões de toneladas (FAO, 2011). Especificamente para o milho, estima-se que no ano de 2011 a produção mundial será de 800 milhões de toneladas (USDA, 2011). Atualmente, os três maiores países produtores de milho são os Estados Unidos, China e Brasil. No Brasil, a estimativa de produção de grãos de milho da safra de 2009/10 é de 55,9 milhões de toneladas (CONAB, 2011).

A produtividade média das últimas cinco safras (2005/06 a 2009/10) foi de 3,8 t ha<sup>-1</sup> para o Brasil e de 4,7 t ha<sup>-1</sup> para a região Sul (estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (CONAB, 2011)). Há uma grande lacuna entre o rendimento médio de grãos obtido em lavouras comerciais de milho e os rendimentos máximos obtidos em experimentos conduzidos sob condições ótimas de manejo, que têm variado entre 15,9 e 17,3 t ha<sup>-1</sup> (Sangoi *et al.*, 2003; Endrigo *et al.*, 2009). Várias causas têm contribuído para obtenção de baixos rendimentos em lavouras, como escolha inadequada da época de semeadura, que resulta em maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica durante o período mais crítico da planta, baixa adição de fertilizantes, uso de cultivares com baixo potencial de rendimento, utilização do arranjo de plantas inadequado e deficiência no controle de plantas daninhas, pragas e moléstias (Sangoi *et al.*, 2010b). Embora a natureza seja responsável pela maior parte da variação do efeito ambiental sobre o rendimento de grãos, o produtor de milho pode manipular de uma forma adequada as práticas de manejo para proporcionar as melhores condições durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta e, assim, potencializar o rendimento de grãos.

## **2.2 Época de semeadura**

O desafio de obter rendimentos de grãos de milho elevados e estáveis com os recursos atualmente existentes está condicionado à atenção dada aos fatores relacionados à definição do rendimento e aos que interferem na proteção do rendimento. A definição do rendimento depende da cultivar, das práticas de manejo, da fertilidade do solo e das condições climáticas vigentes durante a estação de crescimento, principalmente as relacionadas à disponibilidade hídrica, à temperatura do ar e à radiação solar incidente. A proteção do rendimento de grãos na lavoura depende da eficiência de controle de plantas daninhas, pragas e moléstias e do manejo adotado durante e após a colheita.

Assim sendo, para obtenção de elevados rendimentos de grãos de milho é necessário utilizar os recursos naturais com máxima eficiência, minimizando as causas adversas ao desenvolvimento da planta. A época de semeadura tem grande influência no desenvolvimento da planta de milho, principalmente no que diz respeito a três elementos meteorológicos: disponibilidade hídrica, temperatura do ar e radiação solar. As condições climáticas vigentes nas regiões mais quentes do Sul do Brasil permitem o cultivo do milho em uma ampla faixa de época de semeadura. No entanto, à medida que se deseja potencializar o rendimento de grãos, deve-se dar maior atenção à escolha correta da época de semeadura, para proporcionar as melhores condições para o desenvolvimento das plantas, principalmente pela otimização do uso dos três fatores meteorológicos mencionados.

Quando não há limitação hídrica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, a época de semeadura preferencial é aquela que faz coincidir os sub-períodos de pré-floração, floração e início do enchimento de grãos, com os dias mais longos do ano (solstício de verão), o que ocorre com a semeadura no mês de outubro (Sangoi *et al.*, 2010a). Com a semeadura nesse mês e, dependendo da duração do ciclo do híbrido, as plantas atingem os estádios de pendoamento-espigamento e início do enchimento de grãos entre meados de dezembro a meados de janeiro, coincidindo o período de maior área foliar por planta e de maior atividade fotossintética com a época de maior disponibilidade de radiação solar (Sangoi *et al.*, 2010a).

Apesar da semeadura no mês de outubro ser ideal do ponto de vista de otimização do uso da radiação solar, a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos meses com maior disponibilidade de radiação solar (dezembro e janeiro) no Estado do Rio Grande do Sul é de 60%. Isto significa que em seis de cada dez anos de observações ocorre deficiência hídrica nesses meses (Matzenauer *et al.*, 2002) coincidindo com o período mais crítico de desenvolvimento da planta em relação à deficiência hídrica (entre os estádios

V<sub>15</sub> e R<sub>2</sub> da escala de Ritchie *et al.* (1993)). A planta de milho é muito sensível à deficiência hídrica nesse período em função da ocorrência dos processos fisiológicos ligados à formação e ao início do enchimento de grãos (Shussler & Westgate, 1991; Zinselmeier *et al.*, 1995) e da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada temperatura do ar proveniente da alta incidência de radiação solar. A partir do estágio V<sub>15</sub>, os estilo-estigmas da espiga, ainda não visíveis externamente, iniciam seu crescimento. Neste período, é importante que haja sincronia entre as épocas de ocorrência dos florescimentos masculino e feminino.

Com a ocorrência de estresses durante o período mais crítico, a planta de milho prioriza o desenvolvimento da inflorescência masculina (pendão) em relação ao da espiga, devido ao seu caráter protândrico (Sangoi, 2000). Embora a quantidade de pólen produzida pelos pendões raramente seja um fator limitante para a adequada polinização e fertilização dos grãos na espiga, o período de liberação de pólen dura apenas de cinco a oito dias, permanecendo viável por apenas 12 a 18 horas (Sangoi *et al.* 2010a). Logo, é importante que a espiga esteja formada e os estilo-estigmas exteriorizados e receptivos aos grãos de pólen neste curto espaço de tempo. Estresses que ocorrem nessa fase, principalmente o de restrição hídrica, atrasam o desenvolvimento da espiga e causam assincronia entre os florescimentos masculino e feminino. Com isso, há ocorrência de plantas estéreis e/ou espigas falhadas, devido à baixa fertilização, que resultam em baixa produtividade (Tollenaar & Lee, 2002). Reduções de 45 a 65% no número de grãos por espiga foram reportadas em plantas de milho submetidas a potenciais da água na folha entre -0,82 e -1,2 MPa, durante o período da emergência dos estigmas à polinização (Zinselmeier *et al.*, 1995).

Assim, nas regiões mais quentes da região Sul do Brasil, em que a estação de crescimento de estação estival é maior, quando não se dispõe de irrigação, a semeadura do milho deve ser antecipada para o final do inverno (agosto a meados de setembro) como

estratégia para minimizar a ocorrência de deficiência hídrica no período de maior sensibilidade da planta a este estresse. Outra estratégia de escape é o uso de híbridos de ciclo mais precoce nessa época de semeadura, devido à menor duração de seu ciclo. Mesmo com a possibilidade de uso de irrigação, a antecipação da época de semeadura nessas regiões é uma alternativa interessante, pois pode viabilizar a introdução de uma segunda cultura de estação estival em sucessão, como a soja e o feijão (safrinha). Com a adoção desse sistema de sucessão de culturas na mesma estação de crescimento é possível obter maior eficiência de uso da terra, com aumento da rentabilidade dos produtores e da sustentabilidade da atividade agrícola. Além disso, possibilita a intensificação do uso do sistema de irrigação, o que facilita a amortização do investimento.

No entanto, nas semeaduras de final de inverno (agosto a meados de setembro) as temperaturas do ar e do solo e a disponibilidade de radiação solar são menores em relação à época de semeadura de outubro, o que pode limitar o potencial produtivo do milho semeado em final de inverno. Entretanto, em experimentos em que o milho foi semeado em agosto na região da Depressão Central do Estado do RS, conduzidos com alto nível de manejo, inclusive com utilização de irrigação, tem-se obtido produtividades de grãos superiores a  $14,0 \text{ t ha}^{-1}$  (Vieira *et al.*, 2007; Piana *et al.*, 2008; Endrigo *et al.*, 2009 e Guterres *et al.*, 2010). Como a maioria das propriedades da região Sul do Brasil não dispõe de sistema de irrigação, o aumento no rendimento de grãos de milho passa obrigatoriamente pela adequação da época de semeadura, para possibilitar que a planta se desenvolva sob condições mais favoráveis de disponibilidade hídrica, especialmente durante o seu período mais crítico.

### **2.3 Importância do arranjo de plantas na cultura do milho e fatores que afetam a sua escolha**

Além da disponibilidade hídrica vigente durante a estação de crescimento, o potencial de rendimento de grãos de milho depende da quantidade de radiação solar incidente e das eficiências de interceptação da radiação e de conversão da radiação interceptada em biomassa vegetal e de partição de fotoassimilados para os grãos (Loomis & Amthor, 1999).

A quantidade de radiação solar incidente é um fator que depende, principalmente, da posição geográfica de cada região produtora, ou seja, de sua latitude e altitude (Gardner, 1985). Outro fator que influencia a quantidade de radiação incidente é a época de semeadura. Já as eficiências de interceptação da radiação solar e de sua conversão e partição em fotoassimilados dependem do híbrido utilizado, das condições edafoclimáticas e das práticas de manejo, principalmente em relação ao arranjo de plantas utilizado (Argenta *et al.*, 2001).

Por influenciar a quantidade de radiação solar interceptada, a escolha correta do arranjo de plantas é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos de milho. Isso se deve ao fato de que o arranjo de plantas influencia o índice de área foliar (IAF), o ângulo de inserção foliar, a disposição de folhas na planta e as características de absorção de luz pelas folhas das plantas da comunidade. Esses efeitos do arranjo de plantas são mais significativos no milho do que em outras espécies da família das poáceas, devido a características morfológicas, anatômicas e fisiológicas próprias desta espécie (Sangoi *et al.*, 2010b).

Na cultura do milho, o arranjo de plantas pode ser manipulado pela densidade de plantas, espaçamento entre linhas, distribuição espacial de plantas na linha e pela uniformidade de emergência das plantas na lavoura (Sangoi *et al.*, 2010b). Dessas quatro formas, a densidade de plantas, ou seja, número de plantas por área é a que mais influencia

o rendimento de grãos. Dentre os principais fatores que determinam a escolha correta da densidade de plantas, destacam-se a época de semeadura, a variedade ou híbrido utilizado e os níveis de nutrição de planta e de disponibilidade hídrica vigentes durante a estação de crescimento da cultura.

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. No Brasil, as alterações na densidade de plantas iniciaram 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 da densidade de plantas. Essas mudanças refletiram-se na obtenção de maiores rendimentos potenciais de grãos nas décadas posteriores.

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 intra-específica pelos recursos naturais, podendo diminuir o rendimento de grãos. O uso de densidades elevadas estimula a dominância apical (Sangoi & Salvador, 1996). Com isso, a planta utiliza a maior parte dos fotoassimilados na produção e dispersão de grãos de pólen, às custas da redução nas taxas de crescimento e desenvolvimento da espiga e dos estigmas, levando à esterilidade feminina e à assincronia entre antese e espigamento (Sangoi & Salvador, 1998a). Este é o principal fator limitante do rendimento de grãos de milho ao incremento de densidade de

plantas além de determinados limites. Alguns trabalhos evidenciam que o incremento da densidade de plantas diminui o número de espigas por área, o número de grãos por espiga e o peso do grão, devido à maior competição entre plantas por fotoassimilados (Edmeades & Daynard, 1979 a,b; Sangoi, 2000). Com densidades acima da densidade ótima há redução do suprimento de nitrogênio (Lemcoff & Loomis, 1994), fotoassimilados (Jacobs & Pearson, 1991) e água (Westgate, 1994) às espigas. Uma das causas da redução do número de grãos por espiga sob densidades acima da ideal pode estar relacionada ao abortamento de óvulos recentemente fertilizados no início do enchimento de grãos (Sangoi, 2000).

A atenuação da competição entre o pendão e a espiga, citada no parágrafo anterior, tem minimizado os efeitos negativos do aumento da competição, proporcionando maior resposta dos híbridos lançados recentemente à utilização de altas densidades de plantas, superiores a  $9,0 \text{ pl m}^{-2}$ . Para se obter maior a tolerância a altas densidades de plantas tem-se utilizado como critério principal de seleção o rendimento de grãos dos futuros híbridos de milho, avaliado sob densidades de plantas superiores às normalmente recomendadas (Bolagños & Edmeades, 1996). O contínuo incremento no rendimento de grãos de milho nos últimos 70 anos na região do “cinturão do milho” dos EUA tem sido associado ao incremento na densidade de plantas (Hammer et al., 2009).

A pressão de seleção aplicada pelos melhoristas para adaptar os híbridos modernos (lançados a partir da década de 90, principalmente) de milho ao adensamento de plantas minimizou a natureza protândrica da planta, reduzindo o intervalo entre a emissão das inflorescências masculina e feminina (Sangoi, 2000). Isso 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 & Salvador, 1998b). Além disso, eles produzem menor quantidade de auxinas, diminuindo o seu efeito inibitório sobre o

desenvolvimento de espigas (Sangoi & Salvador, 1996). Assim, a menor demanda por fotoassimilados e a menor dominância apical do pendão sobre as espigas contribuíram para maior sincronia entre os florescimentos masculino e o feminino e obtenção de maior número de espigas por planta 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 aos mesmos maior tolerância a altas densidades de plantas. Dentre essas, observa-se nesses híbridos incremento 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. 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).

Outra característica que foi melhorada nos híbridos lançados mais recentemente relaciona-se à capacidade de absorção de água do solo e à tolerância a deficiência hídrica sob altas densidades. Nesse sentido, Hammer *et al.* (2009) evidenciaram que as alterações na arquitetura do sistema radicular e na absorção de água do solo influenciaram diretamente o acúmulo de biomassa e que a mudança na arquitetura do dossel apresentou pequeno efeito direto, mas importantes efeitos indiretos pela maior retenção de área foliar e partição de fotoassimilados para a espiga. Resultados recentes evidenciam ganhos genéticos no rendimento de milho numa ampla faixa de condições limitantes de água (Campos *et al.*, 2006). Diferenças têm sido observadas na capacidade de 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 em maior profundidade (Campos *et al.*, 2004). Os ganhos no rendimento sob condições de deficiência hídrica no florescimento também 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 & Edmeades, 1996). Sob condições limitantes de água próximo à floração, o híbrido com sistema radicular mais profundo é mais eficiente na sua absorção, mantendo maior taxa de crescimento das plantas, o que contribui para maior sincronia entre os florescimentos masculino e feminino (Borras *et al.*, 2007).

Embora os híbridos modernos de milho apresentem maior capacidade de absorção de água, mesmo assim a ocorrência de deficiência hídrica pode reduzir drasticamente o rendimento de grãos, dependendo da sua intensidade, duração e estágio em que ocorre (Doorenbos & Kassaman, 1979). De maneira geral, a ocorrência de deficiência hídrica no período vegetativo tem menor impacto no rendimento de grãos do que o verificado no período mais crítico da planta. Reduções de 22 e 50% no rendimento de grãos foram observadas com a ocorrência de dois e sete dias de deficiência hídrica no florescimento,

respectivamente (Robins & Domingo, 1953). Redução de 50% ou mais no rendimento de grãos também foram observadas por Pandey *et al.* (2000) sob condições de deficiência hídrica nos estádios R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>5</sub>. A ocorrência de deficiência hídrica entre os estádios V<sub>3</sub> e V<sub>6</sub> e entre V<sub>8</sub> e V<sub>11</sub> reduziu o número de grãos por espiga em 9 a 26%, resultando em decréscimo de 32% no rendimento de grãos (Moser *et al.* 2006). Reduções no rendimento de grãos superiores a 90% já foram observadas em anos com ocorrência de deficiência hídrica severa durante o período mais crítico da planta de milho (Çakir, 2004). Estes mesmos autores verificaram decréscimos no rendimento de grãos variável de 4 a 30% com a ocorrência de deficiência hídrica no período vegetativo do milho (até o estágio V<sub>6</sub>) e de 14 a 24% quando a deficiência hídrica ocorreu no estágio R<sub>3</sub>.

Com uso de altas densidades de plantas em milho, associado à ocorrência de deficiência hídrica, pode haver maior esterilidade de plantas e redução acentuada do rendimento de grãos, devido ao aumento da competição intra-específica (Westgate, 1994). Contudo, a antecipação da época de semeadura, juntamente com o uso de híbridos mais precoces, podem constituir-se em estratégias para minimizar os efeitos da deficiência hídrica, devido à menor probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica no período mais crítico da planta. Neste contexto, o incremento da densidade de plantas na semeadura de final de inverno nas regiões mais quentes do Sul do Brasil pode ser uma importante estratégia para compensar o menor desenvolvimento das plantas, devido à ocorrência de menores temperatura do ar e radiação solar em relação à época de semeadura de outubro.

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; Sangoi *et al.*, 2001) e níveis de manejo (Peixoto *et al.*, 1999). Entretanto, poucas pesquisas foram realizadas para estudar a interação entre a densidade de plantas e o nível de disponibilidade hídrica, nas semeaduras antecipadas para escapar da deficiência hídrica no

período mais crítico da cultura. Em um experimento conduzido em Eldorado do Sul-RS no ano de 1998/99, não se observou aumento do rendimento de grãos do milho semeado em agosto com o incremento da densidade de plantas de 5 para 9 pl m<sup>-2</sup> (Silva *et al.*, 1999). Todavia, o teto de rendimento de grãos obtido nessa pesquisa foi de 6 t ha<sup>-1</sup>, bem abaixo do potencial dos híbridos atuais disponíveis no mercado. Mais recentemente, com a liberação de novos híbridos com maior potencial de rendimento de grãos cultivados sob alto nível de manejo, tem-se atingido rendimentos superiores a 10 t ha<sup>-1</sup> e atingindo até 17,3 t ha<sup>-1</sup> na semeadura realizada na segunda quinzena de agosto nesse mesmo local (Forsthofer *et al.*, 2006; Vieira *et al.*, 2007; Piana *et al.*, 2008; Endrigo *et al.*, 2009). Em todos esses trabalhos, esses altos rendimentos foram obtidos sob condições de irrigação. Assim, é importante a avaliação da resposta desses novos híbridos à densidade de plantas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento do milho, em semeaduras realizadas no final do inverno.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de execução do estudo

Cinco experimentos foram conduzidos a campo, sendo dois na estação de crescimento 2008/09 e três em 2009/10, na Estação Experimental Agrônômica, 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 do tipo 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 509 cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, enquanto junho e julho são os meses mais frios. A temperatura média anual é de 14,9 °C, sendo a média das mínimas de 14,8 °C e a média das máximas de 24,3 °C. A precipitação média anual é de 1.440 mm, apresentando, frequentemente, períodos de deficiência hídrica entre os meses de novembro a março, período que abrange o florescimento, a formação e o enchimento de grãos de milho na semeadura realizada em outubro (Bergamaschi *et al.*, 2003).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). Para avaliação dos atributos físico-químicos do solo, foram coletadas amostras na profundidade de 0-10 cm. No primeiro ano (abril de 2008), as amostras apresentaram os seguintes valores: argila: 25 % (m/v); pH (água): 5,2; Índice

SMP: 6,1; P: 31 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); K: 225 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); MO: 2,3 % (m/v) e CTC: 10,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. No segundo ano (junho de 2009), as amostras apresentaram os seguintes valores: argila: 24 % (m/v); pH (água): 5,6; Índice SMP: 6,1; P: 32 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); K: 186 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); MO: 3,2 % (m/v) e CTC: 11,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

A área experimental vem sendo conduzida sob sistema de semeadura direta há 19 anos. No verão, é feita rotação entre as culturas de soja e milho, sendo que metade da área é cultivada com milho e metade com soja. 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.

As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos, do Departamento de Solos, e as do teor de N na parte aérea do milho no Laboratório de Fisiologia Vegetal, do Departamento de Plantas de Lavoura, da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

### **3.2 Tratamentos e delineamento experimental**

Na primeira estação de crescimento (2008/09), foram realizados dois experimentos, sendo um com irrigação sempre que necessário durante todo o ciclo da cultura e um com irrigação apenas durante o período mais crítico da cultura do milho, quando necessário (estádio V<sub>15</sub> até R<sub>2</sub>, conforme escala de Ritchie et al., 1993). Em cada experimento, os tratamentos constaram de quatro densidades de plantas (5,0; 7,0; 9,0 e 11,0 pl m<sup>-2</sup>) e quatro híbridos simples de ciclo precoce: AS 1565 (da empresa Agroeste Sementes), P 30R50 (da Pioneer Sementes), D 2B707 (da Dow Agrosience) e NB 7502 (da Syngenta Seeds). O delineamento experimental utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, dispostos em fatorial 4x4, com três repetições.

Na segunda estação de crescimento (2009/10), foram realizados três experimentos sob diferentes condições de disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento do milho. Além dos dois níveis de disponibilidade hídrica utilizados na estação anterior, foi acrescentado um nível sob condições naturais de precipitação pluvial durante todo o ciclo. Nos três experimentos, os tratamentos constaram de quatro densidades de plantas (5,0; 7,0; 9,0 e 11,0 pl m<sup>-2</sup>) e três híbridos simples de milho de ciclo precoce: P 30R50 (da empresa Pioneer Sementes), D 2A550 (da empresa Dow Agrosience) e Status (da empresa Syngenta Seeds). O delineamento experimental utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, dispostos em fatorial 3 x 4, com quatro repetições.

Optou-se em determinar a resposta do milho em uma ampla faixa de densidades de plantas para contemplar a recomendação atual para a cultura e, também, a tendência atual de incremento na densidade com o surgimento de híbridos modernos, especialmente em semeaduras de final de inverno (agosto à primeira quinzena de setembro) nas regiões mais quentes do Estado do RS, como a da Depressão Central.

### **3.3 Manejo da cobertura de solo no inverno**

Na primeira estação de crescimento, aplicou-se 1,3 t ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT 76%) para correção da acidez do solo para pH 5,5, na segunda quinzena de maio.

Nas duas estações de crescimento, o nabo forrageiro foi semeado na segunda quinzena de maio, em linhas, na densidade de 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes e espaçamento entre linhas de 17,0 cm. A adubação de base para o nabo forrageiro constou da aplicação de 10, 60 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, utilizando-se 200 kg ha<sup>-1</sup> de adubo químico NPK, da fórmula 5-30-15. A emergência ocorreu aos 14 dias após a semeadura. Em cobertura foram aplicados 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia, quando as plantas apresentavam de cinco a seis folhas completamente expandidas. O nabo foi dessecado com o herbicida de ação total glyphosate (2400 g ha<sup>-1</sup>) no estágio de plena floração (13 de

agosto de 2008 e 19 de agosto de 2009), respectivamente aos 14 e 28 dias antes da semeadura do milho. Por ocasião da dessecação, foram coletadas amostras para determinação do rendimento de massa seca da parte aérea. O nabo forrageiro foi rolado com o implemento rolo-faca aos oito e 20 dias antes da semeadura do milho, respectivamente no primeiro e segundo anos.

### **3.4 Manejo da cultura do milho**

Na primeira estação de crescimento, o milho foi semeado no dia 27 de agosto de 2008. Foi efetuado tratamento de sementes com o inseticida thiodicarbe, na dose de 7,0 g kg<sup>-1</sup> de sementes. Já na segunda estação de crescimento, o milho foi semeado no dia 16 de setembro de 2009. Nesta estação, embora a semeadura tenha sido realizada na segunda quinzena de agosto de 2009, devido a problemas na semeadura e à ocorrência de alta infestação de lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*), foi necessário fazer a ressemeadura em setembro. Foi efetuado tratamento de sementes com o inseticida carbofuran, na dose de 20,0 g kg<sup>-1</sup> de sementes.

Nos dois anos, o milho foi semeado em sistema de semeadura direta, com auxílio de semeadora manual (saraquá), em sucessão ao nabo forrageiro. A adubação na semeadura foi baseada na análise de solo e seguiu as indicações técnicas para obtenção de altos rendimentos de grãos (>12 t ha<sup>-1</sup>) (Indicações, 2008). Aplicou-se 20, 120 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, na forma de adubo químico pela mistura de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-30-15 mais 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O).

A emergência das plântulas ocorreu aos 18 dias (14 de setembro de 2008) e aos 11 dias (27 de setembro de 2009) após a semeadura, na primeira e segunda estações de crescimento, respectivamente. O ajuste das densidades de plantas foi efetuado no estágio V<sub>2-3</sub>, aos 14 dias após a emergência, pelo desbaste manual.

No primeiro ano, a adubação nitrogenada de cobertura, na forma de uréia, foi de 230 kg ha<sup>-1</sup> de N, dividido em três parcelas, sendo 80 kg ha<sup>-1</sup> aplicados no estágio V<sub>5-6</sub>, 100 kg ha<sup>-1</sup> aplicados no estágio V<sub>9-10</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> no estágio V<sub>15</sub>, conforme escala de Ritchie *et al.* (1993). Já no segundo ano, a adubação de cobertura foi de 270 kg ha<sup>-1</sup> de N, dividido em três parcelas, sendo 90 kg ha<sup>-1</sup> aplicada no estágio V<sub>3-4</sub>, na forma de uréia, 90 kg ha<sup>-1</sup> aplicada no estágio V<sub>9-10</sub> e 90 kg ha<sup>-1</sup> no estágio V<sub>15</sub>, na forma de uréia tratada com inibidor da urease NBTPT.

No primeiro ano, cada unidade experimental foi composta por 10 linhas de 5,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,4 m entrelinhas, totalizando uma área de 20 m<sup>2</sup>, e por oito linhas de 5,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,4 m entre linhas, totalizando uma área de 16 m<sup>2</sup>, no segundo ano.

Nos dois anos, a necessidade de irrigação do milho nos experimentos com irrigação sempre que necessário durante todo o ciclo e no irrigado apenas durante o período mais crítico foi estimada pelo monitoramento da umidade do solo com o aparelho TDR. Este equipamento determina o conteúdo de água do solo a partir da estimativa da constante dielétrica calculada, usando-se a técnica da reflectometria no domínio do tempo. Esta técnica é baseada no tempo de emissão/reflexão de um pulso eletromagnético, emitido por um gerador de pulsos, que varia em função do conteúdo de água do solo, gerando um valor adimensional.

Para determinar o momento de realizar a irrigação e a lâmina de água a ser aplicada foi preciso obter a curva de retenção de água do solo e calibrar o equipamento TDR. A curva de retenção de água do solo foi obtida pela coleta de solo indeformado, para determinação da sua umidade volumétrica, e pela realização de um ensaio com o equipamento “painéis de pressão” em laboratório. A curva de retenção fornece a umidade volumétrica do solo referente ao “limite hídrico inferior” (LHI), que é o limite mínimo de tensão no qual as raízes conseguem absorver água do solo (que varia com a cultura), e a

capacidade de campo (CC), que é a tensão referente à capacidade do solo em reter água (que varia com o tipo de solo). Já a calibração do TDR relaciona o valor adimensional dado pelo aparelho com a respectiva umidade volumétrica do solo no momento em que está sendo realizada a medição. A tensão referente ao LHI da cultura do milho é de 0,5 atm (Taylor apud Millar, 1984). Utilizando a tensão referente ao LHI, pela curva de retenção obteve-se a umidade volumétrica de 0,18 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). As irrigações eram realizadas sempre que a umidade do solo atingia esse valor, medido pelo equipamento TDR. No primeiro ano, foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão, com vazão de 8 mm h<sup>-1</sup>. Já no segundo ano foi utilizado um equipamento autopropelido com barras e bicos de aspersão, com vazão de 16 mm h<sup>-1</sup>. A precipitação pluvial ocorrida, os estádios de desenvolvimento da cultura, as irrigações efetuadas e a quantidade de água aplicada em cada irrigação e em cada experimento estão descritas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente para as estações de crescimento 2008/09 e 2009/10. Foram calculados os balanços hídricos considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm para as duas estações de crescimento, segundo metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955). Os balanços hídricos referentes ao primeiro e ao segundo ano estão discriminados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Nos dois anos, o controle de plantas daninhas foi efetuado em pós-emergência precoce, quando as plantas de milho estavam no estágio V<sub>3</sub>, utilizando-se a mistura dos herbicidas simazine e atrazine, nas doses de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de cada um dos produtos, e nicosulfuron, na dose de 32 g ha<sup>-1</sup>.

No primeiro ano, as pragas foram controladas de modo a não interferirem no rendimento de grãos e nas demais características agronômicas avaliadas, através de duas aplicações do inseticida teflubenzuron, na dose de 15 g ha<sup>-1</sup>, juntamente com o inseticida permethrin, na dose de 25 g ha<sup>-1</sup>. nos estádios V<sub>4</sub> e V<sub>8</sub>. Já no segundo ano foram necessárias três aplicações de inseticida, sendo a primeira em V<sub>4</sub> com o inseticida

cipermetrina, na dose de  $15 \text{ g ha}^{-1}$ , juntamente com os herbicidas, e a segunda e a terceira aplicações com a mistura dos inseticidas clorpirifós (na dose de  $480 \text{ g ha}^{-1}$ ) e diflubenzuron (na dose de  $25 \text{ g ha}^{-1}$ ) nos estádios  $V_6$  e  $V_9$ , respectivamente.

TABELA 1. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2008 a fevereiro de 2009 e quantidade de água aplicada nas irrigações do milho nos respectivos estádios de desenvolvimento nos experimentos com irrigação complementar sempre que necessário e com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (estádio V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>). Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Mês	Decêndio	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)		Estádio <sup>1</sup>
			Todo ciclo	Período crítico	
Ago	1	29,2	-	-	-
	2	99,5	-	-	-
	3	12,5	-	-	S
Set	1	105,0	-	-	S
	2	54,9	-	-	V <sub>1</sub>
	3	7,4	-	-	V <sub>3</sub>
Out	1	49,8	-	-	V <sub>5</sub>
	2	65,2	-	-	V <sub>7</sub>
	3	109,0	-	-	V <sub>9</sub>
Nov	1	8,3	20	-	V <sub>11</sub>
	2	14,5	72	-	V <sub>13</sub>
	3	34,9	48	48	V <sub>15</sub>
Dez	1	44,6	24	16	R <sub>1</sub>
	2	3,9	64	-	R <sub>2</sub>
	3	70,3	-	-	R <sub>3</sub>
Jan	1	91,2	-	-	R <sub>4</sub>
	2	35,3	-	-	R <sub>4</sub>
	3	71,3	-	-	R <sub>5</sub>
Fev	1	58,7	-	-	R <sub>5</sub>
	2	58,7	-	-	R <sub>6</sub>
	3	30,2	-	-	-
<b>Total</b>		1054,4	228	64	-

<sup>1</sup> Conforme escala de Ritchie *et al.* (1993). Legenda: S = semeadura; Ve = emergência; V<sub>1</sub> = uma folha completamente expandida, com colar visível; V<sub>2</sub> = duas folhas completamente expandidas, com colar visível; V<sub>n</sub> = n folhas completamente expandidas, com colar visível; VT = pendoamento; R<sub>1</sub> = espigamento; R<sub>2</sub> = grão em forma de bolha; R<sub>3</sub> = grão leitoso; R<sub>4</sub> = grão pastoso; R<sub>5</sub> = grão farináceo; R<sub>6</sub> = maturação fisiológica.

TABELA 2. Precipitação pluvial decendial ocorrida durante os meses de agosto de 2009 a fevereiro de 2010 e quantidade de água aplicada e seu respectivo estágio de aplicação nos experimentos com irrigação complementar sempre que necessário e com irrigação apenas no período mais crítico (estádio V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>) e no conduzido sob condições naturais de precipitação pluvial. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Mês	Decêndio	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)		Estádio <sup>1</sup>
			Todo ciclo	Período crítico	
Ago	1	200	-	-	-
	2	57	-	-	-
	3	0	-	-	-
Set	1	134	-	-	-
	2	101	-	-	S
	3	127	-	-	V <sub>1</sub>
Out	1	52	-	-	V <sub>3</sub>
	2	39	-	-	V <sub>5</sub>
	3	52	-	-	V <sub>7</sub>
Nov	1	127	-	-	V <sub>9</sub>
	2	195	-	-	V <sub>13</sub>
	3	84	-	-	V <sub>T</sub>
Dez	1	75	26	26	R <sub>1</sub>
	2	80	26	26	R <sub>2</sub>
	3	105	26	-	R <sub>2</sub>
Jan	1	56	-	-	R <sub>3</sub>
	2	77	26	-	R <sub>4</sub>
	3	1	52	-	R <sub>4</sub>
Fev	1	44	26	-	R <sub>5</sub>
	2	59	26	-	R <sub>5</sub>
	3	22	-	-	R <sub>6</sub>
<b>Total</b>		1687	208	52	-

<sup>1</sup> Conforme escala de Ritchie *et al.* (1993).

### **3.5 Parâmetros avaliados**

#### **3.5.1 Cultura do nabo forrageiro**

Para determinação do rendimento de massa seca da parte aérea do nabo foram coletadas, no dia da realização da dessecação, quatro amostras de 0,25 m<sup>2</sup> da parte aérea das plantas representativas da área experimental. Posteriormente, estas foram secas em estufa a 60 °C até atingir peso constante. Por regra de três simples, a produção de massa seca da área coletada foi extrapolada para um hectare. Os rendimentos de massa seca da parte aérea do nabo forrageiro obtidos foram de 3,8 e 4,5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente no primeiro e no segundo ano.

#### **3.5.2 Cultura do milho**

##### **3.5.2.1 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 atingida a camada preta nos grãos.

### **3.5.2.2 Índice de área foliar (IAF)**

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 totalmente expandidas e nas 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 subseqüentes, foram tomadas como medidas novas 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.

### **3.5.2.3 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.

#### **3.5.2.4 Rendimento de massa seca da parte aérea**

Esta determinação foi realizada no estágio do espigamento, coletando-se quatro plantas da linha número 2 de cada unidade experimental, que foram acondicionadas em estufa em temperatura de 60 °C até atingir peso constante. Este material foi pesado e os valores obtidos extrapolados para um hectare, por regra de três simples.

#### **3.5.2.5 Senescência foliar**

A senescência foliar foi avaliada no estágio R<sub>3</sub> (grãos leitosos), segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)). A senescência foliar foi obtida pela razão entre o número de folhas senescentes e o número total de folhas da planta. Foram consideradas folhas senescentes aquelas que apresentavam menos de 50% da área da folha verde.

#### **3.5.2.6 Diâmetro de colmo**

O diâmetro de colmo foi medido com paquímetro, por ocasião da maturação de colheita. A medição foi efetuada no segundo entrenó acima da superfície do solo, em cinco plantas por unidade experimental.

#### **3.5.2.7 Índice de colheita (IC)**

Esta determinação foi realizada por ocasião da colheita, coletando-se quatro plantas da linha número 2 de cada unidade experimental, que foram acondicionadas em estufa em temperatura de 60 °C até atingir peso constante. O IC foi obtido pela razão entre a massa seca dos grãos das quatro plantas da amostra pela sua massa seca total da parte aérea (folhas, colmo, pendão e brácteas, sabugo e grãos das espigas). Entretanto, devido à perda dos dados referentes à primeira estação, foram apresentados apenas os referentes ao segundo ano.

### **3.5.2.8 Teor de N na parte aérea da planta**

Nas plantas coletadas para avaliação do rendimento de massa seca da parte aérea por ocasião do espigamento, foi determinado o teor de nitrogênio (N), segundo a metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Esta avaliação foi realizada apenas no segundo ano. Em função da perda dos dados referentes ao híbrido D 2A550, foram apresentados apenas os dados referentes aos híbridos P 30R50 e Status.

### **3.5.2.9 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 m<sup>2</sup>) para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg<sup>-1</sup>.

O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela razão entre o número de espigas colhidas na unidade experimental pelo valor da sua área útil. 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<sup>-1</sup>, 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 de 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.

## **3.6 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo F-teste ( $p \leq 0,05$ ). No primeiro ano, foi realizada análise conjunta dos dois experimentos com dois níveis de disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura. Já no segundo ano, realizou-se a análise

conjunta dos três experimentos com três níveis de disponibilidade hídrica. Nos dois anos, considerou-se o nível de disponibilidade hídrica como fator aleatório pois, desta forma, há somente um resíduo (erro), aumentando o número de graus de liberdade. 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 a análise de regressão das variáveis em função da densidade de plantas e híbridos, testando-se os modelos linear e quadrático.

Os parâmetros avaliados, exceto a duração dos subperíodos de desenvolvimento e o número de plantas acamadas e quebradas, foram correlacionados com o rendimento de grãos pela análise de correlação de Pearson. Não se fez a análise conjunta dos dados dos dois anos pelas seguintes razões: com exceção de um híbrido, os demais diferiram nos dois anos; a época de semeadura, a dose e a fonte do adubo nitrogenado aplicado em cobertura e o sistema de irrigação foram diferentes nos dois anos.

## **4 RESULTADOS**

Para melhor entendimento, inicialmente serão abordados os parâmetros referentes aos dados meteorológicos das estações de crescimento 2008/09 e 2009/10. Em seguida, serão apresentados os resultados referentes aos parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta, e, por fim, os referentes aos componentes do rendimento e ao rendimento de grãos do milho.

### **4.1 Dados meteorológicos referentes às estações de crescimento 2008/09 e 2009/10**

#### **4.1.1 Radiação solar global**

Com relação à radiação solar global, verifica-se que a normal climática, relativa ao período de 1969 a 1999, aumenta a partir do segundo decêndio de junho. No período de realização do presente estudo, a radiação solar global parte de  $220 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , no primeiro decêndio de agosto, até atingir o máximo de  $511 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , no segundo decêndio de dezembro (Figura 1).

Na estação de crescimento 2008/09 a radiação solar global foi maior em relação à normal climática durante a maior parte do ciclo do milho, com apenas um pequeno período de menor radiação em relação à normal, compreendido entre o segundo e o terceiro decêndios de outubro. Do primeiro decêndio de novembro ao segundo decêndio de fevereiro, que compreendeu o período entre os estádios  $V_{11}$  e  $R_6$  do desenvolvimento da

planta, a radiação solar foi, em média, 26% maior em relação à normal climática, atingindo o máximo de  $724 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , no terceiro decêndio de novembro (Figura 1).

Na segunda estação de crescimento (2009/10), houve dois períodos em que a radiação solar foi menor em relação à normal climática. O primeiro ocorreu do primeiro decêndio de novembro ao primeiro decêndio de dezembro, abrangendo desde pouco antes do estágio  $V_{11}$  até o estágio  $R_1$ , e o segundo do terceiro decêndio de dezembro ao primeiro decêndio de janeiro, abrangendo o período inicial do enchimento de grãos. Nos demais subperíodos, a radiação solar global foi maior em relação à normal climática, atingindo o máximo de  $572 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , no segundo decêndio de dezembro (Figura 1).

Na primeira estação de crescimento a radiação solar foi 25% maior em relação ao segundo ano no período compreendido entre o estágio  $V_{11}$  até o final do enchimento de grãos (Figura 1).

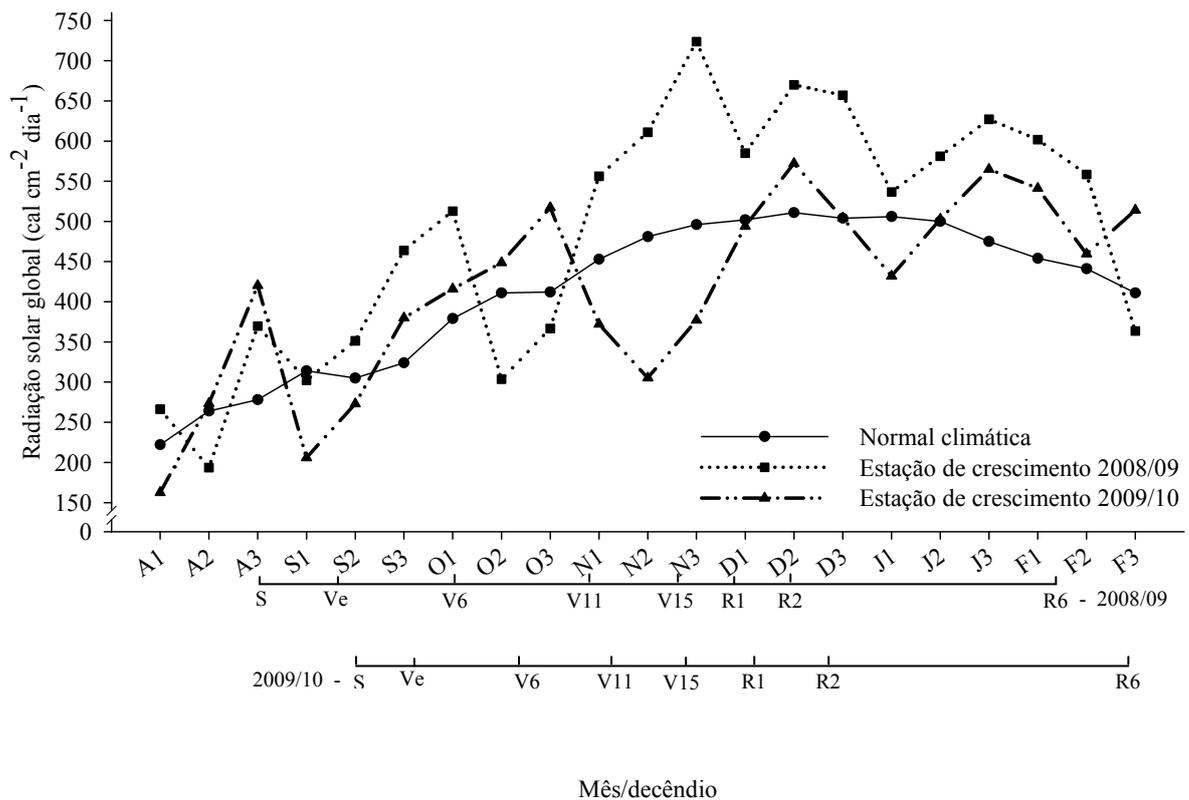


FIGURA 1. Radiação solar global por decêndio nos meses de agosto a fevereiro referentes às estações de crescimento 2008/09 e 2009/10 e à média do período de 1969 a 1999. Eldorado do Sul-RS. Fontes: Bergamaschi *et al.* (2003) e Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia – UFRGS (2010).

#### 4.1.2 Temperatura média do ar

A normal climática indica um aumento da temperatura média a partir do segundo decêndio de junho. No período de realização do estudo, a temperatura se eleva de agosto (em torno de 16° C) até atingir o máximo de 24,8 °C, no terceiro decêndio de janeiro (Figura 2).

Na primeira estação de crescimento (2008/09), a temperatura média do ar foi menor em relação à normal climática durante todo o ciclo da cultura, exceto no período entre o segundo decêndio de outubro e meados do primeiro decêndio de novembro, correspondendo ao período entre os estádios V<sub>7</sub> a V<sub>11</sub>. Nessa estação de crescimento, a temperatura do ar foi, em média, 6% menor em relação à normal climática (Figura 2).

No segundo ano, houve três períodos em que a temperatura média do ar foi menor em relação à normal climática. O primeiro ocorreu do terceiro decêndio de setembro ao terceiro decêndio de outubro, abrangendo desde a emergência até o estágio V<sub>11</sub>. O segundo ocorreu do primeiro decêndio de dezembro até o segundo decêndio de dezembro, abrangendo o florescimento e o início do enchimento de grãos (R<sub>2</sub>). Por fim, a temperatura foi menor que a normal climática durante o mês de janeiro, englobando metade do subperíodo de enchimento de grãos (Figura 2).

Na segunda estação de crescimento a temperatura média do ar foi maior em relação à verificada no primeiro ano durante praticamente todo o ciclo do milho (Figura 2).

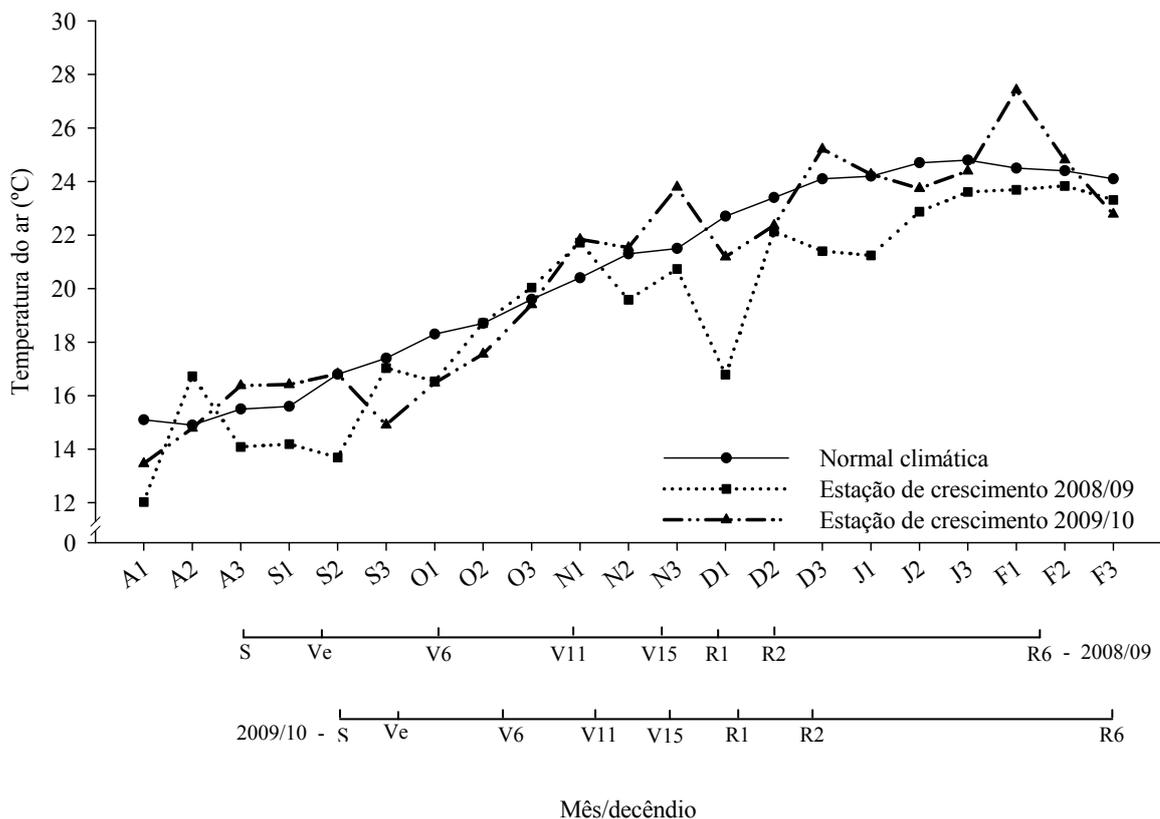


FIGURA 2. Temperatura do ar, por decêndio, nos meses de agosto a fevereiro referentes às estações de crescimento 2008/09 e 2009/10 e à média do período de 1970 a 2000. Eldorado do Sul-RS. Fontes: Bergamaschi *et al.* (2003) e Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia – UFRGS (2010).

#### 4.1.3 Disponibilidade hídrica

Na primeira estação de crescimento (2008/09), verificou-se a ocorrência de três períodos de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho. Inicialmente ocorreu deficiência hídrica no terceiro decêndio de setembro, correspondendo ao estágio V<sub>3</sub>. Posteriormente, houve outro período de deficiência que se estendeu do primeiro decêndio de novembro ao final do segundo decêndio de dezembro, englobando o período correspondente aos estádios V<sub>11</sub> a R<sub>2</sub>, abrangendo o período mais crítico da cultura em relação à deficiência hídrica (V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>). Por fim, ocorreu deficiência hídrica no segundo decêndio de janeiro, correspondendo ao estágio R<sub>4</sub> (Figura 3).

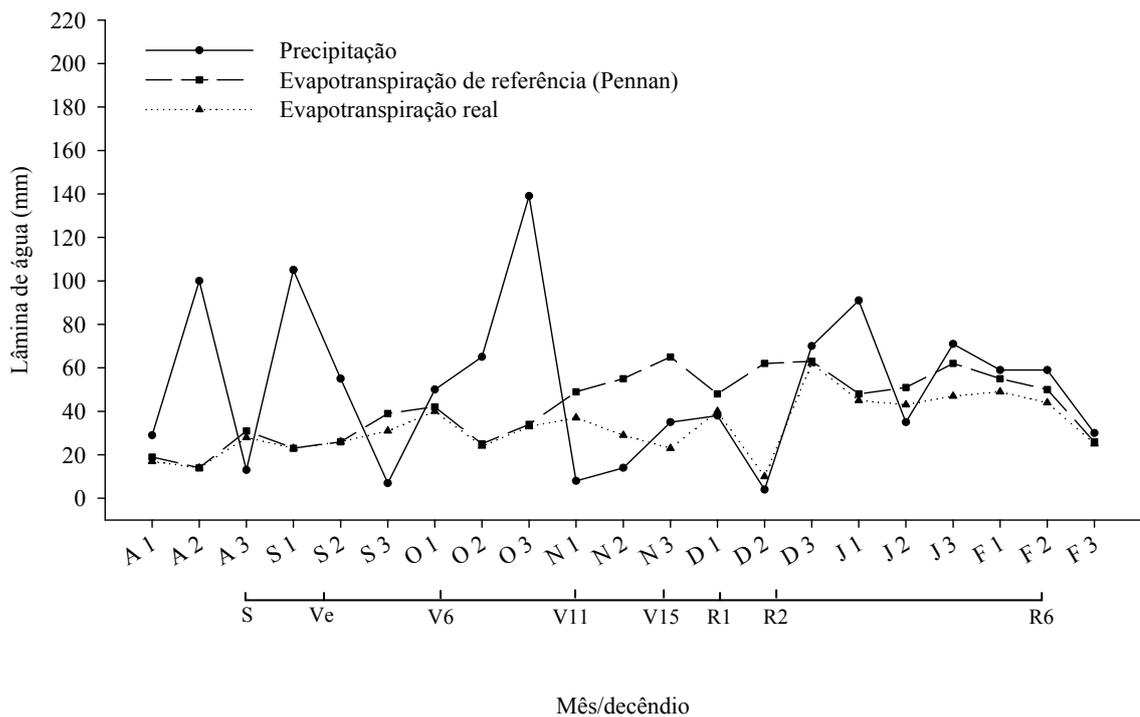


FIGURA 3. Balanço hídrico referente ao período de agosto de 2008 a fevereiro de 2009 abrangendo a primeira estação de crescimento do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

No segundo ano, ocorreu deficiência hídrica apenas no terceiro decêndio de janeiro, coincidindo com a parte final do enchimento de grãos, estágio R<sub>5</sub> (Figura 4). Nessa

estação, em decorrência do fenômeno El Niño, houve elevada precipitação pluvial durante todo o ciclo do milho, com volume acima do requerido pela cultura e uniformemente distribuído durante o ciclo de desenvolvimento da planta.

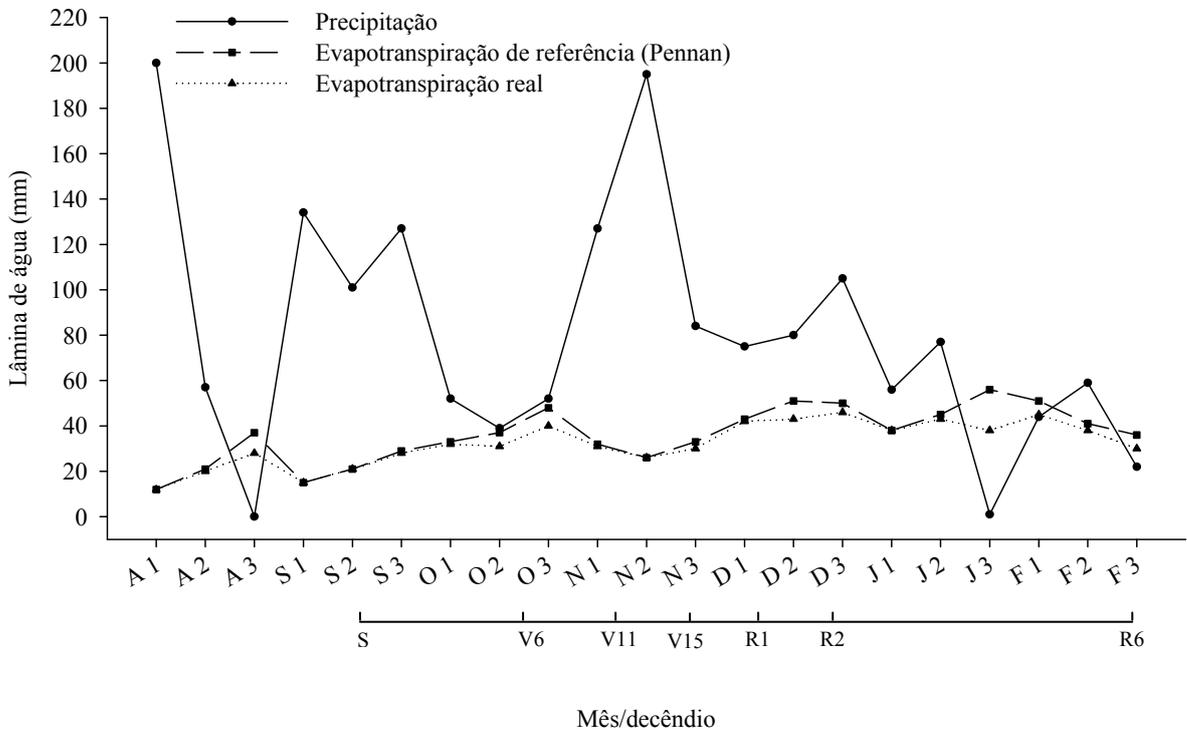


FIGURA 4. Balanço hídrico referente ao período de agosto de 2009 a fevereiro de 2010 abrangendo a segunda estação de crescimento do milho, considerando a capacidade de água disponível no solo de 75 mm. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

## 4.2 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta

### 4.2.1 Duração dos subperíodos de desenvolvimento

Na primeira estação de crescimento (2008/09), a duração do subperíodo emergência-pendoamento não variou entre os quatro híbridos testados (Tabela 3). Já os subperíodos pendoamento-espigamento e emergência-maturação fisiológica apresentaram pequena variação entre híbridos. A duração do subperíodo pendoamento-espigamento foi semelhante entre os híbridos. Os híbridos AS 1565 e P 30R50 apresentaram menor ciclo de desenvolvimento em relação aos híbridos D 2B707 e NB 7502.

A duração dos três subperíodos não variou em função de nível de disponibilidade hídrica e densidade de plantas.

TABELA 3. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

<b>Híbrido</b>	<b>Duração dos subperíodos (dias)</b>		
	<b>Emerg.-pend.<sup>1</sup></b>	<b>Pend.-esp.</b>	<b>Emerg.-mat. fis.</b>
<b>AS 1565</b>	75	2	143
<b>D 2B707</b>	75	4	146
<b>NB 7502</b>	75	2	148
<b>P 30R50</b>	75	2	143

<sup>1</sup> Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Emerg.-mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

No segundo ano, as durações dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento foi semelhante entre os três híbridos testados (Tabela 4). O híbrido D 2A550 foi o que apresentou menor duração do subperíodo emergência-maturação fisiológica, sendo o mais precoce.

A duração desses três subperíodos não variou em função de nível de disponibilidade hídrica e densidade de plantas.

TABELA 4. Duração dos subperíodos de desenvolvimento de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

<b>Híbrido</b>	<b>Duração dos subperíodos (dias)</b>		
	<b>Emerg.-pend.<sup>1</sup></b>	<b>Pend.-esp.</b>	<b>Emerg.-mat. fis.</b>
<b>D 2A550</b>	69	1	136
<b>P 30R50</b>	73	0	149
<b>Status</b>	72	0	149

<sup>1</sup> Emerg.-pend. = subperíodo emergência-pendoamento. Pend.-esp. = subperíodo pendoamento-espigamento. Emerg.-mat.fis. = subperíodo emergência-maturação fisiológica.

#### 4.2.2 Índice de área foliar (IAF)

Na primeira estação de crescimento (2008/09), nos estádios  $V_6$  e  $V_{10}$ , foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e híbrido. O IAF aumentou de forma linear com o incremento na densidade de plantas (Figura 5). Nos estádios  $V_6$  e  $V_{10}$ , o IAF aumentou, respectivamente, em 129% e 109% com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0  $\text{pl m}^{-2}$ .

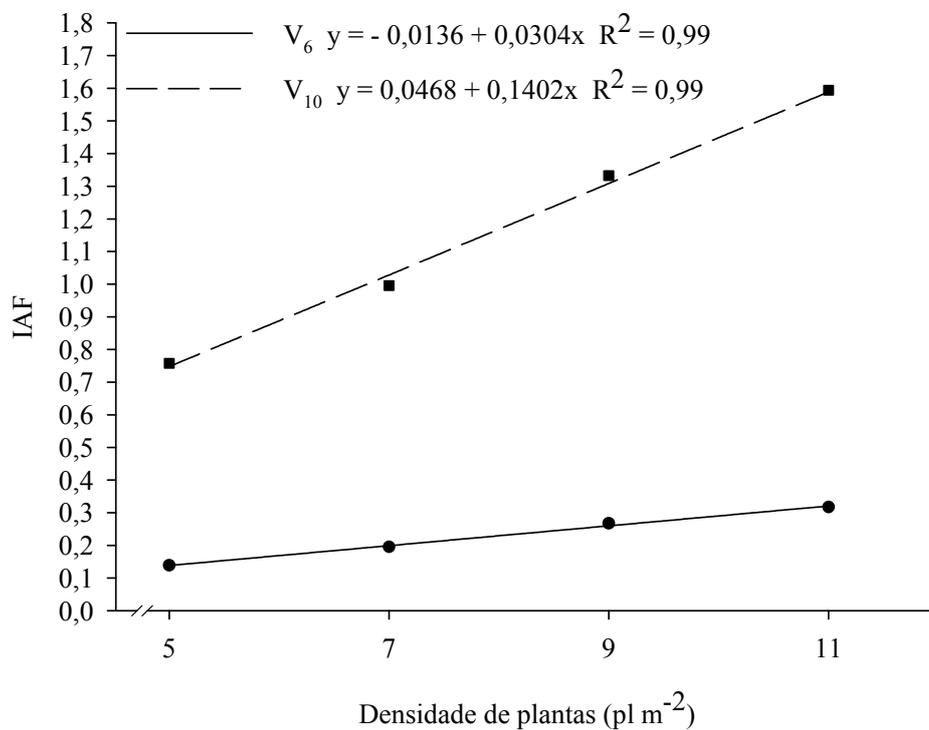


FIGURA 5. Índice de área foliar (IAF) nos estádios  $V_6^1$  e  $V_{10}$  em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

No estádio  $V_6$ , o híbrido AS 1565 apresentou menor IAF em relação aos outros três híbridos. (Tabela 5). Já no estádio  $V_{10}$ , não houve diferenças significativas entre híbridos avaliados.

TABELA 5. Índice de área foliar (IAF) nos estádios V<sub>6</sub><sup>1</sup> e V<sub>10</sub> de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Estádio <sup>1</sup>	
	V <sub>6</sub>	V <sub>10</sub>
	<b>IAF</b>	
<b>AS 1565</b>	B* 0,20	A 0,99
<b>D 2B707</b>	A 0,24	A 1,17
<b>NB 7502</b>	A 0,25	A 1,30
<b>P 30R50</b>	A 0,23	A 1,21
<b>CV<sup>2</sup></b>	17,6	19,3

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). <sup>2</sup> Coeficiente de variação. \* Nas colunas, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

No emborrachamento (estádio V<sub>15</sub>), foram significativos a interação de nível de disponibilidade hídrica e híbrido e o efeito simples de densidade de plantas. Os híbridos AS 1565 e NB 7502 apresentaram maior IAF nos tratamentos com irrigação durante todo ciclo em relação aos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (Tabela 6). Já os híbridos D 2B707 e P 30R50 não variaram o IAF em função do nível de disponibilidade hídrica. Em ambos os níveis de disponibilidade hídrica, o híbrido AS 1565 foi o que apresentou menor IAF em relação aos outros três híbridos.

TABELA 6. Índice de área foliar no emborrachamento (estádio V<sub>15</sub>) de quatro híbridos de milho, sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Nível de disponibilidade hídrica		CV <sup>2</sup> (%)
	Irrigado todo ciclo	Irrigado no período crítico <sup>1</sup>	
	<b>IAF</b>		
<b>AS 1565</b>	C* 3,85 a	B 3,41 b	6,8
<b>D 2B707</b>	B 4,09 a	A 4,04 a	
<b>NB 7502</b>	A 4,52 a	A 4,15 b	
<b>P 30R50</b>	A 4,37 a	A 4,23 a	

<sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub> segundo 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 ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

Na avaliação realizada no estágio  $V_{15}$ , o IAF aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 6). O aumento do IAF com o incremento na densidade de 5,0 para 11,0  $\text{pl m}^{-2}$  foi de 99%.

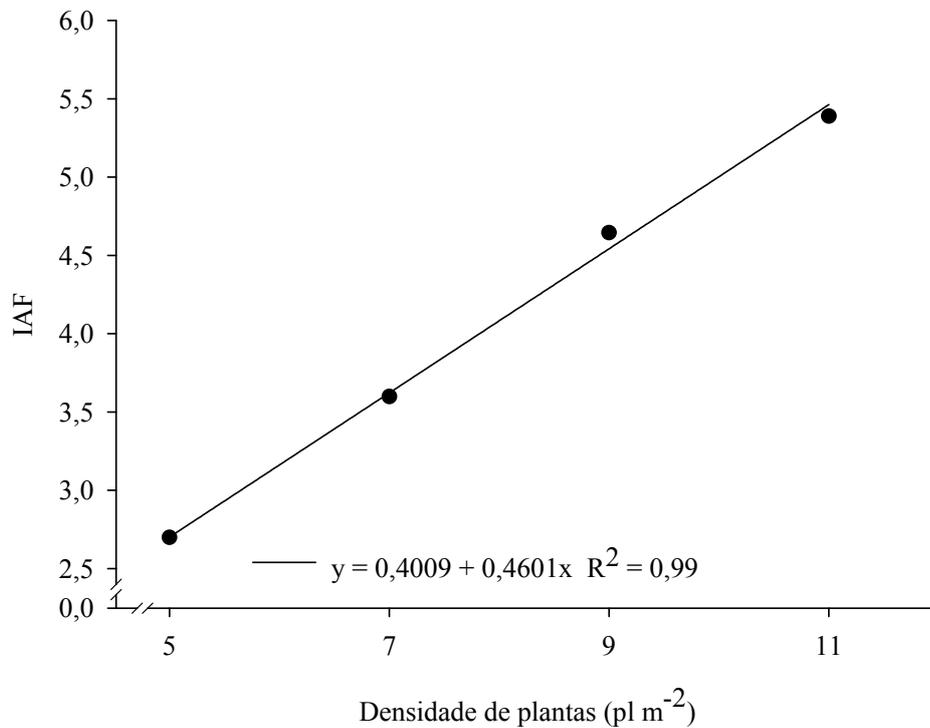


FIGURA 6. Índice de área foliar (IAF) no emborrachamento (estádio  $V_{15}^1$ ) em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie et al. (1993).

No espigamento (estádio  $R_1$ ), foram significativos os efeitos simples de nível de disponibilidade hídrica, densidade de plantas e híbrido. Nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, o IAF foi 9% maior em relação aos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, sendo de, respectivamente, 6,0 e 5,5. Nesse estágio, a resposta do IAF ao incremento da densidade de plantas foi linear (Figura 7). Com o incremento na densidade de 5,0 para 11,0  $\text{pl m}^{-2}$ , o IAF aumentou 94%.

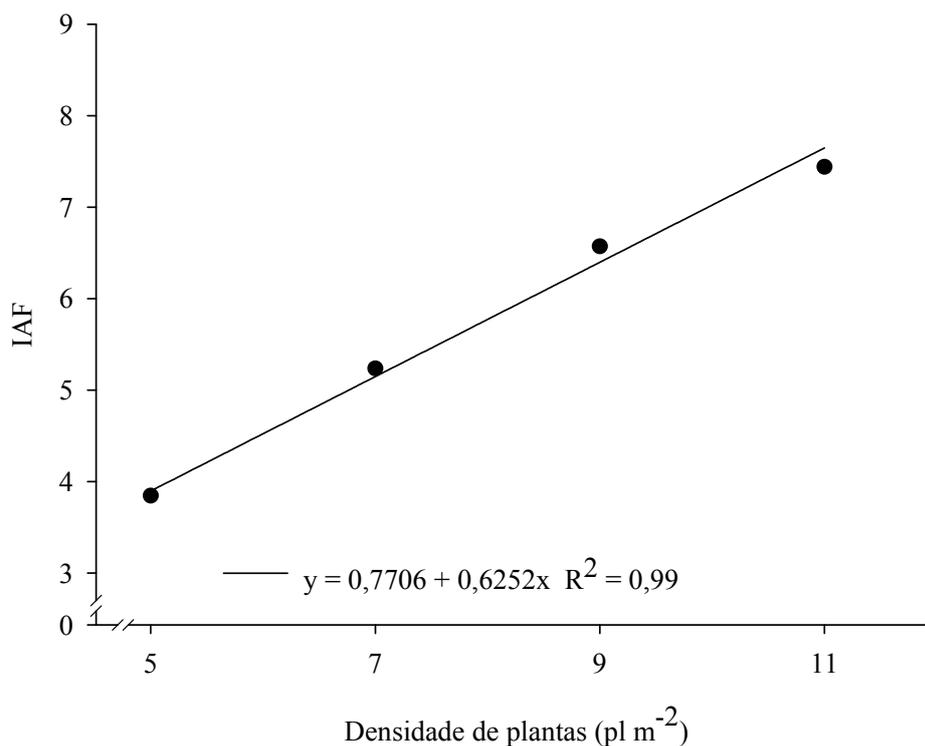


FIGURA 7. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (estádio R<sub>1</sub><sup>1</sup>) em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

O híbrido AS 1565 foi o que apresentou menor IAF, embora não tenha se diferenciado estatisticamente dos híbridos NB 7502 e P 30R50 (Tabela 7).

TABELA 7. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (estádio R<sub>1</sub><sup>1</sup>) de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	IAF	CV <sup>2</sup> (%)
AS 1565	B* 5,5	8,9
D 2B707	A 6,0	
NB 7502	AB 5,8	
P 30R50	AB 5,8	

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). <sup>2</sup> Coeficiente de variação. \* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

Na estação de crescimento 2009/10, na avaliação realizada no estágio V<sub>6</sub>, houve interação de densidade de plantas e híbrido. O IAF aumentou de forma linear com o

incremento da densidade de plantas para os três híbridos (Figura 8). No entanto, o híbrido P 30R50 apresentou menor variação no IAF com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0  $\text{pl m}^{-2}$  em relação aos híbridos D 2A550 e Status.

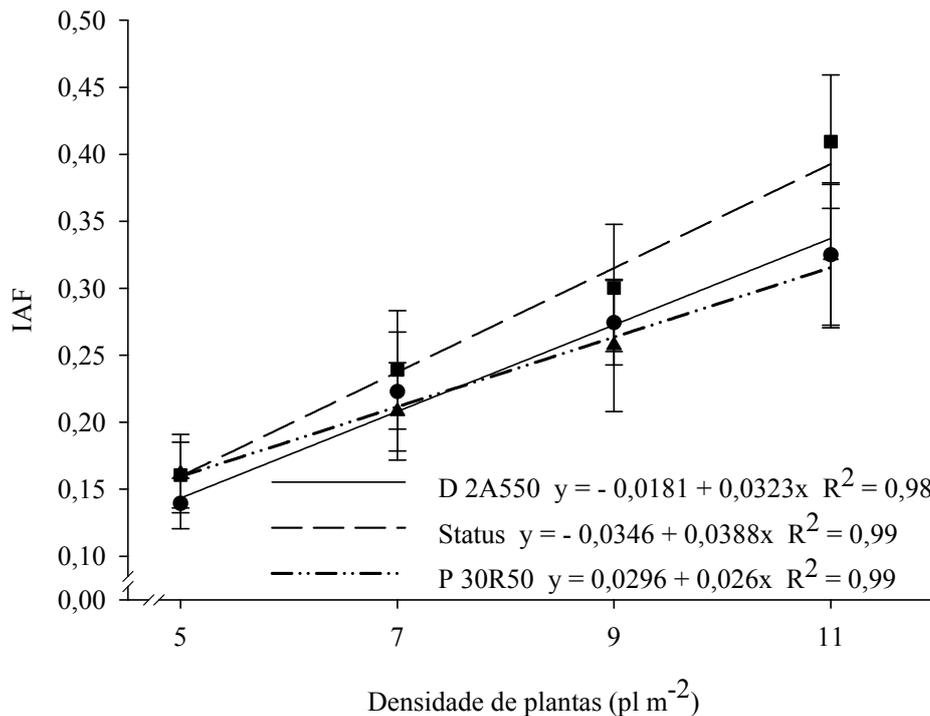


FIGURA 8. Índice de área foliar (IAF) no estágio  $V_6^1$  de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

Nos estádios  $V_{10}$ ,  $V_{15}$  e  $R_1$  foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e híbrido de milho. O IAF aumentou de forma linear com o incremento da densidade de plantas (Figura 9). Os aumentos do IAF nos estádios  $V_{10}$ ,  $V_{15}$  e  $R_1$  com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0  $\text{pl m}^{-1}$  foram de, respectivamente, 111, 96 e 83%.

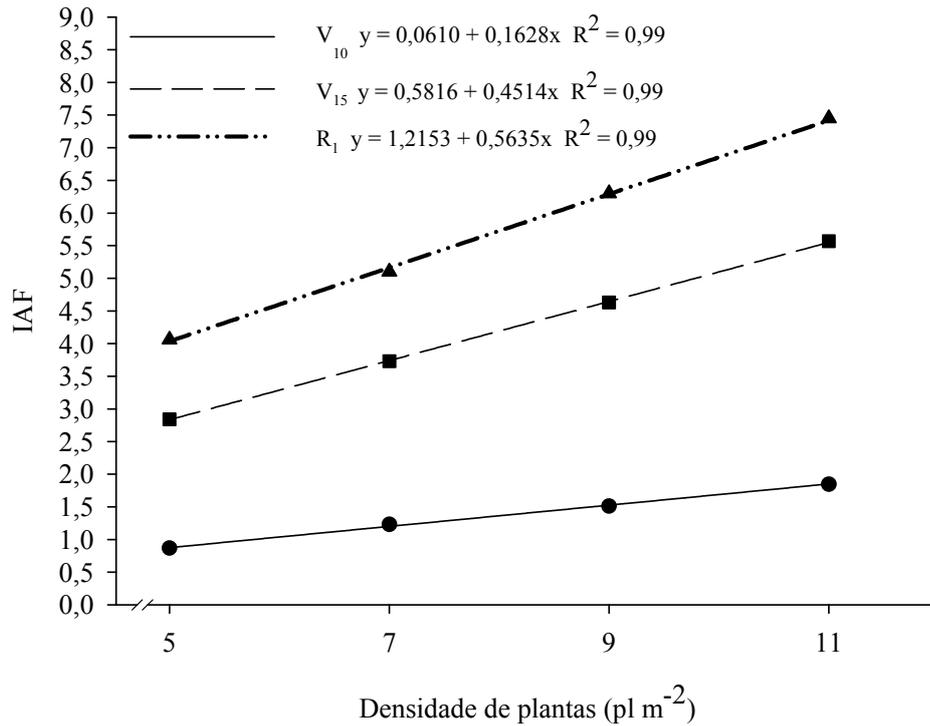


FIGURA 9. Índice de área foliar (IAF) nos estádios  $V_{10}^1$ ,  $V_{15}$  e  $R_1$  em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2009/10. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

No estágio  $V_{10}$ , o híbrido Status apresentou maior IAF em relação aos híbridos P 30R50 e D2A550 (Tabela 8). Já nos estádios  $V_{15}$  e  $R_1$ , os híbridos P 30R53 e Status apresentaram maior IAF em relação ao D 2A550.

TABELA 8. Índice de área foliar (IAF) nos estádios  $V_{10}^1$ ,  $V_{15}$  e  $R_1$  de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Híbrido	Estádio		
	$V_{10}$	$V_{15}$	$R_1$
IAF			
<b>D 2A550</b>	B* 1,32	B 4,09	B 5,27
<b>P 30R50</b>	B 1,34	A 4,29	A 6,03
<b>Status</b>	A 1,45	A 4,27	A 5,97
<b>CV<sup>2</sup></b>	13,9	9,1	9,6

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

### 4.2.3 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento (estádio R<sub>1</sub>)

Na estação de crescimento 2008/09, foram significativos os efeitos simples de nível de disponibilidade hídrica, densidade de plantas e híbrido. O rendimento de massa seca da parte aérea foi 27% maior nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo (14,1 t ha<sup>-1</sup>) em relação aos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (11,1 t ha<sup>-1</sup>). O rendimento de massa seca da parte aérea do milho aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas (Figura 10). A densidade que proporcionou o maior rendimento de massa seca, foi a de 11,0 pl m<sup>-2</sup>. O incremento na densidade de plantas de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup> aumentou em 35% essa característica.

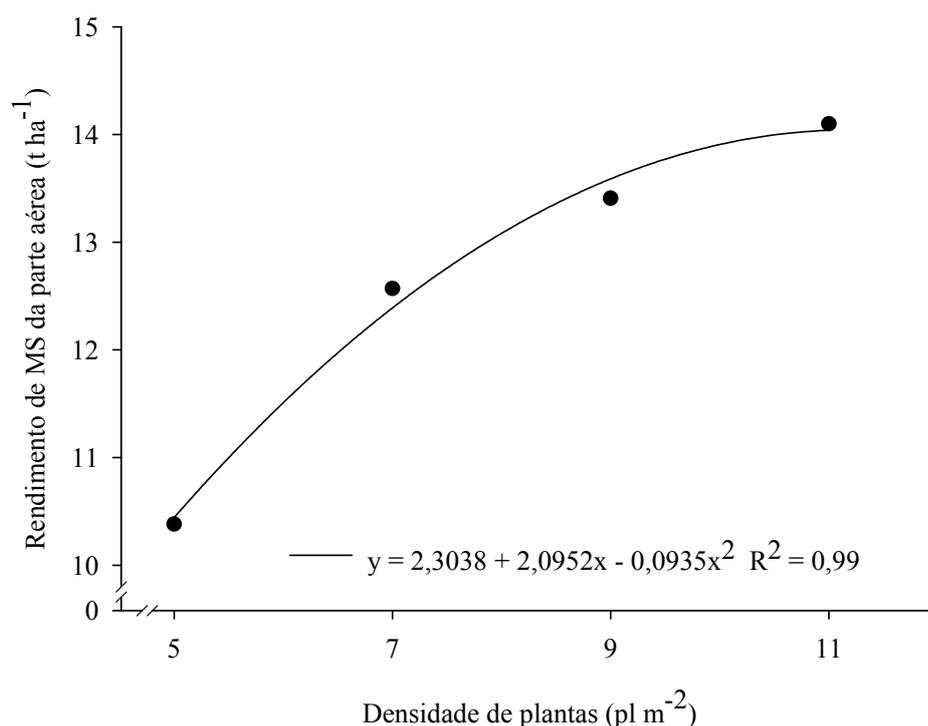


FIGURA 10. Rendimento de massa seca da parte aérea (MS) no espigamento (estádio R<sub>1</sub><sup>1</sup>) em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

No espigamento, o híbrido P 30R50 apresentou maior rendimento de massa seca da parte aérea em relação ao D 2B707 e ao AS 1565, mas não diferiu do híbrido NB 7502 (Tabela 9).

TABELA 9. Rendimento de massa seca da parte aérea (MS) no espigamento (estádio R<sub>1</sub><sup>1</sup>) de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Rendimento de MS (t ha <sup>-1</sup> )	CV <sup>2</sup> (%)
AS 1565	C* 11,9	13,9
D 2B707	BC 12,1	
NB 7502	AB 13,1	
P 30R50	A 13,2	

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e híbrido. O rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas (Figura 11). A densidade que proporcionou maior rendimento de massa seca, foi a de 10,8 pl m<sup>-2</sup>. O incremento na densidade de plantas de 5,0 para 10,8 pl m<sup>-2</sup> aumentou essa característica em 39%.

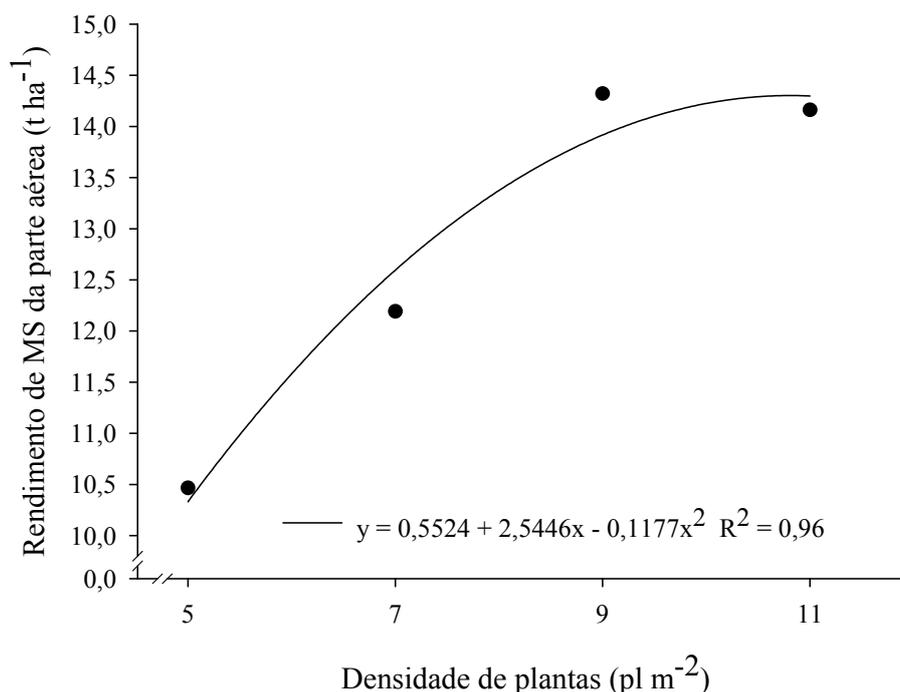


FIGURA 11. Rendimento de massa seca da parte aérea (MS) no espigamento (estádio R<sub>1</sub><sup>1</sup>) em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2009/10. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

No espigamento, o híbrido P 30R50 apresentou menor rendimento de massa seca da parte aérea em relação aos híbridos Status e D 2A550 (Tabela 10).

TABELA 10. Rendimento de massa seca da parte aérea (MS) no espigamento (estádio R<sub>1</sub><sup>1</sup>) de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Rendimento de MS (t ha <sup>-1</sup> )	CV <sup>2</sup> (%)
<b>D 2A550</b>	A* 13,2	
<b>P 30R50</b>	B 10,9	20,9
<b>Status</b>	A 14,4	

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

#### 4.2.4 Estatura de planta

Na estação de crescimento 2008/09, houve interação de nível de disponibilidade hídrica e híbrido. Na comparação entre níveis de disponibilidade hídrica, os tratamentos

com irrigação durante todo o ciclo da cultura apresentaram maior estatura de planta em relação aos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura para os quatro híbridos (Tabela 11).

Na comparação entre híbridos, o híbrido NB 7502 apresentou maior estatura de planta em relação aos outros três híbridos nos dois níveis de disponibilidade hídrica. Entretanto, não diferiu dos híbridos D 2B707 e P 30R50 nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo da cultura (Tabela 11).

TABELA 11. Estatura de planta de quatro híbridos de milho sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Nível de disponibilidade hídrica		CV <sup>2</sup> (%)
	Irigado todo ciclo	Irigado no período crítico <sup>1</sup>	
<b>AS 1565</b>	B* 2,50 a	C 2,07 b	4,8
<b>D 2B707</b>	AB 2,57 a	B 2,21 b	
<b>NB 7502</b>	A 2,64 a	A 2,36 b	
<b>P 30R50</b>	AB 2,55 a	C 2,09 b	

<sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>, segundo 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≤0,05). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de nível de disponibilidade hídrica e híbrido. A estatura de planta foi 2% maior quando as plantas foram submetidas à condição natural de precipitação pluvial em relação aos outros dois níveis de disponibilidade hídrica (Tabela 12).

TABELA 12. Estatura de planta de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Nível de disponibilidade hídrica	Estatura de planta (m)	CV <sup>2</sup> (%)
Irrigado todo ciclo	B* 2,57	
Irrigado no período crítico (V <sub>15</sub> a R <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>	B 2,56	3,4
Condição natural de precipitação	A 2,62	

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

O híbrido Status foi o que apresentou maior estatura de planta, enquanto o D 2A550 a menor (Tabela 13).

TABELA 13. Estatura de planta de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Híbrido	Estatura de planta (m)	CV <sup>1</sup> (%)
D 2A550	C* 2,48	
P 30R50	B 2,58	3,4
Status	A 2,69	

\* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>1</sup> Coeficiente de variação.

#### 4.2.5 Altura de inserção da espiga

Na estação de crescimento 2008/09, foram significativos os efeitos simples de nível de disponibilidade hídrica e híbrido. Com irrigação durante todo o ciclo (1,17 m), a altura de inserção de espiga foi 18% maior em relação ao irrigado apenas no período mais crítico da cultura (0,99 m). O híbrido NB 7502 foi o que apresentou maior altura de inserção de espiga, enquanto o AS 1565 a menor (Tabela 14).

TABELA 14. Altura de inserção da espiga de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Altura de inserção da espiga (m)	CV <sup>1</sup> (%)
AS 1565	C* 0,97	8,6
D 2B707	B 1,06	
NB 7502	A 1,19	
P 30R50	B 1,08	

\* Nas colunas, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>1</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, foram significativos a interação de nível de disponibilidade hídrica e híbrido e o efeito simples de densidade de plantas. Na comparação entre níveis de disponibilidade hídrica, o híbrido P 30R50 apresentou maior altura de inserção de espiga no tratamento sob condições naturais de precipitação em relação ao irrigado durante todo o ciclo, não diferindo do experimento irrigado apenas no período mais crítico da cultura (Tabela 15). Já os híbridos D 2A550 e Status não variaram a altura de inserção de espiga em função de nível de disponibilidade hídrica.

O híbrido D 2A550 apresentou menor altura de inserção de espiga em relação aos outros dois, nos três níveis de disponibilidade hídrica (Tabela 15). No entanto, no tratamento com irrigação durante todo o ciclo a altura de inserção de espiga do D 2A550 não diferiu estatisticamente da do P 30R50.

TABELA 15. Altura de inserção de espiga de três híbridos de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Nível de disponibilidade hídrica	Híbrido			CV <sup>2</sup> (%)
	D 2A550	Status	P 30R50	
Altura de inserção de espiga (m)				
Irrigado todo ciclo	A* 1,28 b	A 1,43 a	B 1,33 ab	
Irrigado no período crítico <sup>1</sup>	A 1,24 c	A 1,49 a	AB 1,37 b	9,4
Condição natural de precipitação	A 1,19 b	A 1,39 a	A 1,45 a	

<sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>, segundo 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 ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

A altura de inserção de espiga aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas (Figura 12). A densidade de plantas que proporcionou a maior altura de inserção de espiga, foi a de 10,5 pl m<sup>-2</sup>.

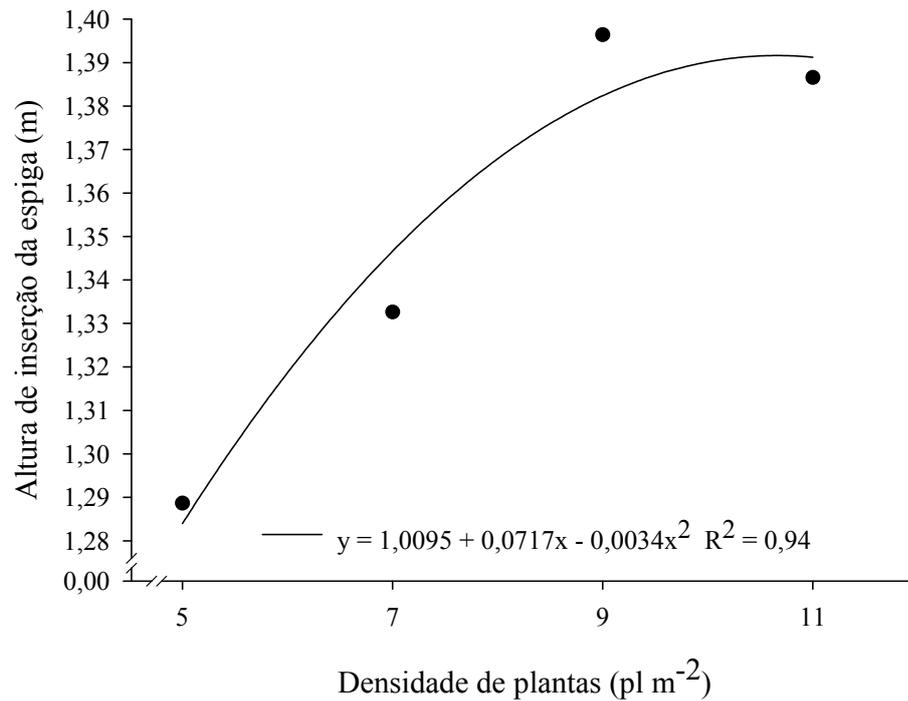


FIGURA 12. Altura de inserção de espiga de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

#### 4.2.6 Senescência foliar no estágio R<sub>3</sub>

Na estação de crescimento 2008/09, foi significativa apenas a interação de nível de disponibilidade hídrica e híbrido. Apenas no híbrido AS 1565, a senescência foliar foi maior nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura em relação aos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo (Tabela 16). Nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, o híbrido P 30R50 apresentou maior senescência foliar no estágio R<sub>3</sub> em relação ao NB 7502, não diferindo dos outros dois híbridos. Já nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, o híbrido AS 1565 foi o que apresentou maior senescência em relação aos outros três.

TABELA 16. Senescência foliar no estágio R<sub>3</sub> de quatro híbridos de milho sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Nível de disponibilidade hídrica		CV <sup>2</sup> (%)
	Irrigado todo ciclo	Irrigado no período crítico <sup>1</sup>	
	Senescência em R <sub>3</sub> (%)		
<b>AS 1565</b>	AB* 32,4 b	A 38,4 a	9,4
<b>D 2B707</b>	AB 32,2 a	B 34,2 a	
<b>NB 7502</b>	B 31,6 a	B 34,2 a	
<b>P 30R50</b>	A 35,1 a	B 35,3 a	

<sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>, segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e híbrido. A senescência foliar aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas (Figura 13). Com o incremento na densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup>, a senescência aumentou em 17%. A densidade de plantas que proporcionou maior senescência foliar, foi a de 10,8 pl m<sup>-2</sup>.

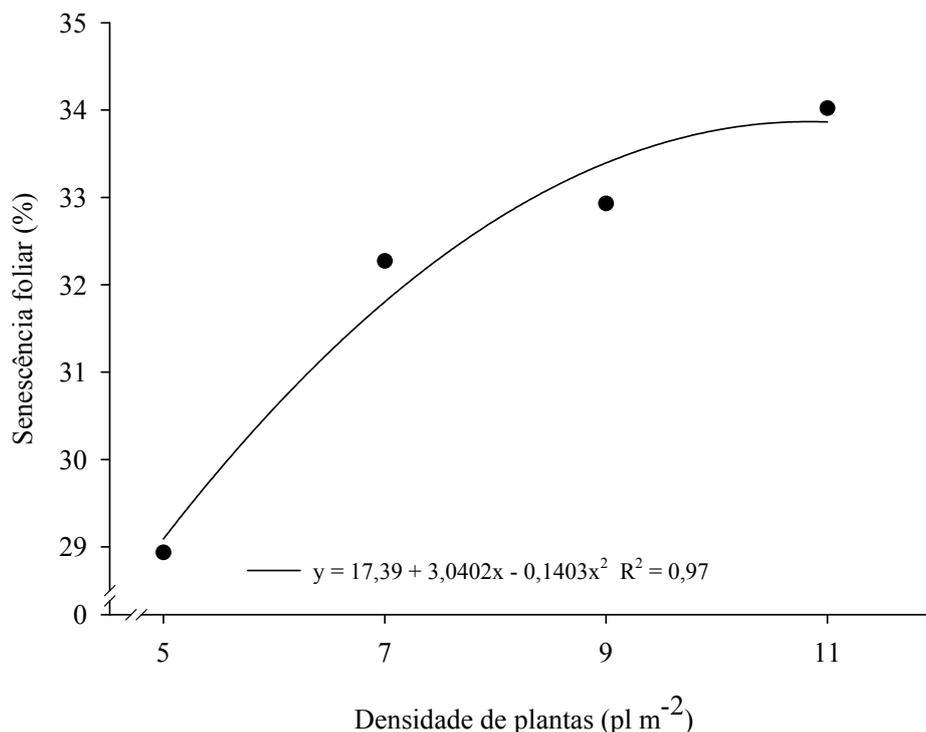


FIGURA 13. Senescência foliar do milho no estágio R<sub>3</sub><sup>1</sup> em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

O híbrido Status apresentou menor senescência foliar em relação aos outros dois híbridos (Tabela 17).

TABELA 17. Senescência foliar de três híbridos de milho no estágio R<sub>3</sub><sup>1</sup>, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Híbrido	Senescência em R <sub>3</sub>	CV <sup>2</sup> (%)
<b>D 2A550</b>	A* 32,5	
<b>P 30R50</b>	A 34,3	7,4
<b>Status</b>	B 29,3	

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Médias antecedidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

#### 4.2.7 Diâmetro de colmo

Na estação de crescimento 2008/09, foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e híbrido. O diâmetro de colmo reduziu de forma linear com o

incremento da densidade de plantas (Figura 14). O decréscimo do diâmetro de colmo com o incremento na densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup> foi de 15%.

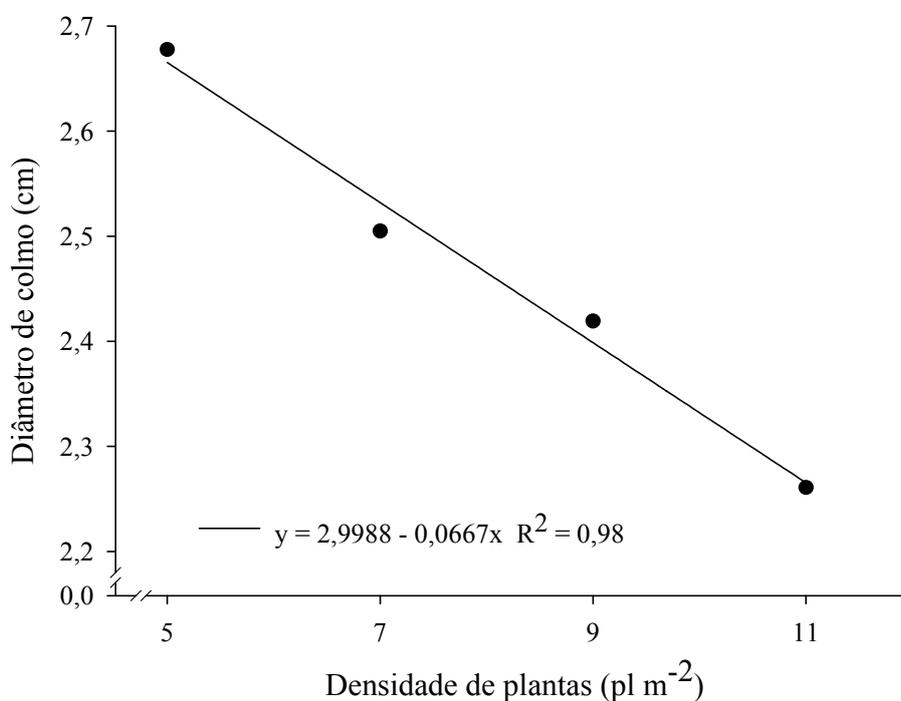


FIGURA 14. Diâmetro de colmo de milho em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

O híbrido AS 1565 foi o que apresentou maior diâmetro de colmo, enquanto o D 2B707 o menor (Tabela 18).

TABELA 18. Diâmetro de colmo de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Diâmetro de colmo (cm)	CV <sup>1</sup> (%)
AS 1565	A* 2,67	6,4
D 2B707	D 2,23	
NB 7502	B 2,57	
P 30R50	C 2,39	

\* Médias antecedidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>1</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, foi significativa a interação de densidade de plantas e híbrido. Os três híbridos diminuíram linearmente o diâmetro de colmo com o incremento da densidade de plantas (Figura 15). No entanto, o híbrido P 30R50 apresentou menor redução em relação aos outros dois.

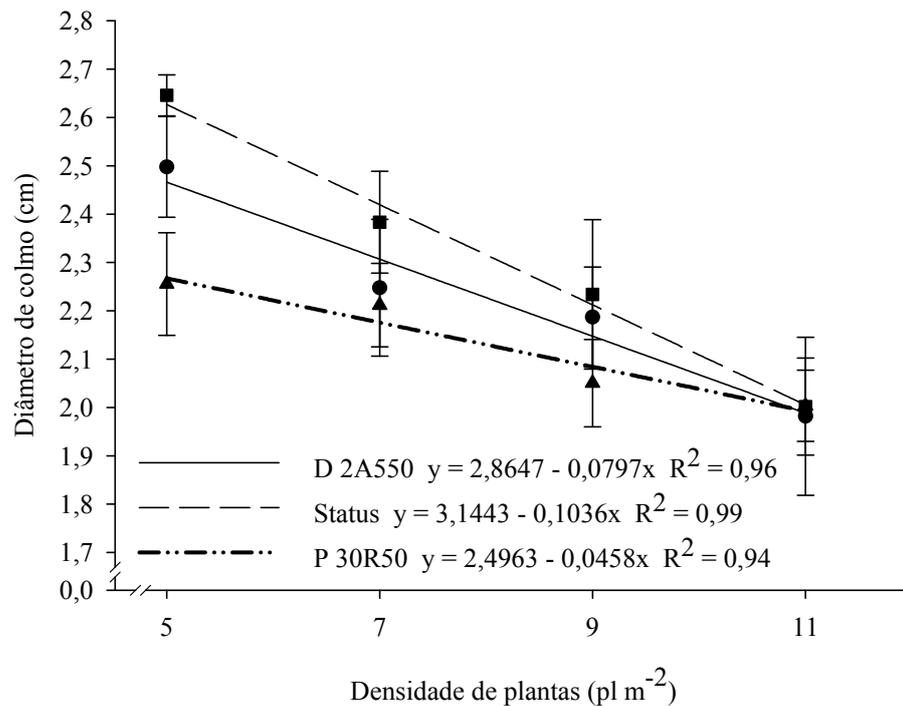


FIGURA 15. Diâmetro de colmo de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

#### 4.2.8 Índice de colheita aparente (IC)

Esse parâmetro foi avaliado apenas na segunda estação de crescimento (2009/10), tendo sido significativas as interações de nível de disponibilidade hídrica e densidade de plantas e de densidade de plantas e híbrido.

Na comparação entre níveis de disponibilidade hídrica, as plantas dos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo apresentaram maior IC em relação às cultivadas sob condições naturais de precipitação pluvial apenas na densidade de 5,0 pl m<sup>-2</sup>, não diferindo das plantas dos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (Tabela 19). Já na densidade de 9,0 pl m<sup>-2</sup>, nos tratamentos com irrigação apenas no

período mais crítico da cultura as plantas apresentaram maior IC em relação às dos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, não diferindo do IC verificado nos tratamentos sob condições naturais de precipitação pluvial. Nas outras duas densidades (7 e 11 pl m<sup>-2</sup>), o IC não variou em função do nível de disponibilidade hídrica.

Na comparação entre densidade de plantas, o IC foi menor na densidade de 5,0 pl m<sup>-2</sup> em relação às densidades de 7,0 e 11,0 pl m<sup>-2</sup> apenas nos tratamentos sob condições naturais de precipitação pluvial, não diferindo do IC obtido na densidade de 9,0 pl m<sup>-2</sup> (Tabela 19). Nos outros dois níveis de disponibilidade hídrica, o IC não variou em função da densidade de plantas.

TABELA 19. Índice de colheita aparente (IC) de milho, sob três níveis de disponibilidade hídrica, em função de densidade de plantas, na média de três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Nível de disponibilidade hídrica	Densidade de plantas (pl m <sup>-2</sup> )				CV <sup>2</sup> (%)
	5	7	9	11	
<b>Irigado todo ciclo</b>	A* 0,51 a	A 0,50 a	B 0,49 a	A 0,50 a	4,5
<b>Irigado no período crítico<sup>1</sup></b>	AB 0,50 a	A 0,50 a	A 0,52 a	A 0,52 a	
<b>Condição natural de precipitação</b>	B 0,48 b	A 0,52 a	AB 0,50 ab	A 0,52 a	

<sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>, segundo 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≤0,05). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

O IC aparente aumentou de forma linear com o incremento da densidade de plantas apenas para o híbrido Status, enquanto que os outros dois não variaram essa característica em função de densidade de plantas (Figura 16).

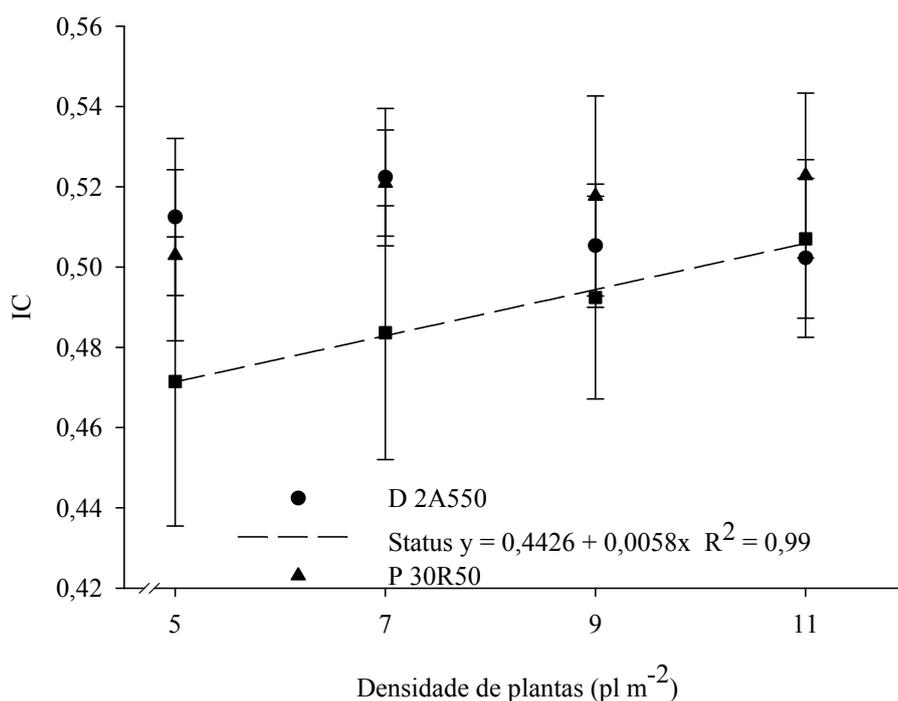


FIGURA 16. Índice de colheita aparente (IC) de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

#### 4.2.9 Teor de nitrogênio (N) na planta no espigamento (estádio R<sub>1</sub>)

Essa variável foi avaliada apenas na segunda estação de crescimento (2009/10) e apenas para os híbridos P 30R50 e Status, tendo sido significativo apenas o efeito simples de nível de disponibilidade hídrica. Nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, o teor de N na planta foi 15% e 20% menores, respectivamente, em relação aos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura e nos sob condições naturais de precipitação pluvial (Tabela 20).

TABELA 20. Teor de nitrogênio na planta de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Nível de disponibilidade hídrica	Teor de N na planta (%)	CV <sup>2</sup> (%)
Irrigado todo ciclo	B* 0,74	
Irrigado no período crítico <sup>1</sup>	A 0,87	18,5
Condição natural de precipitação	A 0,92	

<sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>, segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Médias antecedidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

<sup>2</sup> Coeficiente de variação.

### 4.3 Componentes do rendimento e rendimento de grãos

#### 4.3.1 Número de espigas por metro quadrado

Nas duas estações de crescimento, foi significativa apenas a interação de densidade de plantas e híbrido. Na primeira estação de crescimento (2008/09), o número de espigas por metro quadrado dos híbridos NB 7502 e D 2B707 aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas, aumentando, respectivamente, 53 e 65%, com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup> (Figura 17). Já para os híbridos AS 1565 e P 30R50, o número de espigas por metro quadrado aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas. Com o incremento de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup>, o número de espigas por metro quadrado aumentou 94% e 98%, respectivamente para os híbridos AS 1565 e P 30R50. A densidade que proporcionou o maior número de espigas por metro quadrado, foi a de 11,0 pl m<sup>-2</sup> para todos os híbridos avaliados.

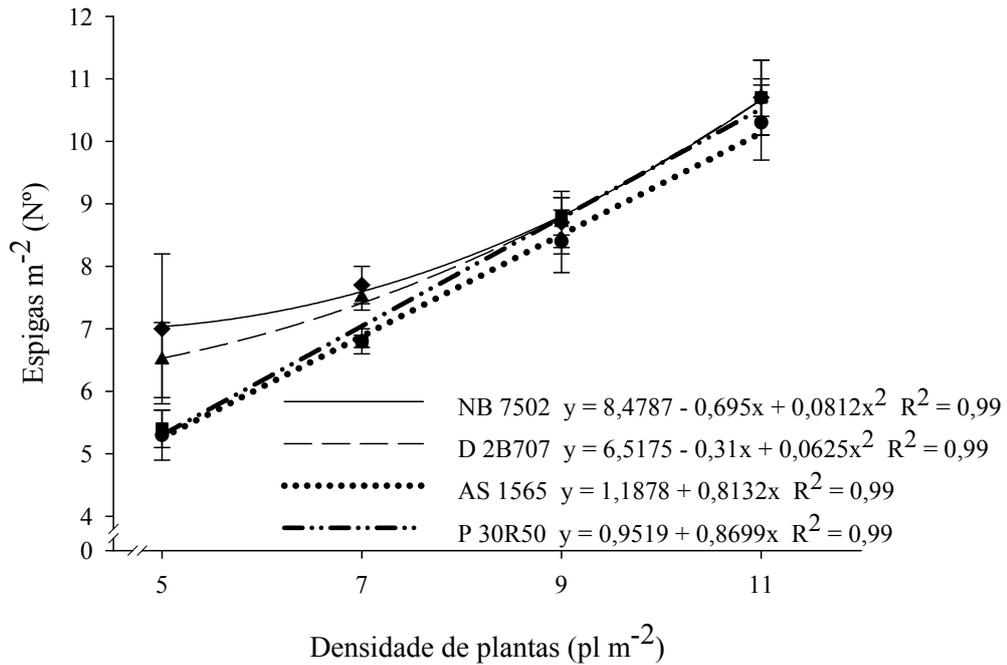


FIGURA 17. Número de espigas por metro quadrado de quatro híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

No segundo ano, o número de espigas por metro quadrado dos três híbridos aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas (Figura 18). No entanto, o híbrido D 2A550 foi o que apresentou a maior resposta, aumentando em 82% esse componente com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup>. Já os híbridos Status e P 30R50 aumentaram, respectivamente, em 45% e 63% o número de espigas por metro quadrado com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup>.

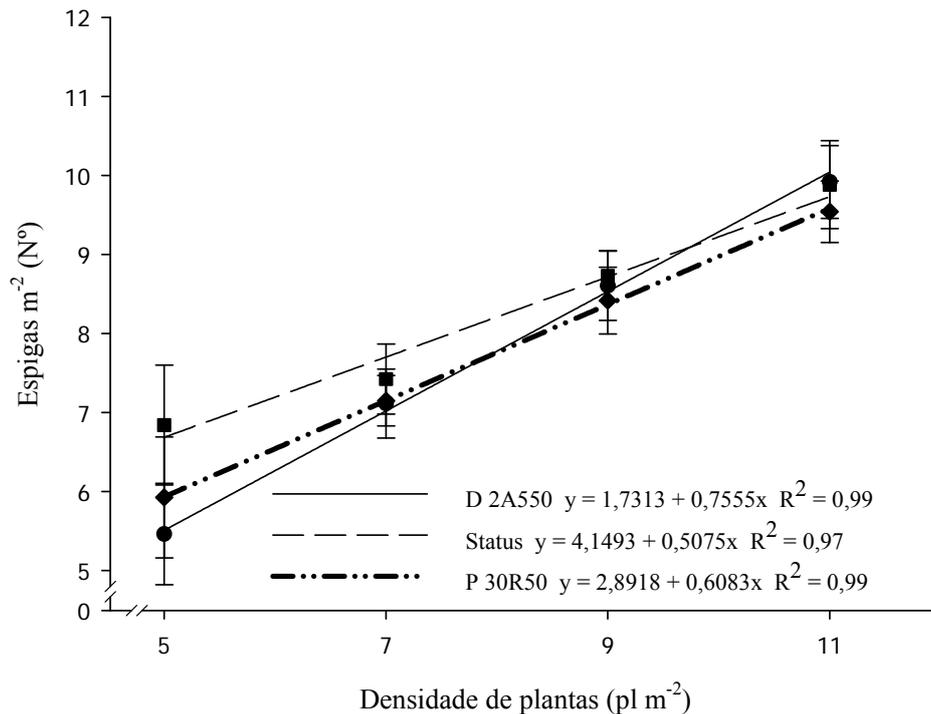


FIGURA 18. Número de espigas por metro quadrado de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

#### 4.3.2 Número de grãos por espiga

Na estação de crescimento 2008/09, foram significativas as interações de nível de disponibilidade hídrica e híbrido e de densidade de plantas e híbrido.

Na comparação entre níveis de disponibilidade hídrica, o número de grãos por espiga dos híbridos AS 1565, D 2B707 e NB 7502 foi maior nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo em relação aos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura (Tabela 21). Já o híbrido P 30R50 não variou o número de grãos por espiga em função de nível de disponibilidade hídrica.

Na comparação entre híbridos, nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo o híbrido AS 1565 foi o que apresentou o maior número de grãos por espiga, enquanto o NB 7502 o menor número de grãos por espiga (Tabela 21). Já nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, o híbrido NB 7502 apresentou menor número de grãos por espigas em relação aos outros três.

TABELA 21. Número de grãos por espiga de quatro híbridos de milho sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Nível de disponibilidade hídrica		CV <sup>2</sup> (%)
	Irrigado	Irrigado no período crítico <sup>1</sup>	
	Grãos espiga <sup>-1</sup> (Nº)		
<b>AS 1565</b>	A* 561 a	A 450 b	10,7
<b>D 2B707</b>	B 462 a	A 411 b	
<b>NB 7502</b>	C 399 a	B 347 b	
<b>P 30R50</b>	B 455 a	A 418 a	

<sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>, segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). <sup>2</sup> Coeficiente de variação. \* Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

Para os híbridos AS 1565 e P 30R50, o número de grãos por espiga diminuiu de forma linear com o incremento da densidade de plantas, com decréscimos, respectivamente, de 25 e 24% com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup> (Figura 19). Já os híbridos D 2B707 e NB 7502 não variaram esse componente do rendimento em função de densidade de plantas.

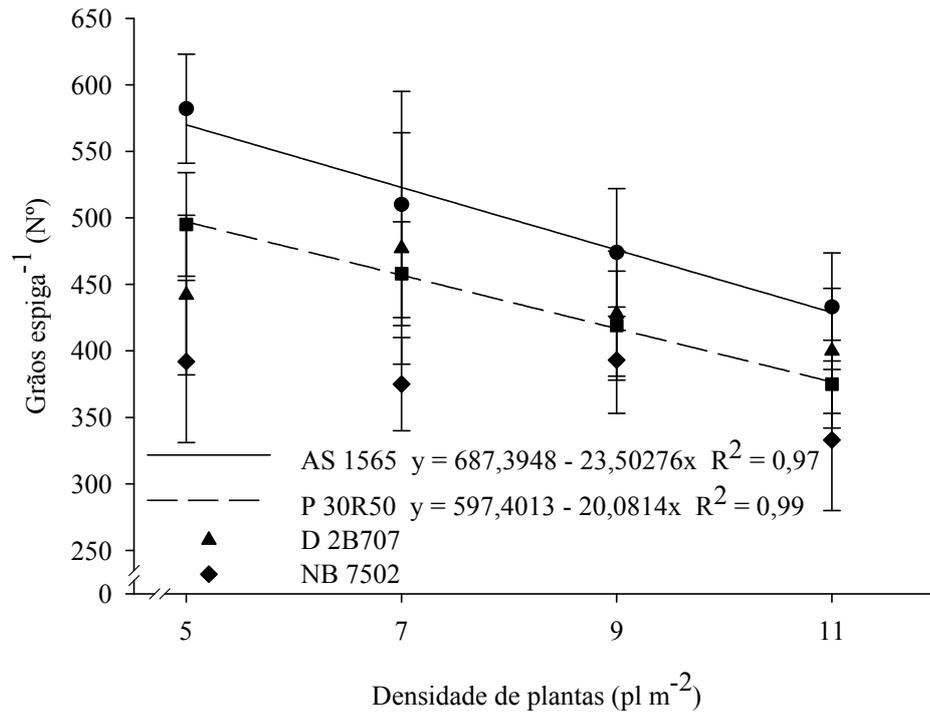


FIGURA 19. Número de grãos por espiga de quatro híbridos de milho em função da densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

No segundo ano, foram significativos o efeito simples de nível de disponibilidade hídrica e a interação de densidade de plantas e híbrido. O número de grãos por espiga foi 6% menor nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo em relação aos outros dois níveis de disponibilidade hídrica (Tabela 22).

TABELA 22. Número de grãos por espiga de milho sob três níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Nível de disponibilidade hídrica	Grãos espiga <sup>-1</sup> (Nº)	CV <sup>2</sup> (%)
<b>Irrigado</b>	B* 426	
<b>Irrigado no período crítico (V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>)<sup>1</sup></b>	A 455	6,9
<b>Condição natural de precipitação</b>	A 453	

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

Para os híbridos D 2A550 e P 30R50, o número de grãos por espiga reduziu de forma linear com o incremento da densidade de plantas, com decréscimos de 25% e 18%, respectivamente, com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup> (Figura 20). Já o híbrido Status diminuiu esse componente de forma quadrática. A densidade de plantas que proporcionou maior número de grãos por espiga nesse híbrido foi a de 5,9 pl m<sup>-2</sup>.

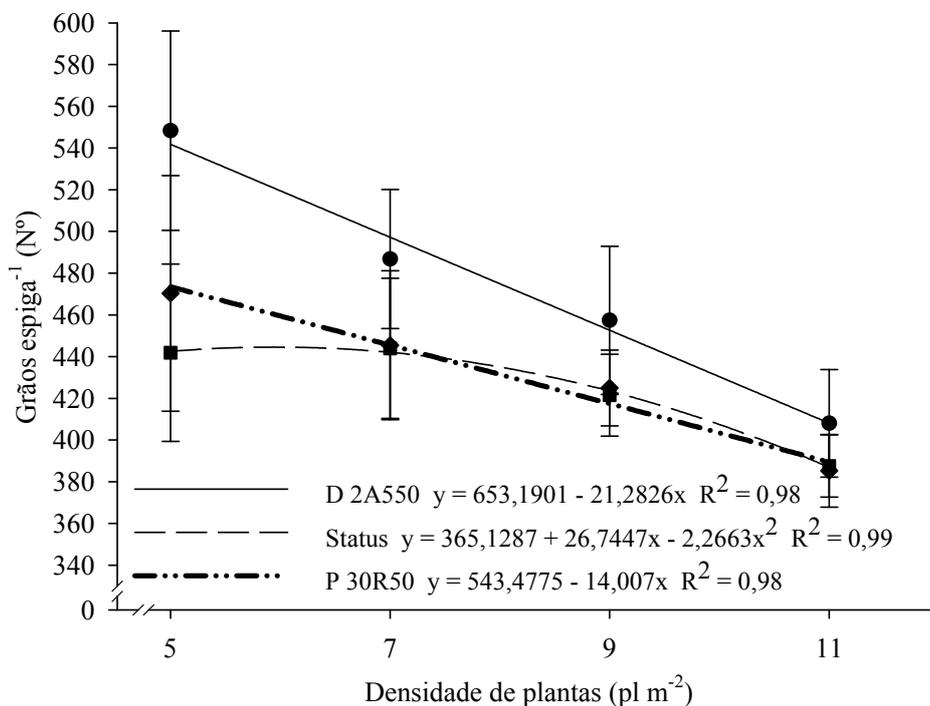


FIGURA 20. Número de grãos por espiga de três híbridos de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

### 4.3.3 Peso do grão

Na estação de crescimento 2008/09, foram significativos os efeitos simples de densidade de plantas e de híbrido. O peso do grão diminuiu de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas (Figura 21). Houve redução de 11% nesse componente com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup>.

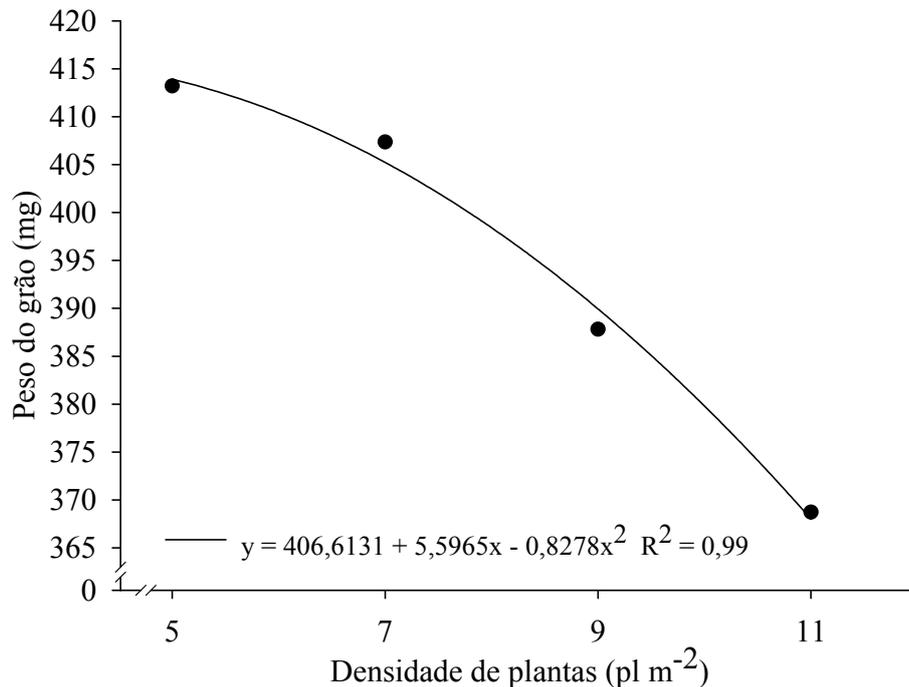


FIGURA 21. Peso do grão em função de densidade de plantas, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

O híbrido NB 7502 foi o que apresentou o maior peso do grão, enquanto que os híbridos AS 1565 e D 2B707 os menores valores do peso do grão (Tabela 23).

TABELA 23. Peso do grão de quatro de híbridos de milho, na média de quatro densidades de plantas e dois níveis de disponibilidade hídrica. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Peso do grão (mg)	CV <sup>1</sup> (%)
AS 1565	C* 362	6,5
D 2B707	C 358	
NB 7502	A 435	
P 30R50	B 415	

\* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>1</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de nível de disponibilidade hídrica, densidade de plantas e híbrido de milho. O peso do grão foi 4% maior nos tratamentos sob condição natural de precipitação em relação aos outros dois níveis de disponibilidade hídrica (Tabela 24).

TABELA 24. Peso do grão em função de nível de disponibilidade hídrica, na média de três híbridos de milho e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Nível de disponibilidade hídrica	Peso do grão (mg)	CV <sup>2</sup> (%)
Irrigado todo ciclo	B* 372	4,6
Irrigado no período crítico (V <sub>15</sub> a R <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>	B 372	
Condição natural de precipitação	A 387	

\* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

O peso do grão diminuiu de forma linear com o incremento da densidade de plantas (Figura 22). Houve redução de 7% no peso do grão com o incremento da densidade de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup>.

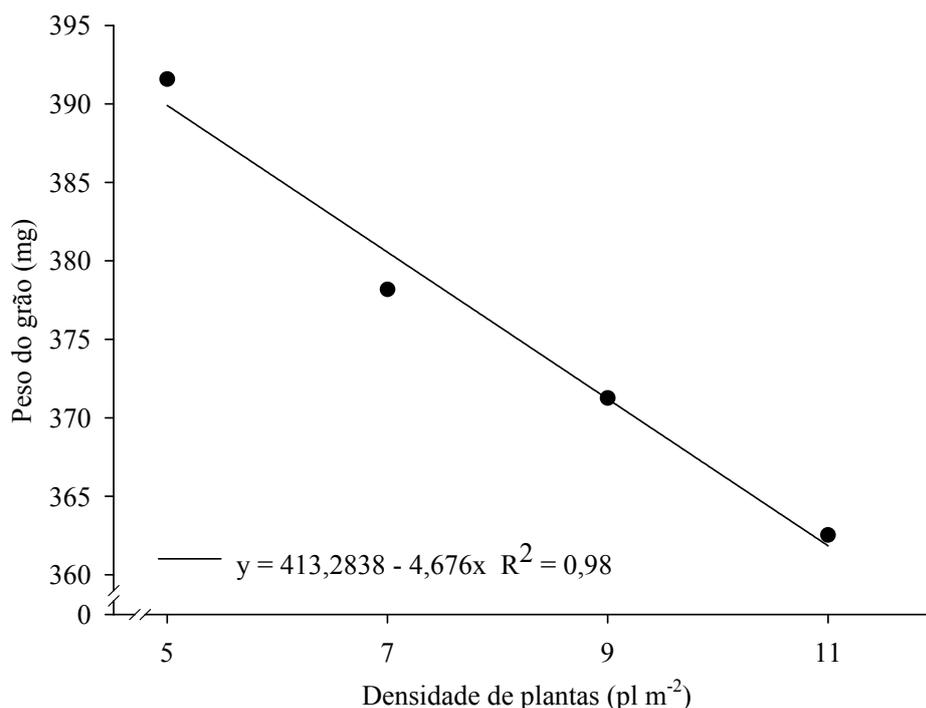


FIGURA 22. Peso do grão de milho em função de densidade de plantas, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e três híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

O híbrido P 30R50 foi o que apresentou maior peso do grão, enquanto o D 2A550 o menor (Tabela 25).

TABELA 25. Peso do grão de três híbridos de milho, na média de três níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Híbrido	Peso do grão (mg)	CV <sup>1</sup> (%)
<b>D 2A550</b>	C* 361	
<b>P 30R50</b>	A 393	4,6
<b>Status</b>	B 377	

\* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>1</sup> Coeficiente de variação.

#### 4.3.4 Rendimento de grãos

Na estação de crescimento 2008/09, o rendimento médio de grãos de milho obtido nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo foi de 14,4 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura foi de 12,3 t ha<sup>-1</sup>,

sendo, portanto, 17% superior nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo. Para essa variável, foram significativos a interação de nível de disponibilidade hídrica e densidade de plantas e o efeito simples de híbrido.

Nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, o rendimento de grãos aumentou de forma linear com o incremento da densidade de plantas de 5,0 para 11,0 pl m<sup>-2</sup>, variando de 12,4 a 16,3 t ha<sup>-1</sup>, o que representa um aumento de 31% (Figura 23). Para cada incremento de uma planta por metro quadrado, o rendimento de grãos aumentou em 660 kg ha<sup>-1</sup>. Já nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, a resposta do rendimento de grãos ao incremento da densidade de plantas foi quadrática. A densidade de plantas que proporcionou o maior rendimento de grãos, foi a de 10,4 pl m<sup>-2</sup>. Nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico, o rendimento de grãos variou de 10,9 a 13,2 t ha<sup>-1</sup> com o incremento da densidade de 5,0 para 10,4 pl m<sup>-2</sup>, representando um aumento de 21%.

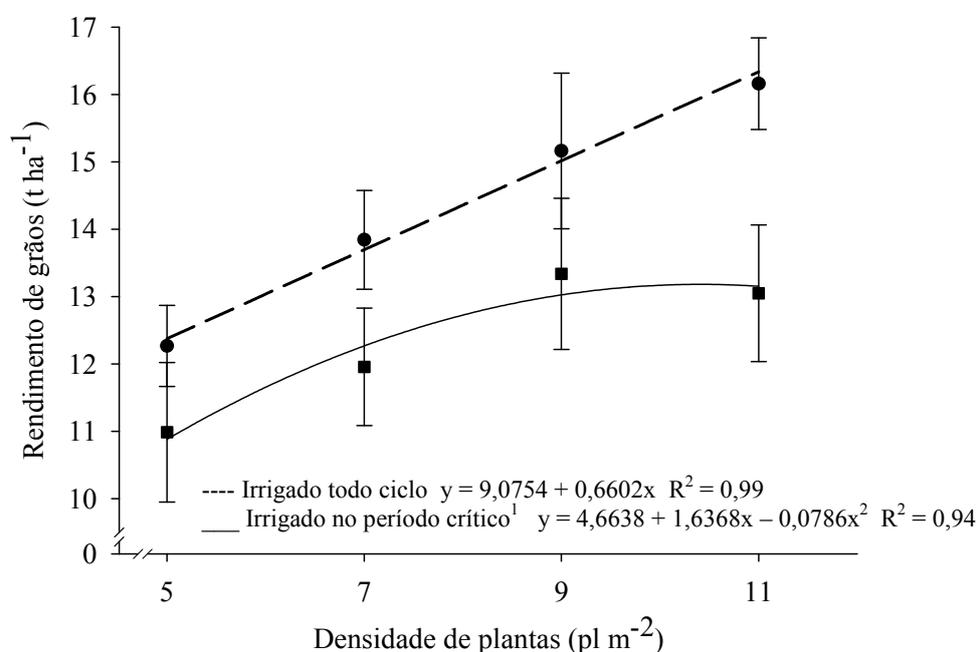


FIGURA 23. Rendimento de grãos de milho em função de densidade de plantas, sob dois níveis de disponibilidade hídrica, na média de quatro híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2008/09. <sup>1</sup> Durante os estádios V<sub>15</sub> a R<sub>2</sub>, segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

O híbrido P 30R50 apresentou maior rendimento de grãos em relação aos híbridos AS 1565 e D 2B707, mas não diferiu do híbrido NB 7502 (Tabela 26).

TABELA 26. Rendimento de grãos de quatro híbridos de milho, na média de dois níveis de disponibilidade hídrica e quatro densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2008/09.

Híbrido	Rendimento de grãos (t ha <sup>-1</sup> )	CV <sup>1</sup> (%)
AS 1565	BC* 13,2	6,4
D 2B707	C 12,8	
NB 7502	AB 13,5	
P 30R50	A 13,8	

\* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>1</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, o rendimento médio de grãos foi 5% e 8% menor nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, respectivamente em relação aos tratamentos com irrigação apenas durante o período mais crítico da cultura e nos sob condições naturais de precipitação pluvial (Tabela 27).

TABELA 27. Rendimento de grãos em função de nível de disponibilidade hídrica, na média de quatro densidades de plantas e três híbridos de milho. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.

Nível de disponibilidade hídrica	Rendimento de grãos (t ha <sup>-1</sup> )	CV <sup>2</sup> (%)
Irrigado todo ciclo	B* 12,4	5,8
Irrigado no período crítico (V <sub>15</sub> a R <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>	A 13,1	
Condição natural de precipitação	A 13,5	

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993). \* Na coluna, médias antecedidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). <sup>2</sup> Coeficiente de variação.

No segundo ano, foi significativa a interação tripla de nível de disponibilidade hídrica, densidade de plantas e híbrido. Na comparação entre híbridos, nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, o rendimento de grãos do Status aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas, enquanto que os dos híbridos D 2A550 e

P 30R50 aumentaram de forma quadrática (Figura 24). Já nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura e nos sob condições naturais de precipitação, o híbrido P 30R50 aumentou o rendimento de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas, enquanto que os híbridos D 2A550 e Status aumentaram o rendimento de forma linear.

Na comparação entre níveis de disponibilidade hídrica, observou-se que para o híbrido D 2A550 a resposta do rendimento de grãos ao incremento da densidade de plantas foi quadrática apenas nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, enquanto que nos outros dois níveis de irrigação o aumento foi linear (Figura 25). Para o híbrido Status, o rendimento de grãos aumentou de forma linear com o incremento da densidade de plantas, enquanto que para o híbrido P 30R50 a resposta foi quadrática, independentemente do nível de disponibilidade hídrica.

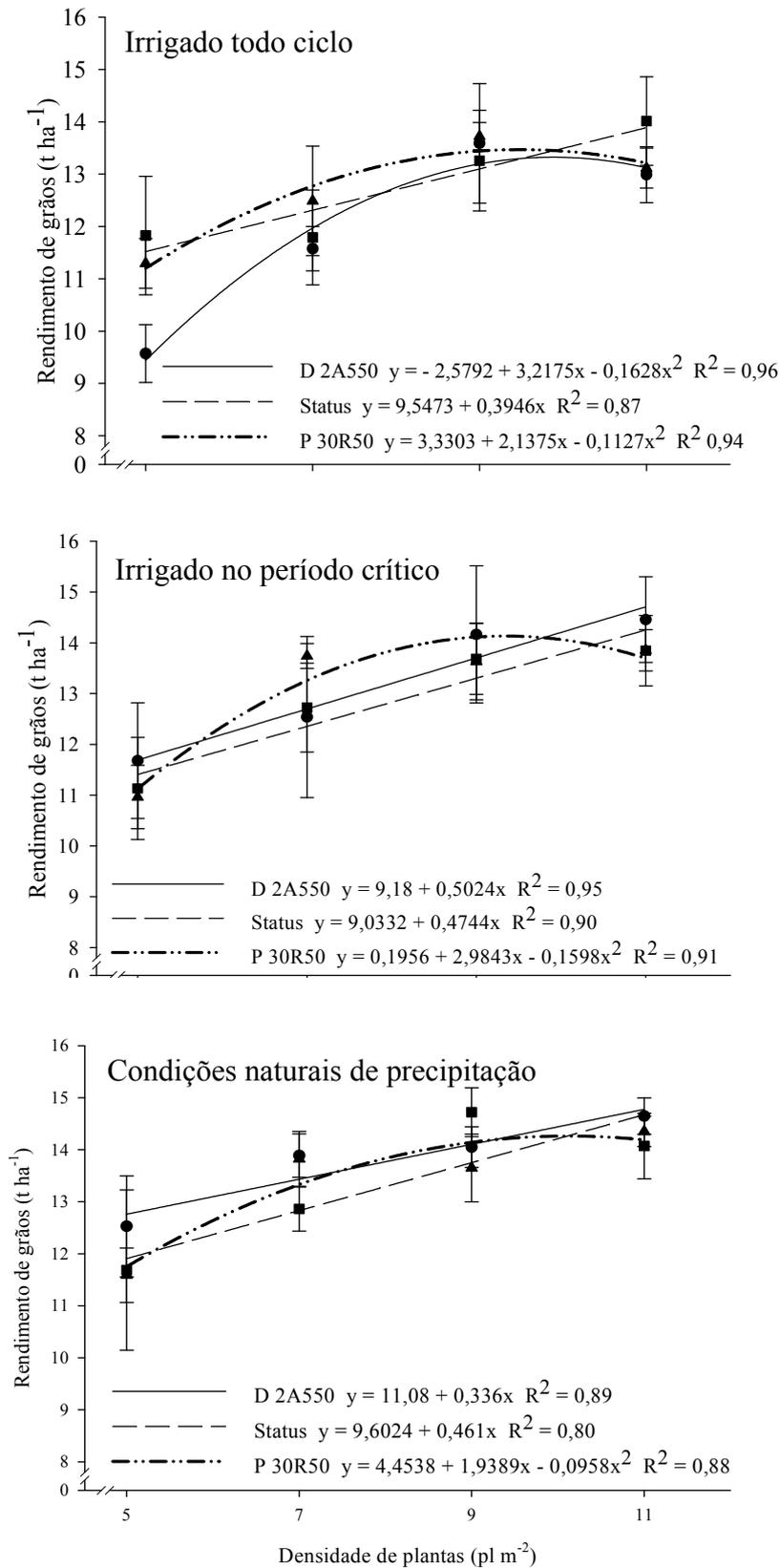


FIGURA 24. Rendimento de grãos de três híbridos de milho nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, com irrigação apenas no período mais crítico da cultura ( $V_{15}^1$  a  $R_2$ ) e sob condições naturais de precipitação pluvial em função de densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2009/10.  
<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

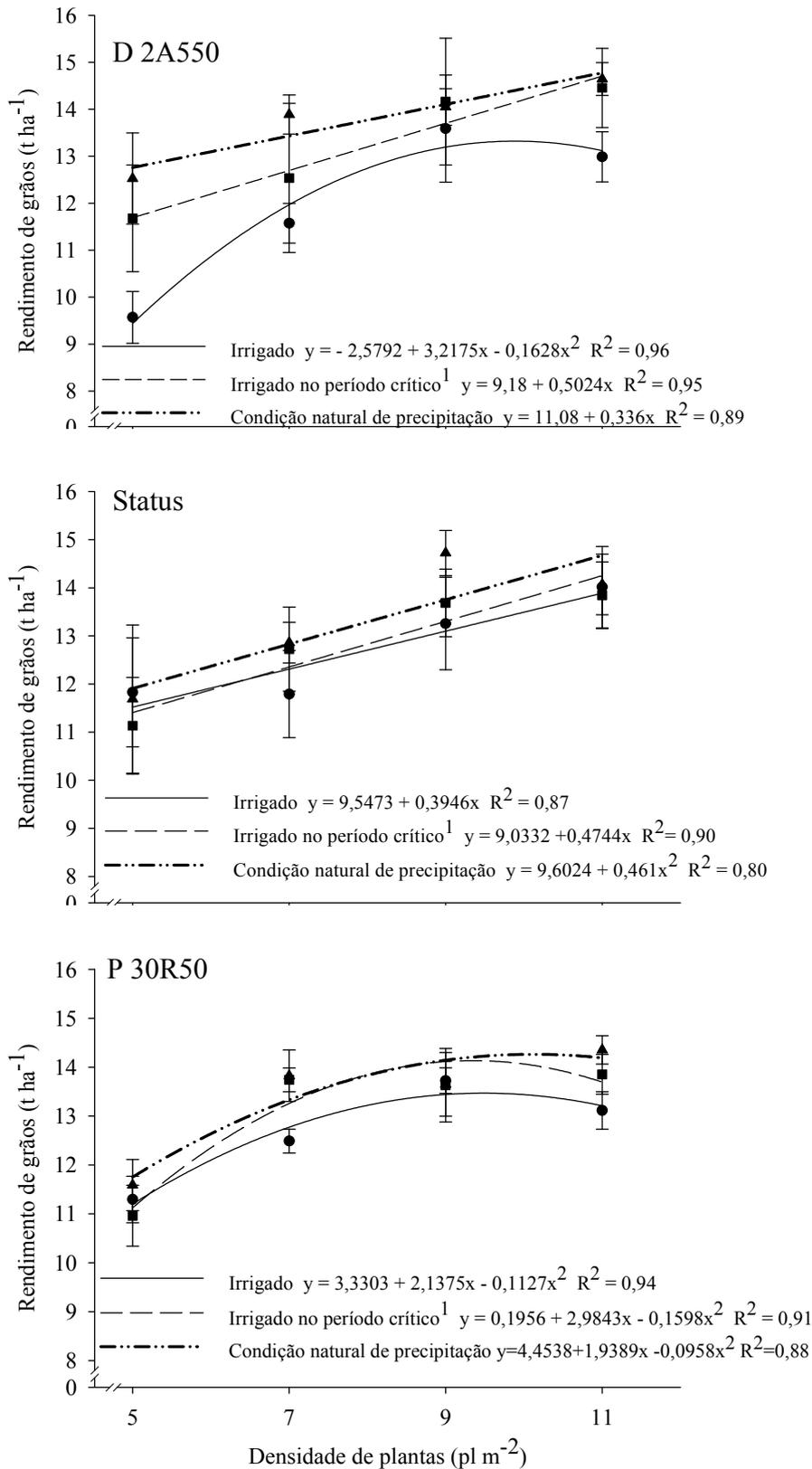


FIGURA 25. Rendimento de grãos de três híbridos de milho em função de densidade de plantas nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, com irrigação apenas no período mais crítico da cultura ( $V_{15}^1$  a  $R_2$ ) e sob condições naturais de precipitação pluvial. Eldorado do Sul-RS, 2009/10. <sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).

## 5 DISCUSSÃO

Para melhor compreensão desse item, será feita inicialmente uma discussão dos dados apresentados no balanço hídrico calculado para os dois anos. Após, serão discutidos os resultados relativos ao desenvolvimento da planta, ao rendimento e aos componentes do rendimento do milho por estação de crescimento. Por fim, serão feitas algumas considerações gerais sobre os resultados obtidos durante as duas estações de crescimento.

Na primeira estação de crescimento (2008/09), foi estudada a resposta de quatro híbridos de milho à densidade de plantas sob dois níveis de disponibilidade hídrica, um com irrigação complementar sempre que necessário e o outro com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, entre os estádios  $V_{15}$  e  $R_2$ , de acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993). Nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico, houve três períodos de deficiência hídrica durante o desenvolvimento das plantas dos híbridos testados (Figura 3). Primeiro ocorreu uma deficiência hídrica de 10 dias de duração no início do desenvolvimento vegetativo, correspondendo ao estágio  $V_3$ . Depois, verificou-se um longo período de deficiência que se estendeu desde a formação do número potencial de grãos por espiga ( $V_{11}$  a  $V_{15}$ ) até o final do período mais crítico da cultura ( $V_{15}$  a  $R_2$ ). O terceiro período de deficiência, com duração em torno de 10 dias, ocorreu na metade do enchimento de grãos, quando a planta de milho se encontrava no estágio  $R_4$ . Nos tratamentos em que o milho foi irrigado apenas no período crítico, verificou-se uma deficiência hídrica de 76 mm antes da aplicação das irrigações durante o período crítico e uma de 8 mm após o término da aplicação das irrigações, totalizando uma deficiência de

84 mm durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta. Como a duração dos diferentes subperíodos de desenvolvimento dos quatro híbridos testados foi muito similar (Tabela 3), as deficiências hídricas ocorridas no primeiro ano afetaram igualmente todos os híbridos.

As condições meteorológicas vigentes em cada uma das estações de crescimento do milho se refletiram diretamente no desenvolvimento das plantas e na resposta do rendimento de grãos ao nível de disponibilidade hídrica e ao incremento da densidade de plantas.

No primeiro ano, a resposta do rendimento de grãos à densidade de plantas variou em função dos dois níveis de disponibilidade hídrica, mas não em função de híbrido (Figura 23). Nos tratamentos em que o milho foi irrigado durante todo o ciclo, o rendimento de grãos aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas até 11,0 pl m<sup>-2</sup>. Já nos tratamentos em que a cultura irrigada apenas durante o período mais crítico da cultura, a resposta foi quadrática, com obtenção do máximo rendimento de grãos na densidade de 10,4 pl m<sup>-2</sup>.

Essa resposta diferencial do rendimento de grãos à densidade de plantas em função do nível de disponibilidade hídrica pode ser explicada pelos efeitos da deficiência hídrica ocorrida no período correspondente aos estádios V<sub>11</sub> a V<sub>15</sub>, verificada antes do início das irrigações durante o período mais crítico e durante parte do período de enchimento de grãos, após o término do período de irrigação nos tratamentos que receberam irrigação apenas durante o período mais crítico. Em função desse primeiro período de deficiência hídrica nesses tratamentos, verificou-se, por ocasião do espigamento (estádio R<sub>1</sub>), maiores estatura de planta (18%), altura de inserção de espiga (18%), rendimento de massa seca (MS) da parte aérea (27%) e índice de área foliar (9%) nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo. Assim, houve menor desenvolvimento das plantas nos tratamentos em que o milho foi irrigado apenas no período mais crítico e, conseqüentemente, menores interceptação da radiação solar e produção de fotoassimilados por planta. Isto fez com que,

nesses tratamentos, o máximo rendimento de grãos e a resposta ao incremento da densidade de plantas fossem menores (17%, na média), em relação aos observados nos tratamentos em que a cultura foi irrigada sempre que necessária (Figura 23).

Além dos efeitos sobre o desenvolvimento das plantas, esse período de deficiência hídrica verificado antes da aplicação das irrigações nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da planta também diminuiu um dos três componentes do rendimento, o número de grãos por espiga, que foi 15% inferior, em relação aos tratamentos que receberam irrigação durante todo o ciclo de desenvolvimento (Tabela 21). A razão desse resultado relaciona-se ao fato de que a partir do estágio  $V_{12}$  há um rápido acúmulo de fitomassa e formação de área foliar, sendo determinado o número potencial de grãos por fileira. Como a deficiência hídrica ocorreu no período entre os estádios  $V_{12}$  até o estágio  $V_{15}$  nos tratamentos que receberam irrigações apenas durante o período mais crítico, justifica-se, dessa maneira, a diminuição do número de grãos por espiga em relação aos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo. Outra possível causa para explicar o menor número de grãos formados por espiga nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico esta relacionada à redução ocorrida no crescimento da planta, e à conseqüente menor produção de fotoassimilados para desenvolvimento dos grãos, que resultaram em aumento da porcentagem de grãos abortados (Zinselmeier *et al.*, 1995). Reduções de 9 a 26% no número de grãos por espiga e de 32% no rendimento de grãos sob condições de deficiência hídrica durante os estádios  $V_2$  a  $V_6$  e os estádios  $V_8$  a  $V_{11}$  foram verificadas por Moser *et al.* (2006).

Já na segunda estação de crescimento (2009/2010), foi estudada a resposta de três híbridos de milho à densidade de plantas, sob três níveis de disponibilidade hídrica durante o ciclo. Um com irrigação complementar sempre que necessário, um com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, estádios  $V_{15}$  a  $R_2$ , e outro nível em que o milho foi cultivado sob condições naturais de precipitação pluvial. Nessa estação, ocorreu apenas um

pequeno período de deficiência hídrica (24 mm), em torno de 10 dias de duração, coincidindo com a parte final do enchimento de grãos, estágio R<sub>5</sub> (Figura 4), portanto após o término do período de irrigações nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico. Além disso, em função de ser um ano de ocorrência do fenômeno El Niño, o volume de precipitação pluvial foi superior à normal climática e uniformemente distribuído ao longo do ciclo da cultura, exceto no período referido acima.

Em função da ocorrência desse regime de precipitação pluvial atípico em relação à normal climática referente ao período de 1970 a 2000, as respostas verificadas no rendimento dos três níveis de disponibilidade hídrica foram diferentes das que ocorreram no primeiro ano. Observou-se menor rendimento médio de grãos nos tratamentos em que o milho foi irrigado durante todo o ciclo de desenvolvimento e os com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, em relação aos tratamentos em que o milho foi conduzido sob condições naturais de precipitação pluvial (Tabela 27). Nos dois tratamentos com irrigação, a estatura de planta e o peso do grão foram menores, em relação aos verificados nos tratamentos em que o milho foi conduzido sob condições naturais de precipitação (Tabelas 12 e 24). Além disso, especificamente nos tratamentos em que o milho foi irrigado durante todo o ciclo o número de grãos por espiga foi 6% menor em relação aos outros dois níveis de disponibilidade hídrica (Tabela 22). Conseqüentemente, o rendimento de grãos nos tratamentos em que o milho foi irrigado durante todo o ciclo foi 5 e 8% menores, respectivamente, em relação aos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico e os sob condições naturais de precipitação pluvial (Tabela 27).

Dentre os fatores determinantes da redução do rendimento de grãos nos tratamentos que receberam irrigação em relação aos tratamentos sob condições naturais de precipitação, pode-se arrolar o possível aumento de perdas de nitrogênio por lixiviação, devido ao excesso de água disponível durante quase todo o ciclo. Isso porque, embora tenha ocorrido elevado volume de precipitação pluvial durante praticamente todo o ciclo da

cultura, em função da ocorrência do fenômeno El Niño, várias vezes, durante o ciclo, a umidade do solo medida estava próxima ao limite hídrico inferior para a cultura (0,18 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Nesses momentos, eram realizadas as irrigações nos dois tratamentos com irrigação complementar. No entanto, logo após a realização das irrigações ocorriam novas precipitações. Como as irrigações não podem ser baseadas em previsão de precipitações, devido à possibilidade de erros e ao risco de reduzir o potencial de rendimento de grãos, elas eram realizadas sempre que a umidade do solo atingia a umidade crítica para a cultura. Com isso, além da alta quantidade de precipitação ocorrida (1687 mm) ter sido superior as exigências hídricas da cultura (570 mm) (Matzenauer *et al.* 2002), foram aplicados mais 208 mm nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo e mais 52 mm nos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura.

Assim, possivelmente em função do exposto no parágrafo anterior, nos tratamentos em que o milho foi irrigado sempre que necessário, o teor de N na planta no espigamento (R<sub>1</sub>) foi 15 e 20% menores, respectivamente, em relação aos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura e nos sob condições naturais de precipitação pluvial (Tabela 20). Isto demonstra que as plantas que receberam irrigação durante todo o ciclo apresentaram menor absorção e incorporação de N na parte aérea. Essa possível perda de N do solo também pode ter contribuído para a redução verificada no peso do grão nos dois tratamentos que receberam irrigação complementar em relação aos conduzidos sob condições naturais de precipitação pluvial (Tabela 24). Neste sentido, há uma associação desse componente do rendimento com o acúmulo de N na planta e à quantidade de radiação solar interceptada no espigamento e, conseqüentemente, com o suprimento de fotoassimilados para desenvolvimento do grão (McCullough *et al.*, 1994). Como o N é o nutriente que mais freqüentemente limita o rendimento de grãos de milho (Muzilli & Oliveira, 1982), a sua perda por lixiviação pode ter contribuído para obtenção de menor

rendimento nos dois tratamentos que receberam irrigação, em relação ao que não recebeu irrigação (Tabela 27).

É importante salientar que, devido à ocorrência do fenômeno El Niño, as condições de disponibilidade hídrica vigentes durante a segunda estação de crescimento não representam as condições de disponibilidade hídrica corresponde à normal climática da região da Depressão Central do RS. Assim, o fato dos rendimentos de grãos nos dois tratamentos com irrigação complementar terem sido inferiores aos verificados no tratamento sob condições naturais de precipitação pluvial é uma exceção, não representando a realidade da maioria dos anos.

Além dos efeitos das condições meteorológicas, o incremento da densidade de plantas também alterou significativamente o desenvolvimento das plantas. As características das plantas que justificam o rendimento de grãos obtido em função da densidade de plantas são as mesmas para as duas estações de crescimento. Assim, o rendimento de massa seca da parte aérea das plantas de milho por hectare, avaliado no estágio  $R_1$ , aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade de plantas para todos os híbridos e níveis de disponibilidade hídrica, em ambas as estações de crescimento (Figuras 10 e 11). Também nos dois anos, o IAF aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas em todos os estádios avaliados ( $V_6$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{15}$  e  $R_1$ ), independentemente de híbrido e nível de disponibilidade hídrica (Figuras 5, 6, 7, 8 e 9). Nas avaliações realizadas no espigamento, o IAF aumentou 94 e 83% com o incremento de 5,0 para 11,0 pl  $m^{-2}$ , na primeira e segunda estações, respectivamente. Assim, na maior densidade (11,0 pl  $m^{-2}$ ) obteve-se maior IAF em relação às demais densidades já partir do estágio  $V_6$ .

O maior IAF obtido desde os estádios iniciais de desenvolvimento da planta contribuiu para aumentar a interceptação da radiação solar incidente e a produção de fotoassimilados pelas plantas da comunidade, aumentando os rendimentos de massa seca

da parte aérea e de grãos com o incremento da densidade de plantas (Figuras 10, 11, 23, 24 e 25). O rendimento de MS apresentou correlações de 0,72 e 0,30 com o rendimento de grãos, enquanto o IAF apresentou correlações de 0,77 e 0,83, respectivamente, na primeira e segunda estação de crescimento (Apêndice 3). Os dados obtidos confirmam que há associação entre a quantidade de fitomassa produzida e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida e acumulada para um grande número de espécies (Muchow, 2000).

Além dos efeitos sobre as características das plantas, o incremento da densidade de plantas também influenciou os três componentes do rendimento. Em ambas as estações de crescimento, o número de espigas por metro quadrado de todos os híbridos aumentou com o incremento da densidade de plantas, e independentemente do nível de disponibilidade hídrica (Figuras 17 e 18). Este componente tem grande efeito no rendimento de grãos, pois afeta diretamente o número de grãos por unidade de área. Como a capacidade de compensação do uso de uma baixa densidade de plantas pelo aumento do número de grãos por espiga é limitada, o incremento no número de espigas por metro quadrado pelo aumento da densidade de plantas, até certo limite, é uma estratégia eficiente para aumentar o rendimento de grãos. No presente trabalho, o número de espigas por metro quadrado foi o componente do rendimento que mais se associou ao rendimento de grãos, apresentando alta correlação ( $r=0,78$  e  $0,87$ , respectivamente na primeira e segunda estação).

Embora tenha ocorrido aumento do número de espigas por metro quadrado até à densidade mais elevada ( $11,0 \text{ pl m}^{-2}$ ), o incremento da densidade de plantas acima de certos limites pode causar esterilidade de plantas, principalmente sob condições de deficiência hídrica. No primeiro ano, nos tratamentos em que o milho foi irrigado apenas no período mais crítico, não houve deficiência hídrica nesse período mais crítico da cultura. Da mesma forma, no segundo ano também não se verificou deficiência hídrica no período mais crítico da cultura, mesmo nos tratamento sob condições naturais de precipitação pluvial, devido à adequada quantidade e distribuição das precipitações. Assim,

houve adequada sincronia entre a emissão das inflorescências masculina e feminina em ambas as estações de crescimento (Tabelas 3 e 4), o que explica a baixa esterilidade de plantas ocorrida. O aumento da densidade de plantas intensifica a competição intra-específica, podendo aumentar a esterilidade de plantas e reduzir o número de espigas por metro quadrado. Esse aumento da esterilidade de plantas pode ser devido ao maior intervalo entre a emissão do pendão e da espiga (Tollenaar & Lee 2002). O uso de altas densidades de plantas sob condições de deficiência hídrica pode acentuar ainda mais a esterilidade de plantas (Westgate, 1994). Reduções no rendimento de grãos de 20 até 90% já foram relatadas com a ocorrência de deficiência hídrica no período mais crítico da cultura do milho (Çakir, 2004).

Além da densidade de plantas e do nível de disponibilidade hídrica no solo, o número de espigas por metro quadrado pode ser influenciado pelo nível de fertilidade do solo, pelo manejo e pelo híbrido utilizado (Silva *et al.* 2010a). O histórico de alta fertilidade da área de condução do experimento e a adubação utilizada de acordo com a expectativa para obtenção de alto rendimento, além dos fatores citados no parágrafo anterior, minimizaram a ocorrência de estresses nas plantas e devem ter contribuído para redução da esterilidade e obtenção de elevado número de espigas por metro quadrado, especialmente na maior densidade de plantas testada (11,0 pl m<sup>-2</sup>). Além disso, os híbridos modernos de milho apresentam maior sincronia entre as emissões do pendão e da espiga, além de outras características, como menor tamanho do pendão, que contribuem para diminuir a esterilidade de plantas, mesmo sob condições de estresse (Duvick & Cassman 1999, Duvick *et al.*, 2004, Tollenaar & Lee 2002). A maior sincronia entre antese e espigamento e o maior número de grãos por espiga apresentados pelos híbridos modernos em relação aos mais antigos em altas densidades também decorrem da maior eficiência dos híbridos modernos em suprir fotoassimilados e compostos nitrogenados à espiga nas fases de pré-floração, floração e início de enchimento de grãos (Sangoi *et al.*, 2001a). Alguns

dos híbridos testados no presente trabalho apresentaram maior prolificidade e produziram maior número de espigas por metro quadrado nas densidades mais baixas (5,0 e 7,0 pl m<sup>-2</sup>) (Figuras 17 e 18). Entretanto, isso não se refletiu na resposta do rendimento de grãos a esse fator (Figuras 23, 24 e 25).

Além do número de espigas por metro quadrado, os outros dois componentes também variaram em função de densidade de plantas. Em ambas as estações de crescimento, o número de grãos por espiga reduziu com o incremento da densidade de plantas, independentemente do nível de disponibilidade hídrica, exceto para os híbridos D 2B707 e NB 7502, no primeiro ano (Figuras 19 e 20). Isto se deve ao aumento da competição intra-específica pelos recursos disponíveis no ambiente. Altas densidades de plantas reduzem os suprimentos de nitrogênio (Lemcoff & Loomis, 1994), fotoassimilados (Jacobs & Pearson, 1991) e água (Westgate, 1994) às espigas. Esse decréscimo verificado no número de grãos por espiga com o incremento da densidade pode ser devida ao aborto de óvulos recentemente fertilizados no início do enchimento de grãos (Sangoi, 2000). A disponibilidade adequada de açúcares solúveis e nitrogênio nas espigas e nos órgãos próximos a elas no período compreendido entre a antese e o início da fase de dilatação dos grãos é fundamental para que a intensa atividade mitótica verificada nos óvulos recém-fertilizados possa ser mantida (Salvador & Pearce, 1995). Já o peso do grão reduziu com o incremento da densidade de plantas nos dois anos (Figuras 21 e 22), o que também é explicado pelo aumento da competição intra-específica.

Outro fator que pode influenciar a resposta do milho ao incremento da densidade de plantas é o híbrido utilizado. Exceto para teor de nitrogênio na plantas, nos dois anos todas as características analisadas apresentaram resposta diferenciada em função dos híbridos testados. No entanto, no primeiro ano a resposta do rendimento de grãos ao incremento da densidade de plantas não variou em função do híbrido utilizado. Vários trabalhos têm demonstrado que os híbridos de milho diferem quanto sua resposta à densidade de plantas

em função de duração do ciclo (Sangoi *et al.*, 2001b), de arquitetura de planta (Piana *et al.*, 2008), e da época de lançamento no mercado (Sangoi *et al.*, 2002). Por outro lado, verificam-se diferenças entre híbridos quanto à resposta à adubação nitrogenada e ao uso de N (Carlone & Russel, 1987), à capacidade de uso da água (Campos *et al.*, 2004), a condições desfavoráveis de crescimento e a aplicação de insumos e de práticas de manejo (Duvick, 1992). Todos esses aspectos podem influenciar a resposta dos híbridos ao incremento da densidade de plantas. Entretanto, nenhuma característica isolada pode ser considerada por si só como responsável pela resposta diferencial de híbridos ao incremento da densidade de plantas. O balanço final entre todas as características intrínsecas de cada híbrido é que determina a sua resposta à densidade de plantas.

Conforme exposto anteriormente, nas duas estações de crescimento houve resposta de rendimento de grãos do milho a densidades superiores a  $9,0 \text{ pl m}^{-2}$ , independentemente do nível de disponibilidade hídrica. Estes resultados confirmam a primeira hipótese do trabalho de que nas semeaduras de final de inverno em regiões mais quentes do Sul do Brasil (agosto a meados de setembro) são requeridas altas densidades de plantas para se obter altos rendimentos de grãos de milho, como estratégias para compensar os efeitos do menor crescimento das plantas nessa época de semeadura devidos à ocorrência de menores temperaturas do ar e de radiação solar.

Na primeira estação de crescimento, a resposta do milho à densidade de plantas variou em função apenas do nível de disponibilidade hídrica, enquanto que, na segunda estação, houve resposta da densidade em função de nível de disponibilidade hídrica e híbrido. Os resultados obtidos nesse segundo ano confirmam a segunda hipótese do trabalho de que a resposta do milho à densidade de plantas depende do nível de disponibilidade hídrica. Além disso, os resultados obtidos no primeiro ano evidenciam que é possível obter altos rendimentos de grãos mesmo com aplicação de irrigação apenas durante o período mais crítico da cultura do milho. Isto se constitui em estratégia eficiente

para aumentar o rendimento de grãos em situações onde há limitada disponibilidade de água para realização de irrigações.

Na semeadura de final de inverno, o milho se desenvolve sob menores temperaturas do ar e do solo e menor disponibilidade de radiação solar. Estas características climáticas restringem o crescimento vegetativo da cultura, propiciando a formação de plantas baixas, com área foliar reduzida (Sangoi et al., 2010a). A restrição de fonte é um dos fatores que podem limitar a obtenção de altas produtividades quando o milho é semeado entre o início de agosto e meados de setembro. Entretanto, Forsthofer et al. (2006) e Piana et al. (2008) obtiveram, em experimentos realizados na mesma região e época de semeadura deste estudo, produtividades acima de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , sob alto nível de manejo e com o uso de irrigação complementar. Além disso, o recorde de produtividade sob condições experimentais no estado do Rio Grande do Sul ( $17,3 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi obtido em semeadura no final do inverno, enquanto que a maior produtividade do estado na semeadura de outubro foi de  $17,2 \text{ t ha}^{-1}$  (Endrigo *et al.*, 2009).

Os dados obtidos no presente trabalho reforçam a tese de que é possível alcançar tetos de produtividade nas semeaduras de final de inverno similares aos obtidos em semeaduras de outubro. Para alcançar este objetivo é necessário utilizar densidades superiores as atualmente recomendadas para potencializar o rendimento sob condições ótimas de manejo, que situam-se entre 7 a  $8 \text{ pl m}^{-2}$ . A elevação da densidade para valores compreendidos entre 10 e  $11 \text{ pl m}^{-2}$  compensa o menor desenvolvimento vegetativo da cultura, aumentando o índice de área foliar e incrementando a eficiência de uso da radiação solar. Dessa forma, mesmo que ocorra deficiência hídrica, o maior IAF obtido com o incremento da densidade aumenta o rendimento de grãos até o ponto em que a perda de rendimento por planta pelo aumento da competição intra-específica supere o ganho de rendimento obtido com o incremento da densidade de plantas. Logo, nas semeaduras de final de inverno o incremento da densidade de plantas é uma estratégia eficiente para

aumentar o rendimento de grãos de milho, desde que não haja deficiência hídrica entre V<sub>15</sub> e R<sub>2</sub>.

Apesar dos benefícios advindos do incremento da densidade de plantas sobre o rendimento de grãos, pode haver algumas desvantagens com a sua adoção, como por exemplo, o aumento do acamamento de plantas. Em ambas as estações de crescimento, houve redução do diâmetro de colmo com o incremento da densidade de plantas (Figuras 14 e 15). No segundo ano, também houve aumento da altura de inserção de espiga (Figura 12) e da senescência foliar (Figura 13) com o seu incremento. Com incremento da densidade de plantas, há aumento da elongação dos entrenós, da estatura de planta e da altura de inserção de espiga, além da redução do diâmetro de colmo (Salisbury & Ross, 1992). Além disso, a competição entre indivíduos por água, luz e nutrientes reduz a disponibilidade de fotoassimilados para atender à demanda para enchimento de grãos e manutenção das demais estruturas da planta (Sangoi & Salvador, 1997). Logo, a maior demanda exercida pelos grãos por esses produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões (Tollenaar *et al.*, 1994). Assim, o incremento da densidade de plantas aumenta a probabilidade de acamamento da cultura, o que pode limitar o rendimento de grãos. Entretanto, no presente trabalho não foi observado acamamento de plantas em nenhum dos tratamentos testados.

Embora não tenha sido objeto do presente estudo, outra possível limitação do uso de altas densidades de plantas é o possível aumento da incidência de moléstias. Densidades altas implicam em menor penetração de radiação solar no dossel e menor circulação de ar, prolongando o período de deposição de orvalho e predispondo a planta à ocorrência de doenças foliares (Sangoi *et al.* 2010b). Por outro lado, esses autores ressaltam que, por restringir a atividade fotossintética das folhas, o uso de altas densidades induz o colmo a redirecionar fotoassimilados em maior quantidade para enchimento de grãos, fragilizando-o e facilitando a ocorrência de podridões. Além disso, os agentes causais de

podridões de colmo podem migrar para as espigas e aumentar a ocorrência de grãos ardidos. Entretanto não se verificou aumento da incidência de moléstias e de grãos ardidos com o incremento da densidade de plantas no presente trabalho.

Com os constantes avanços obtidos nos programas de melhoramento e o lançamento no mercado de novos híbridos cada vez mais resistentes a condições de estresses e responsivos às práticas de manejo e à aplicação de insumos, há a necessidade de avaliar continuamente a sua resposta ao arranjo de plantas e às novas práticas de manejo, buscando o aumento de produtividade, a estabilidade de produção e a sustentabilidade do sistema de produção agrícola. Os resultados obtidos e os aspectos discutidos no presente trabalho são uma contribuição na busca de alternativas de práticas de manejo que visem o aumento da produtividade da cultura do milho e, ao mesmo tempo, justifiquem e proporcionem embasamento para continuidade dessa linha de pesquisa.

## 6 CONCLUSÕES

Na semeadura de final de inverno (agosto a meados de setembro), em regiões mais quentes do Estado do Rio Grande do Sul, o incremento da densidade de plantas aumenta o índice de área foliar, compensando, desta forma, o menor desenvolvimento das plantas e aumentando o rendimento de grãos.

Nas semeaduras feitas no final do inverno é possível obter rendimentos de grãos superiores a  $13 \text{ t ha}^{-1}$  com utilização de altas densidades de plantas e irrigação complementar.

A utilização de densidades de plantas superiores a nove plantas por metro quadrado é uma estratégia eficiente para otimizar o rendimento de grãos de milho nas semeaduras de final de inverno, desde que não haja deficiência hídrica entre  $V_{15}$  e  $R_2$ .

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGENTA, G. *et al.* Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.
- BERGAMASCHI, H. *et al.* **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77p.
- 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.
- ÇAKIR, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.89, n.1, p.1-16, 2004.
- CAMPOS, H. *et al.* Improving drought tolerance in maize: A view from industry. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.90, n.1, p.19-34, 2004.
- CAMPOS, H. *et al.* Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. **Maydica**, Bergamo, v.51, n.2, p.369-381, 2006.
- 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/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_01\\_19\\_11\\_00\\_30\\_brasilproduct\\_oseriehist.xls](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_19_11_00_30_brasilproduct_oseriehist.xls)>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p.
- 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. What is yield? In: EDMEADES, G.O., et al. (Eds.), **Developing Drought and Low N-tolerant maize**. El Batan: CIMMYT, 1997. p. 332-335.
- 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.

EDMEADES, G.O., DAYNARD, T.B. The development of plant-to-plant variability in maize at different planting densities. **Canadian Journal Plant Science**. Ottawa, v.59, n.3, p.561–576, 1979a

EDMEADES, G.O., DAYNARD, T.B. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.59, n.3, p.585–601, 1979b.

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.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS [Informações] Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/ak347e/ak347e00.pdf>> Acesso em: 02 fev. 2011.

FORSTHOFER, E.L. *et al.* Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.399-407, 2006.

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.

GARDNER, F.P. *et al.* **Physiology of crop plants**. Ames: Iowa State University, 1985. 327p.

GUTERRESS, B.S. *et al.* Resposta do milho irrigado à adubação nitrogenada em sucessão ao nabo forrageiro como cobertura de solo no inverno. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 2010, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM

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. 105p. (BOLETIM FEPAGRO, 10).

MCCULLOUGH, D.E. *et al.* Influence of N supply on the development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.74, n.2, p.471-478, 1994.

MILLAR, A.A. **Manejo racional da irrigação:** uso de informações básicas sobre diferentes culturas. Brasília: IICA, 1984. 57p.

MOSER, S.B. *et al.* Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. **Agricultural Water Management**, Ohio, v.81, n. 1-2, p.41-58, 2006.

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.

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R.F da. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos.** Porto Alegre: Evangraf, 2005. 51p.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. **Nutrição e adubação.** Londrina: Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1982. p.88-104. (Circular, 29).

PANDEY, R.K. *et al.* Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment I. Grain yield and yield components. **Agricultural Water Management**, Ohio, v.46, n.1, p.1-13, 2000.

PEIXOTO, C. *et al.* Rendimento de grãos de milho em função da densidade de plantas, em dois níveis de manejo da água e da adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.3, n.1, p.63-71, 1999.

PENARIOL, F.G. *et al.* Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.2, p.52-60, 2003.

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.

PINHO, R.G.V. *et al.* Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na região sudeste do Tocantins. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.733-739, 2008.

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/corn\\_grows.html](http://www.biologie.uni-hamburg.de/bonline/library/maize/www.ag.iastate.edu/departments/agronomy/corn_grows.html) > Acesso em: 02 fev. 2011.

ROBINS, J.S.; DOMINGO, C.E. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.45, n.12, p.618–621, 1953.

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

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. Agronomic performance of male-sterile and fertile maize genotypes at two plant populations. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.26, n.3, p.377-388, 1996.

SANGOI, L.; SALVADOR, R.J. Dry matter production and partitioning of maize hybrids and dwarf lines at four plant populations. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.1-6, 1997.

SANGOI, L., SALVADOR, R.J. Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p.297-306, 1998a.

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.* Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas ao aumento da densidade de plantas. In. REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 3., 2001, Chapecó. **Resumos...** Florianópolis: Epagri, 2001a. p.48 -52.

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.* Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.79, n.1, p.39–51, 2002.

SANGOI, L. *et al.* Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1021-1029, 2003.

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

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

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.

SILVA, P.R.F. da *et al.* Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.585-592, 1999.

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

TEDESCO, M.J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

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. p.183-236. Cap.4.

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 DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. [Informações] <Disponível em: <http://usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf> .> Acesso em: 02 fev. 2011.

VIEIRA, V.M. *et al.* Desempenho agronômico de genótipos de milho na época de semeadura precoce sob níveis de manejo alto e médio. In: 52ª 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. P.361-364. Cap.15

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. Eldorado do Sul-RS, 2008/09

Causas de variação	GL	Quadrados médios				Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R <sub>1</sub> <sup>1</sup>
		Índice de área foliar nos estádios <sup>1</sup>				
		V <sub>6</sub>	V <sub>10</sub>	V <sub>15</sub>	R <sub>1</sub>	
Irrigação (I)	1	0,00495937 <sup>ns</sup>	0,32550104 <sup>**</sup>	1,5050042 <sup>**</sup>	4,5631760 <sup>**</sup>	213,1382469 <sup>**</sup>
Repetição (irrigação)	4	0,00186250 <sup>ns</sup>	0,10649583 <sup>ns</sup>	0,2804042 <sup>**</sup>	0,4829167 <sup>ns</sup>	4,2220156 <sup>ns</sup>
Híbrido (H)	3	0,01232049 <sup>**</sup>	0,41233438 <sup>**</sup>	2,5053569 <sup>**</sup>	0,7879094 <sup>*</sup>	10,8417461 <sup>*</sup>
Densidade (D)	3	0,14890938 <sup>**</sup>	3,26200383 <sup>**</sup>	33,3441125 <sup>**</sup>	59,3852399 <sup>**</sup>	62,4681483 <sup>**</sup>
IxH	3	0,00243715 <sup>ns</sup>	0,04155938 <sup>ns</sup>	0,2080625 <sup>*</sup>	0,3944788 <sup>ns</sup>	2,1057409 <sup>ns</sup>
IxD	3	0,00148715 <sup>ns</sup>	0,00338993 <sup>ns</sup>	0,0569069 <sup>ns</sup>	0,2474705 <sup>ns</sup>	1,8851677 <sup>ns</sup>
HxD	9	0,00139086 <sup>ns</sup>	0,04466215 <sup>ns</sup>	0,0725838 <sup>ns</sup>	0,1895964 <sup>ns</sup>	4,0620626 <sup>ns</sup>
IxHxD	9	0,00215752 <sup>ns</sup>	0,06318900 <sup>ns</sup>	0,1112505 <sup>ns</sup>	0,2815399 <sup>ns</sup>	2,3220787 <sup>ns</sup>
CV <sup>2</sup> (%)		17,6	19,3	6,8	8,9	13,9

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

<sup>2</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

<sup>\*</sup> Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

<sup>\*\*</sup> Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância das características avaliadas no primeiro ano. Eldorado do Sul-RS, 2008/09

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Estatura de planta	Altura de inserção de espiga	Senescência foliar no estádio R <sub>3</sub> <sup>1</sup>	Diâmetro de colmo
Irrigação (I)	1	3,50370417**	0,74730104**	171,2004167**	0,03081667 <sup>ns</sup>
Repetição (irrigação)	4	0,25711354**	0,06391667**	33,5760417*	0,02346667 <sup>ns</sup>
Híbrido (H)	3	0,20699306**	0,20076493**	42,8015278**	0,90378611**
Densidade (D)	3	0,03290694 <sup>ns</sup>	0,00864271 <sup>ns</sup>	23,3984722 <sup>ns</sup>	0,72207500**
IxH	3	0,04025972*	0,01564549 <sup>ns</sup>	36,1748611*	0,02025833 <sup>ns</sup>
IxD	3	0,00410694 <sup>ns</sup>	0,00227326 <sup>ns</sup>	8,0045833 <sup>ns</sup>	0,05175278 <sup>ns</sup>
HxD	9	0,00658102 <sup>ns</sup>	0,00610938 <sup>ns</sup>	5,6736574 <sup>ns</sup>	0,02024259 <sup>ns</sup>
IxHxD	9	0,03088102*	0,01236956 <sup>ns</sup>	5,5616204 <sup>ns</sup>	0,02355370 <sup>ns</sup>
CV <sup>2</sup> (%)		4,8	8,6	9,4	6,4

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

<sup>2</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> 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. Eldorado do Sul-RS, 2008/09

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Espigas m <sup>-2</sup>	Nº grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso do grão	Rendimento de grãos
Irrigação (I)	1	0,5704167 <sup>ns</sup>	94424,0351 <sup>**</sup>	864,8227 <sup>ns</sup>	98,4150000 <sup>**</sup>
Repetição (irrigação)	4	0,4772917 <sup>ns</sup>	3494,9507 <sup>ns</sup>	639,8016 <sup>ns</sup>	0,8327083 <sup>ns</sup>
Híbrido (H)	3	3,3290278 <sup>**</sup>	61473,4589 <sup>**</sup>	36416,2536 <sup>**</sup>	4,5262500 <sup>**</sup>
Densidade (D)	3	91,3512500 <sup>**</sup>	34224,9135 <sup>**</sup>	10234,2014 <sup>**</sup>	44,7404167 <sup>**</sup>
IxH	3	0,1879167 <sup>ns</sup>	6604,0675 <sup>*</sup>	629,3999 <sup>ns</sup>	0,7569444 <sup>ns</sup>
IxD	3	0,2212500 <sup>ns</sup>	3008,6079 <sup>ns</sup>	319,2131 <sup>ns</sup>	3,5394444 <sup>**</sup>
HxD	9	0,8235648 <sup>**</sup>	4170,0358 <sup>***</sup>	640,5596 <sup>ns</sup>	0,6988426 <sup>ns</sup>
IxHxD	9	0,2428241 <sup>ns</sup>	2110,5977 <sup>ns</sup>	1127,0309 <sup>ns</sup>	0,5395370 <sup>ns</sup>
CV <sup>2</sup> (%)		6,2	10,7	6,6	6,4

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

<sup>\*</sup> Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

<sup>\*\*</sup> Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

<sup>\*\*\*</sup> Significativo pelo F-teste ao nível de 10% de probabilidade

APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano. Eldorado do Sul-RS, 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios				Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R <sub>1</sub> <sup>1</sup>
		Índice de área foliar nos estádios <sup>1</sup>				
		V <sup>6</sup>	V <sup>10</sup>	V <sup>15</sup>	R <sup>1</sup>	
Irrigação (I)	1	0,00871522 <sup>**</sup>	0,00232327 <sup>ns</sup>	0,0777900 <sup>ns</sup>	0,1523863 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>
Repetição (irrigação)	4	0,00044219 <sup>ns</sup>	0,01028060 <sup>ns</sup>	0,1246938 <sup>ns</sup>	0,1485004 <sup>ns</sup>	14,8624467 <sup>*</sup>
Híbrido (H)	3	0,01650117 <sup>**</sup>	0,15053237 <sup>*</sup>	0,4788951 <sup>*</sup>	6,1953544 <sup>**</sup>	86,4951769 <sup>**</sup>
Densidade (D)	3	0,18955048 <sup>**</sup>	4,46468959 <sup>**</sup>	35,1653942 <sup>**</sup>	55,5941168 <sup>**</sup>	56,2240634 <sup>**</sup>
IxH	3	0,00186088 <sup>ns</sup>	0,07104193 <sup>ns</sup>	0,0731003 <sup>ns</sup>	0,0423511 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>
IxD	3	0,00298218 <sup>ns</sup>	0,03872719 <sup>ns</sup>	0,0770103 <sup>ns</sup>	0,2310422 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>
HxD	9	0,00378938 <sup>*</sup>	0,04182348 <sup>ns</sup>	0,1621163 <sup>ns</sup>	0,3514954 <sup>ns</sup>	6,3962269 <sup>ns</sup>
IxHxD	9	0,00190889 <sup>ns</sup>	0,03175611 <sup>ns</sup>	0,0879493 <sup>ns</sup>	0,2161524 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>
CV <sup>2</sup> (%)		15,4	13,9	9,1	9,6	20,9

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

<sup>2</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

<sup>\*</sup> Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade

<sup>\*\*</sup> Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade

continuação APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância das características avaliadas no segundo ano. Eldorado do Sul-RS, 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Estatura de planta	Altura de inserção de espiga	Senescência foliar no estádio R <sub>3</sub> <sup>1</sup>	Diâmetro de colmo
Irrigação (I)	1	0,04063611**	0,00655833 <sup>ns</sup>	14,9307624 <sup>ns</sup>	0,02169490 <sup>ns</sup>
Repetição (irrigação)	4	0,01487407 <sup>ns</sup>	0,01022500 <sup>ns</sup>	9,3159075 <sup>ns</sup>	0,01420339 <sup>ns</sup>
Híbrido (H)	3	0,39435833**	0,36785278**	248,4179607**	0,30250052**
Densidade (D)	3	0,00025802 <sup>ns</sup>	0,06756142**	118,68993338**	1,04036687**
IxH	3	0,00590278 <sup>ns</sup>	0,04470694*	3,8293930n <sup>s</sup>	0,00685338 <sup>ns</sup>
IxD	3	0,01240895 <sup>ns</sup>	0,01536698 <sup>ns</sup>	3,3965246 <sup>ns</sup>	0,01128704 <sup>ns</sup>
HxD	9	0,00712377 <sup>ns</sup>	0,01793920 <sup>ns</sup>	9,3078271 <sup>ns</sup>	0,06283534**
IxHxD	9	0,00789969 <sup>ns</sup>	0,01559336 <sup>ns</sup>	8,4770073 <sup>ns</sup>	0,01139153 <sup>ns</sup>
CV <sup>2</sup> (%)		3,4	9,4	7,4	5,1

<sup>1</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993)

<sup>2</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> 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. Eldorado do Sul-RS, 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios					
		Teor de N na parte aérea	Índice de colheita	Espigas m <sup>-2</sup>	Nº grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso do grão	Rendimento de grãos
Irrigação (I)	1	0,16904702**	0,00091204 <sup>ns</sup>	0,6595520 <sup>ns</sup>	13638,4866**	0,00313506**	12,8354772**
Repetição (irrigação)	4	0,02381658 <sup>ns</sup>	0,00074930 <sup>ns</sup>	0,4519319 <sup>ns</sup>	1044,5156 <sup>ns</sup>	0,00063650*	2,7058866**
Híbrido (H)	3	0,02465381 <sup>ns</sup>	0,00966398**	3,4519360**	35390,8891**	0,01155250**	0,0525192 <sup>ns</sup>
Densidade (D)	3	0,04025327 <sup>ns</sup>	0,00100843 <sup>ns</sup>	91,4972785**	51857,8427**	0,00477360**	50,9584185**
IxH	3	0,00593113 <sup>ns</sup>	0,00022820 <sup>ns</sup>	0,4569340 <sup>ns</sup>	1443,1003 <sup>ns</sup>	0,00007572 <sup>ns</sup>	2,3299477**
IxD	3	0,02897938 <sup>ns</sup>	0,00160852**	0,2248838 <sup>ns</sup>	832,7821 <sup>ns</sup>	0,00017969 <sup>ns</sup>	0,6822 <sup>ns</sup>
HxD	9	0,04103780 <sup>ns</sup>	0,00129226*	1,1178756**	4846,2319**	0,00037511 <sup>ns</sup>	1,0332181 <sup>ns</sup>
IxHxD	9	0,01106819 <sup>ns</sup>	0,00020738 <sup>ns</sup>	0,2978120 <sup>ns</sup>	1173,7841 <sup>ns</sup>	0,00035749 <sup>ns</sup>	1,2147115*
CV <sup>1</sup> (%)		18,5	4,5	6,1	6,9	4,6	5,8

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

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

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

APÊNDICE 3. Coeficientes de correlação linear<sup>1</sup> do rendimento de grãos de milho com os parâmetros avaliados no primeiro e segundo ano. Eldorado do Sul-RS, 2008/09 e 2009/10.

Parâmetros avaliados	Coeficiente de correlação linear (r)		
	Estações de crescimento		
	2008/09	2009/10	
	V <sub>6</sub>	0,74**	0,82**
Índice de área foliar nos estádios <sup>2</sup>	V <sub>10</sub>	0,77**	0,83**
	V <sub>15</sub>	0,70**	0,85**
	R <sub>1</sub>	0,70**	0,83**
Estatura de planta		0,47**	0,21 <sup>ns</sup>
Altura de inserção de espiga		0,48**	0,20*
Rendimento de massa seca da parte aérea no estádio R <sub>1</sub>		0,73**	0,30**
Senescência foliar no estádio R <sub>3</sub>		-0,39 <sup>ns</sup>	0,48**
Diâmetro de colmo		-0,37**	-0,53**
Índice de colheita		-	0,27**
Teo de N na parte aérea da planta		-	0,73**
Espigas m-2 (N°)		0,78**	0,87**
Grãos espiga-1 (N°)		0,05 <sup>ns</sup>	-0,29**
Peso do grão		-0,12 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>

\* Significativo pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade. <sup>1</sup> Análise de correlação de Pearson. <sup>2</sup> Segundo escala de Ritchie *et al.* (1993).