

AMAURI SCHMITT

**ARRANJO DE PLANTAS PARA MAXIMIZAR O DESEMPENHO
AGRONÔMICO DO MILHO EM AMBIENTES DE ALTO
MANEJO**

Tese apresentada ao Centro de Ciências
Agroveterinárias da Universidade do Estado
de Santa Catarina – UDESC para obtenção
do título de Doutor em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Ph.D. Luis Sangoi

**LAGES-SC
2014**

S355a

Schmitt, Amauri

Arranjo de plantas para maximizar o desempenho
agronômico do milho em ambientes de alto manejo/
AmauriSchmitt. - Lages, 2014.

226p. : il. ; 21 cm

Orientador: LuisSangoi

Bibliografia: p. 216-226

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveteinárias,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal,
Lages, 2014.

1. *Zeamays*. 2. Densidade de plantas.
3. Espaçamento entre-linhas. 4. Qualidade de
estande. I. Schmitt, Amauri. II. Sangoi,
Luis. III. Universidade do Estado de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. IV.
Título

CDD: 633.15 - 20.ed.

AMAURO SCHMITT

**ARRANJO DE PLANTAS PARA MAXIMIZAR O DESEMPENHO
AGRONÔMICO DO MILHO EM AMBIENTES DE ALTO
MANEJO**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de doutor no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

Orientador: _____
Ph.D. Luis Sangoi
UDESC/Lages-SC

Membro: _____
Dr. Clóvis Arruda de Souza
UDESC/Lages-SC

Membro _____
Dr. Ricardo Trezzi Casa
UDESC/Lages-SC

Membro externo: _____
Dr. Carla Maria Pandolfo
Epagri/Campos Novos-SC

Membro externo: _____
Ph.D. Paulo Régis Ferreira da Silva
UFRGS/ Porto Alegre-RS

Lages, Santa Catarina, 13 de outubro de 2014.

*Aos meus pais e minhas irmãs,
pelo apoio incondicional, o amor
e o carinho em cada desafio que
se fez presente.
A vocês minha eterna gratidão.
Ofereço e dedico!*

AGRADECIMENTOS

A Deus que permitiu traçar um caminho iluminado de vida.

Aos meus pais, Valderes e Vilma e minhas irmãs, Catiline e Jaqueline, pelo carinho, apoio e incentivo nesta caminhada. Que acompanham esses sonhos bobos desde que saí para Itapiranga, para Lages, duas vezes para o Rio Grande do Sul, Paraguai, Ceará... Sei que não é fácil, nada fora fácil para todos nós, mas enfim, com todo seu valor!

Ao Fernando e toda família Gava, pelos anos de convivência, carinho, amizade. Aos sempre amigos que me aguentaram por muitos anos, Daniel e Eduardo, ou melhor, Coruja e Bidu.

À Fernanda, a Edite, o seu João, o Ru, a Grasi, o Victor e o Pedro, que estiveram presentes, incentivadores nessa caminhada!

Aos “*Zea mays*”, Diego, Willian, Cristian, Calouro, Mariana, Franciso, Siega, Tiago e Allan da graduação e Murilo, Lígia, Alexandre, Jefferson, Fernando, Daniel e Gilmar da pós. Sem vocês nada teria sido possível, aprendi muito com vocês. Um agradecimento especial para o Marcos, a Paula, o Delson, o Claitson e o Cleber, como aprendi com vocês, bons e prolíficos tempos. Muito trabalho e muita amizade!

Aos colegas da BASF e da B.O. Dantas, pelo apoio diário para que fosse possível conciliar todas as atividades diárias e pela amizade.

A Adriana, pelo incentivo, por emprestar o ouvido sempre, pelo carinho e pela paciência.

Ao Carlão, Valdemar e Maurício um grande abraço, parceiros durante as viagens, representando os demais funcionários da Universidade. Ao professor Clóvis pelas trocas de idéias, ao professor Ricardo pelas

discussões e amizade, representando os professores. Obrigado a todos!

À UDESC e a CAPES, pelo patrocínio dos nossos projetos, pelo ensino gratuito de qualidade e pela concessão da bolsa.

E obrigado especialmente ao mestre Luis Sangoi, pelo exemplo de profissionalismo, pela enormidade de conhecimentos transmitidos e por aceitar mais este desafio, me orientando na graduação, no mestrado e doutorado. Não teria encontrado e reencontrado várias vezes o meu caminho sem que você me fizesse enxergar, que tudo é possível com trabalho. E, sobretudo, pela paciência, amizade, e por confiar em mim como filho nestes muitos anos. Um abraço a você e sua linda família!

“Seu trabalho vai preencher boa parte a sua vida e a única maneira de ser verdadeiramente satisfeito é fazer o que acredita ser um ótimo trabalho. E a única maneira de fazer um ótimo trabalho é amar o que você faz.”

Steve Jobs

RESUMO

SCHMITT, Amauri. **Arranjo de plantas para maximizar o desempenho agrônômico do milho em ambientes de alto manejo.** 2014, 226f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – Áreas: Ciências Agrárias, Fitotecnia, Agronomia) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2014.

A escolha adequada do arranjo de plantas é importante para potencializar o rendimento de grãos do milho. Este trabalho foi conduzido com o intuito de identificar as melhores estratégias de manipulação do arranjo de plantas para alcançar tetos produtivos superiores a 18.000 kg ha⁻¹. Foram conduzidos quatro experimentos nas safras 2010/2011 e 2011/2012. No primeiro avaliou-se o efeito do incremento na densidade de plantas sobre o desempenho agrônômico do milho. Foram testadas as densidades de 3, 5, 7, 9 e 11 pl m⁻², nos espaçamentos entre-linhas de 40 e 80 cm. No segundo avaliou-se o impacto da redução do espaçamento entre-linhas no potencial produtivo do milho. Foram avaliados os espaçamentos entre-linhas de 100, 80, 60 e 40 cm e o de linhas gêmeas, nas densidades de 70.000 e 90.000 pl ha⁻¹. No terceiro quantificou-se o efeito da irregularidade temporal na emergência das plantas na linha de semeadura sobre o rendimento de grãos. Foram testados cinco níveis de desuniformidade temporal, equivalentes a 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 dias. No nível 0 todas as sementes foram semeadas no mesmo dia. Nos demais níveis, metade das sementes foi semeada no dia 0 e a outra metade 2,5, 5,0, 7,5 e 10 dias após. No quarto experimento analisou-se o efeito da desuniformidade espacial na linha sobre o rendimento de

grãos do milho. Foram testados cinco níveis de desuniformidade espacial, equivalentes a 0, 25, 50, 75 e 100 % do coeficiente de variação, onde o nível 0 equivale as plantas uniformemente distribuídas nos sulcos. Cada nível de desuniformidade temporal e espacial foi avaliado nos espaçamentos entre-linhas de 40 e 80 cm. No primeiro ensaio, o rendimento de grãos aumentou linearmente com o incremento na densidade de plantas no espaçamento de 0,4m entre-linhas. No segundo ensaio, os rendimentos foram maiores na densidade de 9 pl m⁻² do que na de 7 pl m⁻² e não houve diferenças significativas no rendimento de grãos entre os cinco espaçamentos entre-linhas. No terceiro trabalho, o aumento da variabilidade temporal das plantas na linha diminuiu o rendimento de grãos do milho quando o mesmo foi cultivado com espaçamentos entre-linhas de 80 cm. No quarto ensaio, o rendimento de grãos reduziu com o aumento do C.V na distribuição espacial de plantas quando o milho foi cultivado no espaçamento entre-linhas de 40 cm. A utilização de densidades supra-ótimas (9 a 11 pl m⁻²) e de espaçamento entre-linhas reduzido (40-50 cm) são estratégias efetivas de manipulação do arranjo de plantas para alcançar produtividades superiores a 18.000 kg ha⁻¹ em lavouras com distribuição espacial e temporal uniforme das plantas na linha de semeadura.

Palavras-chave: *Zea mays*, densidade de plantas, espaçamento entre-linhas, qualidade de estande.

ABSTRACT

SCHMITT, Amauri. **Arrangement of plants to maximize the agronomic performance of maize in high potential of yield environments.** 2014, 226f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – Áreas: Ciências Agrárias, Fitotecnia, Agronomia) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2014.

The proper choice of plant arrangement is important to maximize maize grain yield. This work was carried out aiming to evaluate the best strategies to manipulate plant arrangement in order to reach grain yields higher than 18,000 kg ha⁻¹. Four field experiments were set during the 2010/2011 and 2011/2012 growing seasons. In the first experiment, the effect of increasing plant density was assessed. The plant populations of 3, 5, 7, 9 and 11 pl m⁻² were tested at two row spacing (40 and 80 cm). In the second trial, the effect of reducing row spacing was studied. Five row spacings were tested: 40, 60, 80, 100 cm and twin rows. Each row spacing was tested at two plant densities (7 and 9 pl m⁻²). In the third trial, plant uneven emergence at the sowing row was evaluated. Five levels of unevenness in plant emergence were studied: 0, 2.5, 5, 7.5 and 10 days. In the level 0, all seeds were sowed in the same day. In the other treatments, half seeds were sowed in day 0 and the other half 2.5, 5, 7.5 and 10 days after. In the fourth trial spatial uneven plant distribution in the sowing row was simulated. Five levels of spatial unevenness were addressed: 0, 25, 50, 75 and 100 of the variation coefficient (C.V.). In the level 0, all seeds were placed at the same distance from each other in the sowing row. Uneven temporal and spatial distribution was studied at

two row spacings: 40 and 80 cm. In the first experiment, grain increased linearly with the increment in plant population from 3 to 11 pl m⁻² when maize was grown with the row spacing of 40 cm. In the second trial, grain yield was greater with 9 pl m⁻² than with 7 pl m⁻² and row spacing did not affect the crop productivity. In the third experiment, the increase in temporal variability of plant emergence decreased grain yield when maize was grown with rows 80 cm apart. In the fourth trial, grain yield was reduced by the increment in spatial variability among plants at the sowing row when the crop was grown with the row spacing of 40 cm. The use of supra-optimum plant densities (9 to 11 pl m⁻²), associated to narrow row spacing (40 cm), are efficient strategies to manipulate plant arrangement in order to lift maize grain yield above 18,000 kg ha⁻¹, as long as the plants are evenly distributed in space and time at the sowing rows.

Key-words: *Zea mays*, plant density, row spacing, stand quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Duração do subperíodos emergência-antese (A), emergência-espigamento (B) e antese-espigamento (B) do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12..... 72
- Figura 2. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no espigamento do milho cultivado em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....74
- Figura 3. Balanço da fotossíntese líquida na folha índice de plantas de milho no espigamento em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....76
- Figura 4. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), IAF 30 dias após o espigamento (B) e área foliar senescida no espigamento (C) do milho cultivado em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/1.....79
- Figura 5. Estatura de planta (A) e altura de inserção de espiga (B) do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....80
- Figura 6. Plantas acamadas (A) e quebradas (B) de milho no momento da colheita em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....82

Figura 7. Diâmetro do primeiro entrenó expandido acima da superfície do solo do colmo do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....	84
Figura 8. Coeficiente de variação entre plantas observado para o diâmetro do colmo (A), índice de área foliar no espigamento (B), estatura de plantas (C) e altura de inserção de espigas (D) de milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....	85
Figura 9. Rendimento de grãos de milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.....	87
Figura 10. Rendimento de grãos de milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, 2011/12.....	88
Figura 11. Componentes do rendimento de grãos do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.....	91
Figura 12. Componentes do rendimento de grãos do milho em cinco densidades de plantas e dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2011/2012.....	92
Figura 13. Esterilidade feminina do milho em cinco densidades de plantas e dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....	94

Figura 14. Porcentagem de grãos ardidos (A) e incidência de podridões da base do colmo (B) do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.	97
Figura 15. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no espigamento do milho cultivado em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.	120
Figura 16. Balanço da fotossíntese líquida na folha índice de plantas de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.	121
Figura 17. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), 30 dias após o espigamento (B) e área foliar senescida no florescimento do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.	124
Figura 18. Rendimento de grãos do milho em quatro espaçamentos entre-linhas (0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 m) e duas densidades de plantas (7 e 9 plantas m ⁻²). Lages/SC, 2010/11 (A) e 2011/12 (B). .	134
Figura 19. Duração do subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.	156

Figura 20. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no espigamento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.....	158
Figura 21. Balanço da fotossíntese líquida da folha índice no espigamento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.....	159
Figura 22. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), 30 dias (B) e área foliar senescida na floração do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.....	161
Figura 23. Altura de plantas e de inserção de espigas do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.....	162
Figura 24. Diâmetro do primeiro entrenó estendido do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.	164

Figura 25. Coeficiente de variação entre plantas para o diâmetro do colmo (A), índice de área foliar no espigamento (B), estatura de planta (C) e altura de inserção de espiga (D) do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.....	165
Figura 26. Rendimento de grãos do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2010/11.....	168
Figura 27. Rendimento de grãos do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2011/12.....	170
Figura 28. Componentes do rendimento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2010/11.....	173
Figura 29. Componentes do rendimento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2010/11.....	174
Figura 30. Esterilidade feminina do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias dos anos de 2010/11 e 2011/2012.....	176

- Figura 31. Porcentagem de grãos ardidos e incidência de podridões da base do colmo de milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias dos anos de 2010/11 e 2011/2012.177
- Figura 32. Distribuição espacial das plantas no sulco de semeadura em função do espaçamento entre-linhas e do coeficiente de variação. Cada “x” representa a posição individual das plantas em função do tratamento. Nos tratamentos com 0% de CV, a distância entre plantas na linha foi de 34 cm e 17 cm, para os espaçamentos de 40 cm e 80 cm, respectivamente.189
- Figura 33. Duração do subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas de milho, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.193
- Figura 34. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no florescimento do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.195
- Figura 35. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A) e 30 dias (B) após o florescimento e área foliar senescida no florescimento do milho (C) em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.197

Figura 36. Estatura de plantas (A) e altura de inserção de espigas (B) do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.	198
Figura 37. Diâmetro do primeiro entrenó estendido acima do nível do solo do colmo do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.	199
Figura 38. Plantas acamadas (A) quebradas (B) de milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.....	200
Figura 39. Coeficiente de variação entre plantas observado para o diâmetro do colmo, índice de área foliar no florescimento, altura de plantas e inserção de espigas do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.....	202
Figura 40. Rendimento de grãos do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.....	204
Figura 41. Componentes do rendimento de grãos do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.....	206

Figura 42. Porcentagem de grãos ardidos (A) e incidência de podridões da base do colmo (B) de milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.....	208
---	-----

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Duração do subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento do milho cultivado em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.117
- Tabela 2. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no florescimento de milho cultivado sob cinco diferentes espaçamentos entre-linhas e duas densidades de cultivo. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....118
- Tabela 3. Balanço da fotossíntese líquida na folha índice do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.121
- Tabela 4. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), 30 dias após o espigamento (B) e área foliar senescida durante o florescimento do milho em cinco diferentes espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.122
- Tabela 5. Estatura de planta e altura de inserção de espiga de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.126
- Tabela 6. Percentagem de plantas acamadas e quebradas de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....127

Tabela 7. Diâmetro do primeiro entrenó expandido acima da superfície do solo do colmo de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....	128
Tabela 8. Coeficiente de variação entre plantas observado para o diâmetro do colmo, índice de área foliar no espigamento (R1), estatura de plantas (EP) e altura de inserção de espigas (AE) de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.	130
Tabela 9. Rendimento de grãos do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.....	132
Tabela 10. Rendimento de grãos do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2011/2012.....	133
Tabela 11. Componentes do rendimento do milho cultivado em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.....	136
Tabela 12. Componentes do rendimento do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2011/12. .	138
Tabela 13. Esterilidade feminina do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.....	139
Tabela 14. Porcentagem de grãos ardidos e incidência de podridões da base do colmo do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.	140

SUMÁRIO

1 INCREMENTO NA DENSIDADE DE PLANTAS COMO ESTRATÉGIA PARA POTENCIALIZAR O RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO.....	58
RESUMO	58
ABSTRAT	59
1.1 INTRODUÇÃO	60
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	65
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
1.3.1 Fenologia	71
1.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila.....	73
1.3.3 Balanço da fotossíntese líquida	75
1.3.4 Índice de área foliar e senescência foliar	77
1.3.5 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas	80
1.3.6 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas.....	84
1.3.7 Rendimento de grãos e componentes do rendimento	86
1.3.8 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo.....	95
1.3.9 Considerações finais.....	98
1.4 CONCLUSÕES	100
2 REDUÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE-LINHAS COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR O RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO EM AMBIENTES DE ALTO MANEJO	102
RESUMO	102

ABSTRAT	103
2.1 INTRODUÇÃO	104
2.3 RESULTADO E DISCUSSÃO	115
2.3.1 Fenologia	115
2.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila.....	117
2.3.3 Balanço da fotossíntese líquida	120
2.3.4 Índice de área foliar e senescência foliar	122
2.3.5 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas	125
2.3.6 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas.....	128
2.3.7 Rendimento de grãos e componentes do rendimento	131
2.3.8 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo.....	139
2.3.9 Considerações finais	140
2.4 CONCLUSÕES	142
3 DESUNIFORMIDADE TEMPORAL NA DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NA LINHA E RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO.....	144
RESUMO	144
ABSTRAT	145
3.1 INTRODUÇÃO	146
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	148
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	154
3.3.1 Fenologia	154

3.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila.....	157
3.3.3 Balanço da fotossíntese líquida	158
3.3.4 Índice de área foliar e senescência foliar	159
3.3.5 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas	162
3.3.6 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas.....	164
3.3.7 Rendimento de grãos e componentes do rendimento	166
3.3.8 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo.....	176
3.3.9 Considerações finais.....	178
3.4 CONCLUSÕES	179
4 DESUNIFORMIDADE ESPACIAL NA DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NA LINHA E RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO.....	180
RESUMO	180
ABSTRAT.....	181
4.1 INTRODUÇÃO	181
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	184
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	191
4.3.1 Fenologia	191
4.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila.....	194
4.3.3 Índice de área foliar e senescência foliar	195
4.3.4 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas	198

4.3.5 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas.....	200
4.3.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento	203
4.3.7 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo.....	207
4.3.8 Considerações finais.....	208
4.4 CONCLUSÕES	210
5 CONCLUSÃO GERAL	210
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	216

INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays L.*) têm sua origem nas Américas e é cultivado nos mais diversos ambientes e climas do planeta (WERLE et al., 2011). Ele é cultivado em diferentes latitudes, sendo encontrado desde a Rússia até a Argentina. Há relatos na literatura de que a domesticação dessa cultura a partir do teosinto ocorreu entre 8 e 10 mil anos atrás, na América Central. O milho apresenta uma grande adaptabilidade, o que lhe permitiu se tornar uma das culturas mais importantes do planeta, podendo ser encontrado mais de 150 tipos de milho com diversidade de cor e formato dos grãos.

A produção mundial na safra de 2012/13 foi de 899,5 milhões de toneladas (USDA, 2013), correspondente a uma produção 2,4% maior comparado aos 873 milhões de toneladas produzidas na safra 2011/2012.

Os Estados Unidos da América (EUA) são os maiores produtores do grão no mundo. Na safra 2013/14, o país estimava colher 353,72 milhões de toneladas, uma quantidade 30% superior a safra 2012/13, quando as lavouras sofreram com a seca. A demanda interna do país é de 297,19 milhões devido à fabricação do etanol que cresceu muito na última década. No ano de 2004/05, os americanos destinavam 34 milhões de toneladas de grãos para produção de etanol. Em 2008/09, o consumo passou para 94 milhões de toneladas. Em 2013, a demanda americana de milho para produção de etanol foi de aproximadamente 127 milhões de toneladas (USDA, 2013). Assim, verifica-se que cerca de 15% da produção mundial é destinada a produção de etanol, mantendo elevada demanda por este cereal a nível mundial.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, ficando atrás dos EUA e da China. A produção brasileira apresenta grande variação entre as áreas produtoras do grão, resultando em produtividade média muito abaixo do potencial produtivo que a cultura pode alcançar. Na safra 2012/13, a média de produtividade brasileira foi de 5,12 t ha⁻¹ (CONAB, 2014), considerada baixa quando comparada com a produtividade dos Estados Unidos no último ano agrícola de 2013, que foi de aproximadamente 10 t ha⁻¹ (USDA, 2013). No ano agrícola 2012/13, o Brasil produziu cerca de 81,0 milhões de toneladas de milho (CONAB, 2014), numa área de, aproximadamente, 15,8 milhões de hectares. Para a safra 2013/14, estima-se que serão produzidos no Brasil 78,9 milhões de toneladas numa área de 15,4 milhões de hectares. A redução na área colhida de milho é explicada pelos produtores optarem em aumentar a área de cultivo de soja (CONAB, 2014).

A grande lacuna existente entre a produtividade média obtida em lavouras e a que é verificada sob condições de alto manejo pode ser atribuída a várias causas, como o uso de genótipos com baixo potencial de produtividade de grãos ou não adaptados à região de cultivo, épocas de semeadura impróprias, escolha inadequada de arranjos de plantas e aplicação de baixas doses de fertilizantes (SANGOI et al., 2010).

A indicação de arranjo de plantas em milho vem sendo alterada na medida em que ocorrem modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica advindos dos programas de melhoramento da cultura. Além disso, alterações no arranjo de plantas podem ser possíveis quando se estabelecem novos paradigmas para o cultivo do milho, por meio de incremento nas condições de cultivo como adubação, irrigação e manejo de pragas, doenças e plantas daninhas.

O arranjo de plantas influencia a qualidade de luz no dossel, sobretudo no extrato inferior. Com disposição mais uniforme de plantas na área, há maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na do vermelho extremo (VE) (Kasperbauer & Karlen, 1994; Almeida et al., 2000). Em densidades superiores a 6 plantas por metro quadrado, as plantas de milho recebem mais luz VE refletida, o que aumenta a relação VE/V e altera a habilidade competitiva destas com as plantas vizinhas. Assim, há modificações na arquitetura foliar e no desenvolvimento da planta, com maior alongação de entrenós (colmos mais compridos, porém de menor diâmetro), dominância apical e altura de inserção de espiga (Almeida et al., 2000), folhas mais compridas e finas e maior abscisão radical (Kasperbauer & Karlen, 1994).

O desenvolvimento de híbridos mais tolerantes a altas densidades de plantas, o maior número de herbicidas disponíveis para controle seletivo de plantas invasoras em pós-emergência e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas no desenvolvimento de equipamentos adaptados ao cultivo do milho com linhas mais próximas aumentou o interesse dos produtores de milho em reduzir o espaçamento entre-linhas utilizado na cultura dos tradicionais 80-90 cm para 40-50 cm (Silva et al., 2006).

Utilizando híbridos comerciais de diferentes décadas, pesquisas têm verificado que quando há adequada disponibilidade de recursos no ambiente, manejo cultural para alto rendimento e uso de densidade de plantas baixa, não ocorrem diferenças no desempenho agrônômico entre híbridos antigos (década de 30) e modernos (lançados a partir da década de 90). Entretanto, à medida que os recursos do ambiente se tornam limitantes e se incrementa a densidade de

plantas ocorre diminuição da produção por planta, que é mais intensa nos híbridos mais antigos em relação aos modernos (Tollenaar & Lee, 2002).

As principais formas de manipulação do arranjo de plantas são as alterações na densidade de plantas, alterações no espaçamento e disposição das linhas de semeadura, e na uniformidade de distribuição espacial e de emergência das plantas na linha (Sangoi et al, 2010).

A manipulação do arranjo de plantas na lavoura é um dos fatores que afetam o rendimento de grãos da cultura. Dentre as formas de manipulação do arranjo entre as plantas, a densidade de semeadura é a que têm apresentado maior efeito sobre o rendimento de grãos, pois pequenas alterações na população podem alterar significativamente o rendimento final (SILVA et al, 2006). Baixas densidades de plantas não aproveitam suficientemente a radiação solar incidente. No entanto, altas densidades de plantas estimulam a dominância apical do pendão sobre a espiga. A definição da densidade ótima, onde a população de plantas é capaz de otimizar a utilização dos recursos disponíveis, depende de fatores como cultivar, ambiente e manejo da cultura. Geralmente alterações na densidade não necessitam de adaptações e aquisições de maquinário para ser implementada, somente havendo necessidade de aquisição de maior volume de sementes.

Neste sentido, o arranjo entre as plantas é uma prática de manejo importante para potencializar o rendimento de grãos de milho, já que pode contribuir para aumentar a eficiência de uso da radiação solar. O rendimento de grãos é dependente da fotossíntese e da respiração do dossel. Por sua vez, a fotossíntese do dossel é função da fotossíntese da folha e da interceptação da radiação solar. Já a interceptação da radiação solar é influenciada pelo índice de área folhar,

pelo ângulo folhar, pela interceptação de luz por outras partes da planta, pela distribuição foliar, pelas características de absorção de luz pela folha e pela quantidade de radiação incidente. Desses fatores, apenas a quantidade de radiação solar não é afetada pelo arranjo de plantas. Portanto, a adoção do arranjo de plantas adequado é uma das práticas de manejo mais importante para otimizar o rendimento de grãos de milho, por afetar diretamente a interceptação de radiação solar incidente, que é um dos principais fatores de definição da produtividade (Argenta et al, 2001).

O incremento no número de indivíduos por unidade de área é uma das formas mais fáceis e eficientes de se aumentar a interceptação da radiação solar incidente pela comunidade. A densidade de plantas interfere na quantidade e na qualidade de radiação interceptada pelo dossel (ANDRADE et al., 2000; MADDONI et al., 2001). A utilização de densidades de plantas abaixo da ideal promove o subaproveitamento da radiação solar incidente, diminuindo o rendimento da cultura. Além disto, o uso de baixa densidade aumenta a competição com plantas daninhas.

A eficiência do incremento da densidade de plantas como estratégia para alavancar a produtividade do milho depende de diversos fatores, tais como tipo de cultivar, disponibilidade hídrica, nível de fertilidade do solo, altitude e latitude da região produtora, época de semeadura, forma de uso do milho e capacidade de investimento em manejo (MUNDSTOCK & SILVA, 2005). Ela é maior quando se utilizam híbridos simples, de alto potencial produtivo, cultivados sem restrições edafoclimáticas, em regiões com alta disponibilidade de radiação, grande amplitude térmica e quando se utilizam espaçamentos entrelinhas reduzidos (SANGOlet al., 2010).

A escolha do espaçamento entre-linhas de semeadura e o número de plantas adequado por área são de extrema importância, por determinarem melhor aproveitamento de fatores abióticos como água, luz e nutrientes, para que a cultura possa expressar todo o seu potencial fisiológico (PENARIOL et al., 2003). À medida que os recursos do ambiente se tornam limitantes e se incrementa a densidade de plantas ocorre diminuição da produção por planta, que é mais intensa nos híbridos mais antigos em relação aos modernos (TOLLENAAR&LEE, 2002; DUVICK& Cassmann, 1999; SANGOI et al. 2002). A redução do espaçamento entre-linhas pode aumentar a produção de grãos quando se utilizam altas densidades de cultivo (SILVA et al., 2006; SANGOI&SILVA, 2006). A indicação de arranjo de plantas em milho vem sendo alterada devido às modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica advindos dos programas de melhoramento da cultura.

A distribuição das plantas na área, principalmente entre as linhas de semeadura, pode alterar a arquitetura da planta e o ângulo foliar (NUMMER FILHO & HENTSCHKE, 2006). A manipulação adequada do arranjo de plantas é uma prática de manejo importante para otimizar o rendimento de grãos, já que influencia o índice de área foliar, o ângulo de inserção foliar e a interceptação de luz incidente por outras partes da planta, principalmente nos extratos inferiores do dossel. Além disso, o arranjo de plantas afeta a disposição de folhas e as suas características de absorção de luz na comunidade (OTTMAN&WELCH, 1989; LOOMIS&AMTHOR, 1999; ARGENTA et al., 2001; SILVA et al., 2006).

A utilização do espaçamento reduzido (40-50 cm) tem potencial para maiores rendimentos de grãos em

altas densidades (NUMMER FILHO & HENTSCHE, 2006). Em trabalho conduzido na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, Cox e Cherney (2001) verificaram que o rendimento do milho foi 7,5% superior quando utilizado essa prática de manejo em comparação ao espaçamento convencional. Neste estudo, os autores observaram que os produtores podem obter todos os benefícios da maior produção de matéria seca associado ao espaçamento reduzido com gerenciamento do nitrogênio semelhante ao do espaçamento convencional. Ao adotar espaçamentos reduzidos, tem-se como objetivo maximizar a interceptação da radiação solar pelas folhas (NUMMER FILHO & HENTSCHE, 2006). Resultados semelhantes foram encontrados por Farnham (2001), que constatou aumento de 6,2% no rendimento de grãos do milho cultivado com espaçamentos entre-linhas reduzidos no norte dos Estados Unidos.

Além da redução convencional do espaçamento entre-linhas, outra forma possível de mudar o arranjo das linhas de cultivo é o sistema de cultivo de linhas aos pares, ou linhas gêmeas (“Twin Rows”). O sistema Twin-row ou linhas gêmeas consiste numa forma de distribuição de plantas onde se busca aumentar a distância entre as plantas sem afetar o fenótipo das mesmas e aumentar a produtividade, por proporcionar menor competição na linha (BALEN, 2013). De acordo com Karlén et al. (1987), a redução do espaçamento, incluindo o arranjo duplo “Twin rows” ou “linhas gêmeas” (46 e 20 cm entre uma linha e outra) aumenta o rendimento, porque, em teoria, em quatro populações comparáveis, a linha mais estreita diminui a competição por água, nutrientes e luz.

O milho é uma cultura muito sensível a variações no arranjo de plantas devido à sua baixa capacidade de

emissão de afilhos férteis, à limitada prolificidade, à escassa plasticidade foliar e à estrutura floral monóica, em que as inflorescências masculina e feminina competem entre si por fotoassimilados sob condições de estresse (ANDRADE & SADRAS, 2003; SANGOI et al., 2011). A irregularidade na distribuição espacial na linha pode reduzir a eficiência de aproveitamento de água, luz e nutrientes da comunidade, aumentando o número de plantas dominadas na lavoura.

A uniformidade no desenvolvimento fenológico das plantas na lavoura é um requisito importante para maximizar a eficiência do arranjo de plantas no aproveitamento dos recursos do ambiente. Por outro lado, quando há diferença de vários dias entre a emergência das plântulas na linha de semeadura, o desenvolvimento das plântulas com emergência tardia é menor em relação àquelas que emergiram antes. As plantas que emergem tardiamente ficam dominadas dentro do dossel, apresentando reduzida capacidade de recuperação e contribuem pouco para o rendimento da cultura (SILVA et al., 2006). Pequenas diferenças no tamanho de plantas durante o crescimento inicial normalmente são amplificadas durante progresso do crescimento, aumentando a competição por recursos (MADDONNI & OTEGUI, 2004).

A distribuição uniforme dentro da linha depende de outras formas de arranjo entre plantas. A variação do espaçamento entre-linhas e entre plantas na linha proporciona diferentes arranjos de plantas, sendo que menores espaçamentos entre-linhas permitem que os sistemas de distribuição de sementes funcionem em menores velocidades, podendo resultar em melhor distribuição espacial das plantas de milho. Quando menores espaçamentos entre-linhas permitem melhor distribuição espacial de plantas na linha, eles aumentam

a eficiência da interceptação da luz, e resultam em incremento de produtividade (ARGENTA et al., 2001; DEMÉTRIO et al., 2008).

A alteração na forma de arranjo entre-linhas, ou a redução do espaçamento entre estas, também apresenta vantagens potenciais à cultura do milho. Uma delas é o incremento da distância entre plantas na linha, propiciando uma distribuição espacial mais uniforme entre plantas por área de cultivo. Outra vantagem é o fechamento mais rápido das entrelinhas, diminuindo a pressão das ervas daninhas, dessa forma reduzindo a competição intra e introespecífica pelos recursos do ambiente. Das formas de arranjo de plantas mais comuns, esta é a que exige mais adaptações para ser iniciada no conjunto de maquinários para semeadura e colheita do milho, necessitando de maior investimento financeiro.

O intuito do dimensionamento da densidade e do espaçamento entre-linhas passa pelo estabelecimento de um estande bem distribuído e uniforme no crescimento e desenvolvimento fenológico entre as plantas da comunidade. Quando há desuniformidade durante a emergência das plântulas, é possível que ocorra exposição de algumas plantas a melhores condições de desenvolvimento em detrimento a outras, aumentando a competição intraespecífica. As plantas que se desenvolveram tardiamente podem se tornar dominadas dentro do dossel, apresentando reduzida capacidade de recuperação, contribuindo pouco para o desempenho final da cultura.

Apesar dos avanços das pesquisas na área de arranjo de plantas na cultura do milho, existe pouca conscientização da importância da manipulação correta desta prática cultural para estabelecer novos patamares de produtividade da cultura. Este trabalho pode contribuir

na elucidação do impacto das principais estratégias de manejo do arranjo entre as plantas da lavoura de milho para aumentar a eficiência do processo produtivo. As pesquisas realizadas até o momento não permitem que se façam aferições da relação entre todas as formas de manipulação do manejo de plantas e o potencial produtivo do milho sob condições similares, favoráveis a maximização do potencial produtivo da cultura.

A hipótese deste trabalho, é de que é possível alcançar, em ambientes de alto manejo, rendimentos de grãos de 18.000 kg ha⁻¹ combinando altas densidades de cultivo, espaçamentos entre linhas reduzidos (40-50 cm) e uniformidade espacial e temporal das plantas nas linhas de cultivo. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi testar as principais formas de manipulação do arranjo entre plantas de milho, sob condições edafoclimáticas similares, e identificar as melhores estratégias de distribuição espacial para alcançar tetos produtivos elevados.

1 INCREMENTO NA DENSIDADE DE PLANTAS COMO ESTRATÉGIA PARA POTENCIALIZAR O RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO

RESUMO

A densidade de cultivo é a forma mais fácil de manipulação do arranjo de plantas e a que apresenta maior efeito sobre o rendimento de grãos do milho. Este experimento foi realizado objetivando avaliar a resposta produtiva da cultura ao incremento na densidade de plantas num ambiente favorável a obtenção de produtividades superiores a 15 toneladas ha⁻¹ de grãos. O experimento foi implantado em Lages, SC, nos dias 20/10/2010 e 21/10/2011. Foram testadas cinco

densidades de plantas (3, 5, 7, 9 e 11 plantas m^{-2}) e dois espaçamentos entre-linhas (40 e 80 cm). Avaliaram-se características fenológicas, morfológicas, fisiológicas e o rendimento de grãos do híbrido 30R50H. A adubação e o manejo da cultura foram elaborados objetivando alcançar a produtividade de 18.000 kg ha^{-1} . O rendimento de grãos variou de 11.390 a 18.760 kg ha^{-1} , dependendo do arranjo de plantas testado. Nos dois anos agrícolas, o rendimento de grãos aumentou linearmente com o incremento na densidade de plantas no espaçamento de 0,4m entre-linhas. A elevação na densidade de plantas de 3 para 11 pl m^{-2} não promoveu assincronia entre antese e espigamento, não reduziu a teor de N da folha índice e nem sua atividade fotossintética. Também não houve incremento na percentagem de plantas acamadas e quebradas com o adensamento. A combinação de densidades elevadas (9 a 11 pl m^{-2}) e de espaçamento entre-linhas reduzido possibilitou a obtenção de rendimentos de grãos superiores a 18.000 kg ha^{-1} .

Palavras-chave: *Zea mays*, população de plantas, espaçamento entre-linhas.

ABSTRACT

The density of cultivation is easier manipulation of plant arrangement and has the highest effect on grain yield of corn. This study was conducted to evaluate the productive crop response to increasing plant density in a favorable environment to achieve greater than 15 tons ha^{-1} grain yield. The trial was established in Lages, SC, on 20/10/2010 and 21/10/2011. Five plant densities (3, 5, 7, 9 and 11 plants m^{-2}) and two row spacings (40 and 80 cm) were tested. We evaluated phenological, morphological, physiological characteristics and grain

yield of hybrid 30R50H. The fertilization and crop management were prepared to achieve a productivity of the 18,000 kg ha⁻¹. Grain yield ranged 11,390-18,760 kg ha⁻¹, depending on the arrangement of plants tested. In both years, grain yield increased linearly with increasing plant density in the spacing of 0.4m between rows. The increase in plant density from 3 to 11 pl m⁻² did not promote asynchrony between pollen shed and silking, did not reduce the N content and the photosynthetic rate in the indice leaf. There was also no increase in the percentage of broken and lodged plants with planting density. The combination of high densities (9-11 pl m⁻²) and the narrow spacing between lines allowed obtaining higher yields than 18,000 kg ha⁻¹ grain.

Key-words: *Zea mays*, plant population, row spacing.

1.1 INTRODUÇÃO

As principais culturas de lavoura apresentam uma faixa de população de plantas que otimiza o rendimento de grãos. Para as gramíneas, a definição da densidade ótima está relacionada com a quantidade de sementes utilizada na semeadura e com a capacidade das plantas ocuparem os espaços vazios na lavoura produzindo perfilhos. Assim, o número ideal de indivíduos por área nas *Poaceas* depende da plasticidade da espécie de ocupar espaços vazios deixados entre uma planta e outra pelo perfilhamento (MUNDSTOCK, 1999).

A manipulação do arranjo de plantas na lavoura é um dos fatores que podem afetar o rendimento de grãos das culturas. Entre as formas de manipulação do arranjo de plantas, a densidade é a que tem maior efeito sobre o rendimento de grãos do milho, pois pequenas alterações na população podem alterar significativamente o

rendimento final (SILVA et. al., 2006). A grande dependência da população de plantas para alcançar altos rendimentos está associada ao fato de que, diferentemente de outras espécies da família *Poáceae*, o milho não possui um mecanismo de compensação de espaços eficiente em baixas densidades (SILVA et al., 2003). Isto ocorre porque o colmo principal perfilha pouco e seus perfilhos normalmente não produzem espigas. Além disto, a planta apresenta limitada capacidade de expansão foliar e baixa prolificidade (SANGOI et. al., 2010). Essas características fazem com que a cultura possua baixa plasticidade vegetativa e reprodutiva. A baixa capacidade de compensação de espaços do milho decorreu do intenso processo de seleção a que foi submetido durante o seu processo evolutivo do teosinto, o qual priorizou a dominância apical, reduzindo o número de ramificações laterais e concentrando toda a energia da planta no colmo principal (SANGOI & SALVADOR, 1996).

O incremento no número de indivíduos por unidade de área é uma das formas mais fáceis e eficientes de se aumentar a interceptação da radiação solar incidente pela comunidade. A densidade de plantas interfere na quantidade e na qualidade de radiação interceptada pelo dossel (ANDRADE et al., 2000; MADDONI et al., 2001). A utilização de densidades de plantas abaixo da ideal promove o subaproveitamento da radiação solar incidente, diminuindo o rendimento da cultura. Além disto, o uso de baixa densidade aumenta a competição com plantas daninhas.

Por outro lado, o uso de densidades muito altas pode reduzir a atividade fotossintética da cultura e a eficiência de conversão de fotoassimilados à produção de grãos. Em consequência, há aumento da esterilidade feminina e do intervalo entre os florescimentos masculino

(antese) e feminino (espigamento) e redução do número de grãos por espiga e do rendimento de grãos (SANGOI et al., 2002).

A eficiência do incremento da densidade de plantas como estratégia para alavancar a produtividade do milho depende de diversos fatores, tais como tipo de cultivar, disponibilidade hídrica, nível de fertilidade do solo, altitude e latitude da região produtora, época de semeadura, forma de uso do milho e capacidade de investimento em manejo (MUNDSTOCK & SILVA, 2005). Ela é maior quando se utilizam híbridos simples, de alto potencial produtivo, cultivados sem restrições edafoclimáticas, em regiões com alta disponibilidade de radiação, grande amplitude térmica e quando se utilizam espaçamentos entrelinhas reduzidos (SANGOI et al., 2010).

Utilizando híbridos comerciais de diferentes décadas, Du Vick & Cassmann (1999), Tollenaar & Lee (2002), Sangoi et al. (2002) e Sangoi & Silva (2006) verificaram que quando há adequada disponibilidade de recursos no ambiente, manejo cultural para alto rendimento e uso de densidade de plantas baixa, não ocorreram diferenças no desempenho agrônomo entre híbridos cultivados na primeira metade do século passado e os produzidos no final do século XX. Entretanto, à medida que os recursos do ambiente se tornaram limitantes e se incrementou a densidade de plantas ocorreu diminuição da produção por planta, que foi mais intensa nos híbridos mais antigos. Portanto, a indicação de arranjo de plantas em milho vem sendo alterada na medida em que ocorrem modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica advindos dos programas de melhoramento da cultura.

O arranjo de plantas influencia a qualidade de luz no dossel, sobretudo no extrato inferior. Com disposição

mais uniforme de plantas na área, há maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na do vermelho extremo (VE) (Kasperbauer & Karlen, 1994; Almeida et al., 2000). Em densidades superiores a 6 pl m⁻², as plantas de milho recebem mais luz VE refletida, o que aumenta a relação VE/V e altera a habilidade competitiva destas com as plantas vizinhas. Assim, há modificações na arquitetura foliar e no desenvolvimento da planta, com maior alongação de entrenós (colmos mais compridos, porém de menor diâmetro), dominância apical, maior altura de inserção de espiga (ALMEIDA et al., 2000), folhas mais compridas e finas e maior abscisão radical (KASPERBAUER & KARLEN, 1994).

A necessidade nutricional das plantas é outro aspecto a ser considerado na escolha do arranjo de plantas em milho, pois a cultura é muito exigente em fertilidade do solo. Trabalhos com genótipos, densidades de planta e níveis de nitrogênio evidenciam que à medida que se eleva a densidade de plantas, são necessárias maiores doses de nitrogênio. Por outro lado, com baixa disponibilidade deste nutriente, na qual se espera menor rendimento de grãos, a densidade ótima recomendada deve ser reduzida (MUNDSTOCK, 1977).

A época de semeadura e o comprimento da estação de crescimento também influenciam a escolha do arranjo de plantas de milho. Nas semeaduras do cedo (final do inverno e início da primavera), particularmente em regiões temperadas e subtropicais, como o sul do Brasil, usualmente são requeridas maiores densidades de plantas (MEROTTO Jr. et al.; 1997; ALMEIDA et al., 2000). Isto é atribuído à menor radiação solar disponível e ao menor crescimento da planta sob temperaturas baixas (SANGOI, 2000). Nesta situação, a adoção de menores espaçamentos entre-linhas pode aumentar o rendimento de grãos, por permitir melhor distribuição

espacial das plantas e, conseqüentemente, maior interceptação da radiação solar.

O aumento da densidade pode predispor as plantas de milho a doenças. Isso ocorre quando o arranjo entre plantas favorece a formação de microclima adequado a infecção de fungos fitopatogênicos e devido ao estresse causado pela competição intraespecífica. Dentre os fatores que limitam o aumento da produtividade dessa cultura se encontram as doenças, principalmente aquelas causadas por fungos (WHITE, 1999). A ocorrência de podridões de colmo é favorecida por alterações nas relações entre fonte e dreno de nutrientes ocorridas durante a fase de enchimento dos grãos (REIS & CASA, 1996). Fatores que reduzam a fotossíntese e a produção de carboidratos predispõem as plantas às podridões (PINTO et al., 1997).

Portanto, o sucesso do incremento da densidade de plantas como estratégia para aumentar a produtividade do milho depende de vários fatores que estão relacionados com a cultivar utilizada, tecnologia empregada e características edafoclimáticas. Esta eficiência costuma ser maior quando utilizam-se híbridos simples, de alto potencial produtivo, cultivados sem restrições edáficas, em regiões com alta disponibilidade de radiação solar, grande amplitude térmica e com utilização de espaçamento entre-linhas reduzido (SANGOI et. al., 2010).

A hipótese deste experimento foi de que a utilização de altas densidades de plantas (9 a 11 plantas m^{-2}) é uma estratégia efetiva de manipulação do arranjo de plantas para potencializar o rendimento de grãos do milho em ambientes de alto manejo. Dessa forma, o objetivo foi avaliar a resposta produtiva do milho ao incremento na densidade de plantas em diferentes espaçamentos entrelinhas num ambiente favorável a

obtenção de produtividades de grãos superiores a 15 toneladas ha^{-1} .

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. A área experimental encontra-se no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas do local são 27° 50' 35" de latitude sul e 50° 29' 45" de longitude oeste e altitude de 849 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, citado por Kottek et al. (2006), é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise de solo realizada em setembro de 2010, ele apresentava as seguintes características: 270 g kg^{-1} de argila; pHem água 5,2; 3,5 mg L^{-1} de P; 232 mg L^{-1} de K; 42 g kg^{-1} de matéria orgânica; 6,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca; 2,6 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Mg; 0,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Al, e 14,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de CTC.

No período de outono-inverno que precedeu a instalação do experimento, semeou-se em 10/05/2010 e de 20/05/2011 2011, um consórcio de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), utilizando-se 40 e 55 kg ha^{-1} de sementes para cada espécie, respectivamente. A dessecação da cobertura foi realizada em meados de setembro dos dois anos, utilizando-se o herbicida Glifosato (Round up) na dose de 240 g i.a. ha^{-1} .

A adubação de base foi realizada no dia da semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses aplicadas foram baseadas nos resultados obtidos na análise de solo e nas recomendações para a cultura do milho do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS-SC, 2004), objetivando uma produtividade de grãos de $18.000 \text{ kg ha}^{-1}$. Foram utilizados o superfosfato triplo e o cloreto de potássio como fontes de fósforo e potássio, nas quantidades equivalentes a 295 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 170 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente. Para o nitrogênio foi utilizada ureia, na dose de 30 kg ha^{-1} de nitrogênio. Os fertilizantes foram aplicados superficialmente nas linhas de semeadura, paralelamente a esta operação. A adubação em cobertura com nitrogênio foi feita utilizando ureia como fonte, perfazendo um total de 250 kg ha^{-1} de N por safra, fracionados igualmente em três estádios fenológicos (V4, V8 e V12 conforme a escala proposta por Ritchie et. al., 1993).

A semeadura foi realizada manualmente com semeadoras manuais, nos dias 20/10/2010 e 21/10/2011. Depositaram-se três sementes por cova para cada distância pré-determinada na linha em função da densidade e espaçamento entrelinhas. Foram utilizados barbantes marcados com as distâncias pertinentes a cada tratamento para a deposição das sementes. Quando as plantas estavam com três folhas expandidas (estádio V3 da escala de Ritchie et al., 1993), efetuou-se o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova. As sementes foram tratadas com os inseticidas Tiametoxam (Cruiser) e Fipronil (Standak) nas doses de 140 e 12 g i.a. por 100 kg de sementes e com o fungicida Fludioxonil + Metalaxyl (Maxim XL) na dose de 25 + 10 g i.a. por 100 kg de sementes para o controle

preventivo de pragas e doenças na fase inicial do ciclo da cultura. A emergência das plantas ocorreu aproximadamente dez dias após a semeadura nos dois anos de cultivo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) dispostos em parcelas subdivididas com quatro repetições. Na parcela principal foram avaliados dois espaçamentos entre-linhas: 40 e 80 cm. Nas subparcelas foi testado o efeito da densidade de plantas utilizando-se populações de 3, 5, 7, 9, 11 plantas m^{-2} . Todas as avaliações foram feitas nas duas fileiras centrais, as quais constituíram a área útil de cada subparcela.

No dia da semeadura efetuou-se o controle preventivo de plantas daninhas com aplicação em pré-emergência do herbicida Atrazina + Metalacloro (Primextra Gold) correspondente adose de 1,5 + 1,15 kg i.a. ha^{-1} . Quando as plantas se encontravam em V3, complementou-se o controle das plantas daninhas com a aplicação do herbicida Tembotriona (Soberan) na dose de 100 g i.a. ha^{-1} . Além disso, foi realizada uma aplicação do fungicida Azixistrobina + Ciproconazol (Priori Xtra) correspondente a 60 + 25 g i.a. ha^{-1} , quando o milho estava nos estádios V10 e V18 de desenvolvimento para o controle preventivo de doenças.

Para a realização deste experimento foi utilizado o híbrido P30R50YH da empresa Pioneer. Esse híbrido apresenta ciclo precoce e é comumente recomendado para regiões de altitude da região sul do Brasil, característica do local onde o ensaio foi realizado, e para lavouras de alto médio a alto investimento em insumos e práticas de cultivo. O híbrido apresenta arquitetura de planta moderna e sua recomendação de população de cultivo está entre 6 e 7 pl m^{-2} (60 a 70 mil plantas por hectare). O híbrido utilizado possui as tecnologias

transgênicas Yield Guard e Herculex para supressão de pragas da ordem lepidóptera. Devido a esta característica, não foi necessária aplicação de inseticidas nos ensaios para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

A fenologia da cultura foi avaliada nas duas linhas centrais. Determinou-se a duração do subperíodo emergência-antese, computando-se o número de dias existentes entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão do pendão floral acima da folha bandeira com deiscência dos grãos de pólen em mais de 50% das plantas. Também determinou-se a duração do subperíodo emergência-espigamento, computando o número de dias entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão dos estigmas em 75% das plantas. Subtraindo a duração dos dois subperíodos, estimou-se o intervalo entre antese e espigamento.

No espigamento foram coletadas amostras foliares na parcela para determinação da concentração de nitrogênio. Para isso foram utilizadas amostras das folhas índice da planta, correspondente a folha inserida no mesmo nó em que se desenvolveu a espiga superior da planta.

No espigamento também foi realizada a medição da área foliar para determinação do índice de área foliar (IAF), medindo-se o comprimento e largura de 5 plantas de cada parcela. A área foliar foi obtida de acordo com metodologia utilizada por Tollenaar (1992). Para tanto, foram medidos o comprimento (C) da base à extremidade da folha e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas. Considerou-se fotossinteticamente ativa toda a folha que tivesse pelo menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com critério proposto por Borrás et al. (2003). A área foliar (A), expressa em cm^2 , foi estimada aplicando-se a

expressão: $A = C \times L \times 0,75$, onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não apresentam área retangular. Os somatórios das áreas de todas as folhas da planta determinaram a área foliar por indivíduo. O IAF correspondeu a área foliar por planta dividida pela superfície de solo ocupada pela planta, que variou conforme o arranjo espacial de cultivo.

Ainda durante o período de espigamento foi realizada avaliação do teor de clorofila na folha índice das plantas com o uso de clorofilmetro (SPAD-502) e avaliação do balanço da fotossíntese da folha índice com o uso do equipamento IRGA (LCpro-SD).

As mesmas cinco plantas utilizadas na avaliação do IAF foram empregadas para determinação da estatura de plantas e da altura de inserção de espigas, que foi feita quando as plantas estavam no estágio R3 (grão leitoso) da escala de Ritchie. Estas plantas também serviram de amostra para avaliação do diâmetro do colmo no dia da colheita. Para esta avaliação utilizou-se um paquímetro, fazendo-se duas leituras no primeiro entre-nó do colmo expandido acima da superfície do solo.

A colheita foi efetuada nos dias 20/04/2011 e de 20/04/2012 quando a umidade dos grãos estava abaixo de 20%. Antes da colheita efetuou-se a contagem do número de plantas da área útil e determinou-se o número de plantas acamadas, quebradas e estéreis. Foram consideradas estéreis as plantas que não tinham espigas ou cujas espigas possuíam menos de 10 grãos.

As espigas foram colhidas e imediatamente trilhadas para avaliação do rendimento de grãos e componentes do rendimento.

Uma sub-amostra de 400 grãos foi separada e pesada para cada subparcela. O valor obtido foi multiplicado por 2,5, convertido para a umidade padrão

de 130 g kg⁻¹ e utilizado para expressar a massa de 1.000 grãos.

O número de grãos por espiga foi estimado indiretamente, através da relação da massa de 400 grãos, da massa total de grãos e do número de espigas colhidas em cada subparcela. O número de grãos produzidos por área (m²) foi estimado com base no número de espigas por planta, no número de grãos por espiga e na densidade de plantas de cada tratamento.

Adicionalmente foi avaliado no dia da colheita a incidência de podridões da base do colmo (iPBC) e no processamento das amostras a percentagem de grãos ardidos. A iPBC correspondeu a percentagem de plantas com sinais de podridões de colmo com pouca resistência a compressão, quando o primeiro entrenó estendido do colmo foi comprimido com os dedos polegar e indicador. As plantas que apresentavam pouca resistência a compressão foram consideradas como positivas para iPBC. A determinação da percentagem de grãos ardidos foi feita numa amostra de 200 gramas de grãos. Consideraram-se como ardidos os grãos que apresentavam descoloração em mais de 25% da sua área.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pela análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS. Os valores de F para os efeitos principais e as interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$). Quando alcançada significância foram ajustadas regressões para as densidades de plantas e teste de médias (Tuckey) para os espaçamentos entre-linhas. Os resultados estão organizados em tabelas e figuras. Devido a somente ser observadas diferenças no rendimento de grãos e seus componentes entre os anos, esses dados foram apresentados individualmente por

ano. Os demais dados foram analisados de forma conjunta utilizando-se os valores observados nos dois anos.

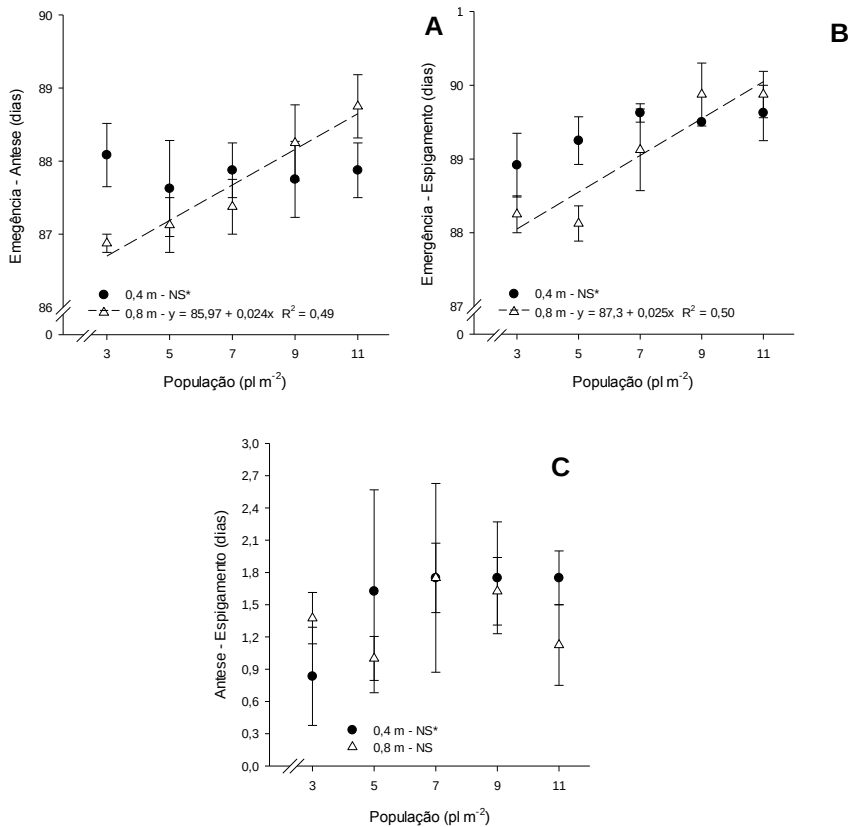
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Fenologia

O adensamento interferiu sobre a fenologia das plantas quando o milho foi cultivado no espaçamento entre-linhas de 80 cm, na média dos dois anos agrícolas. Nesse caso, o aumento da densidade de cultivo de 3 para 11 pl m⁻²acrescentou um dia no tempo necessário para o florescimento masculino (antese) e dois dias para o florescimento feminino (espigamento) (Figura 1A e 1B). Não houve efeito significativo do adensamento no período compreendido entre a antese e o espigamento, nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 1C).

A cultura do milho, por apresentar distinção espacial (monóica) e temporal (protândria) na formação, emissão e maturação das suas inflorescências, tem seu intervalo entre a liberação do pólen pelo pendão e a exteriorização dos estigmas pela espiga afetado pelo aumento na densidade de plantas (ZANIN, 2005). Segundo Silva et al. (1992) e Almeida et al. (2000), a sincronia entre o florescimento masculino e o feminino é uma característica muito importante na cultura do milho, pois o período de liberação de pólen é curto (5-7 dias) e a longevidade dos grãos de pólen é pequena (12-24 horas).

Figura 1. Duração do subperíodos emergência-antese (A), emergência-espigamento (B) e antese-espigamento (B) do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014)

Dessa forma, o adensamento pode alterar o ciclo das plantas, sendo que o ajuste conjunto de formas de arranjo utilizando espaçamentos entre-linhas menores

pode atenuar o estresse causado pela maior competição proporcionado pelo maior adensamento.

Os dados fenológicos obtidos no presente trabalho demonstram que houve uma sincronia adequada entre o florescimento masculino e o feminino, tendo em vista que a duração do subperíodo antese-espigamento foi inferior a 2 dias, mesmo quando se utilizaram densidades elevadas (9 e 11 pl m⁻²) e maior espaçamento entre-linhas (80 cm).

1.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila

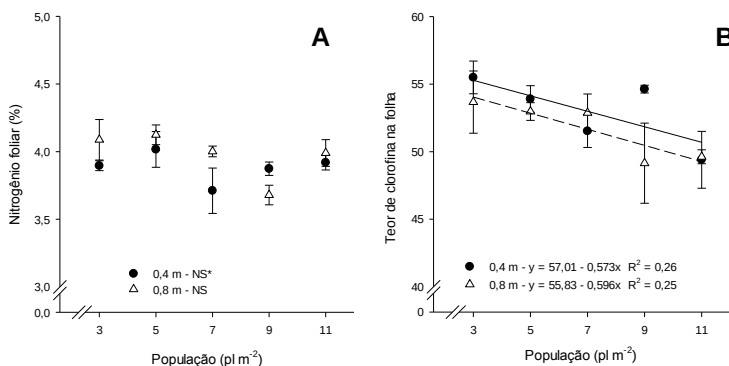
O teor médio de nitrogênio na folha índice durante o espigamento do milho foi de 3,9% e não foi afetado significativamente pelos arranjos testados no trabalho (Figura 2A). Esses resultados indicam que provavelmente a quantidade de N disponível foi suficiente para suprir as necessidades da planta em todas as densidades, mesmo havendo maior competição intraespecífica nas densidades mais altas proporcionada pelo maior número de plantas por unidade de área.

Entretanto, utilizando outro método para verificar indiretamente a disponibilidade de nitrogênio, através do uso de clorofilômetro, constatou-se que o aumento da densidade de 3 para 11 pl m⁻² reduziu o teor relativo de clorofila nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 2B). Assim, neste caso o clorofilômetro não reproduziu os resultados encontrados na análise laboratorial. Contudo, deve-se ressaltar que, embora significativos, os decréscimos na leitura SPAD foram numericamente pequenos quando se elevou a densidade de 3 para 9 pl m⁻².

Vários autores têm mencionado que o uso do clorofilômetro é adequado para avaliar o estado nitrogenado da planta, pois é um método mais rápido do

que os laboratoriais, com baixo custo, e não implica na destruição das folhas (ARGENTA et al., 2001; RAMBO et al., 2008). Além disto, o clorofilômetro tem sido utilizado para determinar o teor de N da folha, visto que a clorofila e o nitrogênio se correlacionam positivamente nas plantas (MALAVOLTA et al., 1997). O teor relativo de clorofila na folha vem sendo considerado melhor indicador do nível de N do que o teor deste nutriente na folha, sendo pouco sensível ao consumo de luxo de N. Rambo et al. (2008) citam o índice de leitura de 58 no clorofilômetro durante o espigamento, como nível adequado de N, independente do híbrido usado, quando se almeja um elevado potencial de rendimento de grãos. Este valor está acima do encontrado no presente experimento.

Figura 2. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no espigamento do milho cultivado em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

O nitrogênio desempenha importante papel estrutural no metabolismo vegetal, constituindo muitos componentes da célula, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e pigmentos (TAIZ & ZEIGER, 2009). Ele estimula o crescimento vegetativo. Além disso, por estar ligado à formação de aminoácidos, a disponibilidade do nutriente eleva o teor de proteína nos grãos do cereal. A deficiência de nitrogênio se manifesta principalmente pelo reduzido desenvolvimento vegetativo, causando clorose nas folhas, provocando o raquitismo da planta e a redução no diâmetro do colmo (JORGE, 1983). O nitrogênio é um dos nutrientes que proporciona os maiores efeitos nos componentes de rendimento e na produtividade do milho, afetando diversas características do crescimento e desenvolvimento (COBUCCI, 1991). Ele auxilia no desenvolvimento da área foliar e na Balanço da fotossíntese, no crescimento radicular, no rendimento biológico, no tamanho de espigas, no número e na massa de grãos e no índice de espiga (VARGAS, 2010).

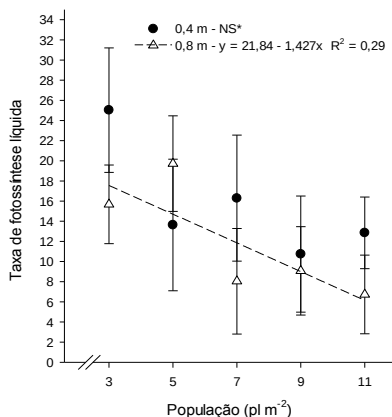
A ausência de efeito significativo da densidade de plantas sobre o teor de N da folha índice é um indicativo que o incremento na competição intraespecífica decorrente do adensamento não comprometeu a absorção de nitrogênio pela cultura.

1.3.3 Balanço da fotossíntese líquida

A Balanço da fotossíntese líquida na folha índice das plantas no espigamento apresentou uma grande variação nos valores observados, oscilando de 3 até mais de 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2 fixado. Apesar da grande variabilidade nos dados, observou-se que a fixação de carbono através da fotossíntese reduziu linearmente com o aumento na densidade de cultivo de 3 para 11 pl m^{-2}

no espaçamento 80 cm (Figura 3). Por outro lado, não houve efeito da densidade de plantas sobre esta variável no espaçamento entre-linhas de 40 cm.

Figura 3. Balanço da fotossíntese líquida na folha índice de plantas de milho no espigamento em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Esses dados contrastam com as observações de Gomes et al. (2010) que não constataram modificações na taxa fotossintética alterando o espaçamento entre-linhas entre 50, 70 e 90 cm, mantendo a distância entre plantas de 20 cm.

Os dados obtidos com o cloroflômetro (Figura 2B) corroboram o comportamento apresentado pela taxa fotossintética da folha índice (Figura 3), indicando maior comprometimento a atividade fotossintética da planta com o adensamento no espaçamento de 80 cm do que no de 40 cm. Isto pode estar associado à maior distância

entre plantas na linha obtida com a redução do espaçamento, permitindo melhor penetração da radiação e atenuando a competição intraespecífica por luminosidade.

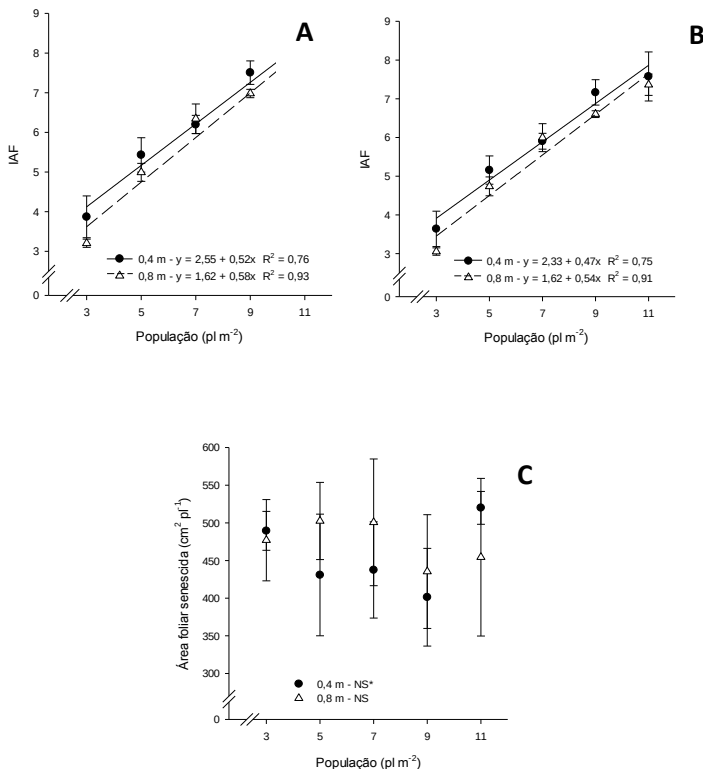
1.3.4 Índice de área foliar e senescência foliar

O índice de área foliar no espigamento aumentou linearmente com o incremento na densidade de plantas nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 4A). O mesmo comportamento foi verificado na avaliação feita 30 dias após (Figura 4B), quando os grãos se encontravam no estágio R3 da escala de Ritchie et al. (1993). Um ponto importante a destacar é que mesmo nas densidades mais altas o IAF foi maior do que 5 em R3. Desta forma, todos os valores estimados 30 dias após o espigamento foram superiores ao IAF crítico necessário para interceptar 95% da radiação solar incidente, que segundo Andrade et al. (2003) se situa entre 4 e 5. Os dados de senescência foliar mensurados no espigamento também demonstraram que o incremento na densidade de plantas não apressou significativamente a velocidade de morte das folhas da planta (Figura 4C).

A tolerância ao aumento da densidade de plantas com o objetivo de elevar a produtividade da cultura do milho está intimamente ligada a diversos fatores. Com relação à planta, a manutenção de maior área foliar está relacionada a uma maior eficiência na interceptação da radiação luminosa para conversão dos fotoassimilados em grãos (OTEGUI & ANDRADE, 2000). A escolha de híbridos que apresentem maior duração do período com área foliar fotossinteticamente ativa pode incrementar a eficiência de uso da radiação solar à produção de grãos. Neste sentido, Valentinuz & Tollenaar (2004) observaram

em estudos para comparar a evolução da senescência foliar de híbridos de milho cultivados comercialmente em diferentes épocas, que a senescência foliar foi 3,4 e 2,1 vezes maior em um híbrido cultivado na década de 60 do que no híbrido cultivado na década de 90, durante a primeira e a segunda metade do período de enchimento de grãos, respectivamente.

Figura 4. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), IAF 30 dias após o espigamento (B) e área foliar senescida no espigamento (C) do milho cultivado em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/1.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

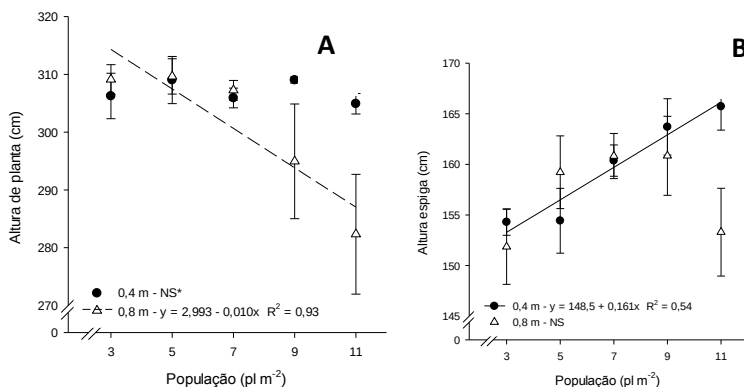
A senescência foliar mais lenta durante o enchimento de grãos foi considerada por Valentinuz & Tollenaar (2004), Zanin (2007) e Sangoi et al. (2008)

como uma característica positiva para aumentar a tolerância da cultura do milho ao adensamento.

1.3.5 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas

A estatura de plantas não foi afetada significativamente pelo adensamento quando o milho foi cultivado no espaçamento entre-linhas de 40 cm e reduziu linearmente com o incremento da densidade no espaçamento de 80 cm (Figura 5A). Já a altura de inserção de espigas aumentou com o incremento da população no espaçamento de 0,4m e não foi afetada pela densidade no espaçamento de 0,8m (Figura 5B).

Figura 5. Estatura de planta (A) e altura de inserção de espiga (B) do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

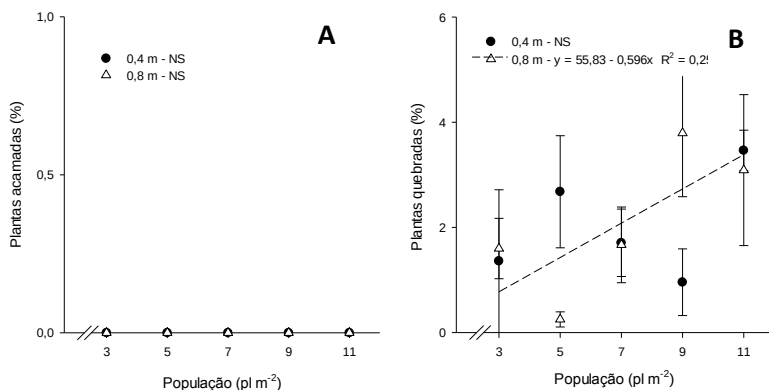
As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Assim como o ciclo, morfológicamente a planta de milho pode ser afetada pelo estresse da competição intraespecífica dentro da comunidade de plantas, aumentando a competição por água, luz e nutrientes. No caso de competição por luz, esperava-se que uma maior densidade provocasse o estiolamento das plantas em busca de luz proporcionado pela dominância apical, conforme reportado por Sangoi et al. (2010). No entanto, não houve aumento na estatura de plantas com o incremento na população de plantas nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 5A). Essa característica pode indicar que o híbrido utilizado se adapta bem a maiores adensamentos de cultivo quando as demais condições ambientais forem favoráveis, mitigando a competição intraespecífica por luz.

A percentagem de plantas acamadas e quebradas não foi afetada pelo aumento da população de plantas quando o milho foi cultivado no espaçamento entre-linhas de 0,4m (Figura 6A). A percentagem de colmos quebrados aumentou linearmente com o adensamento no espaçamento de 0,8m entre-linhas (Figura 6B).

Figura 6. Plantas acamadas (A) e quebradas (B) de milho no momento da colheita em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Segundo Rajcan & Swanton (2001), altas densidade de cultivo podem interferir na qualidade da luz que atinge o interior da comunidade, incrementando a quantidade de vermelho extremo (VE) e diminuindo a quantidade de vermelho (V). O aumento da relação VE/V altera diversas características morfológicas que interferem na arquitetura de planta, estimulando a dominância apical, a elongação de entrenós e a redução do diâmetro de colmo. Estas alterações podem aumentar as percentagens de plantas acamadas e quebradas.

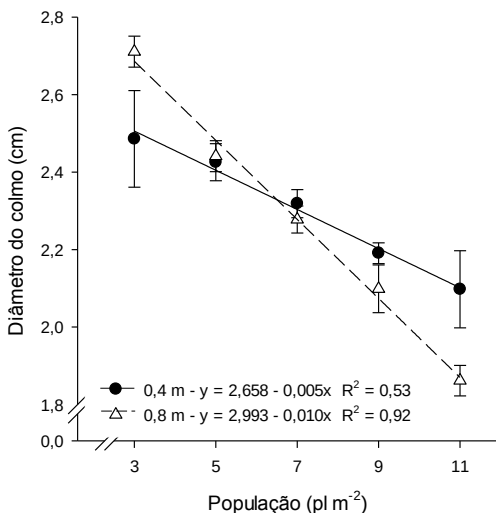
Zanin (2005) cita a importância de baixos índices de acamamento e de quebra de colmos para o rendimento de grãos, e que essas variáveis apresentam correlação negativa com o rendimento. O mesmo autor, testando três cultivares com bases genéticas

contrastantes, verificou que híbridos simples apresentaram, em comparação a híbridos duplos e variedades, menores índices de acamamento e quebra de colmos.

Os dados da Figura 6 demonstram que, independentemente do arranjo de plantas utilizado, a sustentabilidade do colmo na colheita foi satisfatória, pois a percentagem de colmos acamados e quebrados foi menor do que 4% em todos os tratamentos.

O incremento na percentagem de plantas quebradas registrado quando se aumentou a população de plantas no espaçamento de 80 cm (Figura 6B) pode ter relação com o menor diâmetro de colmo observado para esse espaçamento quando as densidades de cultivo foram maiores (Figura 7). O diâmetro diminuiu para os dois espaçamentos entre linha testados a medida em que a densidade de cultivo foi maior, apresentando coeficiente angular superior para essa variável no espaçamento 80 cm entre-linhas. Essa interação entre o espaçamento entre-linhas e a densidade para o diâmetro de colmo é importante. Com a redução do espaçamento entre-linhas, as plantas podem apresentar nas densidades mais altas uma melhor estrutura para suportar a espiga, possibilitando colher mais plantas eretas. Segundo Strieder (2006), o principal fator que influencia no diâmetro de colmo é a densidade de plantas, pois à medida que aumenta a densidade também aumenta o número de plantas dominadas, caracterizadas por possuírem menor desenvolvimento e menor diâmetro de colmo.

Figura 7. Diâmetro do primeiro entrenó expandido acima da superfície do solo do colmo do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

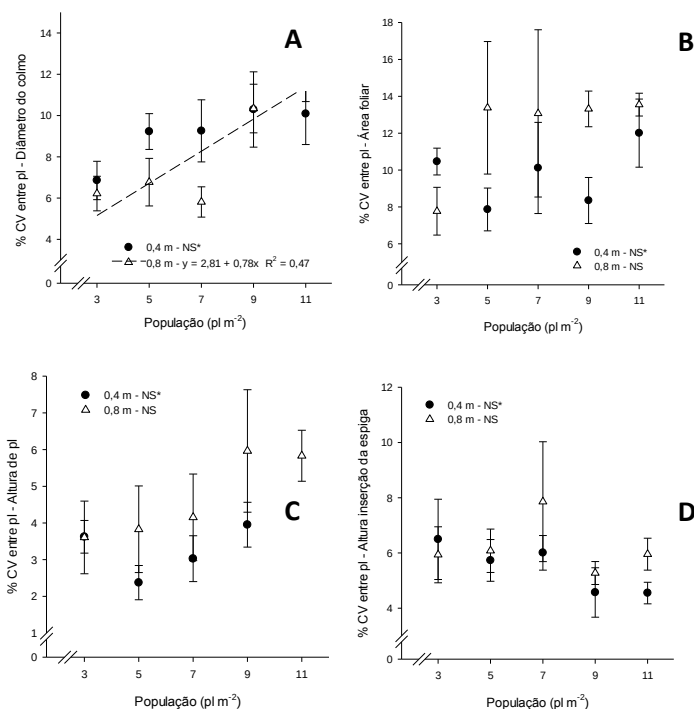
Fonte: O Autor (2014).

1.3.6 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas

O coeficiente de variação entre plantas para o índice de área foliar no espigamento, altura de plantas e altura de inserção de espigas não foi afetado pela densidade de plantas nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 8 B, C e D). Os valores registrados para estas três características foram inferiores a 20%. Isto indica que houve uma boa uniformidade morfológica entre os indivíduos no dossel, mesmo nas parcelas

adensadas e com amplo espaçamento entre-linhas. A maior uniformidade morfológica e fenológica entre plantas é uma característica desejável para aumentar a tolerância do milho ao adensamento, pois ela atenua a competição intraespecífica (SANGOI et al., 2007)

Figura 8. Coeficiente de variação entre plantas observado para o diâmetro do colmo (A), índice de área foliar no espigamento (B), estatura de plantas (C) e altura de inserção de espigas (D) de milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

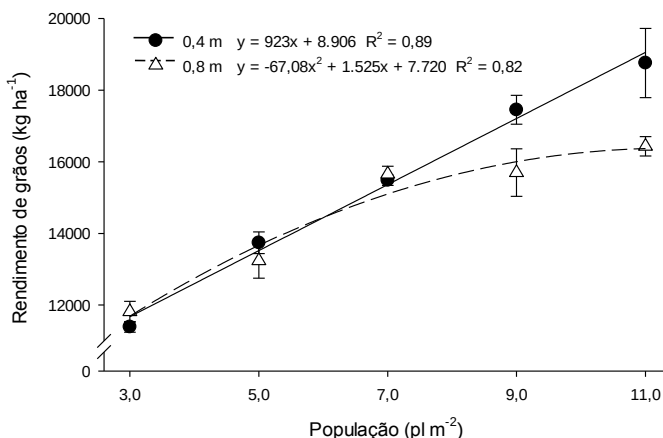
As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

1.3.7 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

Na estação estival de crescimento de 2010/11, os valores de rendimento de grãos oscilaram entre 11.390 e 18.760 kg ha⁻¹, dependendo do arranjo de plantas adotado. A média de produtividade do experimento foi de 14.960 kg ha⁻¹. A interação entre densidade de plantas e espaçamento entre-linhas interferiu significativamente no rendimento de grãos da cultura (Figura 9). De maneira geral, o rendimento aumentou com o incremento no número de plantas por unidade de área. Contudo, a resposta ao adensamento foi diferente nos dois espaçamentos entre-linhas. O rendimento de grãos aumentou linearmente quando se incrementou a densidade de 3 para 11 pl m⁻² no espaçamento entre-linhas de 40 cm. Nesse caso, o modelo sugere que a produtividade máxima não foi alcançada dentro da faixa de população de plantas utilizada no trabalho.

Figura 9. Rendimento de grãos de milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.



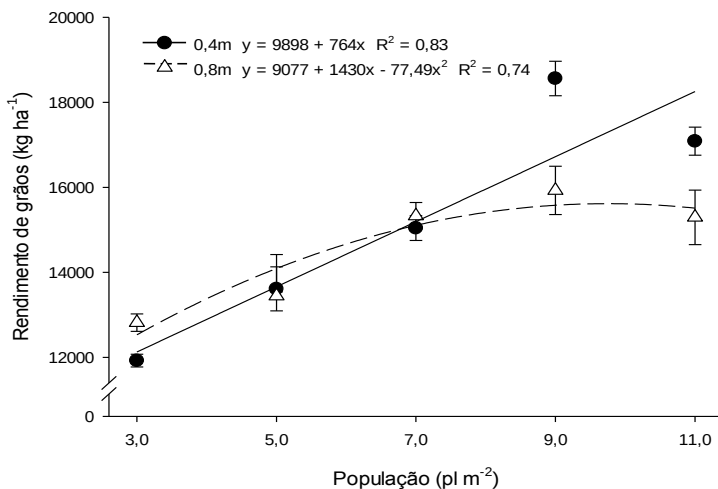
As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Da mesma forma, observou-se aumento do rendimento de grãos com o aumento da densidade de cultivo no espaçamento entre-linhas de 80 cm. Contudo, nessa situação, o acréscimo teve um ajuste quadrático, sugerindo pelo modelo que para esse espaçamento entre-linhas o limite possível de produtividade foi alcançado na maior população avaliada no trabalho (Figura 9).

No segundo ano do experimento (2011/12), o rendimento de grãos variou entre 11.920 e 18.560 kg ha⁻¹. Da mesma forma que o ano anterior, ele foi afetado pelo arranjo de plantas testado (Figura 10). A média de produtividade nesse ano no experimento foi de 14.930 kg ha⁻¹.

Figura 10. Rendimento de grãos de milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, 2011/12.



As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

O rendimento de grãos aumentou linearmente com o incremento na densidade de 3 para 11 pl m⁻² para ambos espaçamentos entre-linhas (Figura 10). Contudo, as taxas de aumento na produtividade advindas do adensamento foram maiores no espaçamento de 40 cm do que no de 80 cm. Neste sentido, houve acréscimos de 764 kg ha⁻¹ e de 372 kg ha⁻¹ para cada planta adicionada por m⁻² a lavoura nos espaçamentos entre-linhas de 40 e 80 cm, respectivamente.

O comportamento do rendimento observado nos dois anos de condução do experimento demonstrou que apesar do incremento na densidade melhorar a produtividade de grãos, ele não é uma prática de manejo que deve ser utilizada isoladamente, mas sim conjugada

a outras formas de manipulação do arranjo para melhor distribuição das plantas na área, como a redução no espaçamento entre-linhas.

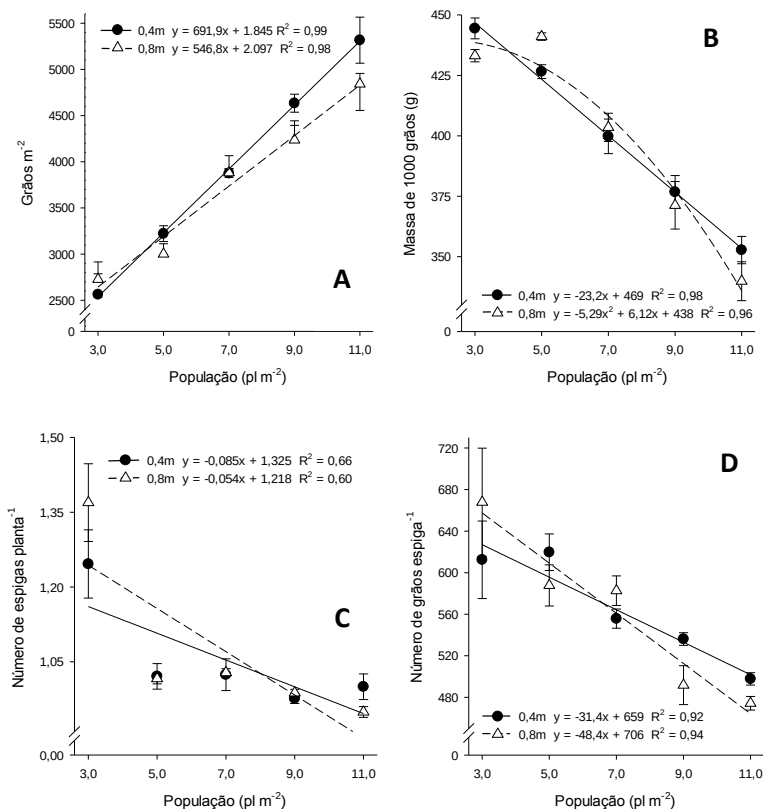
Em 2011/2012, o espaçamento entre-linhas de 40 cm produziu 5,4% mais que o espaçamento 80 cm, na média das cinco densidades de plantas, com respectivamente 15.360 e 14.470 kg ha⁻¹. Contudo, as maiores diferenças de produtividade entre o espaçamento reduzido (40 cm) e o convencional (80 cm) foram registradas nas densidades de 9 e 11 pl m⁻². Essa diferença de 17% (9 plantas m⁻²) e 11,8% (11 plantas m⁻²) entre as maiores produtividades encontradas para os dois espaçamentos entre-linhas testados corrobora com as observações feitas por Strieder et al. (2008) e Sangoi et al. (2010) de que os benefícios da melhor distribuição de plantas nos sulcos de semeadura propiciados pela redução do espaçamento entre-linhas são maiores quando se utilizam altas densidades de semeadura. O rendimento de grãos do espaçamento entre-linhas de 40 cm só foi menor que o de 80 cm na densidade de 3 plantas por m⁻² (Figura 10).

No primeiro ano, o rendimento foi afetado positivamente pelo o número de grãos produzidos por área (Figura 11A), que teve incrementos lineares à medida que a densidade de cultivo aumentou. Contrapondo a isso, os demais componentes do rendimento diminuíram seu valor quando a densidade de cultivo foi maior (Figura 11B, C e D). As reduções numéricas ocorridas com o adensamento na massa de grãos, no número de grãos por espiga e no número de espigas por planta foram compensadas pelo incremento proporcionado pelo aumento do número de grãos colhidos por área.

Dois aspectos merecem ser destacados na análise dos componentes do rendimento. O primeiro foi

está relacionado com o índice de espigas. Considerando-se que uma planta dá origem em média a uma espiga, houve maior quantidade de espigas colhidas por área nas densidades mais altas, pois a média observada foi de 0,98 espigas por planta nos tratamentos com mais de 7 plantas por m^{-2} , para os dois espaçamentos entre-linhas. (Figura 11C). Associado a isto, as espigas colhidas produziram mais de 480 grãos (Figura 11D). Isto fez com que o número de grãos colhidos por área fosse o componente do rendimento mais intimamente ligado ao rendimento em resposta ao incremento na densidade de cultivo para os dois espaçamentos entre-linhas testados.

Figura 11. Componentes do rendimento de grãos do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.



NS – Não significativo

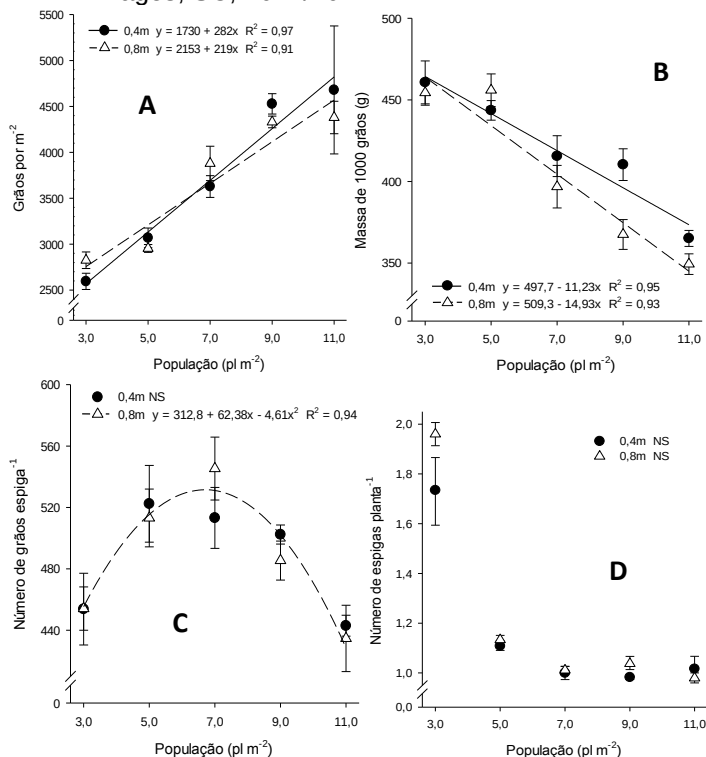
As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Em 2011/12 o rendimento de grãos também esteve mais relacionado ao incremento no número de grãos produzidos por área, que aumentou linearmente com o incremento da densidade de plantas para ambos

os espaçamentos entre-linhas testado (Figura 12A), do que os demais componentes do rendimento. A massa de 1000 grãos apresentou decréscimo com o maior adensamento (Figura 12B) e o número de espigas por planta não foi afetado pela densidade (Figura 12 D). Esse comportamento confirmou as observações do primeiro ano de condução do trabalho.

Figura 12. Componentes do rendimento de grãos do milho em cinco densidades de plantas e dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2011/2012.



NS – Não significativo

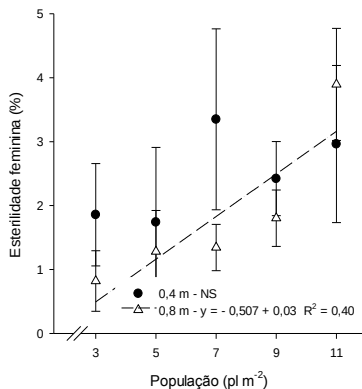
As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Nos dois anos de teste, o número de espigas por planta foi sempre próximo ou superior a 1,0, mesmo nas densidades mais altas (Figura 11D e 12D). As espigas produzidas tinham pelo menos 430 grãos na colheita em todos os tratamentos (Figura 11C e 12C). Esta combinação de componentes propiciou a obtenção de rendimentos de grãos superiores a 18.000 kg ha⁻¹ quando se combinou alta densidade (11 plantas m⁻²) e espaçamento entre-linhas reduzido (40cm).

Um dos principais problemas apresentados pelo milho quando se utilizam densidades muito altas é o aumento da protândria, o qual favorece a esterilidade feminina, reduzindo o número de óvulos fertilizados (SANGOI et al., 2002). Os dados das Figuras 9, 10, 11 e 12 demonstram que em ambientes de alto manejo a natureza protândrica do milho é minimizada, possibilitando a produção de mais de 4.500 grãos de milho por m⁻² com estandes adensados e espaçamento entre-linhas reduzido. A Figura 13 reforça esta tendência, mostrando que as percentagens de esterilidade feminina foram inferiores a 4% em todos os tratamentos avaliados, na média dos dois anos de execução do trabalho.

Figura 13. Esterilidade feminina do milho em cinco densidades de plantas e dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Atualmente, as recomendações de densidade para condições favoráveis de manejo, clima e solo oscilam entre 6,5 e 8,0 plantas m⁻² (SANGOI et al., 2010). Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a combinação entre densidades supra-ótimas (9 a 11 plantas m⁻²) e de espaçamentos reduzidos (40 cm) é uma estratégia eficiente para alcançar tetos produtivos superiores a 250 sacos ha⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Serpa et al. (2011) na região da Depressão Central no RS. Para que isto seja viável, é importante combinar híbridos com alto potencial produtivo, tolerantes ao adensamento, cultivados sem restrições hídricas e edáficas e com um rigoroso controle fitossanitário.

A média de produtividade de grãos nos dois anos foi aproximadamente três vezes maior que a média de

produtividade brasileira (4.900 kg ha⁻¹), mesmo com os experimentos possuindo tratamentos com densidades de semeadura de 3 e 5 plantas por metro quadrado compondo essa média. Isso indica que mesmo densidades de cultivo mais baixas demandam maior grau de investimento em insumos e ou práticas de manejo e que podem produzir melhores resultados do que os que tem sido alcançados em diversas regiões produtoras de milho no Brasil.

1.3.8 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo

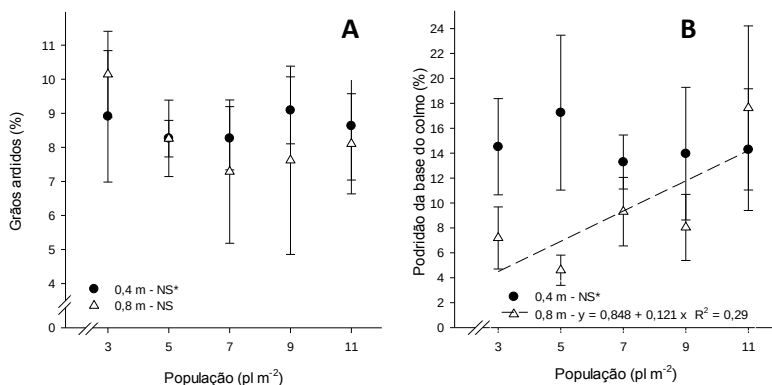
A percentagem de grãos ardidos observada variou de 4,9 a 11,3%, sendo observada uma média de 7,9% de grãos ardidos no experimento (Figura 14A). Não houve distinção das percentagens observadas entre os arranjos entre-linhas e as densidades testadas.

A incidência de podridões da base do colmo variou de 3,8 a 23,8%. A média de incidência no experimento foi de 11,5%. No espaçamento entre-linhas de 40 cm não foi verificada diferença da percentagem de incidência de podridões da base do colmo entre as densidades testadas (Figura 14B). Isto indica que a melhor distribuição de plantas na área proporcionada pelo espaçamento reduzido pode ter favorecido uma maior ventilação e insolação entre as plantas, reduzindo o período de molhamento e mitigando a ocorrência de podridões da base do colmo quando a densidade de cultivo foi maior. Já no maior espaçamento (80 cm) entre-linhas, houve acréscimo linear da percentagem de plantas com podridões da base do colmo com o aumento da densidade de cultivo. Neste caso, a maior densidade de cultivo favoreceu a infestação e desenvolvimento de

fungos patogênicos que causam podridões da base do colmo.

Na região sul do Brasil é frequente a ocorrência de danos causados por doenças relacionadas com podridões da base de colmo e podridões de espiga, (REIS & CASA, 2001). A ocorrência destas doenças é comumente relacionada ao adensamento, pois a luz tem maior dificuldade de chegar aos estratos inferiores do dossel, onde inicialmente se instalam os patógenos causadores destes problemas. Nesse sentido, destaca-se que os estudos do manejo do arranjo entre plantas buscam formas de interceptar a maior quantidade de radiação luminosa nas folhas localizadas no terço médio superior da planta, local onde estão localizadas as folhas que mais contribuem com fotoassimilados para os grãos. Contudo, com o maior sombreamento nos estratos inferiores do dossel, existe a possibilidade de um maior período de molhamento nestas partes da planta, como a base do colmo, conferindo condições de infecção por fungos patogênicos as plantas. Tal fato deve ser levado em consideração no momento da escolha do arranjo entre plantas.

Figura 14. Porcentagem de grãos ardidos (A) e incidência de podridões da base do colmo (B) do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

As podridões de colmo provocam o apodrecimento dos tecidos internos da medula do colmo e são causadas principalmente pelos fungos *Fusarium verticillioides* (Sacc) Nirenberg, *F. graminearum* (Schwabe), *Colletotrichum graminicola* (Cesati) Wilson, *Stenocarpella* e *S. maydis* (Berk.). Tais patógenos causam danos porque interrompem o fluxo de seiva existente entre parte aérea e sistema radicular, causando a morte prematura de plantas, menor enchimento dos grãos, acamamento e maiores perdas de colheita (FEPAGRO/EMATER/FECOAGRO-RS, 1998; REIS et al, 2004). A ocorrência de podridões de colmo é favorecida por alterações nas relações entre fonte e dreno de nutrientes ocorridas durante a fase de

enchimento dos grãos (REIS & CASA, 1996). Fatores que reduzam a fotossíntese e a produção de carboidratos predispõem as plantas às podridões (PINTO et al., 1997). Os dados da Figura 14 demonstram que não houve um incremento significativo da ocorrência de podridões da base do colmo e de grãos ardidos com o incremento na densidade de plantas quando se utilizou o espaçamento entre-linhas de 40 cm.

1.3.9 Considerações finais

Este trabalho foi concebido com base na hipótese de que o incremento na densidade de plantas é uma estratégia efetiva para potencializar o rendimento de grãos da cultura do milho em ambientes de alto manejo, principalmente quando combinado com a redução do espaçamento entre-linhas.

Para que a utilização de densidades supra-ótimas alavanque a produtividade do milho, é necessário mitigar os inconvenientes que o adensamento pode trazer à cultura. Este inconveniente pode ser enquadrados em quatro categorias: fenológicos, fisiológicos, morfológicos e fitopatológicos.

Fenologicamente, a utilização de altas densidades pode aumentar a dominância apical, comprometendo o desenvolvimento da espiga e aumentando o intervalo entre antese e espigamento. Fisiologicamente, altas densidades podem reduzir a quantidade de radiação que atinge os estratos inferiores do dossel, reduzindo a atividade fotossintética da planta e apressando a senescência foliar. Morfologicamente, estandes adensados podem incrementar a estatura da planta, reduzir o diâmetro do colmo e aumentar a percentagem de plantas acamadas e quebradas na colheita. Fitopatologicamente, o incremento na

densidade pode fragilizar o colmo, fomentando a incidência de podridões e de grãos ardidos.

Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram que nenhum dos inconvenientes potenciais advindos do adensamento foi relevante para comprometer o desempenho agrônômico da cultura quando o uso de altas densidades foi associado à redução do espaçamento entre-linhas.

Fenologicamente, o intervalo entre antese e espigamento foi inferior a 2 dias em todos os tratamentos (Figura 1C) e o número de espigas por planta foi próximo de 1 na densidade de 11 pl m⁻² (Figuras 11C e 12D). Isto demonstra que houve um desenvolvimento alométrico equilibrado entre as inflorescências masculina e feminina, contribuindo para elevar o número de grãos produzidos por área.

Fisiologicamente, não houve decréscimo significativos na percentagem de nitrogênio e na atividade fotossintética da folha índice no tratamento com 11 pl m⁻² e 40 cm entre-linhas (Figuras 2A e 3). Isto é um indicativo de que o maior IAF e o maior sombreamento advindos da utilização de densidades supra-ótimas (Figura 4A) não comprometeu a atividade fotossintética da planta no espigamento. Paralelamente a isto, os valores de IAF da cultura 30 dias após o espigamento estiveram acima do IAF crítico da cultura em todos os tratamentos, demonstrando que não houve uma senescência foliar acentuada nas maiores densidades (Figura 4B).

Em termos morfológicos, não houve incremento significativo na estatura de plantas, nem tão pouco na percentagem de plantas acamadas e quebradas, quando se combinou 11 pl m⁻² e 40 cm entre-linhas (Figuras 5A e 6B). Fitopatologicamente, a percentagem de podridões na base do colmo e de grãos ardidos não aumentou

significativamente com o adensamento no espaçamento de 40 cm entre-linhas (Figura 14).

Desta forma, nas condições em que se desenvolveu o presente trabalho, a combinação entre alta densidade (11 pl m^{-2}) e espaçamento entre-linhas reduzido (40 cm) otimizou o aproveitamento do ambiente, possibilitando a produção de 1 espiga por planta, com mais de 450 grãos por espiga, com massa individual superior a 0,35g (Figuras 11 e 12). Esta combinação de componentes do rendimento viabilizou a produção de cerca de $4.500 \text{ grãos m}^{-2}$, elevando o rendimento de grãos a valores que superaram 300 sacos há-1 (Figuras 9 e 10).

Coletivamente, os resultados obtidos no trabalho corroboram as observações feitas por Mansfield et al. (2014), mostrando que o aumento da densidade de plantas é uma estratégia efetiva para maximizar a produtividade do milho quando se utilizam híbridos simples de alto potencial produtivo, cultivados em ambientes de alto manejo, sem restrições hídricas e edáficas.

1.4 CONCLUSÕES

O incremento na densidade de plantas e a redução do espaçamento entre-linhas de cultivo são estratégias eficientes para aumentar o potencializar o rendimento de grãos do milho em ambientes de alto manejo.

O maior IAF e o maior sombreamento advindos da utilização de densidades supra-ótimas não compromete a atividade fotossintética da planta no espigamento.

O aumento da densidade de cultivo não aumenta a estatura de plantas, a percentagem de plantas

acamadas e quebradas em condições alto investimento em práticas de manejo e em insumos.

Há potencial no Brasil para alcançar tetos produtivos superiores a 18.000 kg ha⁻¹ combinando densidades supra-ótimas de 9 a 11 pl m⁻² e espaçamento entre-linhas reduzidos de 40 cm.

2 REDUÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE-LINHAS COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTAR O RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO EM AMBIENTES DE ALTO MANEJO

RESUMO

A redução do espaçamento entre-linhas permite uma melhor distribuição das plantas na área para a mesma população. O objetivo deste experimento foi avaliar a eficiência da redução do espaçamento entre-linhas como estratégia de manipulação do arranjo de plantas para elevar o rendimento de grãos do milho em ambientes de alto manejo. O experimento foi conduzido em Lages/SC, nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso dispostos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais avaliaram-se duas densidades (7 e 9 pl m⁻²). Nas subparcelas avaliaram-se cinco espaçamentos entre-linhas (40, 60, 80, 100 cm e TR). O tratamento TR correspondeu ao plantio de pares de linhas espaçadas 60 cm entre pares e 18 cm entre-linhas do par. Avaliaram-se o rendimento de grãos e características morfofisiológicas do híbrido 30R50H, semeado em 20/10/2010 e 21/10/2011. Os rendimentos de grãos variaram de 14.610 a 16.440 kg ha⁻¹ no primeiro ano e entre 15.650 e 17.740 kg ha⁻¹ no segundo ano. Os rendimentos foram maiores na densidade de 9 pl m⁻² do que na de 7 pl m⁻². Não houve diferenças significativas no rendimento de grãos entre os cinco espaçamentos entre-linhas. A redução do espaçamento entre-linhas ou a utilização de linhas gêmeas não interferiu na duração do subperíodo antese-espigamento, no teor de nitrogênio e na atividade fotossintética da folha índice no espigamento, bem como no índice de área foliar no

florescimento. O incremento na densidade de plantas é mais eficiente do que a redução do espaçamento entre-linhas para aumentar o rendimento de grãos do milho em ambientes de alto manejo.

Palavras-chave: *Zea mays*, densidade de plantas, distribuição espacial.

ABSTRACT

Reducing the spacing allows better distribution of plants in the area for the same density. The aim of this study was to evaluate the use efficiency of the narrow spacing as strategy of the plant arrangement to raise the grain yield of maize in high performance environment. The experiment was conducted in Lages / SC in the year 2011/2012 and 2010/2011. We used the experimental design of randomized blocks arranged in split plots. The main plots were evaluated two densities (7-9 pl m⁻²). Subplots were evaluated five row spacings (40, 60, 80, 100 cm and TR). The TR treatment corresponded to planting pairs of lines spaced 60 cm between pairs and 18 cm between rows of the pair. We evaluated the yield and morpho-physiological characteristics of hybrid 30R50H, sown on 20/10/2010 and 21/10/2011. Grain yields ranged 14,610-16,440 kg ha⁻¹ in the first year and between 15,650 and 17,740 kg ha⁻¹ in the second year. Yields were higher density of 9 pl m⁻² than 7 pl m⁻². There were no significant differences in grain yield among the five row spacings. Reducing the spacing or the use of twin lines did not affect the duration of anthesis-silking sub-period, the nitrogen content and photosynthetic activity of the index leaf at silking as well as the leaf area index at flowering. The increase in plant density is more

efficient than reducing the spacing to increase the yield of maize in high management environments.

Key-words: *Zea mays*, plant density, spatial distribution.

2.1 INTRODUÇÃO

A distribuição das plantas na área, principalmente entre as linhas de semeadura, pode alterar a arquitetura da planta e o ângulo foliar (NUMMER FILHO & HENTSCHE, 2006). A manipulação adequada do arranjo de plantas é uma prática de manejo importante para otimizar o rendimento de grãos, já que influencia o índice de área foliar, o ângulo de inserção foliar e a interceptação de luz incidente por outras partes da planta, principalmente nos extratos inferiores do dossel. Além disso, o arranjo de plantas afeta a disposição de folhas e as suas características de absorção de luz na comunidade (OTTOMAN & WELCH, 1989; LOOMIS & AMTHOR, 1999; ARGENTA et al., 2001; SILVA et al., 2006).

O desenvolvimento de híbridos mais tolerantes a altas densidades de plantas, o maior número de herbicidas disponíveis para controle seletivo de plantas invasoras em pós-emergência e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas no desenvolvimento de equipamentos adaptados ao cultivo do milho com linhas mais próximas aumentou o interesse dos produtores de milho em reduzir o espaçamento entre-linhas utilizado na cultura dos tradicionais 80-90 cm para 40-50 cm (SILVA et al., 2006).

Entre as diversas práticas culturais, a escolha do espaçamento entre-linhas de semeadura e o número de plantas adequado por área são de extrema importância, por determinarem melhor aproveitamento de fatores

abióticos como água, luz e nutrientes, para que a cultura possa expressar todo o seu potencial fisiológico (PENARIOL et al., 2003). À medida que os recursos do ambiente se tornam limitantes e se incrementa a densidade de plantas ocorre diminuição da produção por planta, que é mais intensa nos híbridos mais antigos em relação aos modernos (TOLLENAAR & LEE, 2002; DUVICK & CASSMANN, 1999; SANGOI et al. 2002). A redução do espaçamento entre-linhas pode aumentar a produção de grãos quando se utilizam altas densidades de cultivo (SILVA et al., 2006; SANGOI & SILVA, 2006). A indicação de arranjo de plantas em milho vem sendo alterada devido às modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica advindos dos programas de melhoramento da cultura.

A redução do espaçamento entre-linhas permite uma melhor distribuição das plantas na área para a mesma população. Com isso, é possível melhorar a eficiência de interceptação da radiação solar e da absorção de água e nutrientes, aprimorar controle cultural de plantas invasoras, reduzir as perdas de água por evaporação do solo, utilizar a mesma regulação na semeadura das duas principais culturas de verão (milho e soja) e distribuir melhor as plântulas no sulco de semeadura, devido à menor velocidade de trabalho dos sistemas distribuidores de sementes (SANGOI & SILVA, 2010). Outra vantagem potencial desta prática cultural é o aumento da eficiência conservação da água no solo, devido ao fechamento precoce de espaços de linha no dossel, diminuição do escoamento superficial e as perdas de solo e água pela erosão (COGO et al, 2003).

A distribuição equidistante de plantas na área aumenta a capacidade competitiva da cultura, principalmente sobre as plantas daninhas (SILVA et al., 2006). Essa prática aumenta a quantidade de luz

interceptada nas fases iniciais de desenvolvimento, resultando no aumento da taxa de crescimento, menor estresse por competição nos estádios iniciais da cultura, resultando em maiores produtividades de grãos e matéria seca (NUMMER FILHO & HENTSCHEKE, 2006).

Por outro lado, a utilização de linhas mais próximas nem sempre traz incrementos de produtividade, aumenta os custos de produção, pela necessidade de ajustes na maquinaria agrícola e da aquisição de uma plataforma de colheita específica para espaçamentos reduzidos, além de dificultar a realização de tratos culturais em pós-emergência da cultura, podendo aumentar o dano mecânico às plantas (SANGOI et al., 2010).

A utilização do espaçamento reduzido tem potencial para maiores rendimentos de grãos em altas densidades (NUMMER FILHO; HENTSCHEKE, 2006). Em trabalho conduzido na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, Cox e Cherney (2001) verificaram que o rendimento do milho foi 7,5% superior quando utilizado essa prática de manejo em comparação ao espaçamento convencional. Neste estudo, os autores observaram que os produtores podem obter todos os benefícios da maior produção de matéria seca associado ao espaçamento reduzido com gerenciamento do nitrogênio semelhante ao do espaçamento convencional. Ao adotar espaçamentos reduzidos, tem-se como objetivo maximizar a interceptação da radiação solar pelas folhas (NUMMER FILHO & HENTSCHEKE, 2006). Resultados semelhantes foram encontrados por Farnham (2001), que constatou aumento de 6,2% no rendimento de grãos do milho cultivado com espaçamentos entre-linhas reduzidos no norte dos Estados Unidos.

O arranjo de plantas influencia a qualidade de luz no dossel, sobretudo no extrato inferior. Com disposição

mais uniforme de plantas na área, há maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na do vermelho extremo (VE) (KASPERBAUER & KARLEN, 1994; ALMEIDA et al., 2000). Em densidades superiores a 6 plantas por metro quadrado, as plantas de milho recebem mais luz VE refletida, o que aumenta a relação VE/V e altera a habilidade competitiva destas com as plantas vizinhas. Assim, há modificações na arquitetura foliar e no desenvolvimento da planta, com maior alongação de entrenós (colmos mais compridos, porém de menor diâmetro), dominância apical e altura de inserção de espiga (ALMEIDA et al., 2000), folhas mais compridas e finas e maior abscisão radical (KASPERBAUER & KARLEN, 1994).

A época de semeadura e o comprimento da estação de crescimento também influenciam a escolha do arranjo de plantas de milho. Nas semeaduras do cedo (final do inverno e início da primavera), particularmente em regiões temperadas e subtropicais, como o sul do Brasil (MEROTTO Jr. et al.; 1999; ALMEIDA et al., 2000) usualmente são requeridas maiores densidades de plantas. Isto é atribuído à menor radiação solar disponível e ao menor crescimento da planta sob temperaturas baixas (SANGOI, 2000). Nesta situação, a adoção de menores espaçamentos entre-linhas pode aumentar o rendimento de grãos, por permitir melhor distribuição espacial das plantas e, conseqüentemente, maior interceptação da radiação solar.

O uso de espaçamento reduzido e maior densidade de plantas na cultura do milho vêm sendo estudados desde meados do século passado. Contudo, apenas a partir do final do século XX estas duas práticas culturais têm sido adotadas de forma mais ampla e conjugada pelos produtores do cereal (PEREIRA et al., 2008).

Além da redução convencional do espaçamento entre-linhas, outra forma possível de mudar o arranjo das linhas de cultivo é o sistema de cultivo de linhas aos pares, ou linhas gêmeas (“Twin Rows”). O sistema Twin-row ou linhas gêmeas consiste numa forma de distribuição de plantas onde se busca aumentar a distância entre as plantas sem afetar o fenótipo das mesmas e aumentar a produtividade, por proporcionar menor competição na linha (BALEN, 2013). De acordo com Karlén et al. (1987), a redução do espaçamento, incluindo o arranjo duplo “Twin rows” ou “linhas gêmeas” (46 e 20 cm entre uma linha e outra) aumenta o rendimento, porque, em teoria, em quatro populações comparáveis, a linha mais estreita diminui a competição por água, nutrientes e luz.

Os benefícios da redução do espaçamento entre-linhas sobre a produtividade do milho dependem de diversos fatores, tais como as características do híbrido, época de semeadura, densidade de plantas e expectativa de produtividade. Eles são potencialmente maiores quando se utilizam híbridos de arquitetura de planta ereta, nas semeaduras feitas no final do inverno, com densidades superiores a 6,5 plantas ha^{-1} e perspectiva de rendimentos de grãos superiores a 10.000 kg ha^{-1} (STRIEDER et al, 2008).

A hipótese deste experimento foi de que a redução do espaçamento entre-linhas melhora a partição de água, luz e nutrientes e incrementa o potencial produtivo do milho em ambientes de alto manejo. Este trabalho foi conduzido objetivando avaliar a eficiência da redução do espaçamento entre-linhas como estratégia para elevar o rendimento de grãos do milho cultivado em altas densidades e ambientes favoráveis a obtenção de rendimentos de grãos superiores a 15.000 kg ha^{-1} .

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado a campo durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. O local onde foi realizado o experimento encontra-se no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas do local são 27° 50' 35" de latitude sul e 50° 29' 45" de longitude oeste e altitude de 849 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, citado por Kottek et al. (2006), é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

Segundo classificação dos solos da EMBRAPA (2006), o solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico. Na análise de solo realizada em setembro de 2010 e 2011, o solo apresentava as seguintes características: 270 g kg⁻¹ de argila; pH em água 5,2; 3,5 mg L⁻¹ de P; 232 mg L⁻¹ de K; 42 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 6,1 cmolc dm⁻³ de Ca; 2,6 cmolc dm⁻³ de Mg; 0,2 cmolc dm⁻³ de Al, e 14,8 cmolc dm⁻³ de CTC.

Antes da instalação do experimento, foi semeada em maio de 2010 e de 2011, um consórcio de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), utilizando-se 40 e 55 kg ha⁻¹ de sementes para cada espécie, respectivamente. A dessecação da cobertura foi realizada em meados de setembro dos dois anos, utilizando-se o herbicida Glifosato (Roundup) correspondente a 240 g i.a. ha⁻¹.

A adubação foi determinada com base nos resultados obtidos na análise de solo e nas recomendações para a cultura do milho do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do

Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS-SC, 2004), objetivando uma produtividade de grãos de 18.000 kg ha⁻¹. Foram utilizados o superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes de fósforo e potássio, nas quantidades equivalentes a 295 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 170 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Para o nitrogênio foi utilizada ureia, na dose de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Os fertilizantes foram aplicados durante a semeadura. A adubação em cobertura com nitrogênio foi feita utilizando ureia como fonte, perfazendo um total de 250 kg ha⁻¹ de N por safra, fracionados igualmente em três estádios fenológicos (V4, V8 e V12 conforme a escala proposta por Ritchie et. al., 1993).

Foram utilizadas semeadoras manuais para implantação do experimento, depositando-se três sementes por cova para cada distância pré-determinada na linha em função da densidade e espaçamento entrelinhas. Quando as plantas estavam com três folhas expandidas (estádio V3 da escala de Ritchie et al., 1993), foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova.

Os ensaios foram semeados dias 20/10/2010 e 21/10/2011, no sistema de semeadura direta. O arranjo de plantas na linha para a densidade de plantas desejada foi obtido utilizando barbantes marcados com as distâncias entre plantas e a distância entre-linhas foi previamente delimitada com o uso de estacas. As sementes foram tratadas com os inseticidas Tiametoxam (Cruiser) e Fipronil (Standak) nas doses de 140 e 12 g i.a. por 100 kg de sementes e com o fungicida Fludioxonil + Metalaxyl (Maxim XL) na dose de 25 + 10 g i.a. por 100 kg de sementes para o controle preventivo de pragas e doenças na fase inicial do ciclo da cultura. A emergência das plantas ocorreu aproximadamente dez dias após a semeadura nos dois anos de cultivo.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) dispostos em parcelas subdivididas com quatro repetições. Na parcela principal foram testadas duas populações de plantas, correspondente a 7 e 9 pl m⁻². Nas subparcelas foram testados cinco diferentes formas de arranjoentre-linhas, correspondentes a 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm e linhas gêmeas (twin rows – TR). No tratamento TR a distância entre fileiras na linha gêmea foi de 18 cm e entre pares de fileiras de 60 cm. As subparcelas foram constituídas de quatro linhas com seis metros de comprimento. Todas as avaliações foram feitas nas duas fileiras centrais de cada subparcela.

Foi realizado o controle preventivo de plantas daninhas com aplicação em pré-emergência do herbicida Atrazina + Metalacloro (Primextra Gold) correspondente a dose de 1,5 + 1,15 kg i.a. ha⁻¹. Quando as plantas se encontravam em V3, complementou-se o controle das plantas daninhas com a aplicação do herbicida Tembotriona (Soberan) na dose de 100 g i.a. ha⁻¹. Além disso, foi realizada uma aplicação do fungicida Azixistrobina + Ciproconazol (Priori Xtra) correspondente a 60 + 25 g i.a. ha⁻¹, quando o milho estava nos estádios V10 e V18 de desenvolvimento para o controle preventivo de doenças.

O híbrido utilizado no ensaio foi o P30R50YH da empresa Pioneer. Esse híbrido apresenta ciclo precoce e é comumente recomendado para regiões de altitude da região sul do Brasil, característica do local onde o ensaio foi realizado, e para lavouras de alto médio a alto investimento em insumos e práticas de cultivo. A população recomendada para este híbrido é de 6 a 7 pl m⁻². Ele híbrido é um material transgênico para supressão de pragas da ordem lepidóptera, sendo que não foi necessária aplicação de inseticidas nos ensaios

para controle da lagarta do cartucho, provavelmente devido a essa característica.

A duração do subperíodo emergência-antese foi determinada computando-se o número de dias existentes entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão do pendão floral acima da folha bandeira com deiscência dos grãos de pólen em mais de 50% das plantas. Também determinou-se a duração do subperíodo emergência-espigamento, computando o número de dias entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão dos estigmas em 75% das plantas. Subtraindo a duração dos dois sub-períodos, estimou-se o intervalo entre antese e espigamento.

Quando as plantas alcançaram o espigamento, foi realizada a medição da área foliar para determinação do índice de área foliar (IAF), medindo-se o comprimento e largura de cinco plantas de cada parcela. A área foliar foi obtida de acordo com metodologia descrita por Tollenaar (1992). Para tanto, foram medidos o comprimento (C), da base à extremidade da folha e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas. Considerou-se fotossinteticamente ativa toda a folha que tivesse pelo menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com critério proposto por Borrás et al. (2003). A área foliar (A), expressa em cm², foi estimada aplicando-se a expressão: $A = C \times L \times 0,75$, onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não apresentam área retangular. Os somatórios das áreas de todas as folhas da planta determinaram a área foliar por indivíduo. O IAF correspondeu a área foliar por planta dividida pela superfície de solo ocupada pela planta, que variou conforme o arranjo espacial de cultivo.

No espigamento foram coletadas amostras foliares na parcela para determinação da concentração

de nitrogênio. Para isso foram utilizadas amostras das folhas índice da planta, correspondente a folha inserida no mesmo nó em que se desenvolveu a espiga superior da planta.

Ainda durante o período de florescimento foi realizada avaliação do teor de clorofila na folha índice das plantas com o uso de clorofilometro (SPAD-502) e avaliação do balanço da fotossíntese da folha índice com o uso do equipamento IRGA (LCpro-SD).

As mesmas cinco plantas utilizadas na avaliação do IAF foram empregadas para determinação da estatura de plantas e da altura de inserção de espigas, que foi feita quando as plantas estavam no estágio R3 (grão leitoso) da escala de Ritchie. Estas plantas também serviram de amostra para avaliação do diâmetro do colmo no dia da colheita. Para esta avaliação utilizou-se um paquímetro, fazendo-se duas leituras no primeiro entre-nó do colmo expandido acima da superfície do solo.

A colheita ocorreu nos dias 20/04/2011 e 20/04/2012 quando a umidade dos grãos estava abaixo de 20%. Antes da colheita efetuou-se a contagem do número de plantas da área útil e determinou-se o número de plantas acamadas, quebras e estéreis. Foram consideradas estéreis as plantas que não tinham espigas ou cujas espigas possuíam menos de 10 grãos.

As espigas foram colhidas e imediatamente trilhadas para avaliação do rendimento de grãos e componentes do rendimento. Uma sub-amostra de 400 grãos foi separada e pesada para cada subparcela. O valor obtido foi multiplicado por 2,5, convertido para a umidade padrão de 130 g kg^{-1} e utilizado para expressar a massa de 1.000 grãos. O número de grãos por espiga foi estimado indiretamente, através da relação da massa de 400 grãos, da massa total de grãos e do número de

espigas colhidas em cada subparcela. O número de grãos produzidos por área (m²) foi estimado com base no número de espigas por planta, no número de grãos por espiga e na densidade de plantas de cada tratamento.

Foi avaliado no dia da colheita a incidência de podridões da base do colmo (iPBC) e no processamento das amostras a percentagem de grãos ardidos. A iPBC correspondeu a percentagem de plantas com sinais de podridões de colmo com pouca resistência a compressão, quando o primeiro entrenó estendido do colmo foi comprimido com os dedos polegar e indicador. As plantas que apresentavam pouca resistência a compressão foram consideradas como positivas para iPBC. A percentagem de grãos ardidos foi determinada numa amostra de 200 gramas de grãos. Consideraram-se como ardidos os grãos que apresentavam mais de 25% de sua área com alguma descoloração.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pela análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS. Os valores de F para os efeitos principais e as interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$). Quando alcançada significância no teste F, efetuou-se dois tipos de análise para comparar o efeito dos tratamentos. Na primeira consideraram-se todos os cinco espaçamentos entre-linhas para análise, onde os tratamentos foram comparados qualitativamente pelo teste de Tukey. Nessa primeira situação o conjunto de arranjos entre-linhas é qualitativo devido ao tratamento "Twin rows" (TR). Numa segunda análise, foram desconsideradas as médias do tratamento TR, devido a esse arranjo entre-linhas ser uma forma composta, não uma linha de cultivo simples, mas um par de linhas. Isso possibilitou o ajuste quantitativo de regressões entre os

demais arranjos entre-linhas, pois todo o conjunto de arranjos é quantitativo. Nas análises de regressão foram testados os modelos linear e quadrático para avaliar o efeito da redução do espaçamento de 100 cm para 40 cm, nas duas densidades. As duas formas de comparação de médias foram feitas ao nível de significância de 5%. Os resultados estão organizados em tabelas e figuras. Devido a somente ser observadas diferenças no rendimento de grãos e seus componentes entre os anos, esses dados foram apresentados individualmente por ano. Os demais dados foram analisados de forma conjunta utilizando-se os valores observados nos dois anos.

2.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

2.3.1 Fenologia

Os arranjos entre plantas testados afetaram o número de dias necessários para que a cultura atingisse a antese e o espigamento, que foram significativamente maiores na densidade de 9 pl m⁻² do que na de 7 pl m⁻². Eles porém não afetaram a duração do período compreendido entre a antese e o espigamento que oscilou entre 2 e 3 dias (Tabela 1). A pequena duração do subperíodo antese-espigamento mostra que houve boa sincronia entre o florescimento masculino e o feminino, independentemente do arranjo testado. Normalmente a planta de milho prioriza o desenvolvimento da inflorescência masculina e retarda o desenvolvimento da inflorescência feminina quando é submetida a estresses, como, por exemplo, deficiências nutricionais (SANGOI, 2001) ou causados pelo adensamento de plantas, que podem aumentar a competição por água, luz e nutrientes. Este

comportamento protândrico do milho traz como consequência o aumento na duração do subperíodo antese/espigamento. Isto não foi observado no trabalho devido às condições favoráveis de solo e manejo com que o ensaio foi conduzido. Não houve efeito significativo do espaçamento entre-linhas sobre a duração dos subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento.

Tabela 1. Duração do subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento do milho cultivado em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
----- <i>Emergência – Antese (dias)</i> -----						
7	85,4	86,9	86,8	86,6	87,6	86,7 B
9	86,4	86,6	88,5	88,8	88,9	87,8A ^{1/}
Média	NS ^{2/} 85,9	86,8	87,6	87,7	88,3	87,2
----- <i>Emergência – Espigamento (dias)</i> -----						
7	87,8	89,1	89,4	89,4	90,5	89,2 B
9	89,3	89,1	91,0	91,0	91,6	90,4 A
Média	NS 88,5	89,1	90,2	90,2	91,1	89,8
----- <i>Antese – Espigamento (dias)</i> -----						
7	2,4	2,3	2,6	2,8	2,9	2,6 NS
9	2,9	2,5	2,5	2,3	2,8	2,6
Média	NS 2,6	2,4	2,6	2,5	2,8	2,6

^{1/} Médias seguidas por letra maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

^{2/} NS Diferenças entre médias não significativas na linha.

* CV = 1,75%, 1,06% e 35,07% respectivamente para os intervalos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento.

Fonte: O Autor (2014).

2.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila

O teor de nitrogênio na folha índice das plantas de milho variou de 3,46%, até 4,22%, dependendo do arranjo testado. A média do experimento para esta variável foi de 3,93%. Não foram observadas diferenças significativas no teor de nitrogênio da folha índice entre os diferentes tipos de arranjo entre-linhas (Tabela 2).

Entretanto houve diferença entre a média das populações testadas do experimento. A densidade de cultivo de 7 pl m⁻² apresentou maior quantidade de nitrogênio acumulada na folha do que a densidade 9 pl m⁻². Os menores valores observados na maior densidade indicam que a competição por esse nutriente foi mais intensa quando se utilizou 9 pl m⁻².

Tabela 2. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no florescimento de milho cultivado sob cinco diferentes espaçamentos entre-linhas e duas densidades de cultivo. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
----- Teor de N foliar (%) -----						
7	3,74	4,14	4,20	4,22	3,96	4,05A ^{1/}
9	3,80	3,46	3,99	3,98	3,84	3,81 B
Média	NS ^{2/} 3,77	3,80	4,10	4,10	3,90	3,93
----- Teor de clorofila (SPAD) -----						
7	51,97	52,55	51,18	54,18	52,25	52,42NS
9	52,75	51,60	49,50	51,50	51,85	51,44
Média	NS52,36	52,08	50,34	52,84	52,05	51,93

^{1/} Médias seguidas por letra maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

^{2/} - NS Diferenças entre médias não significativas.

* CV = 7,63% e 3,21% respectivamente para teor de N foliar e Clorofila.

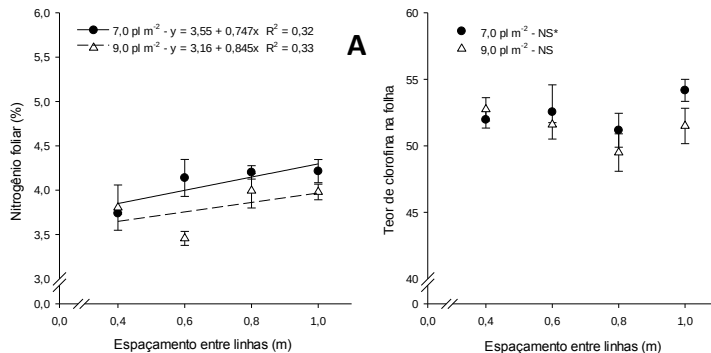
Fonte: O Autor (2014).

Quando o teor de nitrogênio foi avaliado quantitativamente por análise de regressão, excluindo-se o tratamento TR, verificou-se incremento nesta variável com o aumento do espaçamento entre-linhas (Figura 15). A melhor distribuição de plantas no menor espaçamento entre-linhas para ambas as densidades pode ter contribuído para que o nitrogênio fosse utilizado

e alocado noutro local na planta no período do florescimento, quando foi realizada a coleta foliar.

Outro indicativo da nutrição na planta é o teor de clorofila. Os teores relativos de clorofila observados no experimento variaram pouco, sendo observada a média de 51,93 na leitura utilizando clorofilometro (Tabela 2). Não houve diferenças significativas para os teores de clorofila na folha entre as formas de arranjo entre plantas e nem entre as médias de densidade de cultivo do experimento. Neste caso, como indicador de nitrogênio foliar, as ausências de diferença entre os tratamentos indicam que o nutriente está suficientemente oferecido as plantas de milho para suas necessidades. O teor relativo de clorofila na folha vem sendo considerado melhor indicador do nível de N do que o teor deste nutriente na folha, sendo pouco sensível ao consumo de luxo de N (RAMBO et al., 2008). Os autores citam o índice de leitura de 58 no clorofilômetro durante o espigamento, como nível adequado de N, independente do híbrido usado, quando se almeja um elevado potencial de rendimento de grãos. Este valor está acima do encontrado no presente experimento.

Figura 15. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no espigamento do milho cultivado em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

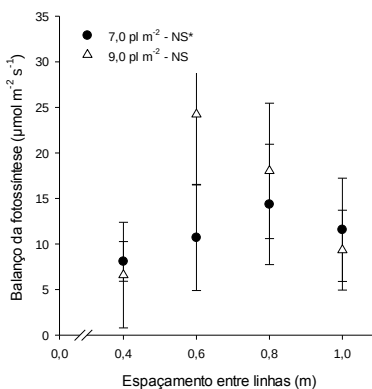
As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

2.3.3 Balanço da fotossíntese líquida

A Balanço da fotossíntese observada variou de 6,59 a 26,26 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO₂ fixado como resultado do balanço da fotossíntese. A média do experimento foi de 13,90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO₂. Não foram observadas diferenças significativas entre os arranjos entre-linhas testados e nem entre as populações do experimento para esta variável tanto no teste de médias (Tabela 3) quanto na análise de regressão (Figura 16).

Figura 16. Balanço da fotossíntese líquida na folha índice de plantas de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Tabela 3. Balanço da fotossíntese líquida na folha índice do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
--- Taxa fotossíntese líquida (μmol m ⁻² s ⁻¹) ---						
7	8,09	10,70	14,35	11,56	9,82	10,90NS
9	6,59	24,24	18,03	9,33	26,26	16,89
Média	NS ¹ /7,34	17,47	16,19	10,44	18,04	13,90

^{1/} NS – Diferenças entre médias não significativas na linha e na coluna.

* CV = 70,12%.

Fonte: O Autor (2014).

2.3.4 Índice de área foliar e senescência foliar

O índice de área foliar (IAF) no espigamento, 30 dias após e a área foliar senescida na floração não foram afetados pelo espaçamento entre-linhas, tanto na análise qualitativa feita pela comparação de médias (Tabela 4) quanto pela análise de regressão (Figura 17). Houve unicamente o efeito simples da densidade de plantas sobre estas variáveis que foram significativamente maiores com 9 pl m⁻² do que com 7 pl m⁻² (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), 30 dias após o espigamento (B) e área foliar senescida durante o florescimento do milho em cinco diferentes espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
----- IAF no espigamento (m ² /m ²) -----						
7	6,6	6,2	6,0	6,1	6,7	6,3 B
9	7,5	7,4	7,4	7,0	7,7	7,4 A
Média	NS 7,0	6,8	6,7	6,6	7,2	6,8
--- IAF 30 dias após o espigamento (m ² /m ²) ---						
7	6,4	6,0	5,8	5,9	6,4	6,1 B
9	7,1	7,1	7,0	6,5	7,3	7,0 A
Média	NS 6,7	6,6	6,4	6,2	6,9	6,5
--- Área foliar senescida no florescimento --- (cm ² planta ⁻¹)						
7	265	261	283	336	310	291 B
9	426	321	367	590	485	438 A
Média	NS 346	291	325	463	397	364

^{1/} Médias seguidas por letra maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

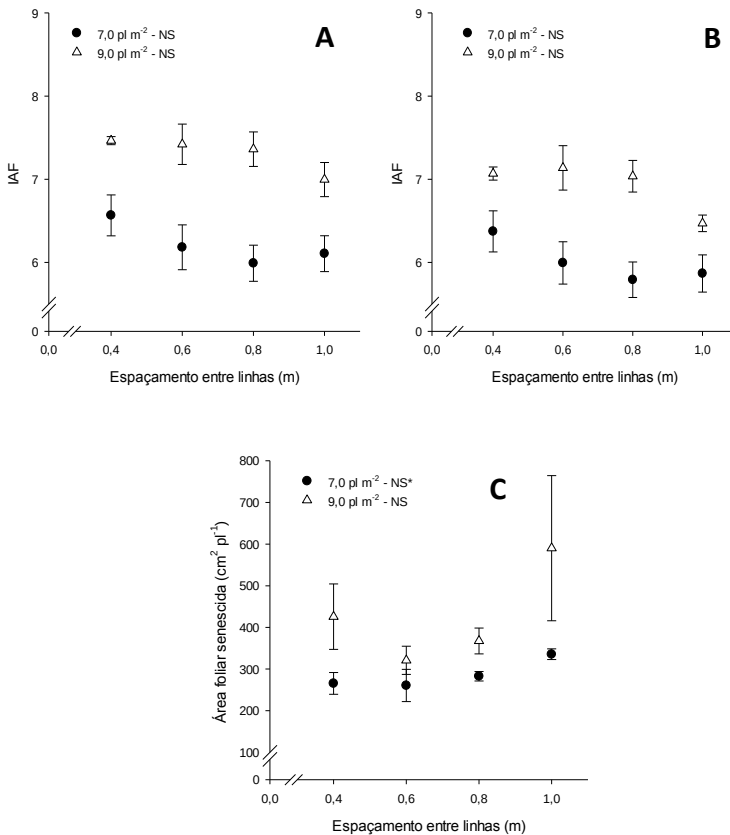
^{2/} - NS Diferenças entre médias não significativas na linha.

* CV = 6,00%, 7,08% e 32,40% respectivamente para os intervalos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento.

Fonte: O Autor (2014).

A tolerância ao aumento da densidade de cultivo com o objetivo de elevar a produtividade da cultura do milho está intimamente ligada a diversos fatores. Com relação a planta, uma maior área foliar está relacionada a uma maior eficiência na interceptação da radiação luminosa do sol (OTEGUI & ANDRADE, 2000) para conversão em fotoassimilados e posteriormente massa de grãos. Nesse sentido, apesar do espaçamento entre-linhas não ter afetado o IAF e a senescência, o ajuste da densidade pode ser favorecido pela correta escolha do espaçamento entre as linhas de cultivo, distribuindo as plantas de maneira mais uniforme na área, melhorando a uniformidade morfológica e reduzindo o aparecimento de plantas dominadas dentro da comunidade. Híbridos modernos podem apresentar elevada capacidade de manter área foliar verde ao final do enchimento de grãos.

Figura 17. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), 30 dias após o espigamento (B) e área foliar senescida no florescimento do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Deve-se ressaltar que em todos os tratamentos avaliados os valores de IAF mensurados tanto no

espigamento quanto 30 dias após foram maiores do que 5, número considerado por Andrade et al. (2002) como o mínimo necessário para que a cultura intercepte pelo menos 95% da radiação solar incidente (IAF crítico). Os altos valores de IAF, associados à baixa área foliar senescida na floração (valores inferiores a 600 cm²) indicam que o milho apresentou uma superfície fotossinteticamente ativa favorável a obtenção de altas produtividades no ensaio.

2.3.5 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas

Não houve interação entre as densidades e os arranjos entre-linhas testados no experimento para a estatura de planta e altura de inserção de espigas. Somente foi observado efeito simples da densidade de cultivo, que fez com que as plantas apresentassem maior estatura e altura de inserção da espiga quando a densidade passou de 7 para 9 plantas m⁻² (Tabela 5). A altura de inserção de espiga também foi maior no tratamento de linhas gêmeas e 0,4 m quando comparadas ao tratamento 0,8 m entre-linhas. O aumento da estatura das plantas ocorrido com a elevação na densidade decorre provavelmente do aumento na concorrência por radiação solar advindo da maior proximidade entre as plantas na linha.

Tabela 5. Estatura de planta e altura de inserção de espiga de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
	----- Estatura de planta (cm) -----					
7	298	278	284	301	303	293 B
9	301	304	304	304	306	304A ^{1/}
Média	NS ^{2/} 299	291	294	302	304	298
	--- Altura de inserção da espiga (cm) ---					
7	155	141	145	155	155	150 B
9	168	162	157	165	167	164 A
Média	A 161	AB 151	B 151	AB 160	A 161	157

^{1/} Médias seguidas por letra distintas na coluna ou antecedidas por letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

^{2/} - NS Diferenças entre médias não significativas na linha.

* CV = 2,81% e 4,59% respectivamente para altura de planta e altura de inserção da espiga.

Fonte: O Autor (2014).

O aumento na estatura pode predispor as plantas à ocorrência de acamamento e quebra de colmos. Contudo, este efeito não foi constatado no trabalho, pois houve baixa percentagem de plantas quebradas e não ocorreram plantas acamadas. Estas duas variáveis não foram afetadas significativamente pela densidade de plantas e espaçamento entre-linhas (Tabela 6).

Tabela 6. Percentagem de plantas acamadas e quebradas de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Planta s m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
	----- Plantas acamadas (%) -----					
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,375	0,08 NS ^{1/}
9	0,00	0,13	0,00	0,00	0,125	
Média	NS 0,00	0,06	0,00	0,00	0,25	0,06
	----- Plantas quebradas (%) -----					
7	3,64	3,14	4,12	4,85	3,01	3,75 NS
9	5,44	2,65	4,31	5,53	2,77	
Média	NS4,54	2,90	4,21	5,19	2,89	3,95

^{1/} NS – Diferenças entre médias não significativas na linha e na coluna.

* CV = 342,53% e 81,48% respectivamente para plantas quebradas e acamadas.

Fonte: O Autor (2014).

Os baixos índices de acamamento e quebra podem ter sido favorecidos pela estrutura do colmo. A alteração no espaçamento entre-linhas não afetou o diâmetro do colmo, que foi menor na densidade de 9 pl m⁻² do que na de 7 pl m⁻² (Tabela 7). Segundo Strieder (2006), o principal fator que influencia no diâmetro de colmo é a densidade de plantas, pois à medida que se adensa o cultivo aumenta a competição por luminosidade, característica que favorece o estiolamento da planta, reduzindo a quantidade de reservas no colmo. Apesar da redução do diâmetro, não houve efeito significativo do aumento da densidade sobre a percentagem de plantas acamadas e quebradas.

Tabela 7. Diâmetro do primeiro entrenó expandido acima da superfície do solo do colmo de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
	----- <i>Plantas quebradas (%)</i> -----					
7	2,16	2,22	2,12	2,22	2,26	2,20A ^{1/}
9	2,04	2,12	2,06	1,98	2,14	2,07 B
Média	NS ^{2/} 2,10	2,17	2,09	2,10	2,20	2,13

^{1/} Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

^{2/} Diferenças entre médias não significativas na linha.

* CV = 4,25%.

Fonte: O Autor (2014).

2.3.6 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas

Não houve efeito significativo da densidade de plantas e do espaçamento entre-linhas sobre o coeficiente de variação entre plantas para diâmetro do colmo, IAF no espigamento, estatura de planta e altura de inserção de espigas (Tabela 8). Em todas estas variáveis, os coeficientes de variação entre as cinco plantas avaliadas estiveram abaixo de 20%. Esse fato demonstra a elevada uniformidade morfológica entre as plantas. Essa característica provavelmente se deve ao híbrido simples utilizado e às condições ambientais favoráveis oferecidas a comunidade de plantas para alto rendimento.

A alta variabilidade morfológica e fenológica entre plantas é uma característica negativa à obtenção de altas produtividades porque ela diminui a eficiência de uso dos recursos do ambiente (TOKATLIDIS & KOUTROUBAS, 2004; LIU et al., 2004). Segundo Merotto

Jr. et al. (1999) e Maddoni & Otegui (2004), lavouras com desenvolvimento desuniforme apresentam plantas dominantes e plantas dominadas. O estabelecimento deste padrão hierárquico diferenciado de crescimento ocorre já no início do ciclo da cultura e está diretamente associado à intensidade da competição intraespecífica (população de plantas) e com a resposta de cada cultivar ao estresse ambiental. As plantas dominadas não alocam a quantidade necessária de fotoassimilados ao desenvolvimento da espiga, redundando em maior número de plantas estéreis, no aumento do intervalo antese-espigamento e, conseqüentemente, em reduções no número de grãos por espiga e no rendimento de grãos (VEJA et al., 2001).

Tabela 8. Coeficiente de variação entre plantas observado para o diâmetro do colmo, índice de área foliar no espigamento (R1), estatura de plantas (EP) e altura de inserção de espigas (AE) de milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
7	<i>CV entre plantas para diâmetro do colmo (%)</i>					9,52NS ¹
	11,12	10,16	10,26	7,92	8,17	
9	7,82	9,69	7,90	12,57	10,39	9,68
Média	NS 9,47	9,93	9,08	10,25	9,28	9,60
	<i>--- CV entre plantas para IAF em R1 (%) ---</i>					
7	11,98	11,81	8,75	9,50	7,92	9,99NS
9	8,69	10,37	12,79	14,02	7,61	10,70
Média	NS10,33	11,09	10,77	11,76	7,76	10,34
	<i>--- CV entre plantas para EP (%) ---</i>					
7	2,83	3,56	3,07	2,01	2,24	2,74NS
9	3,89	2,49	3,41	3,89	2,82	3,30
Média	NS 3,36	3,03	3,24	2,95	2,53	3,02
	<i>--- CV entre plantas para AE (%) ---</i>					
7	4,31	6,80	4,23	4,91	6,30	5,31 NS
9	7,17	4,19	4,88	4,73	6,00	5,39
Média	NS 5,74	5,50	4,56	4,82	6,15	5,35

^{1/} NS – Diferenças entre médias não significativas na linha e na coluna.

* CV = 28,97%, 35,71% e 434,68% 33,87% respectivamente para CV diâmetro do colmo, CV IAF em R1, CV altura de planta e CV altura inserção de espigas.

Fonte: O Autor (2014).

Híbridos com respostas contrastantes ao incremento na população de plantas podem diferir na homogeneidade do crescimento e do desenvolvimento das plantas e no estágio ontogenético em que a

competição intraespecífica inicia. É possível que uma das causas para a maior adaptação de algumas cultivares de milho ao incremento da população seja a homogeneidade no crescimento e no desenvolvimento de plantas, a qual atenua a competição intraespecífica pelos recursos do meio (ZANIN, 2005).

2.3.7 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

Nas duas estações de cultivo, o rendimento de grãos foi afetado pelas alterações na forma como as plantas foram arrançadas no campo.

As produtividades médias de grãos registradas no ensaio foram de 15.440 e 16.570 kg ha⁻¹ para os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. No primeiro ano, o rendimento oscilou entre 14.610 e 16.440 kg ha⁻¹, apresentando uma amplitude de 1.830 kg ha⁻¹ entre os diferentes arranjos de plantas avaliados no ensaio (Tabela 9). No segundo ano, o rendimento oscilou entre 15.650 e 17.740 kg ha⁻¹, tendo uma amplitude de 1.920 kg ha⁻¹ entre os diferentes arranjos (Tabela 10). Percentualmente, a superioridade de rendimento do melhor para o pior tratamento foi de aproximadamente 12% nos dois anos agrícolas. Estes dados indicam pequena variação nas médias e na intensidade do efeito do arranjo entre as plantas na lavoura. O ambiente interfere na magnitude da resposta do rendimento da cultura do milho aos ajustes na densidade e espaçamento entre-linhas. Estas podem ser mais pronunciadas, conforme as condições edafoclimáticas e de investimento em manejo oferecidas a comunidade de plantas durante seu crescimento e desenvolvimento.

Nos dois anos agrícolas, o rendimento de grãos foi afetado pelo efeito simples de densidade de plantas.

Em 2010/2011, a utilização de densidades de 9 plantas m^{-2} propiciou um incremento de 4,7% na produtividade da cultura, em relação a densidade de 7 plantas m^{-2} , na média dos cinco espaçamentos entre-linhas (Tabela 9). Em 2011/2012, o aumento na densidade de cultivo de 7 para 9 plantas m^{-2} possibilitou um aumento de 6,3% no rendimento de grãos, na média dos cinco espaçamentos entre-linhas (Tabela 10). Isto provavelmente ocorreu em função das condições edafoclimáticas favoráveis em que se conduziu o ensaio, das práticas adequadas de manejo e do alto potencial produtivo do híbrido utilizado. Segundo Silva et al. (2006), em condições alto potencial produtivo caracterizado pelo investimento e condições ambientais, a população de plantas necessária para maximizar o rendimento de grãos da cultura do milho é maior.

Tabela 9. Rendimento de grãos do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.

Arranjo entre-linhas	Densidades populacionais (pl m^{-2})		Média
	7	9	
TR	ns 15.340	16.440	NS ^{2/} 15.890
0,4	14.610	15.630	15.120
0,6	15.620	15.780	15.700
0,8	15.050	15.400	15.220
1,0	14.810	15.730	15.270
Média	B 15.090	A 15.800	15.440

^{1/} Médias antecedidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

^{2/} NS Diferenças não significativas na coluna

* CV = 4,18%.

* O tratamento TR (Twin rows) consiste no cultivo de linhas aos pares com 60 cm entre cada par de linhas e 18 cm entre cada linha do par.

Fonte: O Autor (2014).

Tabela 10. Rendimento de grãos do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2011/2012.

Arranjo entre-linhas	Densidades populacionais (pl m ⁻²)		Média
	7	9	
TR	16.730	17.330	NS ^{2/} 17.030
0,4	16.130	17.570	16.850
0,6	16.000	17.400	16.700
0,8	15.820	16.640	16.230
1,0	15.650	16.410	16.030
Média	B 16.060	A 17.070	16.570

^{1/} Médias antecedidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

^{2/} NS Diferenças não significativas na coluna

*CV: 6,48%. ns = não há diferença estatística significativa.

* O tratamento TR (Twin rows) consiste no cultivo de linhas aos pares com 60 cm entre cada par de linhas e 18 cm entre cada linha do par.

Fonte: O Autor (2014).

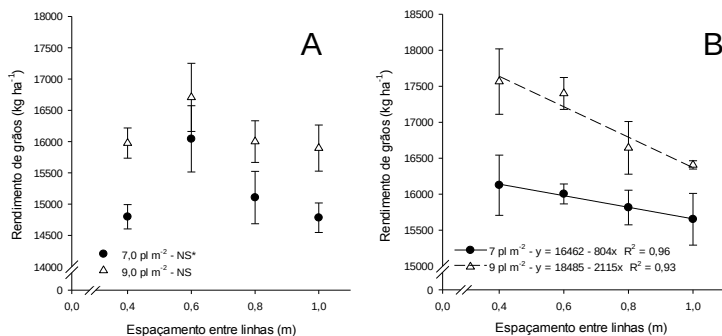
A comparação qualitativa das médias de rendimento de grãos feita pelo teste de Tukey mostra que não houve diferenças significativas entre os cinco espaçamentos entre-linhas nos dois anos agrícolas (Tabelas 9 e 10). Neste tipo de análise também não houve interação entre densidade de plantas e espaçamento entre-linhas. Apenas as densidades de plantas diferiram estatisticamente no seu efeito sobre a produtividade da cultura.

A comparação de médias feita pelo teste de Tukey demonstrou que a redução do espaçamento entre-linhas de 100 cm para 40 cm ou a utilização de linhas gêmeas (TR) não promoveram acréscimos

significativos no rendimento de grãos. Assim, a distribuição mais equidistante entre as plantas propiciada pelo uso de espaçamentos reduzidos não foi suficiente para alavancar a produtividade. Resultados similares foram obtidos por Serpa et al. (2008), na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Isto demonstra que quando o milho é cultivado sob condições de alto investimento, como foi o caso deste experimento, o manejo adotado e as condições edafoclimáticas favoráveis podem mitigar o efeito da maior competição intraespecífica na linha por água, luz e nutrientes observada quando se utilizam linhas mais afastadas.

Quando foi retirado o tratamento TR para análise quantitativa através de ajuste de regressões, verificou-se efeito significativo da interação entre densidade de plantas e espaçamento entre-linhas no ano agrícola 2011/2012 (Figura 18).

Figura 18. Rendimento de grãos do milho em quatro espaçamentos entre-linhas (0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 m) e duas densidades de plantas (7 e 9 plantas m^{-2}). Lages/SC, 2010/11 (A) e 2011/12 (B).



NS – Não significativo

As barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Neste ano, o aumento do espaçamento entre-linhas reduziu o rendimento de grãos de forma linear. Os decréscimos de rendimento foram mais intensos na maior densidade (9 plantas por m^{-2}) de cultivo testada, a qual apresentou uma taxa de 21 kg ha^{-1} de redução no rendimento para cada 1 cm adicionado no espaço entre as linhas. Essa redução foi de 8 kg ha^{-1} para cada cm de aumento no espaçamento na densidade de 7 pl por m^{-2} . Assim, a diferença de produtividade entre as densidades testadas foi tanto maior quanto menor o espaçamento entre-linhas. Os dados da análise quantitativa sugerem que a opção de adensar mais a comunidade de plantas na lavoura deve ser pensada em conjunto com um ajuste na distância entre as linhas de cultivo. Um menor espaço entre as linhas permite uma melhor distribuição das plantas na área, afastando uma planta da outra dentro da linha de cultivo. Isso evidencia que apesar do incremento na densidade poder melhorar os resultados encontrados em produtividade de grãos, ele não é uma prática de arranjo que deve ser pensada isoladamente, pois pode aumentar a competição intraespecífica entre plantas na linha de cultivo, devido a distribuição mais condensada de plantas neste local. Quando se trabalha com altas densidades e espaçamentos amplos entre-linhas, a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes inicia precocemente. Isto dificulta o estabelecimento das plântulas com emergência tardia, favorecendo o aparecimento de plantas dominadas na comunidade, que terão o seu desenvolvimento fenológico, morfológico e fisiológico comprometido (MEROTTO Jr et al., 1999; LIU et al., 2004).

O número de grãos produzidos por área aumentou quando houve aumento da densidade de cultivo nos dois anos de condução do trabalho (Tabelas 11 e 12). Ele não foi afetado pela alteração do arranjo

entre-linhas. Por outro lado, o aumento na densidade de 7 para 9 plantas m^{-2} reduziu o número de grãos por espiga e a massa de 1.000 grãos, na média dos espaçamentos entre-linhas. Já o número de espigas por planta não foi afetado pela densidade de plantas e espaçamentos entre-linhas e teve valores próximos a 1 em todos os tratamentos avaliados.

Tabela 11. Componentes do rendimento do milho cultivado em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2010/11.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
----- *Grãos m ⁻² -----						
7	ns 3.946	4.002	3.947	3.869	3.932	3.940B
9	4.398	4.359	4.173	4.356	4.416	4.341A ^{1/}
Média	NS ^{2/} 4.172	4.181	4.060	4.113	4.175	4.140
----- Massa de 1.000 grãos (g) -----						
7	Ns 370	390	381	383	390	383 A
9	356	362	369	361	373	364 B
Média	B 363	AB376	AB375	AB372	A 382	374
----- Número de grãos por espiga -----						
7	574	566	581	544	549	563 A
9	488	515	488	516	492	500 B
Média	NS ^{2/} 531	541	535	531	521	532
----- Número de espigas planta ⁻¹ -----						
7	0,96	1,01	0,99	1,01	0,96	0,99NS
9	0,99	0,98	0,99	0,96	0,96	0,98
Média	NS 0,98	0,99	0,99	0,99	0,96	0,98

^{1/} Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna ou antecedidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

^{2/} NS Diferenças entre médias não significativas na linha e na coluna.

* Coeficiente de variação 3,76%, 4,09% e 3,37% 3,25% respectivamente para grãos m^{-2} , massa de 1.000 grãos grãos espiga⁻¹ e espigas planta⁻¹.

Fonte: O Autor (2014).

Apesar da cultura do milho apresentar menor plasticidade quanto a variações na massa de grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta, as duas primeiras variáveis podem ter colaborado para que houvesse uma menor variação no rendimento quando se alterou o arranjo entre-linhas e entre plantas dentro da linha. A utilização do sistema de linhas pareadas propiciou a obtenção de grãos mais pesados do que os obtidos no espaçamento de 0,4 m em 2010/2011 (Tabela 11). Contudo, as diferenças numéricas entre tratamentos para esta variável foram pequenas e não tiveram impacto significativo sobre o rendimento de grãos.

Tabela 12. Componentes do rendimento do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, 2011/12.

Plantas m ²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
----- *Grãos m ⁻² -----						
7	3734	3803	3734	3716	4090	3815B
9	4414	4241	4153	4145	4405	4272A ^{1/}
Média	NS ^{2/} 4074	4022	3943	3931	4248	4043
----- Massa de 1.000 grãos (g) -----						
7	432	421	424	422	410	422 A
9	398	411	401	396	394	400 B
Média	NS 415	416	412	409	402	411
----- Número de grãos espiga ⁻¹ -----						
7	517	524	532	514	507	519 A
9	482	477	472	469	464	473 B
Média	NS 500	500	502	491	485	496
----- Número de espigas plantas ⁻¹ -----						
7	0,98	0,99	1,03	1,03	1,05	1,02NS
9	0,99	1,00	0,99	1,00	0,98	0,99
Média	NS 0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,00

^{1/} Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

^{2/} NS Diferenças entre médias não significativas na linha.

* CV = 7,39%, 3,22%, 8,51% e 3,26% respectivamente para grãos m⁻², massa de 1.000 grãos, grãos espiga⁻¹ e espigas planta⁻¹.

Fonte: O Autor (2014).

A percentagem de plantas sem espiga foi menor do que 5% em todos os tratamentos e não foi afetada significativamente pela densidade de plantas e espaçamentos entre-linhas, na média dos dois anos agrícolas (Tabela 13). Esse comportamento também é um indicativo de que as necessidades para um crescimento e desenvolvimento uniforme das plantas estavam contempladas para todos os arranjos. A menor variabilidade na produção de grãos por planta é uma característica importante principalmente sob altas

densidades populacionais (TOKATLIDIS & KOUTROUBAS, 2004).

Tabela 13. Esterilidade feminina do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
	----- <i>Plantas sem espiga (%)</i> -----					
7	4,08	2,65	1,88	0,74	2,85	2,44NS ^{1/}
9	2,25	2,39	2,21	3,18	3,42	2,69
Média	NS3,17	2,52	2,05	1,96	3,14	2,56

^{1/} NS Diferenças entre médias não significativas na linha e na coluna
* CV = 60%.

Fonte: O Autor (2014).

2.3.8 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo

Todos os tratamentos testados no experimento apresentaram incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo.

A percentagem média de grãos ardidos foi de 9,71%. Ela variou de 7,87% até 11,39%. Apesar dos valores observados serem elevados, não houve diferença significativa na incidência de grãos ardidos entre os diferentes espaçamentos e densidades utilizadas no experimento (Tabela 14).

A incidência de podridões da base do colmo variou de 3,54 até 12,50%. A média do experimento foi de 7,01%. Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos para nenhuma forma de arranjo testada (Tabela 14).

A ocorrência de podridões de colmo é favorecida por alterações nas relações entre fonte e dreno de

nutrientes ocorridas durante a fase de enchimento dos grãos (REIS & CASA, 1996). Fatores que reduzam a fotossíntese e a produção de carboidratos predispoem as plantas às podridões (PINTO et al., 1997). A ausência de efeito significativo dos arranjos de planta sobre as podridões de colmo é um indicativo de que os espaçamentos entre-linhas e densidades utilizados no trabalho não alteraram substancialmente as relações fonte/dreno na comunidade.

Tabela 14. Porcentagem de grãos ardidos e incidência de podridões da base do colmo do milho em cinco espaçamentos entre-linhas e duas densidades de plantas. Lages, SC, média de 2010/11 e 2011/12.

Plantas m ⁻²	Espaçamento entre-linhas (m)					Média
	0,4	0,6	0,8	1,0	TR	
	----- Grãos ardidos (%) -----					
7	10,98	7,87	7,85	10,00	8,59	9,06NS ^{1/}
9	11,39	9,84	10,80	11,35	8,41	10,36
Média	NS11,18	8,86	9,32	10,68	8,50	9,71
	--- Podridões da base do colmo (%) ---					
7	6,86	7,56	7,12	7,20	12,50	8,25 NS
9	7,40	3,56	3,54	6,01	8,32	5,77
Média	NS 7,13	5,56	5,33	6,60	10,41	7,01

^{1/} NS Diferenças entre médias não significativas na linha e na coluna

* CV = 28,4% e 56,16% respectivamente para % grãos ardidos e % incidência de podridões da base do colmo.

Fonte: O Autor (2014).

2.3.9 Considerações finais

Este trabalho foi concebido com base na hipótese de que a redução do espaçamento entre-linhas e a utilização de linhas gêmeas são estratégias efetivas de manipulação do arranjo de plantas para aumentar a

produtividade do milho, em ambientes de alto manejo e com estandes adensados.

Esta hipótese está alicerçada no fato de que a redução na distância entre-linhas aumenta o espaço entre as plantas dentro da linha. Isto possibilita um arranjo mais equidistante entre os indivíduos, possibilitando melhor aproveitamento de água, luz e nutrientes.

Fenologicamente, a melhor distribuição das plantas pode permitir um desenvolvimento alométrico mais equilibrado das inflorescências masculina e feminina, refletindo-se em melhor sincronia entre antese e espigamento. Fisiologicamente, a maior equidistância entre plantas pode favorecer a penetração da radiação solar, aumentando o teor de nitrogênio e a atividade fotossintética das folhas. Além disto, a distribuição mais uniforme da radiação nos extratos inferiores do dossel pode auxiliar a mitigar o estiolamento observado em altas densidades, contribuindo para reduzir a percentagem de colmos quebrados e acamados. Fitopatologicamente, o arranjo equidistante das plantas também pode aumentar o diâmetro do colmo, fortalecendo-o e deixando-o menos predisposto a ocorrência de doenças.

As variáveis mensuradas no trabalho não confirmaram as expectativas teóricas descritas no parágrafo anterior. A redução do espaçamento entre-linhas de 100 para 40 cm ou a utilização de linhas gêmeas não alterou significativamente a duração do subperíodo antese-espigamento (Tabela 1), o teor de nitrogênio e a atividade fotossintética da folha índice no espigamento (Tabelas 2 e 3), o índice de área foliar no espigamento e 30 dias após (Tabela 4), a estatura da planta, o diâmetro de colmo, a percentagem de plantas acamadas e quebradas (Tabelas 5, 6 e 7) e a incidência

de grãos ardidos e de podridões da base do colmo (Tabela 14).

A ausência de efeitos significativos do arranjo mais equidistante das plantas sobre parâmetros fenológicos, fisiológicos, morfológicos e fitopatológicos se confirmou no comportamento do rendimento de grãos, que não foi alterado pelos cinco arranjos entre-linhas testados no trabalho (Tabelas 9 e 10).

Os resultados obtidos no trabalho confirmaram as observações feitas por Andrade et al. (2002) de que a redução do espaçamento entre-linhas tem maior potencial para aumentar o rendimento de grãos do milho em situações edafo-climáticas nas quais a cultura não consegue atingir o IAF crítico na floração com espaçamentos mais amplos. No presente trabalho, mesmo quando se utilizaram espaçamentos entre-linhas de 80 cm e 100 cm, o IAF no espigamento e 30 dias após foi próximo de 6,0 (Tabela 4). Isto demonstra que nas condições edafo-climáticas em que se desenvolveu o experimento não houve comprometimento a interceptação de radiação solar em todos os arranjos testados, tendo em vista que o IAF crítico do milho se situa entre 4 e 5. Esta característica mitigou os benefícios potenciais da redução do espaçamento entre-linhas e da utilização de linhas gêmeas como estratégias de manejo do arranjo de plantas para incrementar o desempenho agrônômico do milho.

2.4 CONCLUSÕES

O incremento na densidade de plantas é mais eficiente do que a redução do espaçamento entre-linhas para aumentar o rendimento de grãos do milho em ambientes de alto manejo.

A redução do espaçamento entre-linhas de 100 para 40 cm ou a utilização de linhas gêmeas não altera significativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas quando as condições de cultivo de alto investimento em práticas de manejo e insumos.

A redução do espaçamento entre-linhas é uma prática cultural que pode aumentar o rendimento de grãos do milho em ambientes de alto manejo, quando combinada com altas densidades de plantas.

3 DESUNIFORMIDADE TEMPORAL NA DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NA LINHA E RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO

RESUMO

O milho é uma cultura sensível a competição intraespecífica. Para minimizá-la, é importante que exista uniformidade no desenvolvimento fenológico na lavoura. O objetivo deste experimento foi avaliar o efeito da irregularidade temporal de desenvolvimento das plantas sobre características agronômicas da cultura. O experimento foi conduzido em Lages/SC, nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal avaliaram-se dois espaçamentos entre-linhas: 40 e 80 cm. Nas subparcelas testaram-se cinco níveis de desuniformidade temporal na semeadura: 0, 2,5, 5, 7,5 e 10 dias. No tratamento 0 todas as sementes foram semeadas nos dias 20/10/2010 e 21/10/2011. Nos demais tratamentos, metade das sementes foi semeada no dia 0 e a outra metade 2,5, 5, 7,5 e 10 dias após. Utilizou-se o híbrido 30R50H, semeado na densidade de 72.000 pl ha⁻¹. A adubação e o manejo do experimento foram elaborados objetivando alcançar 18.000 kg de grãos ha⁻¹. A emergência irregular gerada pela variação na época de semeadura aumentou o intervalo antese-espigamento, reduziu o índice de área foliar da cultura no espigamento e o diâmetro de colmo na colheita. O aumento da variabilidade temporal das plantas na linha diminuiu o rendimento de grãos do milho quando o mesmo foi cultivado com espaçamentos entre-linhas de 80 cm, nos dois anos agrícolas. A redução do espaçamento entre-linhas para 40 cm atenuou os

prejuízos à cultura ocasionados pela variabilidade temporal.

Palavras-chave: *Zea mays*, emergência irregular, plantas dominadas.

ABSTRACT

Corn is a crop sensitive to intraspecific competition. To minimize it, it is important that there is uniformity in the crop phenological development. The aim of this study was to evaluate the effect of temporal irregularity of plant development on the agronomic traits of culture. The trial was conducted in Lages/SC in the agricultural year 2011/2012 and 2010/2011. We used the experimental design of randomized blocks arranged in split plots. In the main plot were evaluated row spacings: 40 and 80 cm. Subplots were tested five levels of temporal uniformity in seeding: 0, 2.5, 5, 7.5 and 10 days. In the treatment 0 all the seeds were sown on days 20/10/2010 and 21/10/2011. For other treatments, half of the seeds were sown on day 0 and the other half 2.5, 5, 7.5 and 10 days. We used the hybrid 30R50H, seeded at a density of 72,000 pl ha⁻¹. The fertilization and management of the trial were developed aiming to reach 18,000 kg grain ha⁻¹. The irregular emergency generated by the variation in the sowing date increased the anthesis-silking interval, reduced the leaf area index of the crop at silking and the stem diameter at harvest. Increased temporal variability of plants in row decreased grain yield when corn was grown with row spacing of 80 cm, in both years. Reducing the spacing to 40 cm the damage was attenuated to the crop yield by temporal variability.

Key-words: *Zea mays*, uneven emergence, plants dominated.

3.1 INTRODUÇÃO

Apesar do elevado potencial produtivo, o milho é uma planta altamente sensível competição intraespecífica e interespecífica. Por isto, é importante que exista uniformidade no desenvolvimento fenológico das plantas na lavoura, possibilitando aumentar o aproveitamento dos recursos do ambiente. Em lavouras com emergência uniforme, as plantas são mais homogêneas quanto à sua arquitetura, minimizando a competição intraespecífica (SANGOI et al, 2010). A uniformidade no desenvolvimento fenológico das plantas na lavoura é um requisito importante para maximizar a eficiência do arranjo de plantas no aproveitamento dos recursos do ambiente. Por outro lado, quando há diferença de vários dias entre a emergência das plântulas na linha de semeadura, o desenvolvimento das plântulas com emergência tardia é menor em relação àquelas que emergiram antes. As plantas que emergem tardiamente ficam dominadas dentro do dossel, apresentando reduzida capacidade de recuperação e contribuem pouco para o rendimento da cultura (SILVA et al., 2006). Pequenas diferenças no tamanho de plantas durante o crescimento inicial normalmente são amplificadas durante progresso do crescimento, aumentando a competição por recursos (MADDONNI & OTEGUI, 2004).

Estandes desuniformes são resultantes da variação no tempo que as plântulas levam para emergir. Variações na profundidade de semeadura, distribuição desuniforme da cobertura do solo e baixo vigor das sementes são fatores que causam alterações no tempo

de germinação e emergência das plântulas no campo (ANDRADE & ABBATE, 2005). Solos com baixa temperatura, umidade deficiente no subperíodo semeadura-emergência e compactação da camada superficial também favorecem a desuniformidade de emergência, assim como a utilização de sementes com variabilidade no tamanho, no formato e velocidades excessivas do trator no momento da semeadura.

Os prejuízos da desuniformidade na emergência são maiores quando se trabalha com altas densidades e espaçamentos amplos entre-linhas, fatores que acentuam a competição intraespecífica (MEROTTO Jr. et al., 1999). A utilização de espaçamentos entre-linhas menores proporciona uma melhor distribuição espacial das plantas na lavoura. Portanto, é possível que através da manipulação do arranjo de plantas se consiga reduzir a competição intraespecífica por recursos ambientais e atenuar os efeitos negativos ocasionados pela época de emergência das plantas. Nestas situações, a emergência desuniforme resulta em importantes prejuízos ao produtor, tais como menor rendimento de grãos, variação no teor de umidade dos grãos na colheita, aumento nas perdas de colheita, maior acamamento de plantas e aumento do número de espigas com podridões e/ou ataque de fungos (SANGOI et al., 2010).

Segundo Aphalo & Ballare (1995) e Ballare (1994), quando as plantas detectam plantas vizinhas, elas respondem de diferentes formas, como aumentando a taxa de alongamento dos entrenós e o padrão de alocação de matéria seca. Echarte & Andrade (2003) concluíram que híbridos modernos de milho apresentam maior estabilidade do índice de colheita que híbridos mais velhos, principalmente por causa do menor limite de biomassa para a produção de grãos e plasticidade

reprodutiva maior em resposta do aumento dos recursos por planta.

A literatura indica resultados variáveis em resposta a estandes irregulares. Os efeitos negativos da emergência desuniforme no rendimento de grãos do milho foram reportados por Nafziger et al. (1991) Tollenaar & Wu (1999) e Liu et al. (2004).

A distribuição temporal de plantas na linha é uma forma importante de manipular o arranjo de plantas, pois interfere na variabilidade intraespecífica e na eficiência da comunidade em aproveitar os recursos do ambiente (água, luz e nutrientes) e convertê-los na produção de grãos. O aparecimento de plantas dominadas na lavoura é um fato indesejado e suas implicações são pouco estudadas.

A hipótese principal deste experimento foi de que a irregularidade temporal na emergência das plantas na linha de semeadura aumenta a quantidade de plantas dominadas, diminuindo a produtividade. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de quantificar os efeitos da irregularidade na distribuição temporal de plantas na linha sobre o rendimento de grãos do milho.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. A área experimental encontra-se no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas do local são 27° 50' 35" de latitude sul e 50° 29' 45" de longitude oeste e altitude de 849 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, citado por Kottek et al. (2006), é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas

médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise de solo realizada em setembro de 2010, ele apresentava as seguintes características: 270 g kg⁻¹ de argila; pHem água 5,2; 3,5 mg L⁻¹ de P; 232 mg L⁻¹ de K; 42 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 6,1 cmol_c dm⁻³ de Ca; 2,6 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,2 cmol_c dm⁻³ de Al, e 14,8 cmol_c dm⁻³ de CTC.

No período de outono-inverno que precedeu a instalação do experimento, semeou-se em 10/05/2010 e de 20/05/2011 2011, um consórcio de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), utilizando-se 40 e 55 kg ha⁻¹ de sementes para cada espécie, respectivamente. A dessecação da cobertura foi realizada em meados de setembro dos dois anos, utilizando-se o herbicida Glifosato (Round up) na dose de 240 g i.a. ha⁻¹.

A adubação de base foi realizada no dia da semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses aplicadas foram baseadas nos resultados obtidos na análise de solo e nas recomendações para a cultura do milho do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS-SC, 2004), objetivando uma produtividade de grãos de 18.000 kg ha⁻¹. Foram utilizados o superfosfato triplo e o cloreto de potássio como fontes de fósforo e potássio, nas quantidades equivalentes a 295 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 170 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Para o nitrogênio foi utilizada ureia, na dose de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Os fertilizantes foram aplicados superficialmente nas linhas de semeadura, paralelamente a esta operação. A adubação em cobertura com nitrogênio foi feita utilizando

ureia como fonte, perfazendo um total de 250 kg ha⁻¹ de N por safra, fracionados igualmente em três estádios fenológicos (V4, V8 e V12 conforme a escala proposta por Ritchie et. al., 1993).

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) dispostos em parcelas subdivididas com quatro repetições. Na parcela principal foram avaliados dois espaçamentos entre-linhas: 40 e 80 cm. Nas sub-suparcelas foram avaliados cinco níveis de variabilidade na distribuição temporal de plantas na linha, equivalentes a 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 dias. No tratamento “0” dias todas as sementes foram semeadas em 20/10/2010. Nos demais tratamentos, metade das sementes foi semeada no dia 20/10/2010 e a outra metade, em covas adjacentes, foi semeada 2,5, 5,0, 7,5 e 10 dias após. No segundo ano de experimento, o tratamento dia “0” foi semeado no dia 21/10/2011, sendo que os demais tratamentos seguiram a mesma metodologia do primeiro ano. Os tratamentos 0, 5 e 10 foram semeados de manhã (8hs), e os tratamentos 2,5 e 7,5 foram semeados ao final da tarde (16hs), devido ao meio dia a mais nesses tratamentos. Utilizaram-se barbantes marcados com duas cores para delimitar a posição das sementes implantadas no dia 0 (plantas ímpares - dominantes) das sementes semeadas alguns dias após (plantas pares – dominadas). As subparcelas foram constituídas de quatro linhas com seis metros de comprimento. A área útil correspondeu às duas linhas centrais de cada subparcela, onde foram feitas todas as determinações.

A semeadura foi realizada manualmente com semeadoras manuais. Depositaram-se três sementes por cova para cada distância pré-determinada na linha em função da densidade (7,2 pl m⁻²) e espaçamento entrelinhas. Quando as plantas estavam com três folhas

expandidas (estádio V3 da escala de Ritchie et al., 1993), efetuou-se o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova. As sementes foram tratadas com os inseticidas Tiametoxam (Cruiser) e Fipronil (Standak) nas doses de 140 e 12 g i.a. por 100 kg de sementes e com o fungicida Fludioxonil + Metalaxyl (Maxim XL) na dose de 25 + 10 g i.a. por 100 kg de sementes para o controle preventivo de pragas e doenças na fase inicial do ciclo da cultura. A emergência das plantas ocorreu aproximadamente dez dias após a semeadura nos dois anos de cultivo.

No dia da semeadura efetuou-se o controle preventivo de plantas daninhas com aplicação em pré-emergência do herbicida Atrazina + Metalacloro (Primextra Gold) nas doses de 1,5 + 1,15 kg i.a. ha⁻¹. Quando as plantas se encontravam em V3, complementou-se o controle das plantas daninhas com a aplicação do herbicida Tembotriona (Soberan) na dose de 100 g i.a. ha⁻¹. Além disso, foi realizada uma aplicação do fungicida Azixistrobina + Ciproconazol (Priori Xtra) nas doses de 60 + 25 g i.a. ha⁻¹ quando o milho estava nos estádios V10 e V18 de desenvolvimento para o controle preventivo de doenças.

Para a realização deste experimento foi utilizado o híbrido P30R50YH da empresa Pioneer. Esse híbrido apresenta ciclo precoce e é comumente recomendado para regiões de altitude da região sul do Brasil, característica do local onde o ensaio foi realizado, e para lavouras de alto médio a alto investimento em insumos e práticas de cultivo. O híbrido apresenta arquitetura de planta moderna e sua recomendação de população de cultivo está entre 6 e 7 pl m⁻² (60 a 70 mil plantas por hectare). O híbrido utilizado possui as tecnologias transgênicas Yield Guard e Herculex para supressão de pragas da ordem lepidóptera. Devido a esta

característica, não foi necessária aplicação de inseticidas nos ensaios para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

A fenologia da cultura foi avaliada nas duas linhas centrais. Determinou-se a duração do subperíodo emergência-antese, computando-se o número de dias existentes entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão do pendão floral acima da folha bandeira com deiscência dos grãos de pólen em mais de 50% das plantas. Também determinou-se a duração do subperíodo emergência-espigamento, computando o número de dias entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão dos estigmas em 75% das plantas. Subtraindo a duração dos dois subperíodos, estimou-se o intervalo entre antese e espigamento.

No espigamento foram coletadas amostras foliares na parcela para determinação da concentração de nitrogênio. Para isso foram utilizadas amostras das folhas índice da planta, correspondente a folha inserida no mesmo nó em que se desenvolveu a espiga superior da planta.

No espigamento também foi realizada a medição da área foliar para determinação do índice de área foliar (IAF), medindo-se o comprimento e largura de 5 plantas de cada parcela. A área foliar foi obtida de acordo com metodologia utilizada por Tollenaar (1992). Para tanto, foram medidos o comprimento (C) da base à extremidade da folha e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas. Considerou-se fotossinteticamente ativa toda a folha que tivesse pelo menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com critério proposto por Borrás et al. (2003). A área foliar (A), expressa em cm^2 , foi estimada aplicando-se a expressão: $A = C \times L \times 0,75$, onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não

apresentam área retangular. Os somatórios das áreas de todas as folhas da planta determinaram a área foliar por indivíduo. O IAF correspondeu a área foliar por planta dividida pela superfície de solo ocupada pela planta, que variou conforme o arranjo espacial de cultivo.

Ainda durante o período de espigamento foi realizada avaliação do teor de clorofila na folha índice das plantas com o uso de clorofilmetro (SPAD-502) e avaliação do balanço da fotossíntese da folha índice com o uso do equipamento IRGA (LCpro-SD).

A colheita foi efetuada nos dias 20/04/2011 e de 20/04/2012 quando a umidade dos grãos estava abaixo de 20%. Antes da colheita efetuou-se a contagem do número de plantas da área útil e determinou-se o número de plantas acamadas, quebradas e estéreis. Foram consideradas estéreis as plantas que não tinham espigas ou cujas espigas possuíam menos de 10 grãos.

As espigas foram colhidas e imediatamente trilhadas para avaliação do rendimento de grãos e componentes do rendimento. Uma sub-amostra de 400 grãos foi separada e pesada para cada subparcela. O valor obtido foi multiplicado por 2,5, convertido para a umidade padrão de 130 g kg⁻¹ e utilizado para expressar a massa de 1.000 grãos.

O número de grãos por espiga foi estimado indiretamente, através da relação da massa de 400 grãos, da massa total de grãos e do número de espigas colhidas em cada subparcela. O número de grãos produzidos por área (m²) foi estimado com base no número de espigas por planta, no número de grãos por espiga e na densidade de plantas de cada tratamento.

Adicionalmente foi avaliado no dia da colheita a incidência de podridões da base do colmo (iPBC) e no processamento das amostras a percentagem de grãos ardidos. A iPBC correspondeu a percentagem de plantas

com sinais de podridões de colmo com pouca resistência a compressão, quando o primeiro entre-nó estendido do colmo foi comprimido com os dedos polegar e indicador. As plantas que apresentavam pouca resistência a compressão foram consideradas como positivas para iPBC. A determinação da percentagem de grãos ardidos foi feita numa amostra de 200 gramas de grãos. Consideraram-se como ardidos os grãos que apresentavam descoloração em mais de 25% da sua área.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pela análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS. Os valores de F para os efeitos principais e as interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$). Quando alcançada significância foram ajustadas regressões para as desuniformidades de emergência e teste de médias (Tukey) para os espaçamentos entre-linhas. Os resultados estão organizados em tabelas e figuras. Devido a somente ser observadas diferenças no rendimento de grãos e seus componentes entre os anos, esses dados foram apresentados individualmente por ano. Os demais dados foram analisados de forma conjunta utilizando-se os valores observados nos dois anos.

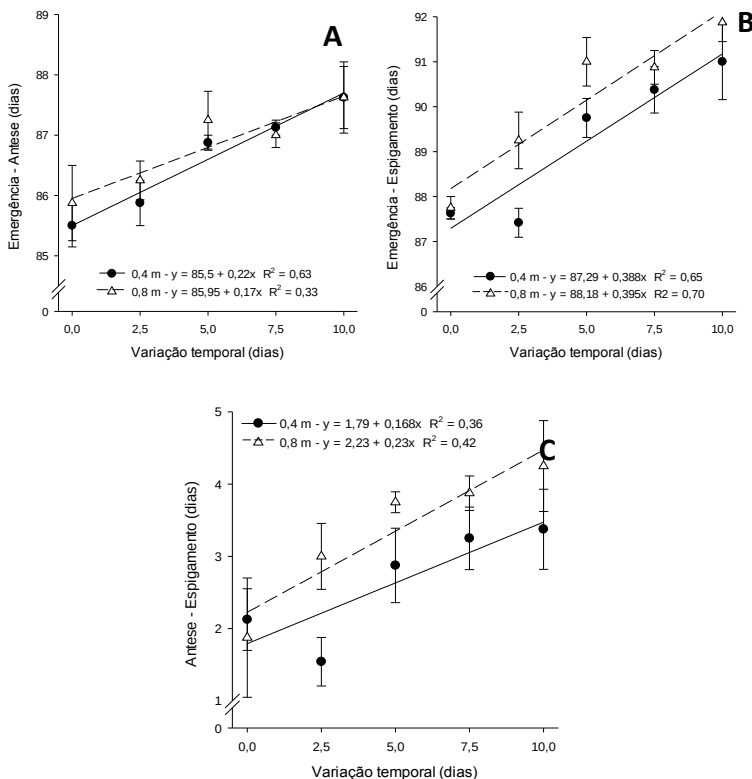
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Fenologia

A duração dos subperíodos emergência-antes e semeadura espigamento aumentou linearmente com o acréscimo no número de dias de desuniformidade dos tratamentos (Figura 19A e 19B). Principalmente para o florescimento feminino, o estresse ocasionado pelo

retardamento da emergência de metade das plantas foi mais acentuado quando se utilizou o espaçamento entre-linhas de 80 cm, devido a maior proximidade entre as plantas na linha. Neste espaçamento, a duração do subperíodo antese espigamento foi 2,3 dias maior no tratamento com 10 dias de atraso na semeadura. Já no espaçamento de 40 cm, este incremento foi de 1,7 dias (Figura 19C)

Figura 19. Duração do subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Apesar do intervalo entre semeadura e antese ser maior no espaçamento de 80 cm do que no de 40 cm, essa diferença entre os espaçamentos diminuiu com o aumento da desuniformidade (Figura 19A). Isso mostra

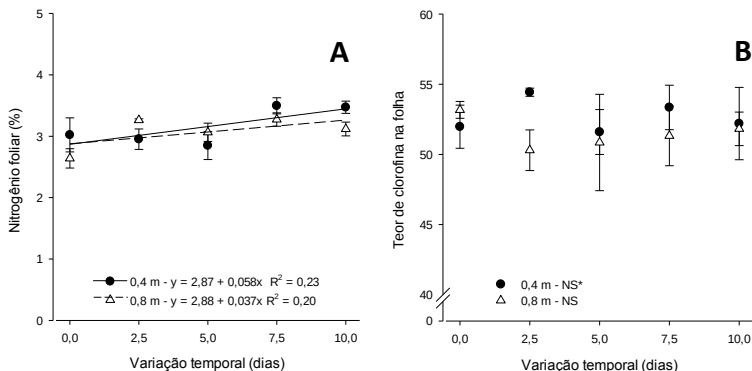
que as plantas priorizaram o florescimento masculino em detrimento do feminino, aumentando o intervalo entre antese e espigamento (Figura 19C). Essa característica é inerente à cultura do milho, que manifesta sua natureza protândrica mais intensamente em situações de estresse. A assincronia entre o florescimento masculino e feminino pode reduzir o número de óvulos fertilizados na espiga e o potencial de rendimento de grãos pelo menor número de grãos produzidos por espiga e por área.

3.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila

O teor médio de nitrogênio na folha índice foi de 3,1%, variando menos de 1,0% entre os tratamentos. Ele foi afetado pela irregularidade no desenvolvimento das plantas, aumentando linearmente com o incremento da variação temporal da época de semeadura, nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 20A). Esses dados podem indicar que na data da coleta da folha índice houve um atraso na realocação do nutriente para a inflorescência feminina devido a maior variabilidade nos estádios de desenvolvimento entre as plantas.

Utilizando o clorofilômetro com indicador do estado fisiológico-nutricional das plantas, não foram verificadas alterações significativas em função do arranjo temporal entre plantas na linha (Figura 20B). Os valores estimados para esta variável oscilaram entre 50 e 55, estando abaixo do índice SPAD de 58, considerado por Rambo et al. (2004) como o nível adequado de N quando se almeja um elevado potencial de rendimento de grãos. O atraso no desenvolvimento fenológico das plantas nos tratamentos com retardamento da semeadura pode ter contribuído para esta diferença.

Figura 20. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no espigamento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

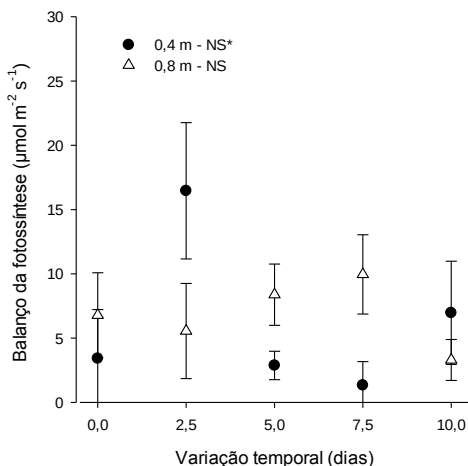
Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

3.3.3 Balanço da fotossíntese líquida

Assim como na avaliação da clorofila, os valores mensurados para o balanço da fotossíntese não diferiram entre os tratamentos testados. Assim, mesmo entre as datas de semeadura mais contrastantes não foram verificadas alterações das quantidades de CO₂fixada nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 21). Esses dados corroboram com observações de Gomes et al. (2010), que não constatarem alterações na taxa fotossintética alterando o espaçamento entre-linhas entre 50, 70 e 90 cm, mantendo a distância entre plantas de 20 cm.

Figura 21. Balanço da fotossíntese líquida da folha índice no espigamento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

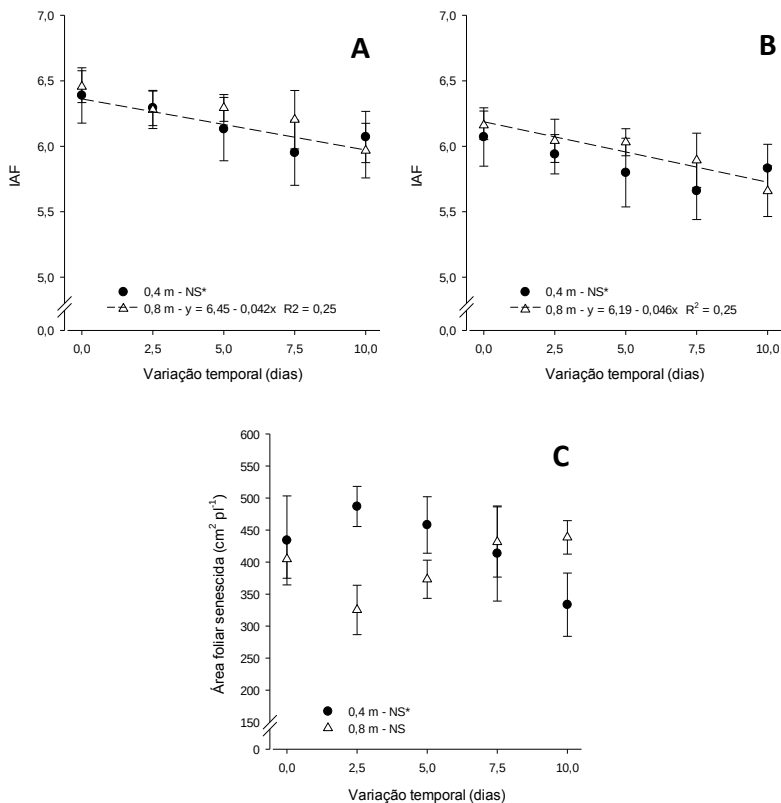
3.3.4 Índice de área foliar e senescência foliar

O índice de área foliar (IAF) foi afetado pela interação entre espaçamento entre-linhas e variação temporal na semeadura. Quando a cultura foi implantada no espaçamento entre-linhas de 80 cm, houve decréscimo linear no IAF com o aumento na variação temporal do desenvolvimento das plantas no espigamento (Figura 22 A) e 30 dias após (Figura 22B). Já no espaçamento de 40 cm não houve alteração significativa do IAF em função da variação temporal. A maior proximidade entre plantas dentro da linha determinada pelo maior espaçamento entre-linhas (80 cm) fez com que houvesse plantas na comunidade que

apresentaram menor área foliar, indicando plantas dominadas em decorrência da competição intraespecífica causada pela desuniformidade no desenvolvimento fenológico.

A senescência foliar no espigamento não foi afetada pelos tratamentos testados no trabalho (Figura 22 C). A área foliar senescida foi menor do que 500 cm^{-2} , representando menos de 10% da área verde externada pela cultura no florescimento (dados não mostrados).

Figura 22. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A), 30 dias (B) e área foliar senescida na floração do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

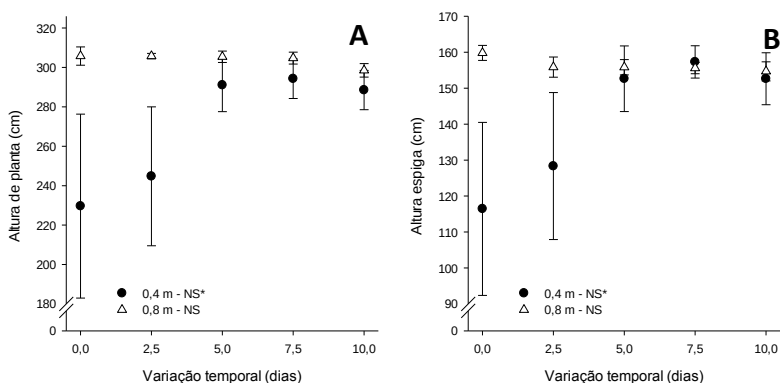
Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

3.3.5 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas

A estatura de planta e a altura de inserção de espiga não foram afetadas significativamente pelo espaçamento entre-linhas e pela variabilidade temporal da semeadura (Figura 23). Por outro lado, o diâmetro de colmo reduziu linearmente com o aumento da variabilidade temporal. A redução foi mais intensa no maior espaçamento entre-linhas (80 cm), que apresentou maior taxa de decréscimo para cada dia adicionado de diferença na simulação de atraso na data da emergência da planta (Figura 24).

Figura 23. Altura de plantas e de inserção de espigas do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

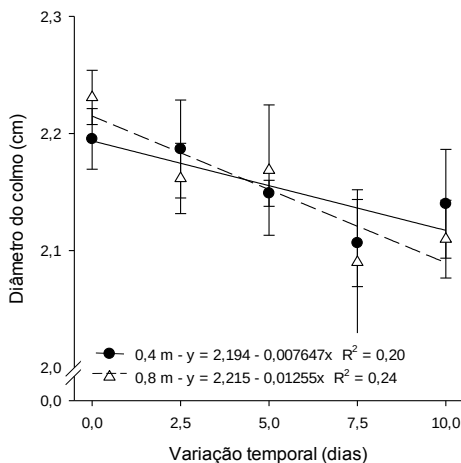
Fonte: O Autor (2014).

O comportamento das variáveis estatura de planta, altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo

indica que as plantas que emergiram tardiamente, compensaram o atraso fenológico e a competição por luz dos indivíduos dominantes estiolando. Isto explica a ausência de diferença significativa na estatura de plantas e a presença de colmos mais finos com o atraso na data de semeadura.

Uma característica predominante em plantas dominadas é a ocorrência de colmos com menor quantidade de reservas, o que pode aumentar a quantidade de plantas acamadas e quebradas na colheita. Contudo não foram registrados acamamento e quebramento significativo de colmos no trabalho, tanto para a desuniformidade da data de semeadura como para os espaçamentos entre-linhas.

Figura 24. Diâmetro do primeiro entrenó estendido do como do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

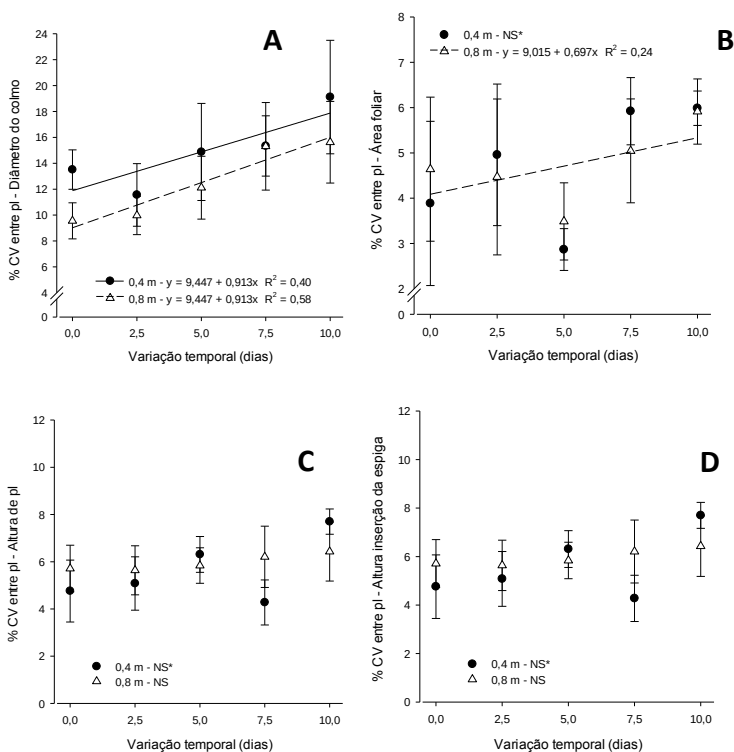
Fonte: O Autor (2014).

3.3.6 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas

O coeficiente de variação entre plantas para o diâmetro do colmo aumentou linearmente com o aumento da desuniformidade na data de semeadura testada nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 25A), indicando a presença de plantas com maior e menor calibre no diâmetro do colmo dentro da comunidade. Da mesma forma, o coeficiente de variação entre plantas para o IAF no espigamento aumentou de forma linear quando a desuniformidade simulada aumentou para o maior espaçamento entre-linhas testado (Figura 25B). Por outro lado, não houve efeito

significativo dos tratamentos sobre a variabilidade registrada entre os indivíduos para estatura de planta (Figura 25C) e altura de inserção de espiga (Figura 25D).

Figura 25. Coeficiente de variação entre plantas para o diâmetro do colmo (A), índice de área foliar no espigamento (B), estatura de planta (C) e altura de inserção de espiga (D) do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias de 2010/2011 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

O comportamento do C.V. para as características morfológicas apresentadas na Figura 25 corrobora a hipótese de que a emergência tardia afeta mais o índice de área foliar e o diâmetro do colmo do que a estatura de planta e a altura de inserção de espigas das plantas dominadas dentro da comunidade.

3.3.7 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

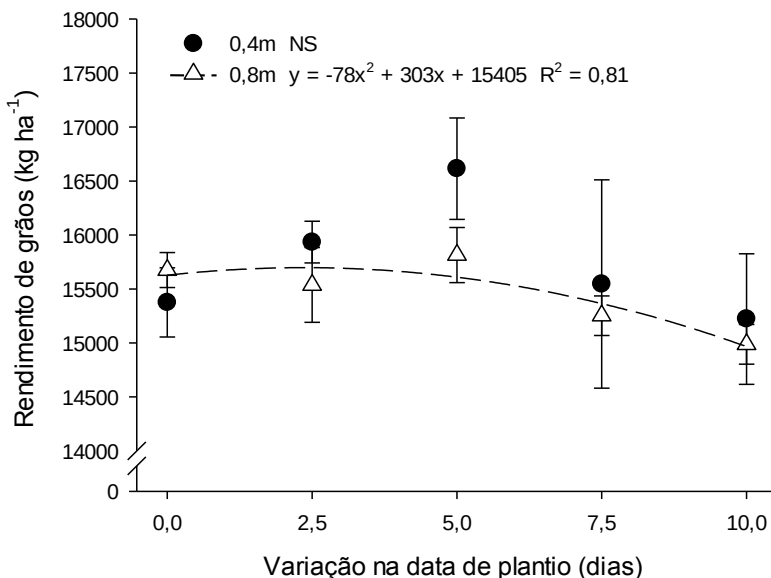
O rendimento de grãos foi afetado pela interação entre espaçamento entre-linhas e variação temporal na emergência das plantas nos dois anos em que o experimento foi realizado.

Em 2010/2011, o efeito da variabilidade temporal sobre a produtividade da cultura dependeu do espaçamento entre-linhas em que ela foi implantada. O aumento no período de semeadura das plantas decresceu o rendimento de grãos no espaçamento entre-linhas de 80 cm (Figura 26). A redução teve um comportamento quadrático conforme houve aumento na desuniformidade da data de semeadura. Quando todas as sementes foram semeadas no mesmo dia, a produtividade foi de $15.670 \text{ kg ha}^{-1}$. O atraso na semeadura em 10 dias de metade das sementes provocou uma perda de produtividade de 690 kg ha^{-1} , perfazendo um decréscimo de 4,4 % em relação às parcelas com emergência uniforme.

Por outro lado, quando o milho foi cultivado com a utilização de espaçamentos entre-linhas de 40 cm não houve efeito significativo da variação temporal na emergência sobre o rendimento de grãos (Figura 26). Nessa condição de cultivo, as plantas ficaram mais distantes entre si no sulco de semeadura, com um arranjo mais homogêneo entre as plantas da linha com

relação às plantas entre as linhas. Este fato, associado ao alto nível de tecnologia empregado no ensaio, com alto investimento em adubação, irrigação, manejo fitossanitário plantio na época adequada, com boas condições para germinação e emergência das plantas, possivelmente reduziu o estresse ocasionado pela simulação na variação entre os dias de emergência das plântulas. Echarte & Andrade (2003) concluíram que híbridos modernos de milho apresentam maior estabilidade do índice de colheita que híbridos mais velhos sob condição de estresse. Isto se deve principalmente ao menor limite de biomassa para a produção de grãos e maior plasticidade reprodutiva em resposta do aumento dos recursos por planta. Assim, possivelmente as características genéticas do híbrido utilizado no presente trabalho auxiliaram a minimizar o impacto negativo do desenvolvimento fenológico desuniforme quando as plantas dominantes e dominadas estavam mais distantes entre si na linha de semeadura.

Figura 26. Rendimento de grãos do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2010/11.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

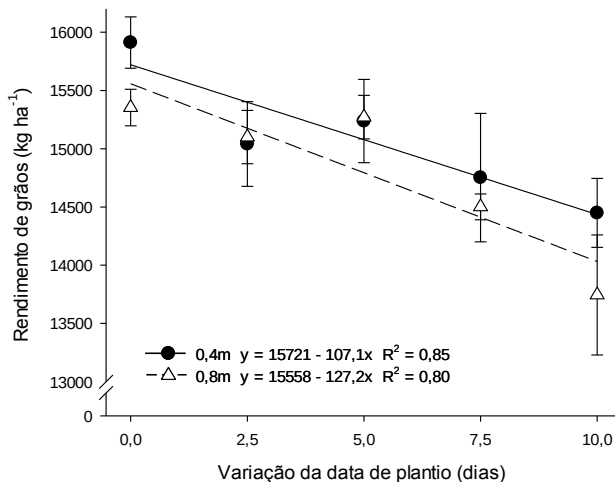
Fonte: O Autor (2014).

No segundo ano do experimento, o rendimento de grãos do milho foi afetado pela desuniformidade na época de semeadura nos dois espaçamentos entre-linhas. Tanto para o espaçamento 40 cm como para o de 80 cm, o rendimento de grãos diminuiu linearmente com o aumento no intervalo entre a semeadura das plantas pares das impares na linha de cultivo (Figura 27). Contudo, as taxas de decréscimo na produtividade diferiram nos dois espaçamentos entre-linhas. Quando as linhas estavam afastadas em 80 cm, houve um

decréscimo de 127 kg ha^{-1} por dia de atraso na semeadura. Já no espaçamento de 40 cm, a redução na produtividade foi de 107 kg ha^{-1} por dia de atraso na semeadura. Em valores absolutos, o rendimento de grãos diminuiu 1.462 kg ha^{-1} e 1.608 kg ha^{-1} nos espaçamentos entre-linhas de 40 cm e 80 cm, respectivamente, quando foram semeadas metade das plantas 10 dias após as primeiras.

Assim, nos dois anos de condução do experimento, constatou-se que a melhor distribuição das plantas no sulco de semeadura decorrente da redução do espaçamento entre-linhas atenuou os prejuízos à produtividade ocasionados pela variabilidade temporal no desenvolvimento fenológico das plantas.

Figura 27. Rendimento de grãos do milho em dois espaçamentos entre-linhas e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2011/12.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Pode-se observar que se houver emergência desuniforme das plantas na lavoura, problema comum principalmente nas primeiras semeaduras realizadas na região sul do Brasil, durante o mês de agosto, com solos frios e úmidos, somados a qualidade da semente e da semeadura, com cultivo em baixa tecnologia e em monocultura, o rendimento de grãos da cultura do milho será prejudicado. Decréscimos no rendimento decorrentes da variabilidade temporal no desenvolvimento das plantas foram reportados por Naftziger et al. (1991) e Liu et al. (2004) nos Estados Unidos e Canadá, respectivamente.

A variação no rendimento de grãos nos diferentes tratamentos indica que quando ocorre

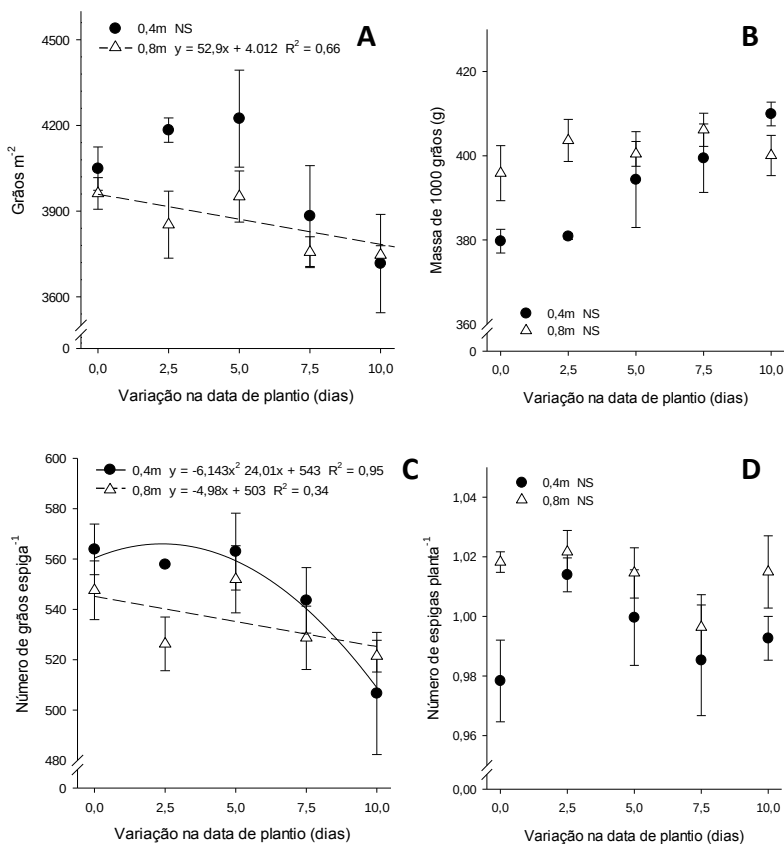
desuniformidade na emergência das plântulas na linha de cultivo aumenta a variação entre plantas na lavoura, oportunizando o surgimento de plantas dominadas. Estas podem, conforme as condições ambientais, reduzir ou não o rendimento de grãos da cultura do milho.

A tendência de decréscimo na produtividade é maior quando as plantas estão mais próximas entre si no sulco de semeadura, o que acontece quando se trabalha com altas densidades e espaçamentos amplos entre-linhas. Esta combinação antecipa a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, dificultando o estabelecimento das plântulas com emergência tardia. Elas terão o seu desenvolvimento fenológico, morfológico e fisiológico comprometido, produzindo menor número de grãos por espiga e contribuindo para a redução da produtividade. Comportamento semelhante foi observado por Merotto Jr et al. (1999) e Liu et al. (2004). As diferenças na plasticidade vegetativa em resposta aos recursos disponíveis por planta pode contribuir para explicar as variações observadas na produtividade em função do desenvolvimento fenológico desuniforme (ANDRADE & ABBATE, 2005).

Analisando-se o comportamento dos componentes do rendimento percebe-se que, de forma isolada, aquele que mais influenciou o rendimento da cultura foi o número de grãos por espiga, nos dois anos agrícolas (Figuras 28 e 29). Este componente apresentou redução com o aumento da variação na emergência das plantas. Isso ocorreu principalmente no espaçamento de 80 cm pelo estabelecimento de plantas dominadas na comunidade, que apresentaram maior intervalo entre antese e espigamento (Figura 19), menor índice de área foliar na floração (Figura 22) e colmos mais finos, com menor quantidade de reservas (Figura 24). Todas estas características provavelmente

contribuíram para a formação de espigas com menor número de grãos. Já a massa de 1000 grãos mostrou um comportamento mais estável, não sendo afetada pelos tratamentos testados no trabalho, nos dois anos agrícolas (Figuras 28 e 29).

Figura 28. Componentes do rendimento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2010/11.

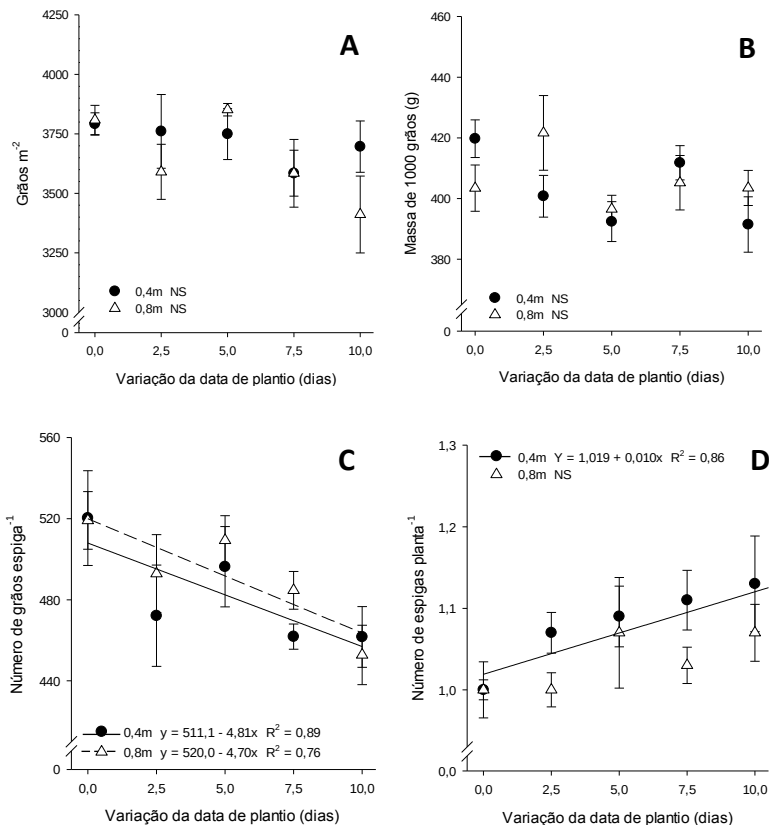


NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Figura 29. Componentes do rendimento do milho em dois espaçamentos entre linha e cinco desuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, 2010/11.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

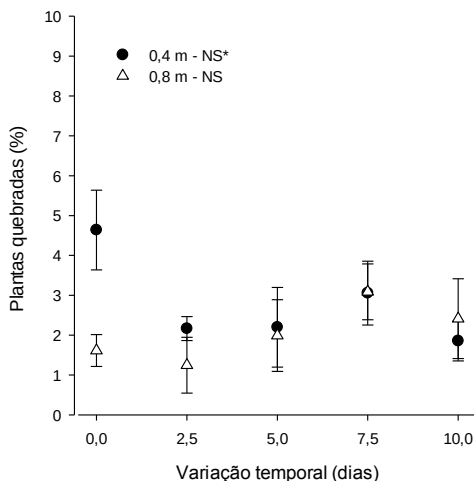
Outro fato importante observado foi o perfilhamento ocorrido nas maiores variações de data de semeadura, principalmente no espaçamento entre-linhas de 40 cm (dados não quantificados). Neste caso, o alto investimento em tecnologia no experimento, somado às

condições edafoclimáticas de Lages/SC, onde a amplitude entre a temperatura diurna e noturna é grande, com noites amenas, possibilitou que houvesse perfilhamento com produção de espigas nos perfilhos das plantas semeadas no dia 0. Esta característica provavelmente mitigou os prejuízos ocasionados às plantas de emergência tardia. Esse fato pode ser observado pelo aumento do valor do índice de espigas (Figura 4D) quando houve incremento na variação entre datas de semeadura no espaçamento 40 cm entre linha no segundo ano de cultivo. Além disso, o aumento do número de espigas por planta decorrente do perfilhamento pode ter colaborado para não haver diferença significativa no número de grãos produzidos por área (Figura 3A e 4A), uma vez que o número de espigas por área também aumentou (colmo principal + perfilhos). Deve-se destacar que a característica de perfilhamento no milho é de baixa ocorrência. Assim, o efeito da alta desuniformidade de emergência pode trazer maiores prejuízos à cultura em condições desfavoráveis a produção de perfilhos férteis. Plantas dominadas de milho perfilham pouco (DOEBLEY et al., 1997), mostram pouca plasticidade da área foliar em resposta a quantidade de recursos por planta (COX, 1996), e podem ter baixa eficiência no uso da radiação interceptada.

Apesar do estresse causado pela simulação de datas de emergência extremas nas linhas e do surgimento de plantas dominadas, não foi observada diferenças entre os tratamentos para o número de plantas sem espigas (Figura 30). O investimento em insumos e práticas de manejo podem ter colaborado para que a característica protândrica do milho não fosse expressa nas condições de maior estresse na maior

desuniformidade simulado no experimento. O resultado do relacionamento entre número de espigas por planta, de grãos por espiga e da massa de grãos depende do ajuste advindo dos recursos disponíveis por planta (ANDRADE et al., 1999; VEGA et al., 2001).

Figura 30. Esterilidade feminina do milho em dois espaçamentos entre linha e cincodesuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias dos anos de 2010/11 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

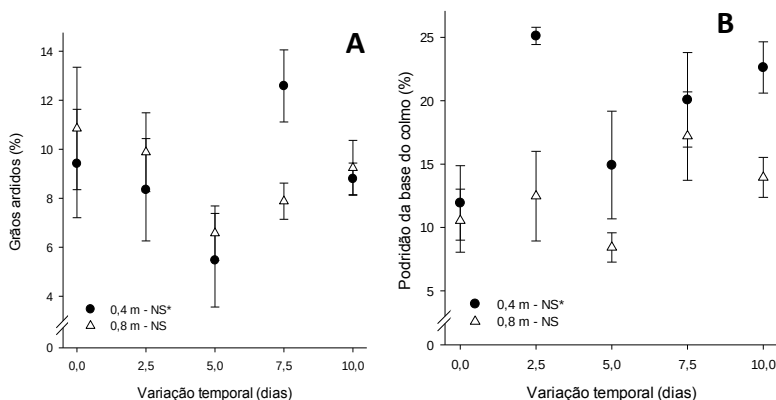
Fonte: O Autor (2014).

3.3.8 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo

Em todos os tratamentos de desuniformidade entre plantas testados houve incidência de grãos ardidos e podridões da base do colmo. A percentagem de grãos ardidos observada variou de 5,4 a 12,3%, sendo

observada uma média de 9,2% de grãos ardidos no experimento (Figura 31). A incidência de podridões da base do colmo variou de 8,2 a 25,1%. A média de incidência no experimento foi de 14,3%. Apesar disso, não houve distinção das percentagens observadas para grãos ardidos ou incidência de podridões da base do colmo entre tratamentos de desuniformidade e espaçamento testados. O menor diâmetro do diâmetro do colmo observado com o aumento na variabilidade temporal no desenvolvimento fenológico dentro da linha de cultivo (Figura 24) não foi um fator que predispôs as plantas a doenças de colmo e espiga causadas por fungos fitopatogênicos nas condições testadas.

Figura 31. Porcentagem de grãos ardidos e incidência de podridões da base do colmo de milho em dois espaçamentos entre linha e cincodesuniformidades na data de semeadura de metade das plantas. Lages, SC, médias dos anos de 2010/11 e 2011/2012.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

3.3.9 Considerações finais

Este trabalho foi concebido com base na hipótese de que a emergência desuniforme das plantas na linha gerada pelas diferentes épocas de semeadura origina plantas dominadas. Estas plantas terão um desenvolvimento fenológico retardado, o que retardará seu índice de área foliar e atividade fotossintética, reduzindo a estatura da planta, o diâmetro do colmo e o rendimento de grãos.

Os resultados obtidos demonstraram que o atraso na emergência interfere mais sobre algumas características morfofisiológicas do que outras e que este efeito depende do espaçamento entre-linhas. A emergência irregular não reduziu o teor de clorofila da folha índice e nem sua atividade fotossintética na floração. Também não houve redução da estatura de planta e da altura de inserção de espiga nas plantas com a emergência tardia. Por outro lado, a presença de plantas dominadas aumentou o intervalo antese-espigamento, reduziu o índice de área foliar da cultura no espigamento e o diâmetro de colmo na colheita, sendo os efeitos mais pronunciados no espaçamento entre-linhas de 80 cm.

A pior sincronia entre o florescimento masculino e feminino, o menor índice de área foliar e a menor quantidade de reservas do colmo durante o enchimento de grãos dos tratamentos com maior desuniformidade fenológica das plantas reduziu o número de grãos produzidos por espiga e a produtividade quando a cultura foi implantada com maior espaçamento entre-linhas.

Os efeitos negativos da variabilidade temporal da distribuição das plantas foram atenuados quando o milho foi cultivado com menor espaçamento entre-linhas.

Mantendo a densidade constante, a redução do espaçamento de 80 cm para 40 cm aumentou a distância entre plantas na linha de 17,5 cm para 35 cm. Isto possibilitou às plantas com emergência tardia uma melhor condição morfofisiológica para competir com as plantas dominantes, fazendo com que o conjunto de indivíduos da comunidade alcançasse um rendimento de grãos mais próximo daquele registrado quando todas as sementes foram semeadas no mesmo dia.

3.4 CONCLUSÕES

A desuniformidade na emergência das plantas interfere sobre características morfofisiológicas quando as plantas estão mais próximas na linha de cultivo devido ao maior espaçamento entre-linhas para uma mesma densidade.

A desuniformidade na emergência de plantas na linha de plantio reduz o rendimento de grãos do milho principalmente quando este é cultivado no espaçamento de 80 cm entre-linhas.

A redução do espaçamento entre-linhas de 80 cm para 40 cm atenua a competição intraespecífica e mitiga os efeitos negativos da variabilidade temporal da emergência das plantas no sulco de semeadura.

4 DESUNIFORMIDADE ESPACIAL NA DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NA LINHA E RENDIMENTO DE GRÃOS DO MILHO

RESUMO

O estabelecimento de um estande uniforme é importante para alcançar altos tetos produtivos. Este experimento foi conduzido objetivando avaliar os efeitos da variabilidade na distribuição espacial das plantas na linha de semeadura sobre o desempenho agrônômico do milho. O experimento foi conduzido em Lages, SC, em 2010/2011. Avaliaram-se dois espaçamentos entre-linhas (40 e 80 cm) e cinco níveis de variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha, equivalentes a 0, 25, 50, 75 e 100% do Coeficiente de Variação. O tratamento 0% de C.V. equivaleu à distribuição uniforme das plantas. O aumento do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas não interferiu no intervalo antese-espigamento, não alterou o teor de N e clorofila da folha índice, nem a estatura de planta e a altura de inserção de espiga. O rendimento de grãos reduziu 169 kg ha⁻¹ para cada aumento de 10% do C.V, quando o milho foi cultivado no espaçamento entre-linhas de 40 cm. Não houve efeito significativo da desuniformidade na distribuição espacial das plantas sobre o rendimento de grãos no espaçamento de 80 cm. A distribuição espacial irregular das plantas na linha pode comprometer a produtividade do milho, dependendo do espaçamento entre-linhas em que ele for cultivado.

Palavras-chave: *Zea mays*, arranjo de plantas, qualidade de estande.

ABSTRACT

The establishment of a uniform stand is important to achieve high yield. This study was conducted to evaluate the effects of variability in the spatial distribution of plants in the row on the agronomic performance of corn. The trial was conducted in Lages, SC, in 2010/2011. We evaluated two row spacings (40 and 80 cm) and five levels of variability in the spatial distribution of plants on row, equivalent to 0, 25, 50, 75 and 100% of the Coefficient of Variation. Treatment CV 0% was equivalent to the uniform distribution of plants. The increase in the coefficient of variation in the spatial distribution of the plants did not affect the anthesis-silking interval, did not affect the N content and chlorophyll content of leaf index, nor the stature of plant height and ear insertion. The grain yield reduced 169 kg ha^{-1} for each 10% increase in the CV, when corn was grown in the spacing of 40 cm. There were no significant effects of an uneven spatial distribution of plants on the yield in the spacing of 80 cm. The uneven spatial distribution of plants on the row can reduce the productivity of maize, depending on the spacing in which it is grown.

Key-words: *Zea mays*, plant arrangement, quality stand.

4.1 INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura muito sensível a variações no arranjo de plantas devido à sua baixa capacidade de emissão de afilhos férteis, à limitada prolificidade, à escassa plasticidade foliar e à estrutura floral monóica, em que as inflorescências masculina e feminina competem entre si por fotoassimilados sob condições de estresse (ANDRADE & SADRAS, 2003; SANGOI et al.,

2011). A irregularidade na distribuição espacial na linha pode reduzir a eficiência de aproveitamento de água, luz e nutrientes da comunidade, aumentando o número de plantas dominadas na lavoura.

A desuniformidade na distância entre as plantas dentro da linha pode alterar a quantidade e qualidade de radiação luminosa interceptada por cada planta individualmente. As plantas têm a capacidade de sentir a proximidade de seus vizinhos e alterar o crescimento através de respostas às mudanças na qualidade de luz, utilizando receptores fitocromo que são sensíveis a comprimentos de onda vermelho (v) e vermelho extremo (vê) (WEINIG, 2000; Liu et al, 2009). A ocorrência de plantas dominantes sobre as outras dentro da linha de cultivo é uma resposta a alterações na relação v/ve.

As falhas na distribuição das plantas dentro da linha estão principalmente ligadas a qualidade da atividade de semeadura. Isso vai alterar de forma significativa a distribuição horizontal e vertical da semente no sulco de semeadura. Nesse sentido se pode destacar a velocidade do sistema de distribuição das sementes, o sistema de corte e deposição das sementes no sulco de semeadura e as condições do solo e da semeadura. O operador da atividade pode interferir diretamente nisso quando faz escolhas incorretas sobre o momento de iniciar a semeadura e sobre a velocidade de semeadura.

A forma e o tamanho das sementes interagem com a atividade de semeadura. Uma classificação inadequada das sementes quanto ao formato, massa e tamanho, a incompatibilidade entre o tamanho/formato da semente com os discos utilizados na semeadora, a regulagem inadequada da semeadora e a velocidade excessiva do trator durante a semeadura são as causas mais comuns para a ocorrência de estandes

desuniformes na cultura do milho. Nestes casos, observam-se locais nas linhas de semeadura onde as plantas estão muito próximas entre si e a presença de espaços amplos sem a presença de plantas.

A distribuição uniforme dentro da linha depende de outras formas de arranjo entre plantas. A variação do espaçamento entre-linhas e entre plantas na linha proporciona diferentes arranjos de plantas, sendo que menores espaçamentos entre-linhas permitem que os sistemas de distribuição de sementes funcionem em menores velocidades, podendo resultar em melhor distribuição espacial das plantas de milho. Quando menores espaçamentos entre-linhas permitem melhor distribuição espacial de plantas na linha, eles aumentam a eficiência da interceptação da luz, e resultam em incremento de produtividade (ARGENTA et al., 2001; DEMÉTRIO et al., 2008).

Sangoi (1990) e Rizzardi et al. (1994) não constataram efeitos negativos sobre o rendimento de grãos de variações na distribuição espacial de plantas na linha, em relação ao arranjo equidistante, em experimentos conduzidos com híbridos duplos cultivados no final da década de 80 e início da de 90 do século passado.

Por outro lado, algumas alterações importantes ocorreram com o milho nos últimos 20 anos, tais como o aumento da população de plantas, a redução no espaçamento entre-linhas e o incremento do potencial produtivo dos híbridos (SANGOI et al., 2002; TOLLENAAR & LEE, 2002; DUVICK ET AL., 2004; TOKATLIDIS & KOUTROUBAS, 2004; JESCHKE, 2014). Tais mudanças podem ter reflexo nos efeitos da desuniformidade na distribuição espacial das plantas nas linhas de semeadura sobre o desempenho agrônômico da cultura. Dessa forma, quanto maior a população de

plantas e mais elevado o teto produtivo almejado, mais negativo será o efeito da irregularidade na distribuição espacial sobre o aproveitamento de recursos. Doerge et al. (2004), Liu et al. (2004a), Nielsen (2004) e Martin et al. (2005), em trabalhos conduzidos mais recentemente nos Estados Unidos e no Canadá, constataram decréscimos no rendimento de grãos do milho ocasionados pelo aumento da irregularidade da distribuição espacial das plantas na linha de semeadura.

Devido à presença de condições inadequadas de temperatura e umidade do solo no momento da semeadura e do uso incorreto de semeadoras, estandes de plantas desuniformes são comuns nas lavouras de milho do Brasil. Apesar disto, relatos de trabalhos quantificando os efeitos da má qualidade de estande sobre o desempenho agrônômico do milho são escassos na literatura.

A hipótese deste experimento foi de que a desuniformidade espacial na distribuição de plantas na linha diminui a eficiência dos recursos disponíveis e limita o rendimento de grãos. Com isso, este trabalho foi conduzido objetivando avaliar os efeitos da variabilidade na distribuição espacial das plantas na linha de semeadura sobre o rendimento de grãos do milho, em dois espaçamentos entrelinhas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo durante o ano agrícola de 2010/201. A área experimental encontra-se no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas do local são 27° 50' 35" de latitude sul e 50° 29' 45" de longitude oeste e altitude de 849 metros. O clima da região, de acordo com

a classificação de Köppen-Geiger, citado por Kottek et al. (2006), é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise de solo realizada em setembro de 2010, ele apresentava as seguintes características: 270 g kg⁻¹ de argila; pHem água 5,2; 3,5 mg L⁻¹ de P; 232 mg L⁻¹ de K; 42 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 6,1 cmol_c dm⁻³ de Ca; 2,6 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,2 cmol_c dm⁻³ de Al, e 14,8 cmol_c dm⁻³ de CTC.

No período de outono-inverno que precedeu a instalação do experimento, semeou-se em 10/05/2010, um consórcio de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), utilizando-se 40 e 55 kg ha⁻¹ de sementes para cada espécie, respectivamente. A dessecação da cobertura foi realizada em meados de setembro de 2010, utilizando-se o herbicida Glifosato (Round up) na dose de 240 g i.a. ha⁻¹.

A adubação de base foi realizada no dia da semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses aplicadas foram baseadas nos resultados obtidos na análise de solo e nas recomendações para a cultura do milho do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS-SC, 2004), objetivando uma produtividade de grãos de 18.000 kg ha⁻¹. Foram utilizados o superfosfato triplo e o cloreto de potássio como fontes de fósforo e potássio, nas quantidades equivalentes a 295 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 170 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Para o nitrogênio foi utilizada ureia, na dose de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Os fertilizantes foram aplicados superficialmente nas

linhas de semeadura, paralelamente a esta operação. A adubação em cobertura com nitrogênio foi feita utilizando ureia como fonte, perfazendo um total de 250 kg ha⁻¹ de N por safra, fracionados igualmente em três estádios fenológicos (V4, V8 e V12 conforme a escala proposta por Ritchie et. al., 1993).

A implantação do experimento ocorreu no dia 22 de outubro de 2010, sob sistema de semeadura direta, com plantadoras manuais, reguladas para distribuir três sementes por cova. O arranjo de plantas na linha para a densidade de plantas desejada (72.000 pl ha⁻¹) foi obtido utilizando barbantes marcados com as distâncias entre plantas e a distância entre-linhas foi previamente delimitada com o uso de estacas. Quando as plantas estavam com três folhas expandidas (estádio V3 da escala de Ritchie et al., 1993), efetuou-se o desbaste, deixando se apenas uma planta por cova.

As sementes foram tratadas com os inseticidas Tiametoxam (Cruiser) e Fipronil (Standak) nas doses de 140 e 12 g i.a. por 100 kg de sementes e com o fungicida Fludioxonil + Metalaxyl (Maxim XL) na dose de 25 + 10 g i.a. por 100 kg de sementes para o controle preventivo de pragas e doenças na fase inicial do ciclo da cultura. A emergência das plantas ocorreu aproximadamente dez dias após a semeadura nos dois anos de cultivo. A emergência das plantas ocorreu aproximadamente dez dias após a semeadura nos dois anos de cultivo.

Foi utilizado o híbrido P30R50H no experimento. Esse híbrido apresenta ciclo precoce e é comumente recomendado para regiões de altitude da região sul do Brasil, característica do local onde o ensaio foi realizado, e para lavouras de alto médio a alto investimento em insumos e práticas de cultivo. O híbrido apresenta arquitetura de planta moderna e sua recomendação de população de cultivo está entre 6 e 7 plantas por metro

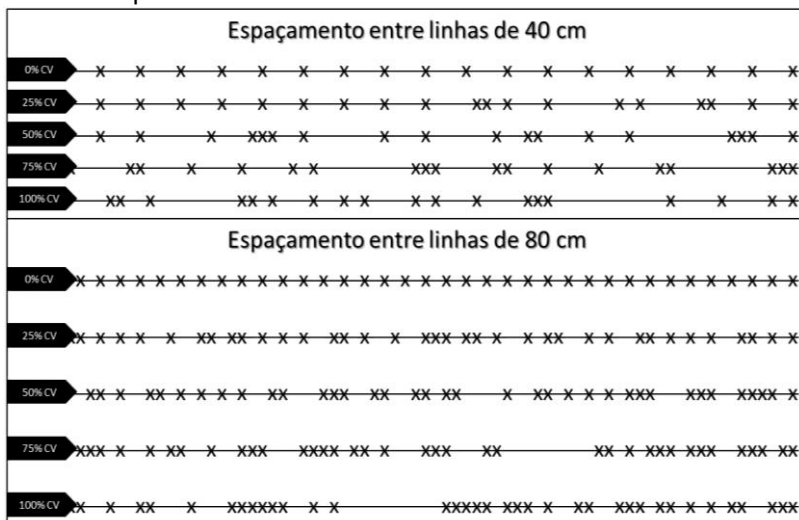
quadrado (60 a 70 mil plantas por hectare). Esse híbrido é um material transgênico para supressão de pragas da ordem lepidóptera, sendo que não foi necessária uma aplicação de inseticida nos ensaios, provavelmente devido a essa característica.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados dispostos em parcelas subdivididas com quatro repetições. Na parcela principal foram avaliados dois espaçamentos entre-linhas: 40 e 80 cm. Nas subparcelas foram avaliados cinco níveis de variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha, equivalentes a 0, 25, 50, 75 e 100% do Coeficiente de Variação. O tratamento 0% de C.V. equivaleu à distribuição uniforme das plantas para o arranjo de plantas testado. As distâncias entre plantas na linha neste tratamento foram de 17 cm e 34 cm para os espaçamentos entre-linhas de 40 cm e 80 cm, respectivamente. As distâncias entre plantas nos demais tratamentos foram calculadas através do software Minitab. Para cada percentagem de coeficiente de variação e espaçamento entre-linhas o software gerou aleatoriamente a posição das plantas nos sulcos de plantio, que podem ser visualizadas na Figura 32. As subparcelas foram constituídas de quatro linhas com seis metros de comprimento. Nas duas linhas centrais de cada subparcelas determinaram-se o rendimento e seus componentes. A área útil correspondeu às duas linhas centrais de cada subparcela.

No dia da semeadura efetuou-se o controle preventivo de plantas daninhas com aplicação em pré-emergência do herbicida Atrazina + Metalacloro (Primextra Gold) nas doses de 1,5 + 1,15 kg i.a. ha⁻¹. Quando as plantas se encontravam em V3, complementou-se o controle das plantas daninhas com a aplicação do herbicida Tembotriona (Soberan) na dose

de 100 g i.a. ha⁻¹. Além disso, foi realizada uma aplicação do fungicida Azixistrobina + Ciproconazol (Priori Xtra) na dose de 60 + 25 g i.a. ha⁻¹ quando o milho estava nos estádios V10 e V18 de desenvolvimento para o controle preventivo de doenças.

Nas duas linhas centrais avaliou-se ainda a fenologia da cultura. Determinou-se a duração do subperíodo emergência-antese, computando-se o número de dias existentes entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão do pendão floral acima da folha bandeira com deiscência dos grãos de pólen em mais de 50% das plantas. Também determinou-se a duração do subperíodo emergência-espigamento, computando o número de dias entre a exteriorização do coleóptilo e a emissão dos estigmas em 75% das plantas. Subtraindo a duração dos dois subperíodos, estimou-se o intervalo entre antese e espigamento.



Fonte: O Autor (2014).

No florescimento, foram coletadas amostras foliares na parcela para determinação da concentração de nitrogênio. Para isso foram utilizadas amostras das folhas índice da planta, correspondente a primeira folha oposta abaixo da folha da espiga. Ainda no florescimento foi medida a área foliar para determinação do índice de área foliar (IAF), medindo-se o comprimento e largura de 5 plantas de cada parcela. A área foliar foi obtida de acordo com metodologia descrita por Tollenaar (1992). Para tanto, foram medidos o comprimento (C), da base à extremidade da folha e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas. Considerou-se fotossinteticamente ativa toda a folha que tivesse pelo

menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com critério proposto por Borrás et al. (2003). A área foliar (A), expressa em cm^2 , foi estimada aplicando-se a expressão: $A = C \times L \times 0,75$, onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não apresentam área retangular. Os somatórios das áreas de todas as folhas da planta determinaram a área foliar por indivíduo. O IAF correspondeu a área foliar por planta dividida pela superfície de solo ocupada pela planta, que variou conforme o arranjo espacial de cultivo.

Ainda durante o período de florescimento foi realizada avaliação do teor de clorofila na folha índice das plantas com o uso de clorofilometro (SPAD-502) e avaliação do balanço da fotossíntese da folha índice com o uso do equipamento IRGA (LCpro-SD).

A colheita foi efetuada nos dias 27/04/2011 quando a umidade dos grãos estava abaixo de 20%. Antes da colheita efetuou-se a contagem do número de plantas da área útil e determinou-se o número de plantas acamadas, quebras e estéreis. Foram consideradas estéreis as plantas que não tinham espigas ou cujas espigas possuíam menos de 10 grãos.

As espigas foram colhidas e imediatamente trilhadas para avaliação do rendimento de grãos e componentes do rendimento. Uma sub-amostra de 400 grãos foi separada e pesada para cada sub-subparcela. O valor obtido foi multiplicado por 2,5, convertido para a umidade padrão de 130 g kg^{-1} e utilizado para expressar a massa de 1.000 grãos.

O número de grãos por espiga foi estimado indiretamente, através da relação da massa de 400 grãos, da massa total de grãos e do número de espigas colhidas em cada subparcela. O número de grãos produzidos por área (m^2) foi estimado com base no

número de espigas por planta, no número de grãos por espiga e na densidade de plantas de cada tratamento.

Adicionalmente foi avaliado no dia da colheita a incidência de podridões da base do colmo (iPBC) e no processamento das amostras a percentagem de grãos ardidos. A iPBC correspondeu a percentagem de plantas com sinais de podridões de colmo com pouca resistência a compressão, quando o primeiro entrenó estendido do colmo foi comprimido com os dedos polegar e indicador. As plantas que apresentavam pouca resistência a compressão foram consideradas como positivas para iPBC. A determinação da percentagem de grãos ardidos foi feita numa amostra de 200 gramas de grãos. Consideraram-se como ardidos os grãos que apresentavam descoloração em mais de 25% da sua área.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pela análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS. Os valores de F para os efeitos principais e as interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$). Quando alcançada significância foram ajustadas regressões para os coeficientes de variação na distribuição espacial de plantas na linha e teste de médias (Tukey) para os espaçamentos entre-linhas, ambos ao nível de significância de 5%.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Fenologia

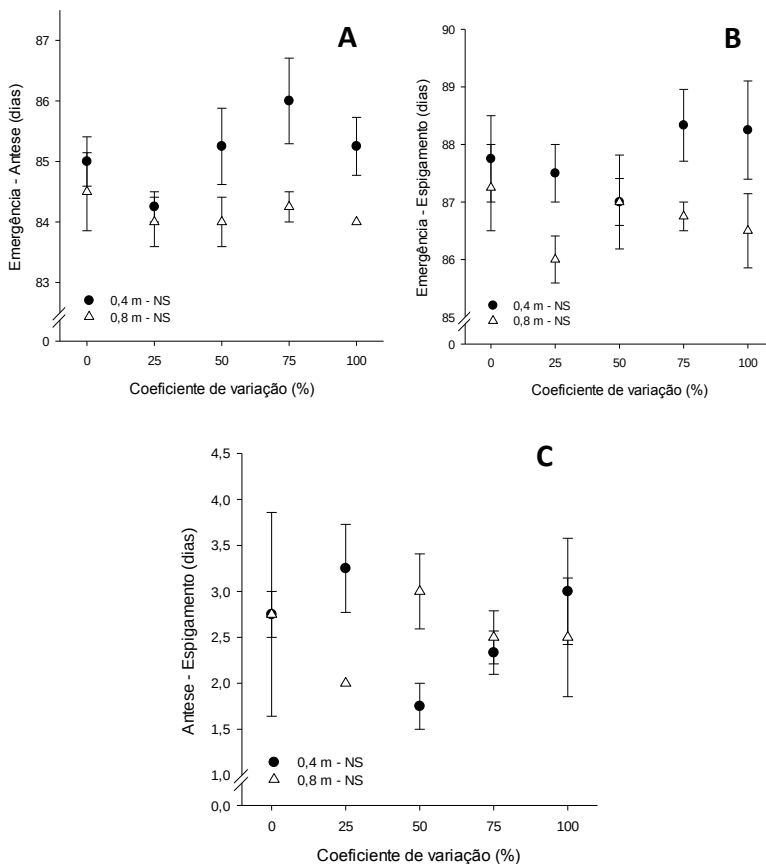
Não houve efeito significativo da variação espacial na distribuição das plantas na linha sobre a duração dos subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento, nos

dois espaçamentos entre-linhas (Figura 33). Isto indica que a maior proximidade entre as plantas dentro da linha de cultivo devida ao aumento do coeficiente de variação, com plantas acotoveladas e outras bem espaçadas, não tiveram interferiram sobre o desenvolvimento fenológico da cultura até a floração.

Alterações no arranjo das plantas na lavoura podem fomentar a dominância apical. Isto ocorre principalmente com o adensamento e a proximidade excessiva das plantas dentro da linha. Densidades muito altas estimulam a protândria, o que favorece a esterilidade feminina e aumenta o intervalo entre antese e espigamento, reduzindo o número de óvulos fertilizados (SANGOI et al., 2002).

Segundo Silva et al. (1992) e Almeida et al. (2000), a sincronia entre o florescimento masculino e o feminino é uma característica muito importante na cultura do milho, pois o período de liberação de pólen é curto (5-7 dias) e a longevidade dos grãos de pólen é pequena (12-24 horas). Os dados fenológicos da Figura 33 indicam que a densidade utilizada no ensaio (72.000 pl ha⁻¹) não houve comprometimento significativo do intervalo antese-espigamento, que foi menor do que 3,5 dias mesmo nos tratamentos com 100 % de coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas.

Figura 33. Duração do subperíodos emergência-antese, emergência-espigamento e antese-espigamento do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas de milho, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

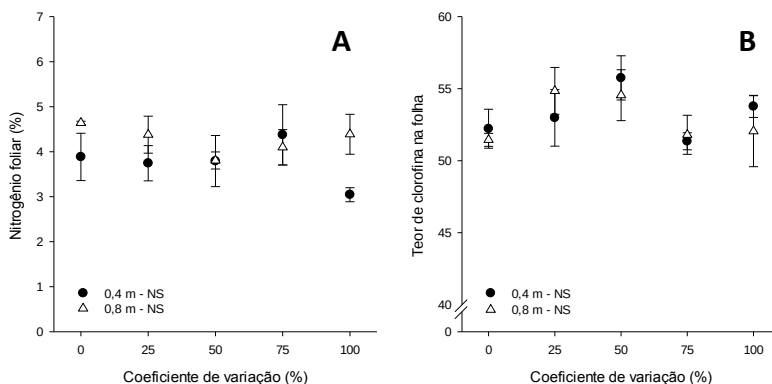
4.3.2 Nitrogênio na folha índice e teor relativo de clorofila

Os valores do teor de nitrogênio da folha índice a durante o espigamento variaram pouco e não foram afetados significativamente pelo coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, nos dois espaçamentos entre-linhas (Figura 34A). Observou-se um valor médio para esta variável de 3,9% no ensaio.

Também não foram verificadas diferenças significativas para os teores de clorofila na folha índice através da avaliação com clorofilometro para os diferentes arranjos entre plantas testados no experimento (Figura 34B). O teor médio observado no experimento foi de $54 \mu\text{g cm}^{-2}$.

Os dados da Figura 34 indicam que o incremento do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas nas linhas não interferiu na sua capacidade de absorver nitrogênio do solo, transportá-lo até a folha índice e de utilizar o N absorvido na formação da clorofila.

Figura 34. Teor de nitrogênio (A) e teor relativo de clorofila (B) da folha índice no florescimento do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

4.3.3 Índice de área foliar e senescência foliar

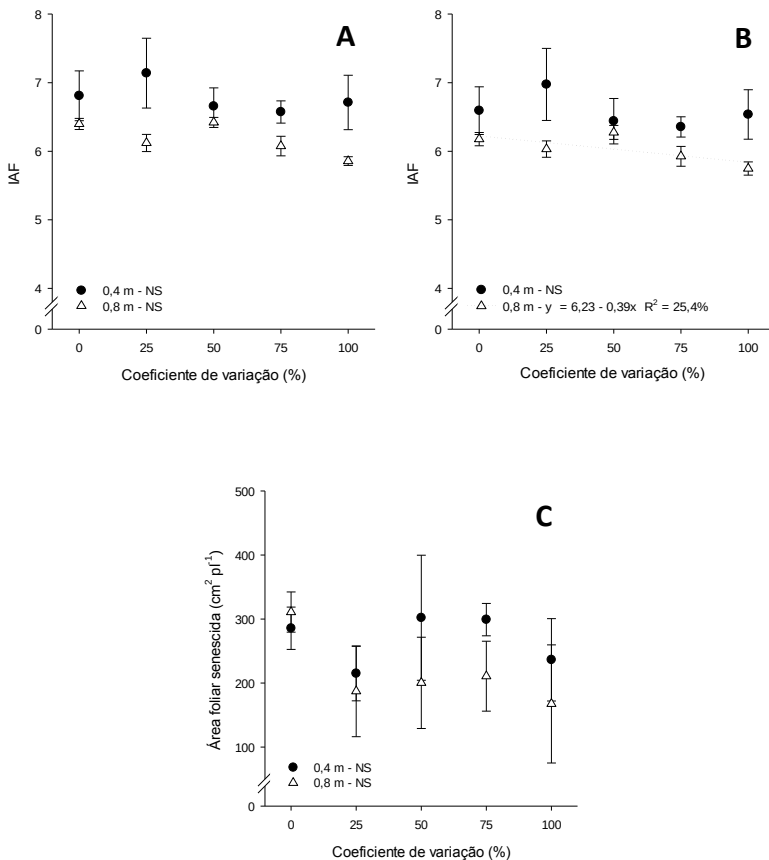
O índice de área foliar (IAF) da cultura no espigamento não diferiu significativamente entre as desuniformidades do espaço entre plantas na linha e entre os espaçamentos entre-linhas testados (Figura 35A). A área foliar senescida no espigamento também não se alterou quando a desuniformidade espacial na distribuição das plantas na linha aumentou (Figura 35C).

Por outro lado, com a evolução do ciclo observou-se redução linear do IAF estimado 30 dias após o espigamento no espaçamento entre-linhas de 80 cm, conforme aumentou o coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas (Figura 7B). Nesse caso, a maior uniformidade na distância entre as plantas

na linha possibilitou que maior área foliar fotossinteticamente ativa se mantivesse até o estágio R3, data em que esta estimativa foi feita. Essa característica pode colaborar para que maior quantidade de fotossintatos seja conduzida aos grãos até sua maturação fisiológica.

Segundo Weinig (2000) e Liu et al. (2009), as plantas têm a capacidade de sentir a proximidade de seus vizinhos e alterar o crescimento através de respostas às mudanças na qualidade de luz, utilizando receptores fitocromo que são sensíveis a comprimentos de onda vermelho. A proximidade entre plantas na linha de cultivo quando a desuniformidade entre o espaçamento entre plantas dentro da linha de cultivo possivelmente tenha alterado a quantidade e qualidade de radiação luminosa interceptada por cada planta individualmente.

Figura 35. Índice de área foliar (IAF) no espigamento (A) e 30 dias (B) após o florescimento e área foliar senescida no florescimento do milho (C) em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.

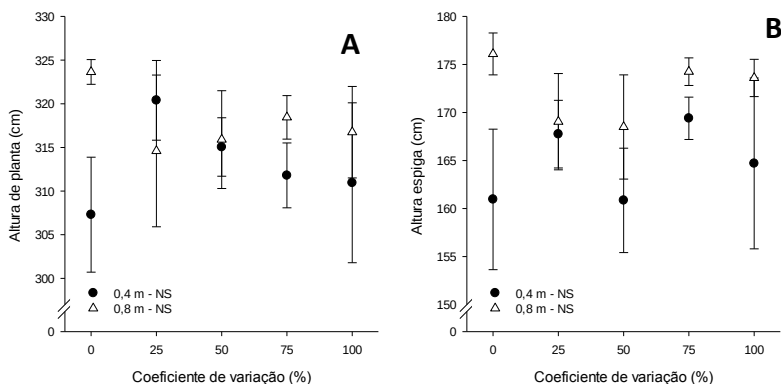
Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

4.3.4 Estatura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de colmo, acamamento e quebra de plantas

O acúmulo de plantas em pontos específicos dentro da linha de cultivo decorrente do incremento do coeficiente de variação na distribuição espacial não afetou significativamente a estatura das plantas, a altura de inserção da espiga e o diâmetro de colmo (Figuras 36 e 37). Esses dados mostram que as condições propostas no ensaio para testar as desuniformidades entre plantas dentro da linha, tais como escolha do híbrido, investimento em insumos e práticas culturais, podem ter mitigado o estresse ocasionado pela variabilidade espacial.

Figura 36. Estatura de plantas (A) e altura de inserção de espigas (B) do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



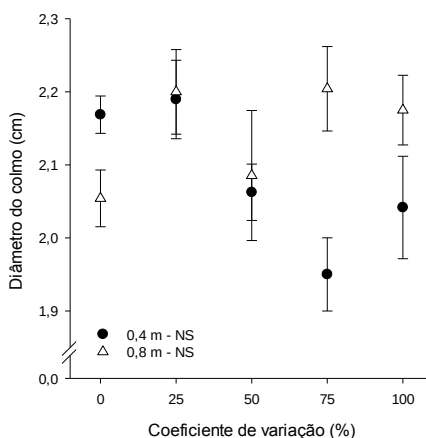
NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Neste sentido, a uniformidade do desenvolvimento das plantas pode ter sido ocasionada pelo híbrido utilizado no experimento, pelo elevado nível de fertilidade do solo e pela utilização de irrigação, fatores que reduziram a competição dentro da comunidade de plantas do ensaio. O P30R50 é um híbrido moderno, que apresenta recomendação de cultivo em densidades superiores a 7 plantas por m^{-2} . A maior tolerância dos híbridos modernos de milho a condições de estresse ocasionados principalmente pelo aumento da densidade de cultivo e redução no espaçamento entre-linhas de cultivo Tollenaar & Lee (2002); Duvick et al. (2005).

Figura 37. Diâmetro do primeiro entrenó estendido acima do nível do solo do colmo do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



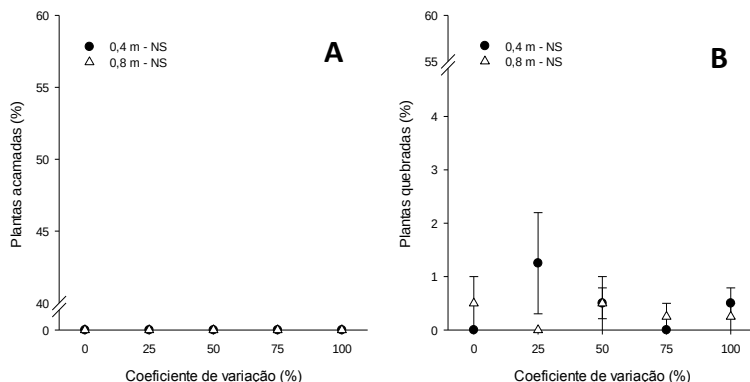
NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a percentagem de plantas acamadas e quebradas (Figura 38). Não foram contabilizadas plantas acamadas para nenhum tratamento testado. A percentagem de plantas quebradas manteve-se abaixo de 2% todas as desuniformidades avaliadas nos dois espaçamentos entre-linhas.

Figura 38. Plantas acamadas (A) quebradas (B) de milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

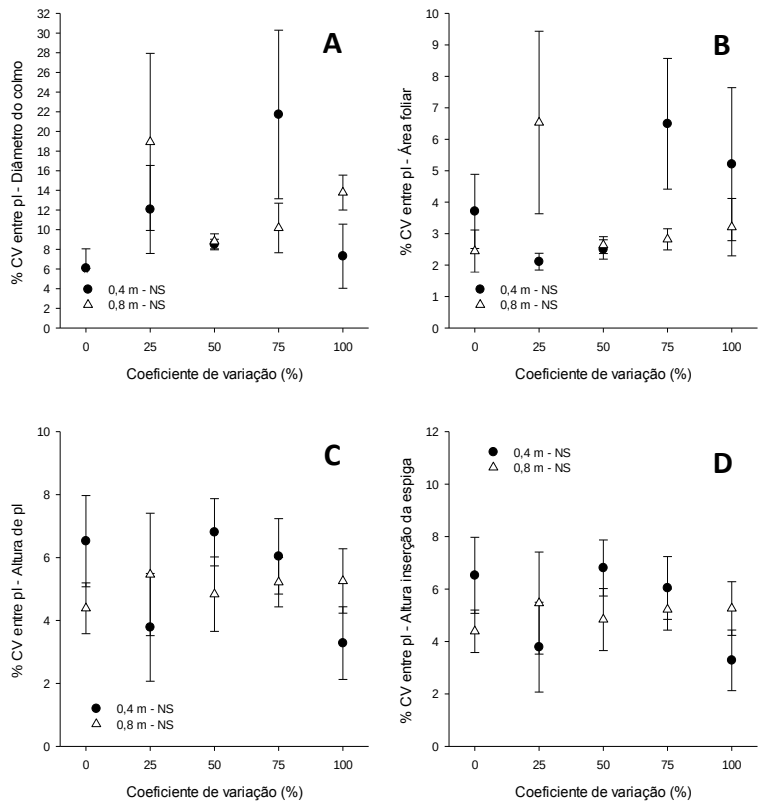
Fonte: O Autor (2014).

4.3.5 Coeficiente de variação entre plantas para características morfológicas

Apesar do incremento na variabilidade espacial da distribuição das plantas ter sido concebido para induzir a presença de plantas dominantes e dominadas dentro da linha, o coeficiente de variação entre as plantas não foi afetado pelos tratamentos para o

diâmetro do colmo (Figura 39A), IAF no florescimento (Figura 39B) (Figura 8B), altura de planta (Figura 39C) e altura de inserção de espigas (Figura 39D). A adaptação do híbrido aos tratamentos testados nas condições de investimento existentes pode ter contribuído para uma maior uniformidade entre as plantas neste caso. Normalmente são associadas maiores uniformidades de plantas para híbridos mais recentes que os utilizados no passado.

Figura 39. Coeficiente de variação entre plantas observado para o diâmetro do colmo, índice de área foliar no florescimento, altura de plantas e inserção de espigas do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.
Barras verticais representam o erro padrão.
Fonte: O Autor (2014).

4.3.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

O rendimento de grãos médio do experimento foi de $15.900 \text{ kg ha}^{-1}$ e apresentou uma amplitude de 2.900 kg ha^{-1} entre a menor e maior produtividade média observada.

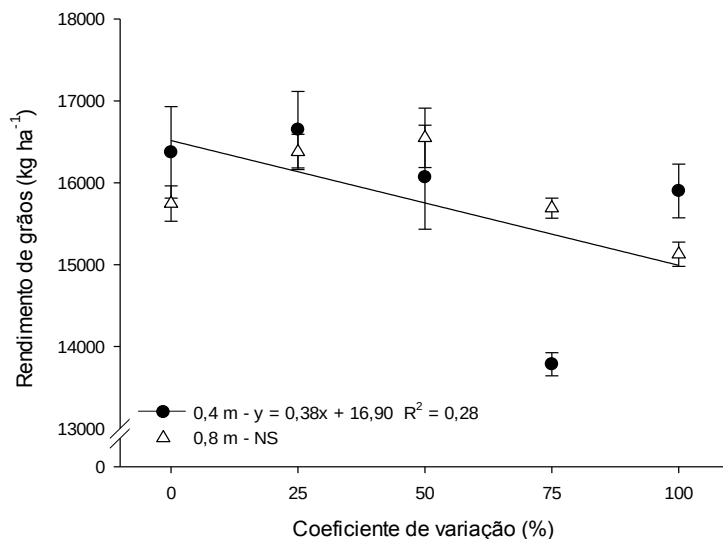
O rendimento foi afetado pelo nível de desuniformidade em que as plantas dentro da linha de cultivo no espaçamento de 40 cm (Figura 40). Neste caso, a produtividade decresceu linearmente com o aumento da desuniformidade espacial. Para cada 10 cm de aumento no CV houve um decréscimo de 169 kg no rendimento de grãos. Este resultado confirmou as informações obtidas por Nielsen (2004) e Doerge et al. (2004), em trabalhos conduzidos nos Estados Unidos. Ele também corroborou as informações reportadas por Sangoi et al (2010) na mesma área experimental, que observaram decréscimos na produtividade de 83 kg ha^{-1} para cada incremento de 10% no CV da distribuição espacial. Por outro lado, não se constatou efeito significativo da variabilidade espacial na linha quanto se cultivou o milho no espaçamento de 80 cm.

A utilização de espaçamentos entre-linhas reduzidos (40 cm) propiciou maior rendimento de grãos ao milho do que no espaçamento convencional (80 cm) quando as plantas estavam uniformemente distribuídas na linha a uma distância de 34 cm no espaçamento reduzido e de 17 cm no convencional (Figura 40). Esta vantagem produtiva não ocorreu quando se aumentou a variabilidade na distribuição espacial das plantas nos sulcos de semeadura. Isto demonstra que há maior perspectiva de utilizar espaçamentos reduzidos como estratégia para aumentar o rendimento de grãos do

milho em lavouras nas quais as plantas estão uniformemente distribuídas nos sulcos de semeadura.

Deve-se destacar que a irregularidade na distribuição espacial não foi um fator determinante para limitar o potencial produtivo da cultura, pois o rendimento de grãos foi superior a $15.000 \text{ kg ha}^{-1}$ mesmo nos tratamentos com 100% de coeficiente de variação na distribuição das plantas no sulco de semeadura nas condições experimentais utilizadas.

Figura 40. Rendimento de grãos do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.

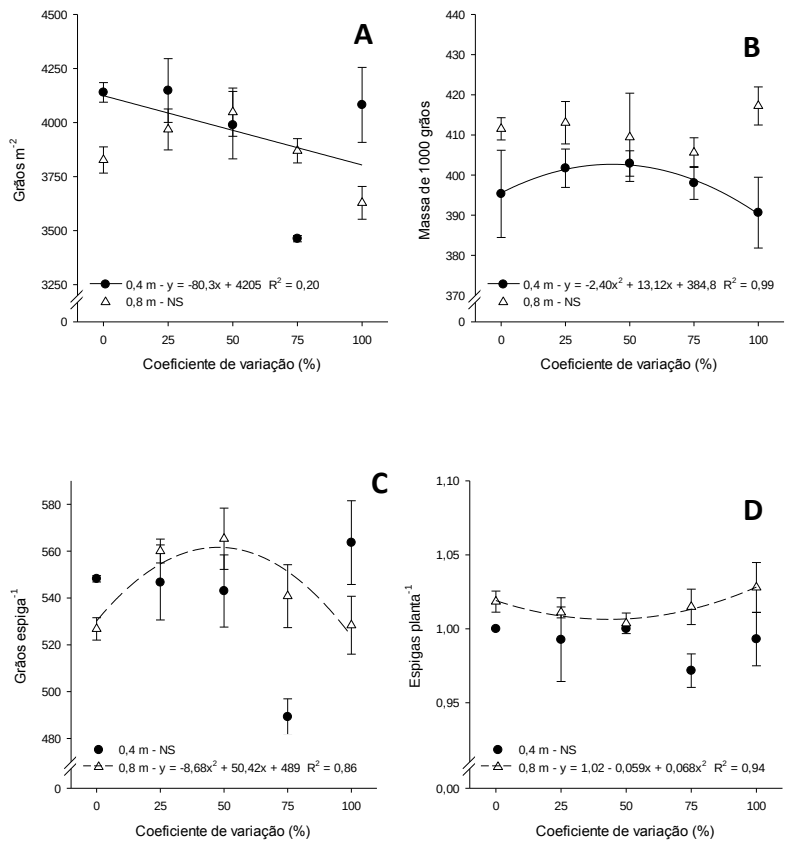
Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

A redução do rendimento com o aumento da desuniformidade na distância entre plantas ocorreu

principalmente pela redução no número de grãos produzidos por unidade de área (Figura 41A). O número de grãos por m^{-2} reduziu linearmente com o aumento na desuniformidade da distância em que as plantas foram submetidas dentro da linha de cultivo. Apesar da massa de grãos ter sido afetada de forma significativa para o menor espaçamento entre-linhas (Figura 41B), as variações observadas neste componente do rendimento foram pequenas, apresentaram uma resposta quadrática e não contribuíram para os decréscimos de produtividade advindos do incremento na variabilidade espacial.

Figura 41. Componentes do rendimento de grãos do milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.
Barras verticais representam o erro padrão.
Fonte: O Autor (2014).

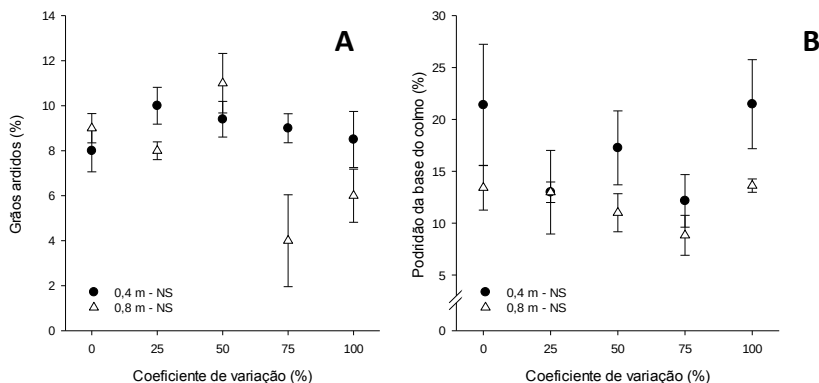
No espaçamento maior entre-linhas, 80 cm, o número de grãos por espiga e o número de espigas por plantas foram afetados pelo efeito da desuniformidade

(Figura 41C e 41D), mas este efeito também não foi suficientemente intenso a ponto de alterar a quantidade de grãos produzida por hectare nas desuniformidades espaciais testadas no experimento. Quando a produção de espigas foi menor por planta, isto foi compensado pela maior produção de grãos por espiga, reduzindo o efeito desses componentes do rendimento sobre o rendimento de grãos da cultura.

4.3.7 Incidência de grãos ardidos e de podridões da base do colmo

Para todos os arranjos entre plantas testados houve incidência de grãos ardidos e podridões da base do colmo. A percentagem de grãos ardidos observada variou de 1,9 a 12,2%, sendo registrada uma média de 7,8% de grãos ardidos no experimento (Figura 42A). Apesar disso, uma maior variação da distribuição espacial das plantas na linha de cultivo não proporcionou aumento na incidência de grãos ardidos no experimento.

Figura 42. Porcentagem de grãos ardidos (A) e incidência de podridões da base do colmo (B) de milho em função do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas, em dois espaçamentos entre-linhas. Lages, SC, 2010/2011.



NS – Não significativo.

Barras verticais representam o erro padrão.

Fonte: O Autor (2014).

A incidência de podridões da base do colmo variou de 7,3 a 27,1%. A média de incidência no experimento foi de 14,5% (Figura 42B). A densidade de plantas usada no experimento (72.000 pl ha⁻¹), recomendada para o híbrido P30R50, pode ter colaborado para a ausência de diferenças significativas entre os arranjos de plantas testados no experimento para uma maior incidência de grãos ardidos e podridões da base do colmo, mesmo quando ocorreu irregularidade na distribuição de plantas dentro da linha de cultivo.

4.3.8 Considerações finais

Este trabalho foi concebido com base na hipótese de que o aumento da desuniformidade espacial

na distribuição dos indivíduos na linha de semeadura fomenta o aparecimento de plantas dominadas, principalmente nos locais onde elas estão muito próximas. Estas plantas dominadas teriam seu desenvolvimento fenológico comprometido, retardando o espigamento, reduzindo o teor de N e de clorofila da folha índice, o IAF da cultura na floração, a estatura de planta, a altura de inserção de espiga, o diâmetro de colmo e a produtividade.

Os resultados do experimento demonstraram que o aumento do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas não interferiu no intervalo antese-espigamento, não alterou o teor de N e clorofila da folha índice, não afetou a estatura da planta, a altura de inserção de espiga e o diâmetro do colmo. Além disto, também não houve incremento no coeficiente de variação das plantas para IAF, estatura de plantas e altura de inserção de espigas. Este conjunto de dados indica que as condições favoráveis de clima, solo, manejo e o híbrido utilizado no trabalho contribuíram para mitigar o efeito da competição intraespecífica dentro da comunidade, mesmo nos tratamentos com 75 e 100% de coeficiente de variação na distribuição espacial.

Contudo, apesar da ausência de efeito significativo da desuniformidade espacial para a grande maioria das variáveis fenológicas, morfológicas e fisiológicas mensuradas antes da colheita, o rendimento de grãos decresceu linearmente com o aumento da variabilidade espacial no espaçamento entre-linhas de 40 cm. Isto indica que a distribuição espacial irregular das plantas na linha pode comprometer a produtividade do milho, mesmo que a cultura não externe sintomas morfológicos e fenológicos que evidenciem claramente a presença de plantas dominadas dentro do dossel.

4.4 CONCLUSÕES

O aumento na variabilidade espacial na distribuição das plantas de milho na linha de semeadura não interferiu nas características fenológicas, morfológicas e fisiológicas mensuradas antes da colheita, mas reduziu o rendimento de grãos do milho quando este foi cultivado no espaçamento entre-linhas de 40 cm.

5 CONCLUSÃO GERAL

O milho é cultivado nos mais diversos arranjos entre plantas possíveis. Principalmente a densidade de cultivo e o espaçamento entre-linhas são as modificações mais comumente encontradas. Os arranjos utilizados dependem de fatores locais, culturais e de cultivo. Os dois primeiros estão mais intimamente ligados ao conhecimento passado de geração em geração e o último ao avanço tecnológico advindo da pesquisa gerada nas universidades, instituições públicas e privadas de pesquisa e pelas empresas ligadas a cultura do milho.

A indicação de arranjo de plantas em milho vem sendo alterada na medida em que ocorrem modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica advindos dos programas de melhoramento da cultura. Alterações no arranjo de plantas podem ser possíveis quando se estabelecem novos paradigmas para o cultivo do milho, por meio de incremento nas condições de cultivo como adubação, irrigação e manejo de pragas, doenças e plantas daninhas.

O objetivo deste trabalho foi testar as principais formas de manipulação do arranjo entre plantas de milho, sob condições edafoclimáticas similares. Dessa

forma, buscando identificar as melhores estratégias de distribuição espacial para garantir melhor rendimento da cultura quando dimensionada para alcançar altos tetos produtivos, no caso deste conjunto de experimentos, 18 toneladas de grãos ha^{-1} .

A primeira hipótese do trabalho foi de que a combinação entre o aumento da densidade de cultivo e a redução do espaçamento aumentariam o rendimento de grãos da cultura do milho. Essa hipótese foi confirmada no primeiro experimento, onde o rendimento foi maior quanto maior a densidade utilizada nos dois espaçamentos entre de 40 e 80 cm entre-linhas.

Além disso, houve interação entre a densidade e o espaçamento entre-linhas. Nesse caso, quando maior a densidade de cultivo, de 3 para 11 plantas por metro quadrado, a diferença entre os valores de rendimento de grãos entre os espaçamentos na mesma densidade foi maior quanto maior foi o adensamento. Nessa condição de cultivo, onde as plantas estão mais uniformemente distribuídas na lavoura no espaçamento de 40 cm, a competição intraespecífica foi menor, e a soma da produção dos indivíduos na lavoura maior. Dessa forma, a combinação entre alta densidade e espaçamento entre-linhas reduzido otimizou o aproveitamento do ambiente, possibilitado a produção de grãos que superaram o valor de 18,0 toneladas de grãos por hectare. Se for tomado como base o rendimento médio obtido no Brasil, de 5,12 toneladas por hectare na safra 2012/13, esse fato mostra sua importância no sentido de que existe uma lacuna entre o rendimento observado e o potencial de rendimento de grãos a ser obtido em uma mesma área de cultivo. No caso desse experimento combinando investimento, redução no espaçamento entre as linhas e o aumento da densidade de cultivo.

No segundo experimento, o objetivo principal foi verificar se a redução do espaçamento entre-linhas e a utilização de linhas gêmeas são estratégias para aumentar a produtividade do milho, em ambientes de alto manejo e com estandes adensados. Neste caso, a redução do espaçamento entre-linhas de 100 para 40 cm ou a utilização de linhas gêmeas não alterou significativamente o rendimento do experimento. As condições ambientais favoráveis, advindas do investimento em insumos e práticas de manejo, como irrigação, contribuiu para que o IAF se mantivesse semelhante entre os arranjos entre-linhas durante o primeiro mês do rendimento de grãos. Esse fato mitigou os benefícios potenciais da redução do espaçamento entre-linhas e da utilização de linhas gêmeas como estratégia de manejo do arranjo entre plantas para incrementar o desempenho agronômico do milho.

A manipulação do arranjo entre-linhas é uma estratégia que deve ser lembrada em conjunto a outras práticas de manipulação do arranjo entre plantas, como aumento da densidade. Individualmente, o ajuste da forma como as linhas de cultivo se relacionam, mais próximas ou mais distantes, pode não representar maior quantidade de grãos colhida quando alterada.

Além da distância entre as linhas e entre as plantas dentro da linha, a uniformidade das plantas dentro da linha é outro aspecto relevante. A uniformidade pode ser no desenvolvimento ou na distância de distribuição das plantas dentro da linha. Uniformidade teoricamente garante mesmas condições entre os indivíduos na competição por água, luz e nutrientes. O terceiro e quarto experimentos desse trabalho investigaram esse tema.

Quando foi testada desuniformidade no desenvolvimento entre os indivíduos dentro da linha,

simulando uma germinação desigual no tempo, esperava-se que alguns indivíduos se sobressaíssem sobre os outros pela competição intraespecífica, reduzindo o rendimento. Uma maior desuniformidade fenológica contribuiu para que ocorressem plantas dominadas dentro da comunidade quando a desuniformidade foi alta. Nessa situação, houve aumento no intervalo entre antese e espigamento, redução da área foliar durante o enchimento de grãos e redução no diâmetro médio de colmos. A pior sincronia entre o florescimento masculino e feminino, o menor índice de área foliar e a menor quantidade de reservas do colmo durante o enchimento de grãos dos tratamentos com maior desuniformidade fenológica das plantas reduziu o número de grãos produzidos por espiga e a produtividade quando a cultura foi implantada com maior espaçamento entre-linhas (80 cm). Nesse caso, vale lembrar que apesar da alteração do espaçamento entre-linhas em si não afetar o rendimento no caso do experimento anterior, o uso de menor espaçamento entre-linhas (40 cm), contribuiu para que os efeitos da emergência desuniforme sobre o rendimento de grãos.

A desuniformidade na distribuição das plantas dentro da linha, na distância, foi testada no quarto experimento. Esse é uma característica que ocorre nas lavouras e está relacionada com a qualidade da prática de semeadura, as condições do solo e do equipamento utilizado. A hipótese do ensaio era de que maiores desuniformidades na distância entre as plantas dentro da linha contribuíssem para que houvessem plantas dominadas dentro da comunidade, com menor produção individual, reduzindo o rendimento de grãos. Os resultados do experimento demonstraram que o aumento do coeficiente de variação na distribuição espacial das plantas não interferiu no intervalo antese-espigamento,

não alterou o teor de N e clorofila da folha índice, não afetou a estatura da planta, a altura de inserção de espiga e o diâmetro do colmo. Além disto, também não houve incremento no coeficiente de variação das plantas para IAF, estatura de plantas e altura de inserção de espigas. Este conjunto de dados indica que as condições favoráveis de clima, solo, manejo e o híbrido utilizado no trabalho contribuíram para mitigar o efeito da competição intraespecífica dentro da comunidade, mesmo nos tratamentos com 75 e 100% de coeficiente de variação na distribuição espacial. Contudo, apesar da ausência de efeito significativo da desuniformidade espacial para a grande maioria das variáveis fenológicas, morfológicas e fisiológicas mensuradas antes da colheita, o rendimento de grãos decresceu linearmente com o aumento da variabilidade espacial no espaçamento entre-linhas de 40 cm. Isto indica que a distribuição espacial irregular das plantas na linha pode comprometer a produtividade do milho, mesmo que a cultura não externar sintomas morfológicos e fenológicos que evidenciem claramente a presença de plantas dominadas dentro do dossel.

Os experimentos foram realizados para testar as formas de arranjo entre plantas mais comuns nas lavouras. Foram elas a densidade de cultivo e o espaçamento entre-linhas, que são escolhas durante o planejamento do cultivo e desuniformidades no desenvolvimento e no espaço entre as plantas dentro da linha, que são consequências principalmente de práticas inadequadas. Nesse sentido, a densidade é a forma de arranjo que apresenta maior efeito sobre o rendimento da cultura do milho. Isso demonstra a dependência do rendimento ao número de indivíduos produzindo em uma mesma unidade de área, advindo da baixa plasticidade das plantas de milho em produzirem mais espigas ou grãos, assim como maior acúmulo de massa nos grãos

individualmente quando o ambiente é favorável pela baixa competição intraespecífica em baixa densidade. Apesar da alteração da forma como as linhas estão dispostas na lavoura ter interferido pouco no rendimento, a redução no espaçamento entre as linhas quando relacionada a densidade e a uniformidade, pode otimizar o uso dos recursos do ambiente, resultando em uma maior produção de grãos em cultivos adensados ou uma menor flutuação do rendimento observado quando ocorrem desuniformidades entre as plantas dentro da linha de cultivo.

O arranjo entre as plantas é o primeiro ajuste definido para o manejo da cultura. Ele vai ser definido com a escolha do cultivar e aos equipamentos de cultivo que serão utilizados durante o ciclo da cultura, desde a semeadura até a colheita. Essa escolha, antes mesmo das sementes serem depositadas ao solo, interfere nos manejos necessários durante o cultivo, na uniformidade entre as plantas, e vai se relacionar diretamente com o rendimento de grãos da cultura do milho.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; ENDER, M. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 23-29, 2000.

ANDRADE, F. H.; et al. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. **Crop Science**, Madison, v. 42, p. 1173-1179, 2002.

ANDRADE, F. H.; OTEGUI, M. E., VEGA, C. R. C. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 1, p. 92-97, 2000.

ANDRADE, F.H.; ABBATE, P.E. Response of Maize and Soybean to Variability in Stand Uniformity. **American Society of Agronomy**. Madison, v.97, p. 1263-1269, 2005.

ANDRADE, F.H.; SADRAS, V.O. **Bases para el manejo del maiz, el girassol e la soja**. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 443p., 2003.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v. 31, p. 1075-1084, 2001.

BALEM, Z. **Avaliação de espaçamento convencional e linhas gêmeas sob densidade populacional para cultura do milho.** Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 70p., 2013.

BALLARÉ, C. L.; CASAL, J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 149-160, 2000.

COBUCCI, T. **Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão.** 1991. 94 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

COGO, N.P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Solo, 27:743-753, 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** SBRS-Núcleo Regional Sul, Passo Fundo. 179 p., 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento.** Brasília: Conab, jan. 2014.

COX, W.J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p. 489-496, 1996.

COX, W.J. and D.J. CHERNEY. 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. **Agronomy Journal**. p. 597-602, 1993.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DOEBLEY, J.; STEC, A.; HUBARD, L. The evolution of apical dominance in maize. **Nature**, v. 386, p. 485-488, 1997.

DOERGE, T.; HALL, T.; GRADNER, D. **New research confirms benefits of improved plant spacing in corn. Crop insights**, v.12, 2004. Disponível on line em: <http://pioneer.com.usa/agronomy/corn/1202.htm>.

DUVICK, D.N.; CASSMANN, 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.

ECHARTE, L.; ANDRADE, F.H. Harvest index stability of argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**. 82:1-12, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília. EMBRAPA, 412p. 1999.

FARNHAM, D. E. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. **Agronomy Journal**. 93:1049-1053, 2001.

INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA A CULTURA DO MILHO NO RS. Porto Alegre: FEPAGRO, EMATER/RS, FECOAGRO/RS, UNIJUÍ. julho, 15p., 2011.

JESCHKE, M. R. **Managing corn for greater yield.** Crop Insights Vol. 24, No. 2. DuPont Pioneer, Johnston, IA. 2014.

JORGE, J. A. **Solo: manejo e adubação.** 2° Ed. São Paulo. Nobel, 307p. 1983.

KASPERBAUER, M. J.; KARLEN, D. L. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 6, p. 1564-1569, 1994.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LIU, W., et al. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 3, p. 847-857, 2004.

LIU, W.; TOLLENAAR, M.; STEWART, G.; DEEN, W. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 3, p. 847-857, 2004.

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

MADDONI, G. A.; OTEGUI, M. E.; CIRILO, A. G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 183-193, 2001.

MADDONNI, G.A. & Otegui, M.E. Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 85, n.1, p1-13, 2004.

MANSFIELD, B. D.; MUMM R. H.. 2014. Survey of plant density tolerance in U.S. maize germplasm. **Crop Science**.v. 54 n. 1, p. 157-173, 2013.

MARTIN, K.L.et al. Plant-to-plant variability in corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 6, p.1603-1611, 2005.

MEROTO Jr., A.; SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; ENDER, M. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, v.29, p.595-601, 1999.

MUNDSTOCK, C. M.; SILVA, P. R. F. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, 51p., 2005.

MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura no milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS/ASCAR, 35p., 1977.

MUNDSTOK, C.M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: UFRGS, 228p., 1999.

NAFZIGER, E.D.; CARTER, P.R.; GRAHAM, E.E. Response of corn to uneven emergence. **Crop Science**. 31:811-815, 1991.

NIELSEN, B. **Effect of plant spacing variability on corn grain yield**. 2004. Disponível on line em: <http://www.kingcorn.org/research/psv/Update2004.html>.

NUMMER FILHO, I.; HENTSCHEKE, C. W. **Redução do espaçamento entre-linhas na cultura do milho**. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, n. 92, 2006.

OTTMAN, M.J.; WELCH, L.F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.2, p.167-174, 1989.

PEIXOTO, C.M.; SILVA, P.R.F. da; REZER, F., et al. Produtividade de híbridos 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, 1997.

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**, v. 02, n. 02, p. 52-60, 2003.

PINTO, N.F.J. de A.; FERNANDES, F.T.; OLIVEIRA, E. Milho. In: VALE, F.X.R., ZAMBOLIM, L. (Eds). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Fitopatologia, Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, p.821-863, 1997.

RAJCAN, I.; SWANTON, C.J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, Amsterdam.V. 71, 139-150, 2001.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; STRIEDER, M.L; DELATORRE, C.A.; BAYER, C.; ARGENTA, G. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p401-409, 2008.

REIS, E.M. & CASA, R.T. Milho: Manejo integrado de doenças. In: Fancelli, A.L. & Dourado Neto, D. (Eds). **Milho: tecnologia e produtividade**. Piracicaba. ESALQ/LPV, p. 223-237, 2001.

REIS, E.M.; CASA, R.T. **Manual de identificação e controle de doenças do milho**. Passo fundo: Aldeia Norte. 80p., 1996.

RITCHIE, S. W. et al. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology (Special Report, 48). 26p., 1993.

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.; ALMEIDA, M.L.; GRACIETTI, M.; BIANCHET, P.; HORN, D. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.1, n.2, p. 1, 2002.

SANGOI, L.; SALVADOR, R.J. **Os primeiros passos na evolução do milho: um tema controvertido**. Universidade & Desenvolvimento, Florianópolis, v. 3, n. 2, p. 33-70, 1996.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.3, p. 263-271, 2007.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P.R.F.; SCHMITT, A.; Vargas, V.P., CASA, R.T.; SOUZA, C.A. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.5, v. 46, p. 609-616, 2011.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F. Arranjo de plantas e desempenho agrônômico do milho. **A Cultura do milho em Santa Catarina**, Florianópolis, 1 ed., p.115-162, 2010.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F. Alta densidade e espaçamento entre-linhas reduzido em milho. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 87, n. 7, p. 10-15, 2006.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho**. Lages: Graphel, 64p., 2010.

SERPA, M. S. et al. Redução do espaçamento entre-linhas no milho na época de semeadura do cedo da Depressão Central do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO, 53ª, 2008, Pelotas. **Atas e Resumos**, CD-ROM. Pelotas:Embrapa, 2008.

SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Fatores determinantes da escolha da densidade de plantas em milho. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, IV, 2003, Lages, SC. **Resumos Expandidos...** Lages: CAV-UDESC, p.25-29, 2003.

SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; STRIEDER, M.L.; ARGENTA, G. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 64p., 2006.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P. R. P.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A.A.; ENDRIGO, P. C. Crop management systems and maize grain yield under narrow row spacing. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 346-353, 2008.

TAIZ, L. and ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Tradução Eliane Romanato Santarém, et al. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TOKATLIDIS, I. S.; KOUTROUBAS, S. D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 103-114, 2004.

TOLLENAAR, M. **Is low plant density a stress in maize?** Maydica, Bergamo, v. 37, p. 305-311, 1992.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, v. 39, p. 1597-1604, 1999.

TOLLENAAR, M.; LEE, E. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 75, n.1, p. 161-169, 2002.

USDA (United States Department of Agriculture). **Notícias agrícolas**. 2013. Disponível em: <<http://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/usda/>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

VALENTINUZ, O. R.; TOLLENAAR, M. Vertical profile of leaf senescence during the grain filling period in older and newer maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 3, p. 827-834, 2004.

VARGAS, V. P. **Manejo da adubação nitrogenada na recuperação de estresses em milho**. Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Lages, 145 p., 2010.

VEGA, C. R. C.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 72, p. 165-173, 2001.

WERLE, A. J. K. et al. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (Bt), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.1, p.150-159, 2011.

WHITE, D.G. **Compendium of corn diseases**. Third Edition. The American Phytopathological Society. APS press, 3 ed., 78p, 1999.

ZANIN, C. G. **Área foliar, senescência e uniformidade de desenvolvimento na adaptação ao adensamento de plantas de cultivares de milho com bases genéticas contrastantes**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages, 94p., 2007.