

CLAITSON GUSTAVO ZANIN

**ÁREA FOLIAR, SENESCÊNCIA E UNIFORMIDADE DE
DESENVOLVIMENTO NA ADAPTAÇÃO AO ADENSAMENTO DE
PLANTAS DE CULTIVARES DE MILHO COM BASES GENÉTICAS
CONTRASTANTES**

LAGES, SC

2007

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CURSO DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

CLAITSON GUSTAVO ZANIN

**ÁREA FOLIAR, SENESCÊNCIA E UNIFORMIDADE DE
DESENVOLVIMENTO NA ADAPTAÇÃO AO ADENSAMENTO DE
PLANTAS DE CULTIVARES DE MILHO COM BASES GENÉTICAS
CONTRASTANTES**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Ph.D. Luis Sangoi

LAGES, SC

2007

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Zanin, Claitson Gustavo
Área foliar, senescênciā e uniformidade de
desenvolvimento na adaptação ao adensamento de plantas
de cultivares de milho com bases genéticas contrastantes /
Claitson Gustavo Zanin – Lages, 2007.
93 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC.

1.Milho. 2. Plantas - Densidade. 3. Milho – Rendimento.
4. Milho - Morfologia. 5. Fenologia vegetal. I.Título.

CDD – 633.15

CLAITSON GUSTAVO ZANIN

**ÁREA FOLIAR, SENESCÊNCIA E UNIFORMIDADE DE
DESENVOLVIMENTO NA ADAPTAÇÃO AO ADENSAMENTO DE
PLANTAS DE CULTIVARES DE MILHO COM BASES GENÉTICAS
CONTRASTANTES**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovado em: _____ **Homologada em:** _____

Pela Banca Examinadora:

Por:

Ph.D. Luis Sangoi
Orientador
UDESC

Dr. Ricardo Trezzi Casa
Coordenador do Programa de Mestrado em
Produção Vegetal

Ph.D. Paulo Régis Ferreira da Silva
UFRGS

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias

Dr. Clovis Arruda de Souza
UDESC

Dr. Ricardo Trezzi Casa
UDESC

*Aos meus pais, Jovino Zanin e Anirce
Zanin (In Memoriam), pelo amor,
educação, apoio e proteção em cada
momento da minha vida,
Ofereço e dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade do plantio e a graça da colheita todos os dias.

À minha noiva Tayse Burger Neto, pelo amor, conforto, encorajamento e principalmente por aceitar e acreditar na realização dos sonhos que se tornaram comuns. Eu te amo!

Ao meu pai, por toda sua dedicação incondicional na minha educação. Serei sempre grato!

Aos meus irmãos, Róbinson, Diagora e Uliana Maria, meus sobrinhos, Eloá Maria e Alexandre, meu cunhado, e a Noêmia, pelo carinho, apoio e incentivo nesta caminhada.

A Osvaldo, Rozemari, Roberto e Gustavo pelo respeito e carinho.

Em especial, ao professor Luis Sangui (pai), por ter me aceito como orientado e a me confiar como filho, pela paciência, amizade, pelo exemplo de profissionalismo, e pela enormidade de conhecimentos transmitidos. Muito obrigado!

Aos amigos (irmãos), Amauri do mestrado, e da iniciação científica Alexandre, Anderson, Ciro, Dario, Franchielli, Jéferson e Maxciel, pelo fundamental apoio, dedicação e companheirismo nas tarefas de campo e de laboratório, sem os quais teria sido impossível a realização deste projeto.

Aos colegas da pós-graduação, professores e funcionários do CAV, que de alguma forma contribuíram para esta conquista, obrigado!

À UDESC, pelo ensino gratuito e de qualidade, e à CAPES, pela concessão da bolsa.

RESUMO GERAL

O incremento na densidade de plantas é uma forma de maximizar a interceptação da radiação solar e o rendimento de grãos do milho. Contudo, ele também pode reduzir a atividade fotossintética da planta e a eficiência de conversão dos fotoassimilados à produção de grãos. Aumentos na tolerância de híbridos de milho ao adensamento têm sido reportados em diferentes regiões produtoras no mundo. Duas características que podem contribuir para isto são a senescência foliar mais lenta no enchimento de grãos e a maior uniformidade no crescimento e desenvolvimento das plantas durante o ciclo da cultura. Este trabalho foi conduzido com os objetivos de quantificar o efeito do incremento da população de plantas sobre a área foliar, o rendimento de grãos e o coeficiente de variação de características agronômicas de cultivares de milho com bases genéticas contrastantes. O experimento foi conduzido no município de Lages-SC. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas três cultivares de milho: uma variedade de polinização aberta (Fortuna), um híbrido duplo (Ag 303) e um híbrido simples (P30F53). Cinco populações de plantas foram avaliadas nas subparcelas: 25.000, 50.000, 75.000, 100.000 e 125.000 plantas ha⁻¹. O experimento foi implantado no dia 26 de outubro de 2005, com espaçamento entre linhas de 0,70 m. Quando a cultura estava com quatro folhas expandidas, marcou-se 10 plantas de cada subparcela que estivessem no mesmo estádio fenológico. Estas plantas foram utilizadas para as avaliações de área foliar, bem como para o acompanhamento do crescimento, determinando-se o coeficiente de variação para área foliar, estádio fenológico e estatura de planta. Estas variáveis foram avaliadas 10 vezes, nos estádios V4, V8, V12, V16, R1 (espigamento) e aos 14, 28, 42, 56 e 70 dias após o espigamento. Após a colheita, foram determinados o coeficiente de variação e a produção de grãos por planta, nas 10 plantas selecionadas. Além disso, determinou-se a produção de grãos na área útil, bem como os componentes do rendimento. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, ao nível de significância de 5% ($P<0,05$). As médias foram analisadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$), por regressão polinomial e por correlação linear. A reposta do rendimento de grãos das três cultivares ao incremento na densidade de plantas foi quadrática. O rendimento de grãos do híbrido simples (HS) foi maior e mais responsável ao incremento na população de plantas do que o híbrido duplo (HD) e da variedade de polinização aberta (VPA). As populações que otimizaram o rendimento de grãos foram de 86.665 plantas ha⁻¹, 53.044 plantas ha⁻¹ e 85.000 plantas ha⁻¹ para o HS, HD e VPA, respectivamente. O HS apresentou maior valor de área foliar do que as demais cultivares aos 56 dias após o espigamento, nas densidades superiores a 50.000 plantas ha⁻¹. Os maiores coeficientes de variação para produção de grãos por planta foram obtidos na densidade de 125.000 plantas ha⁻¹ e os menores na de 25.000 plantas ha⁻¹. O HS apresentou menor coeficiente de variação do que o HD e a VPA para estatura de planta e área foliar no espigamento, bem como para produção de grãos por planta. As maiores uniformidades morfológica e fenológica do HS provavelmente contribuiu para reduzir a competição intra-específica por água, luz e nutrientes, favorecendo o estabelecimento de um dreno mais forte logo após a floração. A maior demanda por fotoassimilados do HS

possivelmente favoreceu a manutenção da atividade fotossintética das folhas por um período mais longo, retardando a senescência foliar. Portanto, a senescência foliar mais lenta e o desenvolvimento uniforme das plantas contribuíram para o maior rendimento de grãos do HS e para as maiores diferenças de produtividade registradas entre o HS e o HD e a VPA nas densidades mais altas (75.000, 100.000 e 125.000 plantas ha⁻¹).

Palavras-chave: *Zea mays*; densidade de plantas; rendimento de grãos; componentes do rendimento; uniformidade morfológica e fenológica.

GENERAL SUMMARY

The increment in plant density is an alternative to maximize solar radiation interception and to increase maize grain yield. However, it can also reduce the crop photosynthetic activity and limit its efficiency to convert carbohydrates to grain production. Increases in maize hybrid's tolerance to crowding have been reported in different production areas around the world. Two traits that may contribute to this feature are the slower leaf senescence during grain filling and the higher uniformity in plant growth and development during the crop cycle. This work was carried out aiming to quantify the effects of plant population increment on the leaf area, grain yield and the variation coefficient of agronomic traits of maize cultivars with contrasting genetic variability. The trial was set in Lages, SC, Brazil. A randomized block experimental design disposed in split-plots was used. Three cultivars were evaluated in the main plot: an open-pollinated variety (Fortuna), a double-cross hybrid (Ag 303) and a single-cross hybrid (P30F53). Five plant populations were tested in the split-plot: 25,000, 50,000, 75,000, 100,000, and 125,000 plants ha^{-1} . The experiment was sowed on 10-26-2005, with a row spacing of 0.70 m. When the crop had four expanded leaves, 10 plants of each split-plot that were in the same growth stage were labeled. These plants were used to measure leaf area and to follow the crop growth, determining the variation coefficient of leaf area, growth stage and plant height. These variables were estimated 10 times, at the growth stages of V4, V8, V12, V16, R1 (silking) and 14, 28, 42, 56 and 70 days after silking. After harvesting, the variation coefficient and grain production per plant were determined based on the 10 selected plants. In addition to that, grain production and yield components were determined. The data were submitted to the variance analysis by the F test, at the 5.0% significance level ($P<0.05$). The means were compared by the Tukey's test ($P<0.05$), by polynomial regression and linear correlation. The response of grain yield to increment in plant population was quadratic, regardless of cultivar. Grain yield of the single-cross hybrid (SCH) was higher and more responsive to increase in plant density than grain yield of the double-cross hybrid (DCH) and the open-pollinated variety (OPV). The plant densities that optimized grain yield were 86,665 plants ha^{-1} , 53,044 plants ha^{-1} and 85,000 plants ha^{-1} for the SCH, DCH and OPV, respectively. The SCH presented higher leaf area values than the other cultivars 56 days after silking, when plant populations greater than 50,000 plants ha^{-1} were used. The highest variation coefficient value for grain production per plant was registered at 125,000 plants ha^{-1} and the lowest at 25,000 plants ha^{-1} . The SCH presented smaller variation coefficient than the DCH and OPV for plant height and leaf area at silking, and for grain yield per plant. The higher morphologic uniformity of the SCH probably contributed to reduce intra-specific competition for water, light and nutrients, establishing a stronger sink after flowering. The SCH greater demand for photosynthetic products possibly favored the maintenance of leaf activity for a higer period, delaying senescence. Therefore, the slower leaf senescence and the more uniform plant growth contributed to the SCH higher grain yield and to the higher productivity differences between the SCH and the other two cultivars in the highest plant densities (75,000, 100,000 e 125,000 plants ha^{-1}).

Keywords: *Zea mays*; plant densities; grain yield; yield components; morphologic and phenologic uniformity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura média mensal do ar durante o período compreendido entre outubro e abril, em Lages-SC.....	35
Tabela 2 – Resultados da análise de correlação entre rendimento de grãos e variáveis morfológicas, fenológicas e fisiológicas, na média de três cultivares de milho em cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	44
Tabela 3 – Estatura de planta de três cultivares de milho, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	46
Tabela 4 – Massa de mil grãos de três cultivares de milho, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	56
Tabela 5 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta de três cultivares de milho, em três estádios fenológicos (V12, V16 e R1), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	72
Tabela 6 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta em dois estádios fenológicos do milho (V16 e R1) em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.....	73
Tabela 7 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta de três cultivares de milho em cinco épocas de avaliação, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	74
Tabela 8 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta, em três épocas de avaliação, em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.	75
Tabela 9 – Coeficiente de variação (C.V.) do desenvolvimento fenológico de três cultivares de milho, em três estádios (V12, V16 e R1), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.....	76
Tabela 10 – Coeficiente de variação (C.V.) do desenvolvimento fenológico, em dois estádios de crescimento do milho (V16 e R1), em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.	77
Tabela 11 – Coeficiente de variação (C.V.) do número de folhas verdes por planta de três cultivares de milho, em dois estádios fenológicos (V16 e R1), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	78
Tabela 12 – Coeficiente de variação (C.V.) da estatura de planta de três cultivares de milho, em três estádios fenológicos (V8, V12 e V16), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	79
Tabela 13 – Coeficiente de variação (C.V.) da produção de grãos por planta de milho em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.	80
Tabela 14 – Coeficiente de variação (C.V.) da produção de grãos por planta de três cultivares de milho, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balanço Hídrico na área experimental da estação de crescimento 2005/06, segundo metodologia proposta por Thorntwaite & Mather (1955), considerando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm.	36
Figura 2 – Área foliar por planta no estádio V12 (A) e espigamento (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.	37
Figura 3 – Área foliar senesceda por planta no espigamento de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.....	39
Figura 4 – Área foliar por planta 14 dias (A), 28 dias (B), 42 dias (C) e 56 dias após espigamento (D) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.	41
Figura 5 – Área foliar senesceda por planta 56 dias após o espigamento de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.	43
Figura 6 – Duração do subperíodo antese-espigamento de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.....	45
Figura 7 – Acamamento (A) e quebra de colmos (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.....	48
Figura 8 – Esterilidade feminina (A) e índice de espiga (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.....	50
Figura 9 – Rendimento de grãos de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.	52
Figura 10 – Produção de grãos por área (A) e por espiga (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.....	54
Figura 11 – Massa de mil grãos em cinco populações de plantas, na média de três cultivares de milho. Lages, SC, 2005/06.....	56
Figura 12. Produção de grãos por planta de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.	81

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	6
GENERAL SUMMARY.....	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
SUMÁRIO.....	12
INTRODUÇÃO GERAL.....	14
1. CAPÍTULO I.....	20
IMPACTO DO INCREMENTO NA POPULAÇÃO DE PLANTAS NA ÁREA FOLIAR E NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE CULTIVARES DE MILHO.....	20
1.1 RESUMO.....	20
1. CHAPTER I.....	22
IMPACT OF THE INCREMENT IN PLANT POPULATION ON LEAF AREA AND GRAIN YIELD OF MAIZE CULTIVARS	22
1.1 SUMMARY	22
1.2 INTRODUÇÃO	24
1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
1.4.1 CLIMA.....	34
1.4.2 ÁREA FOLIAR	36
1.4.2.1 ÁREA FOLIAR ATÉ O FLORESCIMENTO	36
1.4.2.2 ÁREA SENESCIDA NO ESPIGAMENTO	38
1.4.2.3 ÁREA FOLIAR DURANTE O ENCHIMENTO DE GRÃOS	40
1.4.2.4 ÁREA SENESCIDA AO FINAL DO ENCHIMENTO DE GRÃOS	42
1.4.3 SUBPERÍODO ANTESE-ESPIGAMENTO.....	44
1.4.4 ESTATURA DE PLANTA	46
1.4.5 ACAMAMENTO E QUEBRA DE PLANTAS	47
1.4.6 ESTERILIDADE FEMININA E NÚMERO DE ESPIGA POR PLANTA.....	49
1.4.7 RENDIMENTO DE GRÃOS E COMPONENTES.....	52
1.5 CONCLUSÕES.....	59
2. CAPÍTULO II	60
UNIFORMIDADE NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS E TOLERÂNCIA AO ADENSAMENTO DE CULTIVARES DE MILHO.....	60
2.1 RESUMO.....	60

2. CHAPTER II.....	62
UNIFORMITY IN PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT AND TOLERANCE TO CROWDING OF MAIZE CULTIVARS	62
2.1 SUMMARY	62
2.2. INTRODUÇÃO	64
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
2.4.1 ÁREA FOLIAR POR PLANTA	72
2.4.1.1 VARIABILIDADE DA ÁREA FOLIAR POR PLANTA NOS PERÍODOS VEGETATIVO E ESPIGAMENTO	72
2.4.1.2 VARIABILIDADE DA ÁREA FOLIAR POR PLANTA NO PERÍODO DE FORMAÇÃO E ENCHIMENTO DE GRÃOS	73
2.4.1.3 ESTÁDIOS FENOLÓGICOS	75
2.4.1.4 NÚMERO DE FOLHAS VERDES POR PLANTA.....	77
2.4.1.5 ESTATURA DE PLANTA	78
2.4.1.6 PRODUÇÃO DE GRÃOS POR PLANTA.....	79
2.5 CONCLUSÕES.....	83
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

INTRODUÇÃO GERAL

A produção mundial de aproximadamente 692 milhões de toneladas, colhida numa área de cerca de 140 milhões de hectares (RIGON et al., 2006), coloca o milho (*Zea mays L.*) em lugar de destaque entre os três cereais mais produzidos que formam a base da alimentação humana no mundo. A importância dessa cultura ultrapassa as cifras geradas por sua produção. Contribuindo para estes valores numéricos estão desde o agricultor que cultiva o milho apenas para sua subsistência, aproveitando a ampla adaptabilidade da espécie, até os produtores que visam tetos produtivos para viabilizar a cultura. Consumindo sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas e tecnologias que alavancam a cadeia produtiva do milho.

O milho é um cereal com ampla diversidade de uso. Além do consumo “in natura”, nas mais variadas formas na alimentação humana, é empregado na alimentação animal, onde os grãos são utilizados como o principal componente de rações de aves e suínos. Na bovinocultura, é utilizado como volumoso, na forma de silagem de grão úmido ou de planta inteira. Além disto, seus diferentes componentes são amplamente empregados nas mais diversas indústrias, como é o caso da produção de etanol através dos grãos de milho.

A atual questão energética vem remodelando o fluxo de comercialização do milho uma vez que os Estados Unidos pretende dobrar sua produção de etanol até 2011 e para isso precisará aumentar sua produção destinada a esse fim de 54,6 para 90 milhões de toneladas de grãos de milho. Isto abrirá uma lacuna na oferta global de milho e espaço para o crescimento da produção e das exportações no Brasil (PIONEER SEMENTES, 2006).

Devido à demanda cada vez maior por alimentos promovida pelo aumento demográfico acentuado, estima-se a necessidade de 784 milhões de toneladas de milho para o ano de 2020 (ARGENTA et al., 2003a). Para suprir essa quantidade de milho seria necessário um aumento de área plantada na ordem de 1,5% ao ano. Como a taxa de crescimento está ao redor de 1,2% ao ano no mundo, fica evidente a necessidade de explorar e aumentar a produtividade dessa cultura, buscando novas tecnologias de manejo e o desenvolvimento de cultivares mais produtivas (ARGENTA et al., 2003a).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (RIGON et al., 2006), a safra nacional de milho 2005/06, apesar de ter enfrentado pelo terceiro ano consecutivo problemas com estiagem em alguns estados, principalmente da região sul, gerou aproximadamente 41,4 milhões de toneladas de grãos em 12,9 milhões de hectares. Isso representou uma produtividade média de $3,2 \text{ t ha}^{-1}$. Essa média é formada por uma diferença de mais de 5,0 toneladas entre o Distrito Federal, estado com a maior produtividade média ($5,7 \text{ t ha}^{-1}$), e o estado do Rio Grande do Norte, que apresentou a menor média de produtividade ($0,6 \text{ t ha}^{-1}$). Essa disparidade entre as médias é consequência dos diferentes níveis de manejo adotados entre os produtores de diferentes regiões do País.

O estado de Santa Catarina é o sexto colocado no ranking nacional, com produção de 3,2 milhões de toneladas (RIGON et al., 2006) na safra 2005/06, quantidade insuficiente para atender o consumo de 5,02 milhões de toneladas previsto para 2007 (ICEPA, 2006). Em Santa Catarina, a oferta de milho é historicamente inferior à demanda. Na região do oeste catarinense concentra-se grande parte da produção estadual de milho, que é quase toda absorvida pela suinocultura e avicultura. Nesta região existe um déficit crônico, que é suprido pela produção de outras regiões catarinenses, pela importação de outros estados e da Argentina (ZAMPIERI & SILVA, 2005). Estes mesmos autores prevêem uma tendência de aumento da demanda de milho em Santa Catarina, enquanto se tem observado uma

diminuição na área plantada (ICEPA, 2006). Isto aponta para um incremento gradativo previsto para o déficit, chegando à ordem de 1,763 milhão de toneladas na safra 2009/10. Consequentemente, é necessário explorar ao máximo o potencial da cultura, incrementando a produtividade média estadual de 3,76 t ha⁻¹ (ICEPA, 2006) para tornar o Estado auto-suficiente na sua produção.

Ramalho (2005) enfatizou que a produtividade média obtida normalmente nas lavouras de milho está muito aquém do potencial teórico da cultura de 31 t ha⁻¹ e das 24,7 t ha⁻¹ já alcançada por agricultores americanos. No Brasil, rendimentos de grãos entre 15 t ha⁻¹ e 17,2 t ha⁻¹ foram obtidos experimentalmente no sul do país por Argenta et al. (2003b) e por Silva et al. (2004), respectivamente. Contudo, a produtividade média nacional não atinge nem um quarto desses valores.

Fazendo-se um apanhado histórico, é possível observar que os problemas mencionados sobre a cultura do milho na atualidade são os mesmos reportados há décadas. Como exemplos podem ser citados o baixo retorno econômico e a baixa produtividade média nacional, resultantes de um somatório de condições, como práticas inefficientes de manejo, inexistência de uma política agrícola de produção, condições precárias de armazenagem e preços baixos.

Dentre os diversos fatores responsáveis por esta disparidade entre o potencial de rendimento da cultura do milho e as baixas produtividades médias obtidas nas lavouras, merece destaque o uso de práticas de manejo inadequadas, tais como as baixas densidades de plantas nas lavouras. Historicamente, tem-se observado um gargalo referente à população de plantas que tem restringido a produtividade da cultura em muitos locais devido à presença de um número de plantas inferior ao recomendado para que o híbrido expresse o seu potencial produtivo (COMUNICADO TÉCNICO PIONEER SEMENTES, 2006).

Entre as gramíneas de importância econômica, o milho é aquela em que a população

de plantas é um dos componentes da produtividade final mais importante (SANGOI, 2001). Isto se deve a sua estrutura floral monóica, à baixa capacidade de emissão de afilhos férteis, à pequena prolificidade da planta e a sua limitada capacidade de expansão foliar (SANGOI, 2001).

Altas produtividades de grãos de milho só podem ser obtidos com o perfeito ajuste do número de plantas por unidade de área. O número ideal de plantas por área é determinado de acordo com a cultivar utilizada, a forma de uso do milho, o nível de fertilidade do solo e de adubação prevista e a disponibilidade hídrica durante o ciclo (MUNDSTOCK & SILVA, 2005).

O incremento na densidade de plantas é uma forma de maximizar a interceptação da radiação solar. Contudo, ele também pode reduzir a atividade fotossintética da cultura e a eficiência de conversão dos fotoassimilados à produção de grãos, aumentando a esterilidade feminina, o intervalo entre os florescimentos masculino e feminino e reduzindo o número de grãos por espiga (SANGOI et al., 2003).

A planta de milho apresenta uma característica peculiar na reação ao aumento da densidade de plantas. As capacidades de emissão de espiga (alongamento dos entrenós basais, pedúnculo) e de elongação dos estigmas dependem da tolerância que cada cultivar tem ao estresse promovido pelo adensamento. As antigas populações crioulas e os primeiros híbridos lançados no mercado eram desprovidos destas características e as densidades máximas recomendadas raramente ultrapassavam 50.000 plantas ha⁻¹ (MUNDSTOCK & SILVA, 2005).

Aumentos na tolerância de diversos híbridos contemporâneos ao adensamento, em relação aos genótipos utilizados no passado, foram reportados na literatura, em diferentes regiões produtoras de milho no mundo (DUVICK & CASSMAN, 1999; TOLLENAAR & WU, 1999; SANGOI et al., 2002a; TOLLENAAR & LEE, 2002, LIU et al., 2004a;

TOKATLIDIS & KOUTROUBAS, 2004).

Grande parte deste avanço obteve-se utilizando como critério de seleção o rendimento de grãos das futuras cultivares em populações superiores às normalmente recomendadas (BOLAÑOS & EDMEADES, 1996; ARGENTA et al., 2003a). Contudo, pouco se sabe sobre a contribuição de características morfológicas, fisiológicas, fenológicas e alométricas para a maior tolerância de genótipos de milho a densidades elevadas. A elucidação das bases morfo-fisiológicas para maior tolerância do milho ao adensamento é fundamental para que se possa continuar avançando na conversão da energia luminosa à produção de grãos por área através da elevação da densidade de plantas.

O número de grãos produzidos por m^2 é o componente do rendimento que mais interfere no rendimento de grãos da soja, do girassol e do milho (VEGA et al., 2001). Sangoi et al. (2002b) constataram que a característica mais importante para o melhor comportamento de genótipos de milho em altas densidades foi o maior número de grãos produzidos por área. Assim, a compreensão dos mecanismos que interferem na definição deste componente do rendimento é importante para que se possa maximizá-lo e, consequentemente, otimizar a produtividade de cultivares de milho em ambientes de grande competição intraespecífica.

A maior eficiência em converter a fitomassa acumulada na floração à produção de grãos dos híbridos tolerantes ao adensamento pode estar relacionada à senescência foliar mais lenta na fase reprodutiva e à maior uniformidade no crescimento e no desenvolvimento das plantas durante o ciclo da cultura.

Não há relatos de estudos no Brasil analisando a relação existente entre arquitetura de planta, velocidade de evolução da senescência foliar, uniformidade entre plantas, rendimento de grãos e tolerância ao aumento na densidade de plantas de cultivares de milho (SANGOI et al., 2002c). Considerando-se esta lacuna do conhecimento, conduziu-se este trabalho, que teve como objetivo geral identificar características morfo-fisiológicas que contribuam para

incrementar a tolerância de cultivares de milho ao estresse induzido pelo uso de altas densidades de plantas.

A apresentação da dissertação foi dividida em dois capítulos. No Capítulo I será abordada a evolução da área foliar no desenvolvimento da planta durante os períodos vegetativo e reprodutivo de cultivares de milho e sua relação com tolerância ao adensamento. No Capítulo II, a discussão estará centrada nas uniformidades morfológica, fenológica e fisiológica, no crescimento e no desenvolvimento das plantas de cultivares de milho e a sua relação com tolerância ao adensamento.

1. CAPÍTULO I

Impacto do incremento na população de plantas na área foliar e no rendimento de grãos de cultivares de milho

1.1 RESUMO

O aumento na população de plantas é uma forma de maximizar a interceptação da radiação solar. Contudo, ele também pode reduzir a atividade fotossintética da cultura e a eficiência de conversão dos fotoassimilados à produção de grãos. Aumentos na tolerância de híbridos de milho ao adensamento têm sido reportados na literatura em diferentes regiões produtoras. A senescênciaria foliar mais lenta na fase reprodutiva é uma característica fisiológica que pode estar relacionada com a maior tolerância do milho ao adensamento. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de quantificar o efeito do incremento da população de plantas sobre a evolução da área foliar e o rendimento de grãos de cultivares de milho de bases genéticas contrastantes. O ensaio foi conduzido no município de Lages-SC. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas três cultivares de milho: uma variedade de polinização aberta (Fortuna), um híbrido duplo (Ag 303) e um híbrido simples (P30F53). Nas subparcelas foram avaliadas cinco populações de plantas: 25.000, 50.000, 75.000, 100.000 e 125.000 plantas ha⁻¹. A implantação do experimento foi realizada no dia 26 de outubro de 2005, com espaçamento entre linhas de 0,70 m. Quando as plantas estavam com quatro folhas expandidas, 10 plantas que estavam no mesmo estádio fenológico foram etiquetadas. Nestas plantas foram feitas 10 avaliações de área foliar, realizadas nos estádios V4, V8, V12, V16 e R1 (espigamento) e aos 14, 28, 42, 56 e 70 dias após o espigamento. Em cada época de avaliação estimou-se também a área foliar senescida. Após a colheita, determinou-se o rendimento de grãos e seus componentes. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, ao nível de significância de 5% ($P<0,05$). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, por regressão polinomial e correlação linear, a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$). O rendimento de grãos das três cultivares respondeu quadraticamente ao incremento na densidade de plantas. O híbrido simples (HS) foi mais produtivo do que as demais cultivares em todas as densidades avaliadas no ensaio. O rendimento de grãos do HS foi mais responsável ao incremento na densidade de plantas do que o do híbrido duplo (HD) e da variedade de polinização aberta (VPA). A elevação na densidade de plantas de 25.000 para 125.000 plantas ha⁻¹ decresceu linearmente a área foliar das três cultivares no florescimento. Nesta etapa fenológica, o HD apresentou maior área foliar do que as demais cultivares em todas as populações utilizadas no ensaio. Este comportamento modificou-se na segunda metade do enchimento de grãos, quando aos 56 dias após o espigamento o HS apresentou os maiores valores de área foliar e o HD os menores, nas densidades superiores a 50.000 plantas ha⁻¹. O HS apresentou maior sincronia entre os florescimentos masculino e feminino e menor

esterilidade feminina. Estas características provavelmente contribuíram para o estabelecimento de um dreno mais forte logo após a floração. Isto possivelmente favoreceu a manutenção da atividade fotossintética das folhas por um período mais longo, retardando a senescência foliar e contribuindo para a maior produtividade de grãos do HS, em relação ao HD e a VPA. Os resultados do trabalho sugerem que cultivares de milho tolerantes ao adensamento como o HS (P30F53), apresentam também senescência foliar mais lenta durante o enchimento de grãos.

Palavras-chave: *Zea mays*; senescência foliar; densidades de semeadura; produtividade de grãos.

1. CHAPTER I

Impact of the increment in plant population on leaf area and grain yield of maize cultivars

1.1 SUMMARY

The increase in plant population is a form of maximizing the interception of solar radiation. Nonetheless, it can also reduce the crop photosynthetic activity and limit its efficiency to convert carbohydrates to grain production. Increases in maize hybrid's tolerance to crowding have been reported in different production areas around the world. The slower leaf senescence during the reproductive phase is a physiological trait that may be related to the higher tolerance of maize to crowding. This work was performed aiming to quantify the effects of plant population increment on leaf area and grain yield of maize cultivars with contrasting genetic variability. The trial was set in Lages, SC, Brazil. A randomized block experimental design disposed in split-plots was used. Three cultivars were evaluated in the main plot: an open-pollinated variety (Fortuna), a double-cross hybrid (Ag 303) and a single-cross hybrid (P30F53). Five plant populations were tested in the split-plot: 25,000, 50,000, 75,000, 100,000, and 125,000 plants ha^{-1} . The experiment was sowed on 10-26-2005, with a row spacing of 0.70 m. When the crop had four expanded leaves, 10 plants of each split-plot that were in the same growth stage were labeled. These plants were used to measure leaf area at the growth stages of V4, V8, V12, V16, R1 (silking) and 14, 28, 42, 56 and 70 days after silking. The senesced leaf area was also determined at each growth stage. After harvesting, grain yield and yield components were determined. The data were submitted to the variance analysis by the F test, at the 5% significance level ($P<0.05$). The means were compared by the Tukey's test, by polynomial regression and by linear correlation, at the 5% significance level ($P<0.05$). Grain yield response to the increase in plant population was quadratic for all cultivars. The single-cross hybrid (SCH) was more productive than the other cultivars regardless of plant density. The SCH grain yield was more responsive to the increase in plant population than the double-cross hybrid (DCH) and the open-pollinated variety (OPV). The increase in plant population from 25,000 to 125,000 plants ha^{-1} decreased linearly leaf area of the three cultivars at silking. During this growth stage, the DCH presented higher leaf area than the other two cultivars at all plant populations. This behavior changed during the second half of grain filling, where 56 days after silking the SCH presented the largest leaf area values and the DCH the lowest, when plant populations greater than 50,000 plants ha^{-1} were used. The SCH had a better synchrony between anthesis and silking and presented lower barrenness than the other cultivars. These characteristics probably contributed to set a stronger sink after silking. This possibly favored the maintenance of plant photosynthetic activity for a longer period, delaying leaf senescence and contributing to the higher productivity expressed by the

SCH. The results of this work suggest that maize cultivars tolerant to crowding, such as the single-cross hybrid P30F53, had also slower leaf senescence during grain filling.

Keywords: *Zea mays*; leaf senescence; sowing densities; grain productivity.

1.2 INTRODUÇÃO

A otimização do potencial produtivo do milho depende da duração do período de interceptação da radiação solar incidente, da eficiência de uso da radiação interceptada na fotossíntese e da distribuição adequada dos fotoassimilados produzidos às diferentes demandas (ANDRADE et al., 1996). Por influenciar o índice de área foliar, o ângulo foliar, a posição e a disposição das folhas, o arranjo de plantas tem grande importância na interceptação e na eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel à produção de grãos (SANGOI et al., 2004).

A produção de grãos por área de genótipos de milho sob condições de estresse está relacionada à taxa de crescimento da cultura, à partição da massa seca total produzida às espigas e ao número de grãos produzidos por unidade de biomassa alocada à inflorescência feminina (OTEGUI & ANDRADE, 2000). Sangui et al. (2005a) observaram que a resposta diferencial do rendimento de grãos das cultivares de milho à elevação da densidade não esteve relacionada à capacidade da planta de acumular massa seca no início do enchimento de grãos. Neste estudo, o maior número de grãos por área denotado pelos híbridos tolerantes às densidades mais altas deveu-se a sua maior eficiência em converter em grãos a massa seca acumulada pela planta na fase crítica à definição deste componente do rendimento.

A maior eficiência em converter a fitomassa acumulada na floração à produção de grãos dos híbridos tolerantes ao adensamento pode estar relacionada à senescência foliar mais lenta na fase reprodutiva. A senescência é um processo degenerativo que ocorre ao final do desenvolvimento de qualquer órgão vegetal, incluindo folhas, caules, flores e frutos (DANGL et al., 2000). Durante a senescência, as folhas perdem a sua coloração verde devido à

degradação da clorofila, tornando-se inicialmente amarelas para depois secarem. A evolução da senescência decorre de alterações endógenas e ambientais, as quais podem iniciar e acelerar as três fases do processo: iniciação, degeneração e conclusão (NOODEN et al., 1997).

Nas culturas anuais de verão, como milho e girassol, a senescência foliar inicia antes da expansão completa da área foliar e do florescimento, progredindo a taxas crescentes durante o período de enchimento de grãos (SADRAS et al., 2000; LAFARGE & HAMMER, 2002).

A evolução da senescência foliar durante o período de enchimento de grãos varia em função da disponibilidade hídrica, do suprimento de nitrogênio e das relações existentes entre fonte e demanda (UHART & ANDRADE, 1995; BORRÁS et al., 2003). Variações na densidade de plantas interferem significativamente nas relações existentes entre suprimento de assimilados e capacidade dos grãos de acomodá-los, interferindo, consequentemente, na senescência foliar (TOKATLIDES & KOUTROUBAS, 2004). A densidade de plantas interfere nas relações entre fonte e dreno em função de seus efeitos na área foliar, na quantidade de radiação interceptada pela cultura e no número de grãos produzidos pela planta (ANDRADE et al., 2000; MADDONI et al., 2001).

A duração da área foliar depende da disponibilidade de fotoassimilados para sustentar o enchimento de grãos após a floração (MADDONI et al., 2002). Segundo Thomas (1992), a senescência foliar pode ser desencadeada tanto pelo excesso quanto pela falta de fotoassimilados para atender às demandas da planta na fase reprodutiva, existindo uma “janela” de disponibilidade de assimilados entre os dois extremos. Assim, as folhas que permanecerem dentro deste intervalo teriam maior período de atividade fotossintética. Neste contexto, Rajcan & Tollenaar (1999a) estabeleceram uma relação ótima entre fonte e demanda após a floração para maximizar a duração da área foliar da comunidade. Quando a

relação está abaixo do limite ideal, a demanda por nitrogênio dos grãos em fase inicial de desenvolvimento impõe à fonte uma deficiência deste nutriente, a qual acelera a senescênciadevido à remobilização de N das estruturas vegetativas às reprodutivas. Por outro lado, a alta relação entre fonte e demanda aumenta a senescênci em resposta ao acúmulo de carboidratos não estruturais nos cloroplastos, o qual inibe a fotossíntese, abreviando a vida útil das folhas (RAJCAN & TOLLENAAR, 1999b).

A maior tolerância dos híbridos de milho cultivados atualmente no sul do Brasil a altas densidades de plantas foi associada por Almeida et al. (2000), Sangoi (2001) e Silva et al. (2003) a decréscimos na estatura, no número de folhas e na área foliar e a incrementos na precocidade e no ângulo de inclinação das folhas. Segundo Sangoi et al. (2004), híbridos com estas características requerem maior densidade de plantas para maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais indivíduos por área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar.

Além disto, a arquitetura compacta das plantas de cultivares de milho tolerantes ao adensamento também interfere na qualidade da luz que penetra no dossel e, consequentemente, na resposta a variações na densidade de plantas (KASPERBAUER & KARLEN, 1994). O desenvolvimento de genótipos com menor número de folhas, folhas mais eretas e menor área foliar minimiza a competição entre plantas, reduzindo a quantidade de vermelho extremo (V_e) refletida pela comunidade (Almeida et al., 2000). Com isto, pode-se obter uma relação V_e/V (vermelho) mais baixa em altas densidades, quando comparada com híbridos dotados de folhas mais numerosas, maiores e decumbentes. A melhoria na qualidade da luz obtida com o ideotipo compacto pode propiciar condições endógenas para um desenvolvimento alométrico mais equilibrado entre as inflorescências da planta, minimizando a esterilidade feminina e propiciando melhores condições para desenvolvimento de maior número de espiguetas funcionais na espiga (SANGOI et al., 2003).

O retardamento dos sintomas visuais da senescência foliar na fase reprodutiva (“stay green”) e a maior tolerância a altas densidades de plantas foram associados aos incrementos no rendimento de grãos registrados na América do Norte durante a segunda metade do século XX por Duvick & Cassmann (1999), Tollenaar & Lee (2002) e Valentinuz & Tollenaar (2004).

Valentinuz & Tollenaar (2004), comparando a evolução da senescência foliar de híbridos de milho cultivados comercialmente em diferentes épocas, constataram que a velocidade do processo foi 3,4 e 2,1 vezes maior no híbrido cultivado na década de 60 do que no híbrido contemporâneo, durante a primeira e a segunda metade do período de enchimento de grãos, respectivamente. Os híbridos testados no trabalho apresentaram diferenças significativas na arquitetura de planta, no estrato superior e inferior do dossel. O híbrido antigo, intolerante a altas densidades, apresentou maior fração de sua área foliar no terço superior da planta. Já o híbrido contemporâneo denotou um ideotipo com menor área foliar na fração apical. Segundo Dwyer et al. (1992), este tipo de arquitetura é mais favorável para incrementar a interceptação de radiação solar em estandes adensados, resultando em menor sombreamento intra-específico, maior penetração de luz nos estratos inferiores da comunidade e no retardamento da senescência foliar. Troyer & Rosembrook (1983) e Tollenaar & Wu (1999) especulam que este tipo de distribuição vertical da área foliar característico dos genótipos tolerantes ao adensamento, decorre da seleção feita pelos programas de melhoramento em altas populações, sendo um componente importante que confere maior resistência a estresses, presente nos híbridos modernos de milho utilizados atualmente na América do Norte.

O retardamento da senescência foliar tem sido uma preocupação constante de melhoristas e fisiologistas para aumentar a quantidade de carbono fixada pelas culturas e, consequentemente, aprimorar a sua performance agronômica (THOMAS & HOWARTH,

2000). Não há relatos de estudos no Brasil analisando a relação existente entre arquitetura de planta, velocidade de evolução da senescência foliar, rendimento de grãos e tolerância ao aumento na densidade de plantas de cultivares de milho.

A compreensão de mecanismos que permitam a cultura suportar o aumento da competição intraespecífica decorrente do adensamento, é importante para que se possa manipular adequadamente o arranjo de plantas na lavoura, de forma a maximizar a interceptação da radiação solar, otimizar seu uso e aumentar o rendimento de grãos sob diferentes condições edafo-climáticas.

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi quantificar o efeito do incremento da população de plantas sobre características agronômicas e a evolução da área foliar nos estádios vegetativos e durante o enchimento de grãos de cultivares de milho com bases genéticas contrastantes, buscando identificar se a senescência foliar mais lenta é uma característica importante para a maior tolerância a altas densidades de plantas.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o ano agrícola de 2005/2006, no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, no 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. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região 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, 1999). Segundo análise de solo realizada em outubro de 2005, ele apresentava as seguintes características: 340 g kg⁻¹ de argila; pH em H₂O 5,4; 3 mg L⁻¹ de

P; 236 mg L⁻¹ de K; 33 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 5,2 cmol_c dm⁻³ de Ca; 2,0 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,2 cmol_c dm⁻³ de Al e CTC 8,0.

No período de outono inverno que antecedeu a instalação do experimento foi implantado em 01 de maio de 2005 um consórcio de aveia preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*), utilizando-se 55 kg ha⁻¹ de sementes para cada espécie. Essa cobertura resultou em 5.200 kg ha⁻¹ de massa seca na época da instalação do experimento. A dessecção da cobertura foi realizada no dia 25 de setembro de 2005, utilizando-se o herbicida glifosato (1.080 g de i.a. ha⁻¹), aplicado com volume de calda de 100 L ha⁻¹.

Foram testadas três cultivares de milho com diferentes bases genéticas, todas de ciclo precoce: uma variedade de polinização aberta (SCS 154 Fortuna) desenvolvida pela EPAGRI - SC, um híbrido duplo (Ag 303) da empresa Agroceres/Monsanto e um híbrido simples (P30F53) da empresa Pioneer. Essas cultivares apresentam diferenças quanto a população de plantas indicada pelas empresas produtoras. A recomendação máxima de densidade de plantas para a cultivar SCS 154 Fortuna é de 50.000 plantas ha⁻¹. Para o híbrido Ag 303 a empresa recomenda populações de plantas entre 45.000 e 50.000 plantas ha⁻¹. O híbrido P30F53 é a que apresenta maior faixa de recomendação, variando de um mínimo de 55.000 plantas ha⁻¹ em espaçamentos de 0,80 a 0,90 m entre filas, a uma recomendação máxima de 72.000 plantas ha⁻¹ para espaçamentos reduzidos entre filas de 0,45 a 0,50 m.

Cada uma das três cultivares foi avaliada em cinco populações de plantas, equivalentes a 25.000, 50.000, 75.000, 100.000, e 125.000 plantas ha⁻¹, mantendo-se sempre o mesmo espaçamento de 0,7 m entre linhas. Foi, portanto, necessário confeccionar barbantes marcados com as distâncias entre plantas na mesma linha (57, 29, 19, 14 e 11 cm), pertinentes para cada uma das cinco densidades de plantas testadas.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As cultivares foram avaliadas na parcela

principal e as populações de planta nas subparcelas. Cada subparcela foi composta por seis linhas com sete metros de comprimento, tendo como área útil, as quatro linhas centrais.

O experimento foi implantado no dia 26 de outubro de 2005, no sistema de semeadura direta, com plantadoras manuais, reguladas para distribuir três a cinco sementes por cova. As sementes foram previamente tratadas com inseticida tiodicarb (6 g de i.a. kg⁻¹ de sementes), objetivando prevenir o ataque de pragas de solo na fase de emergência da cultura. A emergência das plantas ocorreu no dia 07 de novembro de 2005, doze dias após a semeadura. Quando as plantas estavam no estádio V4 (quatro folhas expandidas, conforme escala proposta por Ritchie et al., 1993), efetuou-se o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova, condicionando cada subparcela a sua densidade estipulada.

A adubação de manutenção com nitrogênio, fósforo e potássio foi realizada no dia da semeadura com base nos resultados obtidos pela 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, 2004), almejando um teto produtivo de 12.000 kg ha⁻¹. Aplicaram-se superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes de fósforo e potássio, nas quantidades equivalentes a 205 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 110 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Os fertilizantes fosfatado e potássico foram aplicados superficialmente nas linhas de semeadura, paralelamente a está operação. A adubação nitrogenada foi feita utilizando uréia como fonte. Ela consistiu de uma dose de 30 kg ha⁻¹ de N aplicada na semeadura e duas doses de 100 kg ha⁻¹ de N, realizadas em cobertura quando as plantas se encontravam nos estádios V4 e V10, respectivamente, perfazendo um total de 230 kg ha⁻¹ de N.

O controle de plantas daninhas foi efetuado com duas aplicações de herbicida. A primeira foi feita em pré-emergência, cinco dias após a semeadura, com produto atrazina + s-metolaclor (1.480 + 1.160 g de i.a. ha⁻¹). A segunda foi efetuada em pós-emergência quando as plantas se encontravam no estádio V3, utilizando o produto nicosulfuron (56 g de i.a. ha⁻¹).

Também foram realizadas duas aplicações preventivas do inseticida lufenuron (15 g de i.a. ha⁻¹) com jato dirigido, para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), quando as plantas estavam nos estádios V5 e V10.

Em decorrência da escassez pluviométrica próximo do florescimento, fase mais sensível da cultura ao estresse hídrico, foi necessário efetuar uma irrigação por aspersão no dia 14 de janeiro de 2006, aplicando-se uma lâmina de água de, aproximadamente, 20 mm em toda área experimental. O sistema utilizado foi o de irrigação por aspersão, com vazão de 12 mm hora⁻¹.

Para avaliação do efeito dos tratamentos sobre a área foliar verde e a senescência foliar foram utilizadas 10 plantas, cinco na linha dois e cinco na linha três de cada subparcela. Estas plantas foram escolhidas procurando-se selecionar indivíduos que estivessem no mesmo estádio fenológico (V4) com a máxima homogeneidade morfológica e fenológica possível. Identificou-se cada uma das dez plantas com uma etiqueta plástica numerada na base do colmo. Para realizar com precisão as avaliações referentes à área foliar nas 10 plantas selecionadas, as extremidades da quarta, oitava e 12^a folhas foram marcadas com tinta não lavável, servindo como um referencial.

Nestas plantas foram feitas as seguintes avaliações:

a) área foliar: 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. O somatório das áreas de todas as folhas da planta determinaram a área foliar por indivíduo. Foram feitas dez

avaliações de área foliar, realizadas nos estádios V4, V8, V12, V16, R1 (espigamento) e aos 14, 28, 42, 56 e 70 dias após o espigamento.

b) senescência foliar: a senescência foliar foi estimada considerando-se o somatório da área de todas as folhas senescedas, com menos de 50% de sua área verde, em cada época de avaliação, com exceção à primeira.

Nas plantas das linhas quatro e cinco de cada subparcela, avaliou-se 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 os dois períodos, estimou-se o intervalo entre antese e espigamento.

Antes da colheita, determinaram-se nas linhas quatro e cinco de cada subparcela a percentagem de plantas acamadas, quebradas, sem espiga e o número de espigas produtivas por planta (índice de espiga). A percentagem de acamamento foi calculada dividindo-se o número de plantas acamadas pelo número de plantas total multiplicado por 100, sendo consideradas plantas acamadas as que apresentavam o colmo inclinado com menos de 45° em relação ao solo. Da mesma forma procedeu-se para a percentagem de plantas quebradas, considerando-se plantas quebradas todas que estivessem com ruptura do colmo abaixo da espiga. Para avaliação da esterilidade feminina, foram consideradas como espigas produtivas apenas as que tinham mais de 10 grãos formados. O índice de espiga foi calculado dividindo-se o número de espigas colhidas pelo número de plantas existentes na área útil no dia da colheita.

A colheita das espigas do ensaio foi feita manualmente, no dia 08 de abril de 2006, 164 dias após a semeadura, no momento em que não havia mais presença de folhas verdes e

os grãos estavam com umidade próxima a 20%. Para avaliação do rendimento de grãos e seus componentes consideraram-se todas as plantas das fileiras quatro e cinco de cada subparcela, perfazendo uma área útil de 9,8 m².

As espigas foram colhidas, despalhadas e trilhadas com auxílio de uma trilhadora estacionária. Posteriormente, os grãos foram secos em estufa a temperatura de aproximadamente 60°C, até atingirem massa constante.

Os pesos obtidos da massa seca de grãos colhidos na área útil das subparcelas foram convertidos para 1,0 ha, na umidade padrão de 130 g kg⁻¹, determinando-se assim o rendimento de grãos.

Uma sub-amostra de 400 grãos foi separada e repesada para cada tratamento. O valor obtido foi multiplicado por dois e meio, convertido para 13% de umidade, e utilizado para expressar o peso de 1.000 grãos.

O número de grãos por espiga foi estimado indiretamente, através da relação do peso de 400 grãos, peso 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, número de grãos por espiga e na densidade de plantas de cada tratamento.

Com base na densidade de semeadura, no índice de espigas e no número de grãos por espigas, estimou-se o número de espigas e o número de grãos por hectare.

Os dados meteorológicos referentes à precipitação pluvial foram coletados no local do experimento. Os demais registros meteorológicos necessários para calcular o balanço hídrico da cultura foram obtidos junto à Unidade Meteorológica do CAV/UDESC, situada em Lages, a aproximadamente 18 quilômetros da área experimental. Esses dados foram utilizados para se calcular o balanço hídrico relativo à estação de crescimento compreendida entre outubro de 2005 a abril de 2006, conforme metodologia desenvolvida por Thorntwaite & Mather (1955), citada por Bergamaschi et al. (2003). Considerou-se o valor de 75 mm como capacidade de

armazenamento de água no solo.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente através da análise de variância. A magnitude do efeito dos tratamentos aplicados frente ao erro experimental foi testada através do teste F. Quando os valores de F foram significativos ($P<0,05$), as médias dos fatores qualitativos foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% ($P<0,05$). No caso dos fatores quantitativos, efetuou-se análise de regressão polinomial, testando-se os modelos linear e quadrático. Selecionou-se para explicar os resultados o modelo que apresentou maior coeficiente de determinação e que melhor explicou biologicamente o comportamento das variáveis analisadas. Também calculou-se o coeficiente de correlação (PEARSON) entre a variável rendimento de grãos e demais variáveis.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 Clima

O ano agrícola 2005/06 apresentou, em geral, características meteorológicas favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento do milho na região do Planalto Catarinense. A temperatura média mensal do ar durante a estação de crescimento da cultura (Tabela 1) oscilou entre 17,1 (outubro) e 22,1 °C (janeiro). O ano agrícola 2005/06 foi mais quente do que a média histórica da região, principalmente durante os períodos de florescimento e enchimento de grãos do milho (janeiro, fevereiro e março).

Tabela 1 – Temperatura média mensal do ar durante o período compreendido entre outubro e abril, em Lages-SC.

	Meses do ano							Média do período
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
Temperatura média do ar (°C)								
Média entre 1976/2005 ^{1/}	16,0	17,7	19,6	20,4	20,3	19,2	16,4	18,5
Estação de crescimento 2005/06 ^{2/}	17,1	18,3	18,6	22,1	20,8	20,1	16,2	19,0

^{1/} Dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI; Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina – CLIMERH; Estação Agrometeorológica de Lages-SC.

^{2/} Dados coletados na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agroveterinárias CAV/UDESC, Lages-SC.

As precipitações pluviais foram relativamente bem distribuídas, situando-se ao redor de 37 mm por decêndio (Figura 1). O período compreendido entre o primeiro e o segundo decêndio de janeiro apresentou deficiência hídrica de aproximadamente 6 mm. A etapa mais crítica para a cultura dentro desse período ocorreu no segundo decêndio do mês de janeiro, período que compreendeu a fase do florescimento. A fim de minimizar esse déficit hídrico gerado às plantas, realizou-se uma irrigação de 20 mm, no dia 14 de janeiro de 2006.

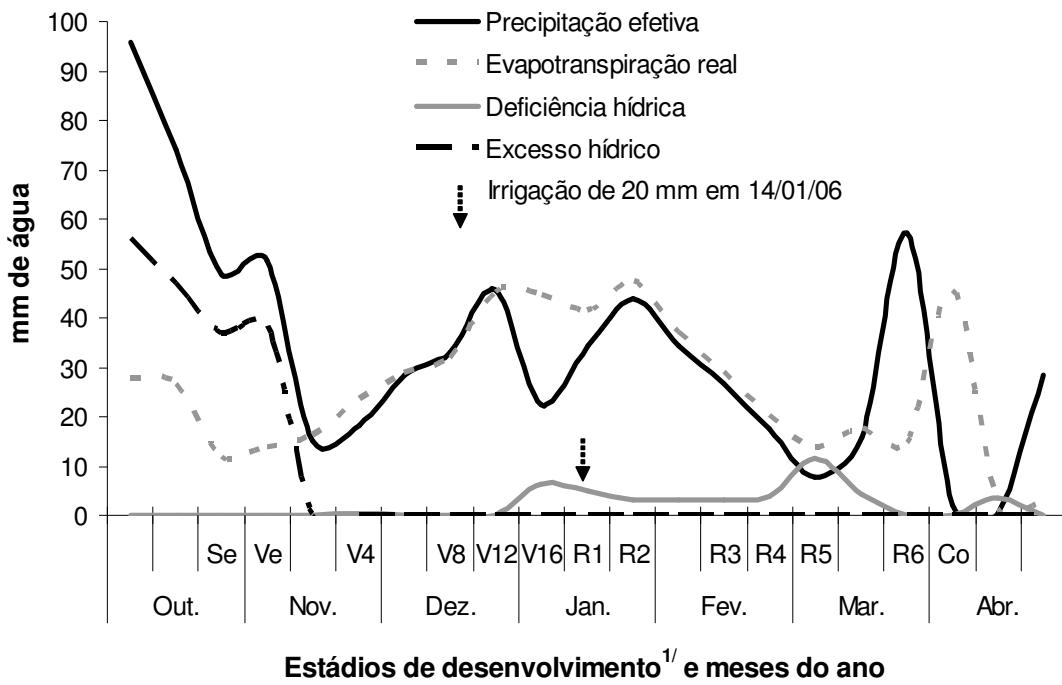


Figura 1 – Balanço Hídrico na área experimental da estação de crescimento 2005/06, segundo metodologia proposta por Thorntwaite & Mather (1955), considerando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm.

^{1/}Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993).

1.4.2 Área foliar

1.4.2.1 Área foliar até o florescimento

Houve interferência da interação entre cultivar e densidade de plantas sobre a área foliar da cultura nos estádios V12 (12 folhas expandidas) e R1 (espigamento). O incremento da densidade de plantas de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} decresceu linearmente a área foliar das três cultivares para os dois estádios fenológicos (Figuras 2A e 2B). O HD apresentou maiores valores de área foliar do que as outras cultivares, nas densidades inferiores a 75.000 plantas ha^{-1} . Ele também denotou as maiores taxas de decréscimo da área foliar com o incremento da população nos dois estádios. Na média das cinco densidades, a

VPA foi a que apresentou o menor valor de área foliar no espigamento. Neste estádio fenológico, as taxas de decréscimo da área foliar na floração com o incremento da população de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} foram 55,5% e 52% maiores no HD e VPA, em comparação com o HS (Figura 2B).

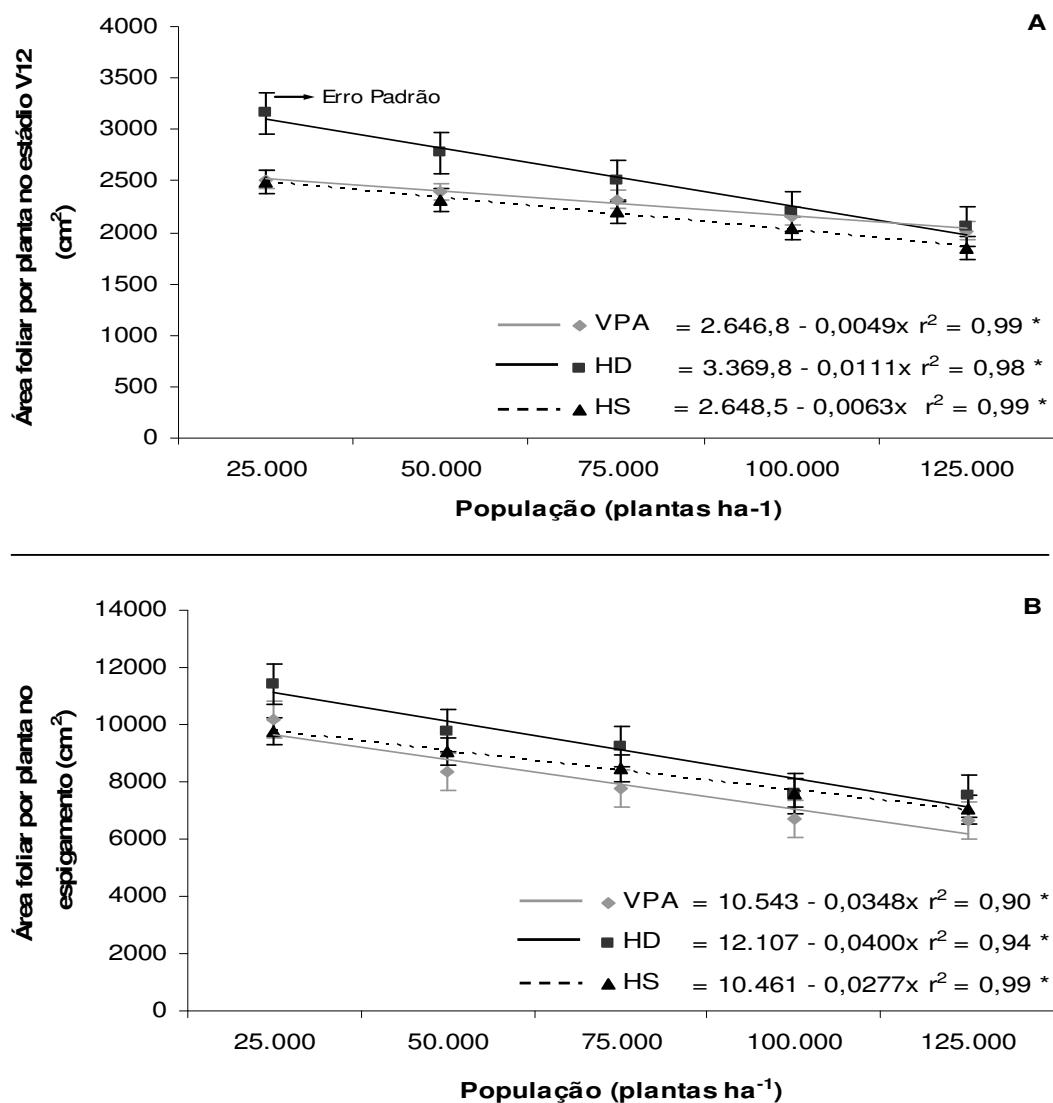


Figura 2 – Área foliar por planta no estádio V12 (A) e espigamento (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

As avaliações de área foliar realizadas no ensaio durante os períodos vegetativo e reprodutivo da cultura demonstraram, assim como em outros trabalhos, que a área foliar por planta é variável em cada fase do desenvolvimento da cultura em função de diversos fatores, tais como, genótipo (VALLENTINUZ & TOLLENAAR, 2004), densidade de plantas utilizada (SANGOI et al., 2005b), arranjo das plantas dentro da comunidade (STRIEDER, 2006) e nível de manejo empregado à cultura (HORN, 2004). Essa variação na área foliar implica em maior ou menor eficiência na obtenção e no aproveitamento da radiação solar incidente e da conversão dos fotoassimilados à produção de grãos.

1.4.2.2 Área senesceda no espigamento

A interação entre cultivares e densidades também foi significativa para a avaliação da área foliar senesceda da cultura no espigamento. A elevação na densidade de plantas provocou um comportamento distinto na área foliar senesceda das cultivares (Figura 3). A VPA e o HD incrementaram linearmente a área foliar senesceda durante o florescimento, enquanto que para o HS houve redução da área senesceda com a elevação na densidade.

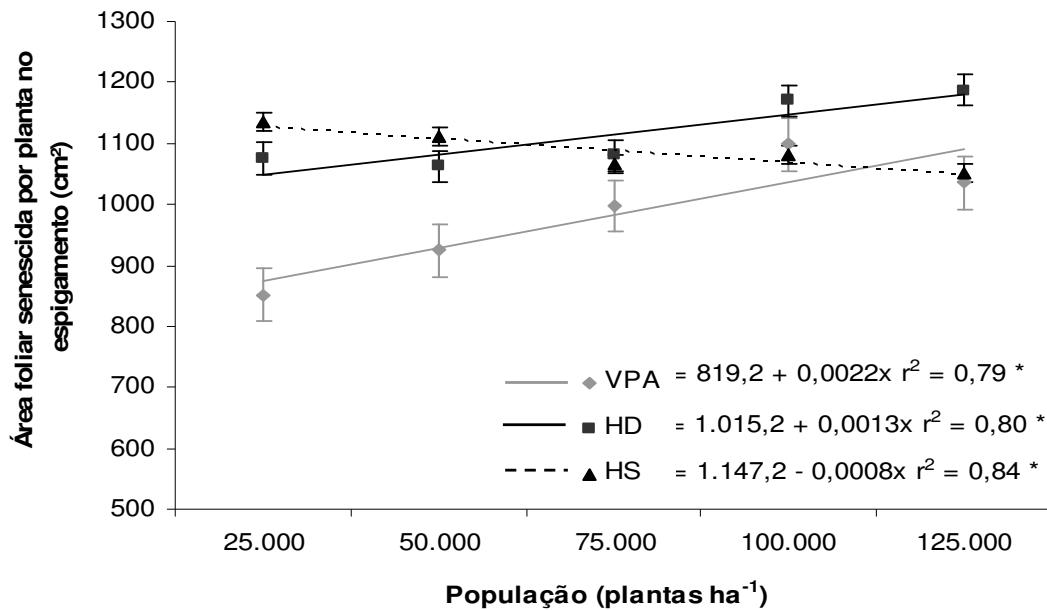


Figura 3 – Área foliar senesceda por planta no espigamento de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

A maior proximidade entre as plantas na linha, considerando o mesmo espaçamento entrelinhas, normalmente acelera a competição entre plantas por água, luz e nutrientes, incrementando a velocidade de senescência. Este comportamento foi observado no HD e na VPA, mas não no HS. Um dos motivos que levaram a esta resposta diferente do HS frente aos outros materiais foi a elevada emissão de afilhos da cultivar utilizada em baixas densidades (25.000 e 50.000 plantas ha^{-1}). Isso fez com que as plantas deslocassem suas reservas para manutenção dos afilhos na fase vegetativa, acarretando em maior senescência foliar nas folhas basais do colmo principal durante o espigamento da cultura.

1.4.2.3 Área foliar durante o enchimento de grãos

A interação entre cultivar e densidade de plantas foi significativa em todas as épocas avaliadas durante o enchimento de grãos. O HS apresentou as menores taxas de decréscimo da área foliar com incremento da população aos 14, 28 e 42 dias após a antese (Figuras 4A, 4B e 4C).

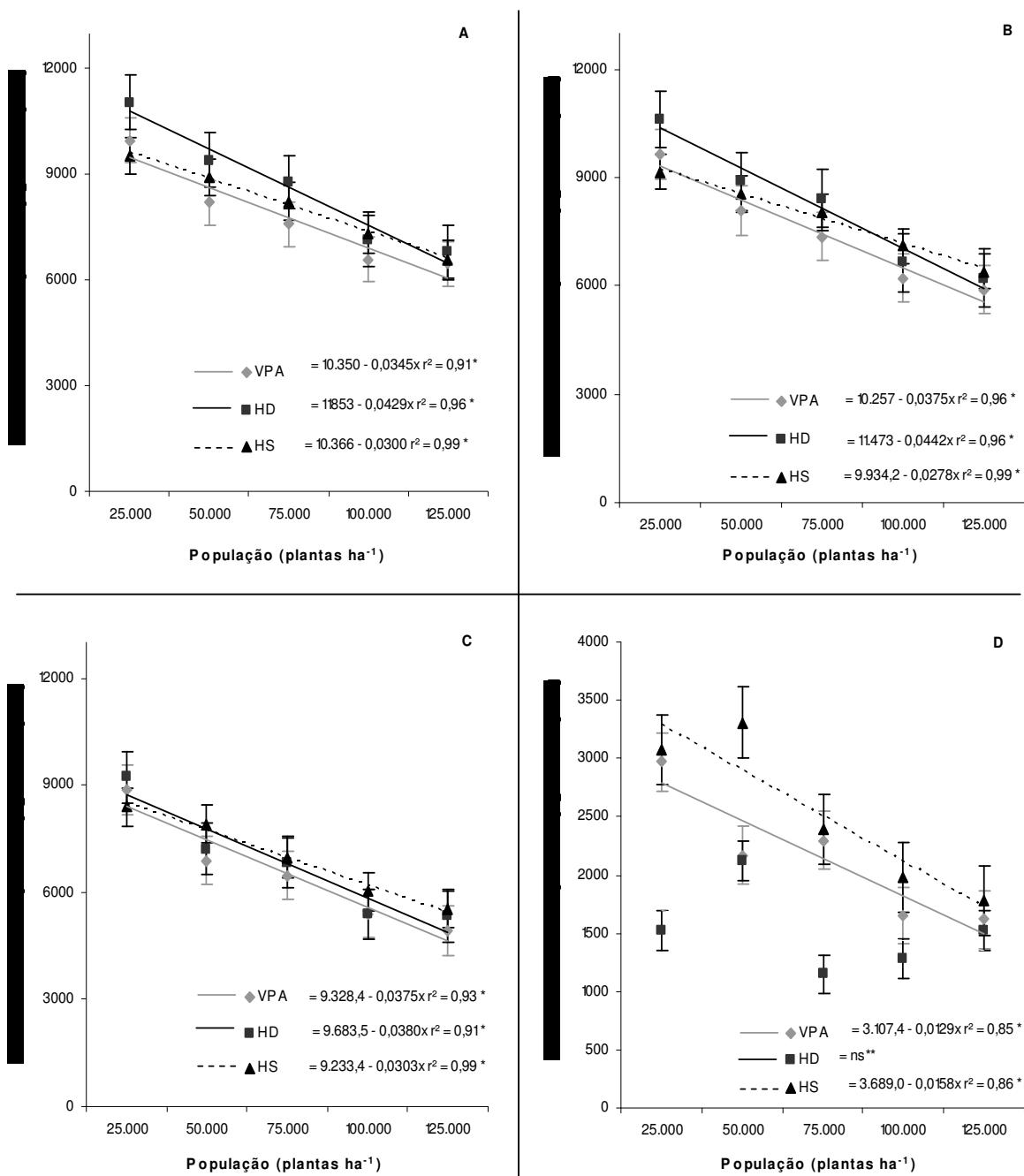


Figura 4 – Área foliar por planta 14 dias (A), 28 dias (B), 42 dias (C) e 56 dias após espigamento (D) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P < 0,05$).

** Regressão não significativa a 5% de probabilidade de erro ($P > 0,05$).

À medida em que o enchimento de grãos progrediu, as taxas mais altas de decréscimo na área foliar verificadas no HD com o aumento da população acentuaram as diferenças entre os genótipos. Isto fez com que a característica observada no espigamento, onde o HD apresentava maior área foliar do que as demais cultivares em todas as populações utilizadas no ensaio (Figura 2B), tendesse à inversão nas avaliações realizadas aos 42 e 56 dias após o espigamento, as quais coincidiram com o final da fase linear e início da fase atenuativa do enchimento de grãos (Figuras 4C e 4D). Nestas épocas de avaliação, o HS apresentou os maiores valores de área foliar e o HD os menores nas densidades superiores a 50.000 plantas ha^{-1} .

1.4.2.4 Área senesceda ao final do enchimento de grãos

A elevação da densidade de plantas de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} decresceu linearmente a área senesceda das três cultivares 56 dias após o espigamento da cultura (Figura 5). Nesta época, ao final do enchimento de grãos, o HD externou maior área foliar senesceda do que as outras duas cultivares em todas as populações avaliadas no ensaio.

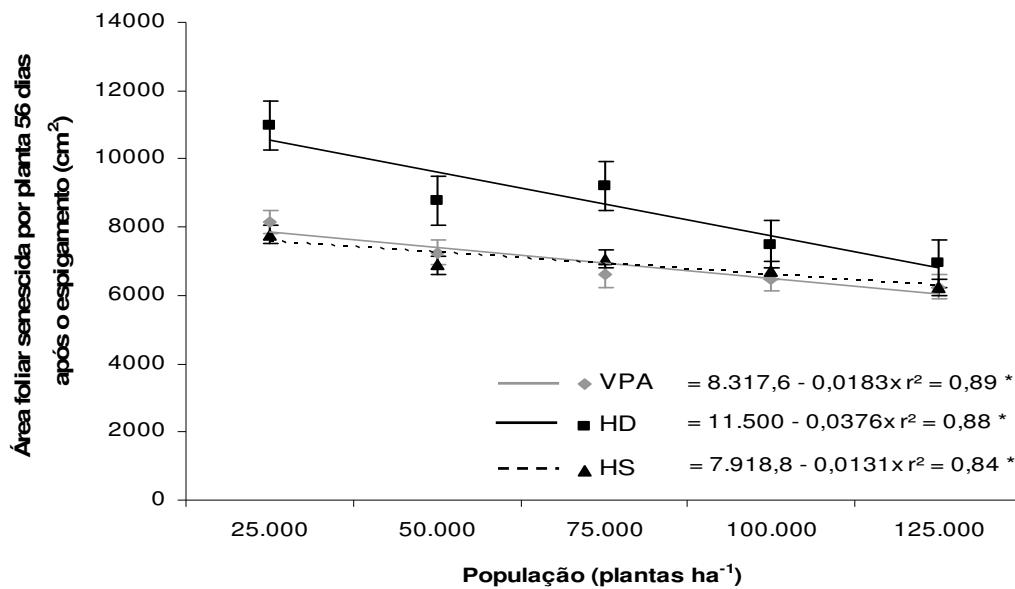


Figura 5 – Área foliar senesceda por planta 56 dias após o espigamento de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

Um caráter fisiológico comumente observado em muitos híbridos modernos é o chamado “stay green”, caracterizado pela capacidade de manutenção das folhas verdes por um período prolongado durante o enchimento de grãos. Neste sentido, observou-se que o HS apresentou maior área foliar verde do que os demais genótipos em todas as populações utilizadas no ensaio 56 dias após o espigamento (Figura 4D).

Essas observações registradas para área foliar e área senesceda confirmaram-se com análise de correlação entre rendimento de grãos e demais variáveis (Tabela 2). A correlação foi positiva entre área foliar por planta aos 56 dias após o espigamento, negativa para área senesceda no espigamento e também aos 56 dias após o espigamento quando comparadas ao rendimento de grãos. Isto pode ser um indicativo de que a cultivar HS manteve maior atividade fotossintética ao final do período de enchimento de grãos.

Tabela 2 – Resultados da análise de correlação entre rendimento de grãos e variáveis morfológicas, fenológicas e fisiológicas, na média de três cultivares de milho em cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Variáveis	Correlação Rendimento de grãos e variáveis
Área foliar por planta 56 dias após o espigamento	0,19
Área foliar senesceda por planta no espigamento	- 0,08
Área foliar senesceda por planta 56 dias após o espigamento	- 0,37*
Subperíodo antese-espigamento	- 0,53*
Acamamento	- 0,09
Quebra	- 0,65*
Esterilidade feminina	- 0,64*
Número de espiga por planta	0,07
Número de grãos por área	0,98*
Número de grãos por espiga	0,55*

* Correlação significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

1.4.3 Subperíodo Antese-espigamento

O incremento na população de plantas aumentou linearmente a duração do subperíodo antese-espigamento de todas as cultivares (Figura 6), corroborando as observações feitas por Sangoi et al. (2003) de que o adensamento acentua a natureza protândrica da planta de milho. Para cada 10.000 plantas adicionadas à lavoura, a defasagem entre o florescimento masculino e o feminino aumentou em 0,2, 0,4 e 0,5 dias no HS, no HD e na VPA, respectivamente. Estes dados demonstram que o HS foi mais eficiente em sincronizar a antese e o espigamento com o

aumento na densidade de plantas do que as demais cultivares.

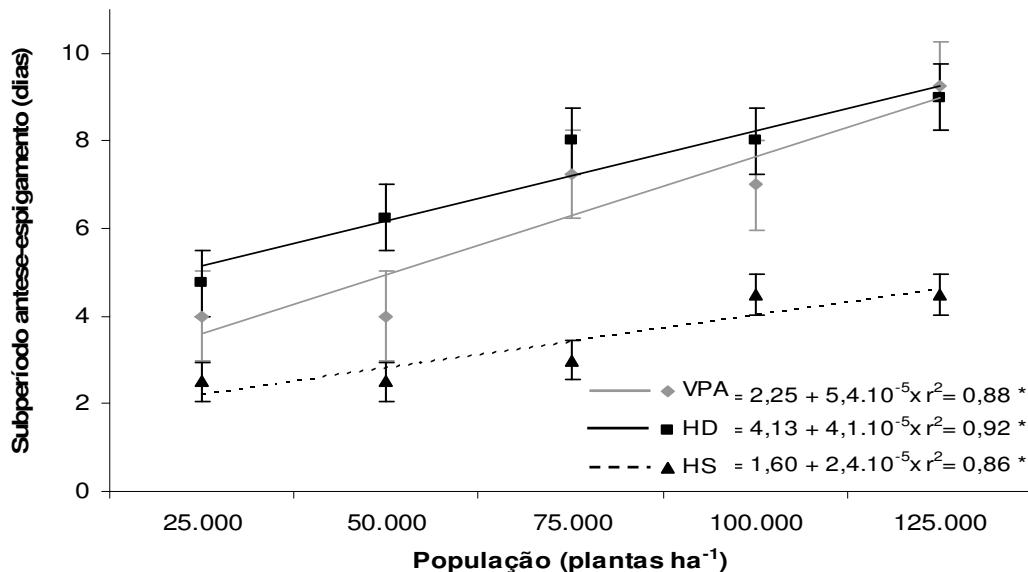


Figura 6 – Duração do subperíodo antese-espigamento de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

Esta variável apresentou correlação negativa ao rendimento de grãos (Tabela 2), confirmando-se como uma característica positiva à tolerância ao adensamento.

A cultura do milho, por apresentar distinção espacial (monóica) e temporal (protandria) 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, amplamente afetado pelo aumento na densidade de plantas. Segundo Peixoto et al. (1997), 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).

1.4.4 Estatura de planta

Não houve interação significativa entre cultivar e população para estatura de plantas no florescimento. O HD apresentou a maior estatura entre as cultivares e o HS a menor, sendo a diferença entre estes materiais superior a 20 cm (Tabela 3), na média das cinco populações de plantas.

Tabela 3 – Estatura de planta de três cultivares de milho, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Cultivar	Estatura de plantas no florescimento (cm)
VPA ^{1/}	268 B*
HD	283 A
HS	260 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples.

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

Segundo Rajcan & Swanton (2001), altas densidades de plantas interferem 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 e a elongação de entrenós, e a redução do diâmetro de colmo (BALLARÉ & CASSAL, 2000). Estas alterações podem aumentar as percentagens de plantas acamadas e quebradas.

1.4.5 Acamamento e quebra de plantas

A percentagem de plantas acamadas foi inferior a 4% para todas as cultivares, independentemente da população de plantas (Figura 7A). A VPA incrementou linearmente a percentagem de plantas acamadas com o incremento na densidade de plantas.

A percentagem de plantas quebradas antes da colheita para o HD foi acima de 20% nas três maiores densidades e acima de 10% para a VPA nas duas maiores densidades (Figura 7B). Um dos motivos que ocasionou alta porcentagem de plantas quebradas nestes materiais foi uma forte chuva com vento que ocorreu no dia 15 de janeiro, logo após o florescimento, induzindo a quebra prematura dos colmos, a qual superou 50% das plantas em algumas parcelas da VPA e do HD.

Na análise de correlação (Tabela 2), ficou demonstrada a importância de baixos índices de acamamento e quebra de colmos para rendimento de grãos, uma vez que apresentam correlação negativa quando comparados a essa variável.

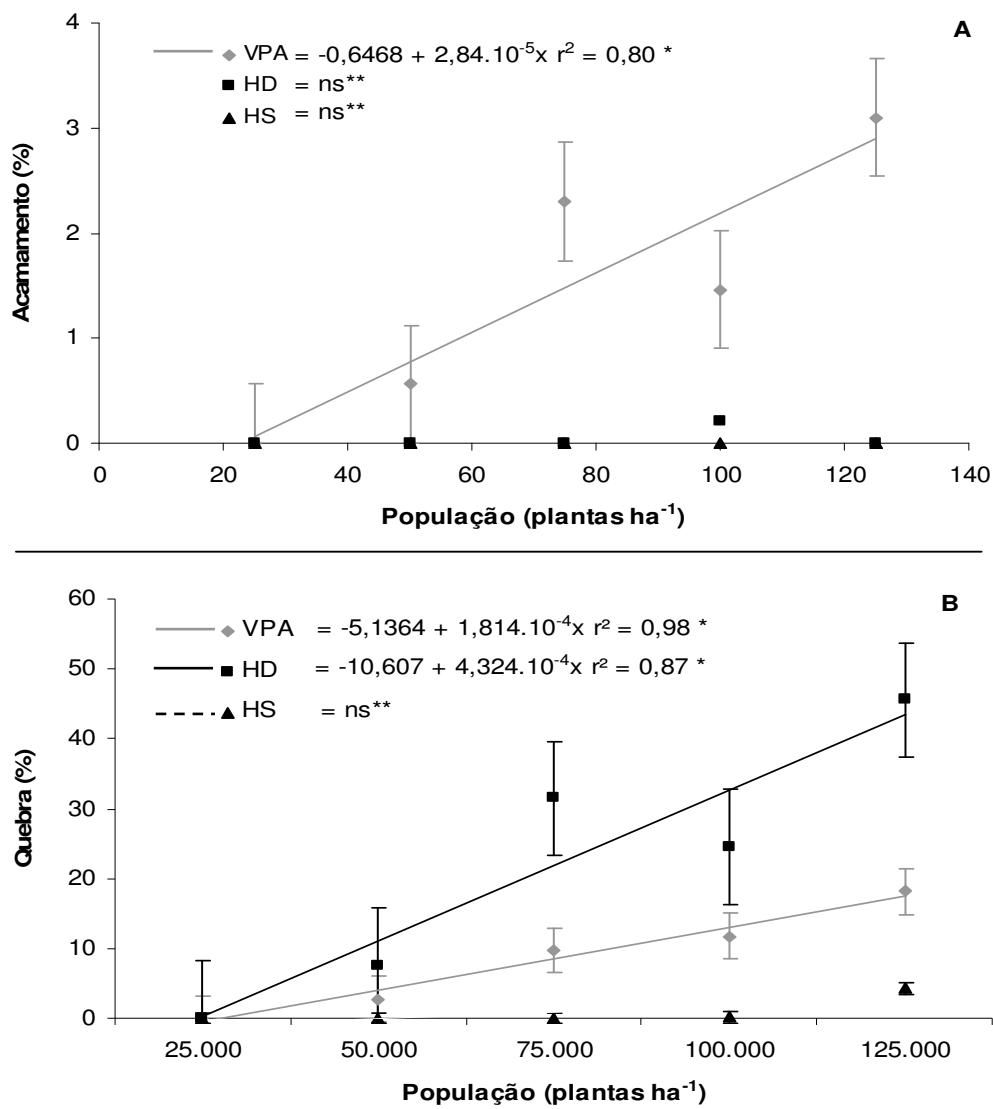


Figura 7 – Acamamento (A) e quebra de colmos (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

** Regressão não significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

O comportamento da VPA e do HD confirmaram as observações feitas por Sangoi et al. (2002b), referentes aos efeitos de altas densidades sobre a incidência de plantas quebradas. Já o HS conseguiu manter a maior parte das plantas eretas até à colheita. Mesmo nas

densidades de 125.000 plantas ha^{-1} , a percentagem de plantas quebradas foi inferior a 5%. Isto provavelmente está relacionado a sua arquitetura mais compacta, caracterizado pela presença de plantas mais baixas (Tabela 3), com menor altura de inserção de espigas e a presença de colmo com estrutura mais resistente. Segundo Sangoi et al. (2003), estas características são fundamentais, pois quanto maior é a relação entre altura de inserção da espiga e estatura da planta, mais deslocado estará o centro de gravidade da planta, favorecendo a quebra de colmos, uma vez que o milho aloca cerca de 50% da fitomassa total nos grãos ao final do ciclo.

1.4.6 Esterilidade feminina e número de espiga por planta

Houve um incremento de 4,3% e 2,1% na percentagem de plantas sem espiga para cada 10.000 plantas ha^{-1} adicionadas ao estande de lavoura do HD e VPA, respectivamente (Figura 8A). Para o HS o percentual na incidência de esterilidade feminina foi baixo mesmo na densidade de 125.000 plantas ha^{-1} ficando em torno de 10,0%.

O incremento na população decresceu linearmente o número de espigas produtivas por planta da VPA e do HD (Figura 8B). A maior proximidade entre plantas em estandes adensados estimula a competição intra-específica, favorecendo a dominância apical e diminuindo a produtividade da cultura do milho (SANGOI, 2001). Este comportamento foi menos acentuado no HS, fazendo com que ele externasse maior índice de espiga do que as demais cultivares, principalmente nas densidades mais elevadas.

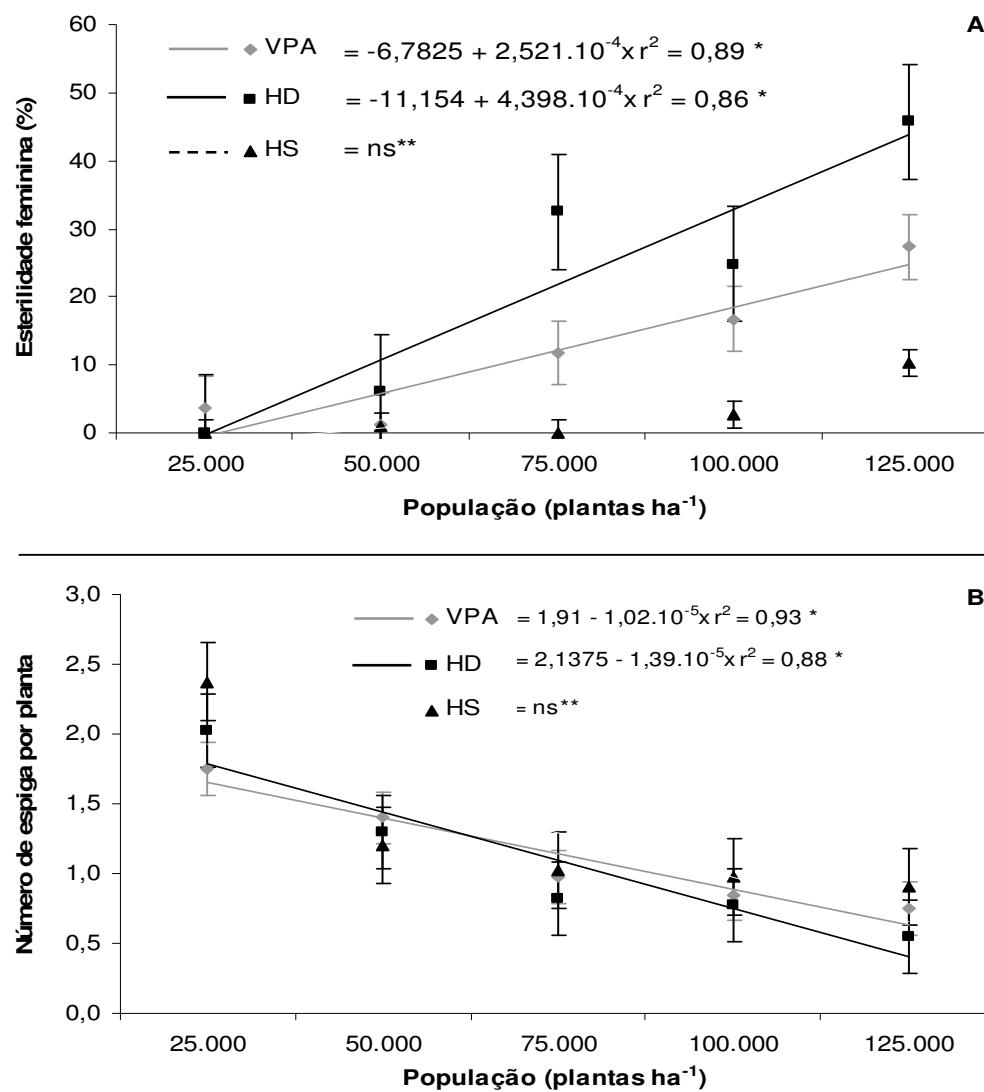


Figura 8 – Esterilidade feminina (A) e índice de espiga (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

** Regressão não significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

Confirmado estes dois eventos, a análise de correlação (Tabela 2) demonstrou associação negativa (-0,64) para esterilidade feminina e positiva (0,07) para número de espigas por planta, relacionadas ao rendimento de grãos.

A esterilidade feminina é um dos principais fatores limitantes à otimização da conversão da energia solar à produção de grãos quando o milho é semeado em altas densidades (SANGOI, 1996). Após a transformação do ponto de crescimento em primórdio floral, grande quantidade de auxinas é produzida, desencadeando intensa atividade de divisão e elongação celular, resultando em incremento de estatura e produção de massa seca na planta de milho (RITCHIE et al., 1993). Em altas densidades, devido a maior proximidade das plantas, menor quantidade de luz consegue atingir o ponto de crescimento (GARDNER et al., 1985), o que impede a inativação das auxinas (SALISBURY & ROSS, 1992), estimulando a dominância do pendão, suprimindo o desenvolvimento das espigas e elevando a taxa de esterilidade feminina (SANGOI & SALVADOR, 1997).

A elevada percentagem de plantas estéreis denotada pela VPA e pelo HD nas densidades mais altas pode ter sido ocasionado pela alta percentagem de quebra de colmos ocorrida logo após o espigamento (Figura 7B) e pela maior assincronia floral destes materiais (Figura 6), priorizando a formação do pendão em relação à da espiga. No segundo caso, o maior subperíodo antese-espigamento pode ter alterado as taxas de transporte de fitohormônios e carboidratos dentro da planta, tornando as espigas iniciadas tarde menos capazes de se tornarem funcionais e produzirem grãos, devido sua menor capacidade competitiva por fotoassimilados com as demais estruturas da planta (SANGOI, 2001).

A arquitetura de planta do HS provavelmente favoreceu para menor quebra de plantas, assim como propiciou uma força de dreno mais bem distribuída entre pendão e espiga. Estas são duas características importantes dos genótipos tolerantes ao adensamento.

1.4.7 Rendimento de grãos e componentes

O rendimento de grãos foi afetado significativamente pela interação entre cultivar e população de plantas. A produção de grãos por área respondeu quadraticamente ao incremento na densidade, variando de 6.738 kg ha⁻¹ para a VPA na densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ a 12.634 kg ha⁻¹ para o HS na densidade de 75.000 plantas ha⁻¹ (Figura 9).

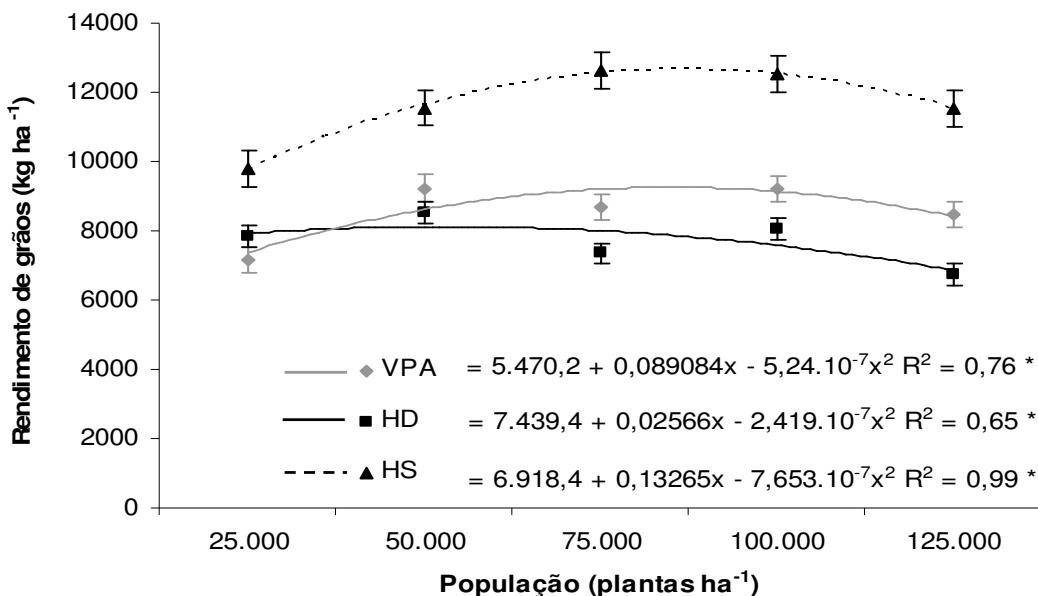


Figura 9 – Rendimento de grãos de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P < 0,05$).

A produtividade média obtida no experimento superou a 9.000 kg ha⁻¹, demonstrando a capacidade produtiva da cultura nas condições edafoclimáticas em que se conduziu o trabalho. O maior valor de rendimento de grãos para o HS foi registrado com o estande de 75.000 plantas ha⁻¹, no qual esta cultivar alcançou a produtividade de 12.634 kg ha⁻¹ (Figura 9). Já para o HD e a VPA, os maiores rendimentos foram registrados na densidade de 50.000

plantas ha⁻¹, onde estes genótipos produziram 8.516 e 9.234 kg ha⁻¹, respectivamente.

As densidades ótimas calculadas utilizando-se a primeira derivada das equações quadráticas ajustadas para cada cultivar foram de 86.665 plantas ha⁻¹, 53.044 plantas ha⁻¹ e 85.000 plantas ha⁻¹ para o HS, HD e VPA, respectivamente. Mesmo sendo menor que 2% a diferença da densidade ótima calculada para o HS e a VPA, observa-se que a resposta do rendimento de grãos do HS ao incremento na população foi numérica e percentualmente mais alta, superando a produtividade das demais cultivares em todas as densidades, acentuando-se nas populações mais altas avaliadas no ensaio. Neste sentido, tomando-se os valores obtidos em cada densidade, verificou-se que o rendimento do HS foi 30% maior do que a produtividade média do HD e da VPA, nas duas menores populações testadas no ensaio. Por outro lado, quando semeados a 75.000, 100.000 e 125.000 plantas ha⁻¹, estas diferenças superaram 45%. Estes dados demonstraram a melhor adaptação do HS à utilização de altas densidades de plantas na lavoura, corroborando as recomendações de população de plantas feita pela empresa responsável pela produção de sementes desta cultivar.

O número de grãos produzidos por área aumentou quadraticamente com o incremento na densidade de 25.000 para 125.000 plantas ha⁻¹, para a VPA e o HS variando entre 1.978 grãos m⁻² para a VPA na densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ a 4.057 grãos m⁻² para o HS na densidade de 100.000 plantas ha⁻¹. O número de grãos produzidos por área foi otimizado nas densidades de 99.336 plantas ha⁻¹ e 95.720 plantas ha⁻¹, para o HS e a VPA, respectivamente. O HD apresentou um comportamento distinto e muito parecido nas cinco densidades para os valores de número de grãos por área. O maior número de grãos produzido por área foi na densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ com 2.448 grãos m⁻² e o menor na densidade de 125.000 plantas ha⁻¹ onde produziu 2.033 grãos m⁻² (Figura 10A).

Houve interferência da interação entre cultivar e população de plantas sobre o número de grãos produzidos por espiga (Figura 10B). Este componente do rendimento respondeu

quadraticamente ao incremento na população de plantas no caso do HS, onde o maior número de grãos por espiga foi obtido na densidade de 50.000 plantas ha^{-1} . Já o HD e a VPA decresceram linearmente o número de grãos produzidos por espiga com o incremento na população.

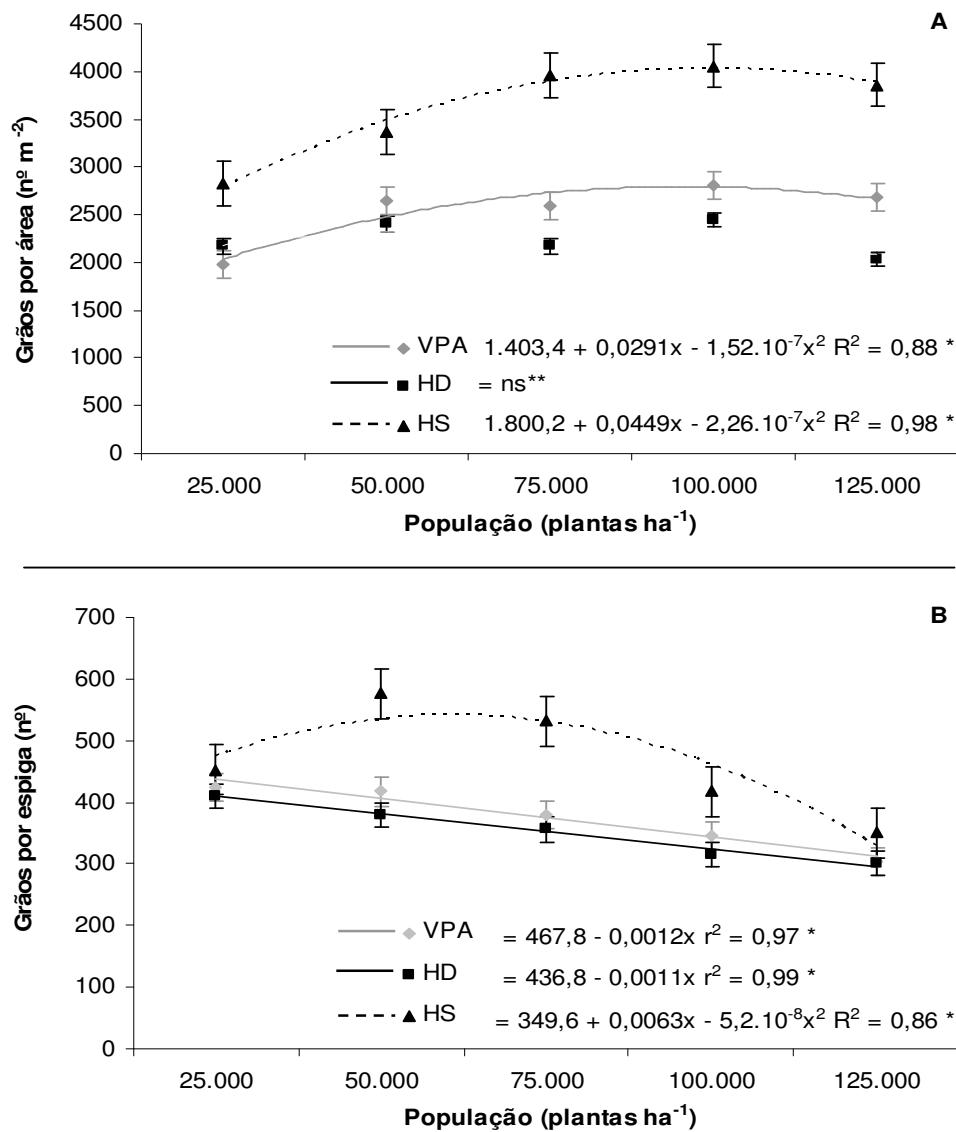


Figura 10 – Produção de grãos por área (A) e por espiga (B) de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P < 0,05$).

** Regressão não significativa a 5% de probabilidade de erro ($P > 0,05$).

O rendimento de grãos do milho está diretamente associado às variações no número de grãos por espiga (OTEGUI et al., 1995; CANTARERO et al., 1999), que pode ser reduzido pelo aborto de óvulos recentemente fertilizados no início do enchimento de grãos em populações elevadas (SANGOI, 2001). O número de grãos produzidos por m^2 é o componente do rendimento que mais interfere na produtividade final de grãos dos cereais (VEGA et al., 2001), sendo afetado pelo número de plantas por área, número de espigas por planta e pelo número de grãos por espiga que atingem a maturação fisiológica (ANDRADE et al., 2002). Essas informações foram observadas e confirmadas com análise de correlação entre rendimento de grãos e demais variáveis (Tabela 2), a qual demonstrou um coeficiente de correlação de 0,98 para grãos por área e de 0,55 para número de grãos por espiga.

O HS produziu maior número de grãos por área (Figura 10A) e também maior número de grãos por espiga (Figura 10B) do que as demais cultivares, o que contribuiu para o maior rendimento de grãos registrado por este material em todas as populações avaliadas no ensaio. A maior sincronia entre antese e espigamento (Figura 6) provavelmente favoreceu a produção de maiores números de grãos por espiga e por área do HS em relação ao HD e à VPA, principalmente nas densidades mais altas. É possível que a maior sincronia floral do HS se deve a sua maior eficiência em suprir carboidratos à espiga nas fases de pré-floração, floração e início do enchimento de grãos.

A massa de mil grãos foi afetada significativamente pelos efeitos simples de cultivar e de população de plantas. O aumento na densidade de plantas decresceu linearmente a massa de mil grãos, na média das três cultivares avaliadas no ensaio (Figura 11).

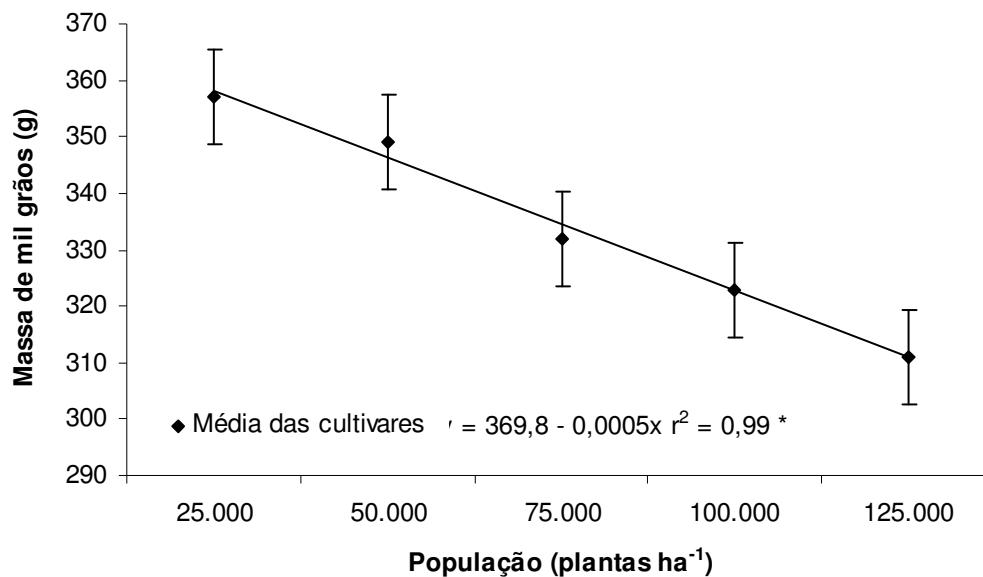


Figura 11 – Massa de mil grãos em cinco populações de plantas, na média de três cultivares de milho. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

O HD foi o que apresentou a maior massa de mil grãos e o HS a menor (Tabela 4), na média das cinco populações, confirmando que o número de grãos por área é mais importante que a massa de grãos para incrementar rendimento, principalmente em altas densidades (Figuras 9, 10A e 11).

Tabela 4 – Massa de mil grãos de três cultivares de milho, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Cultivar	Massa de mil grãos
VPA ^{1/}	338,6 B*
HD	344,7 A
HS	319,4 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples.

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

A assincronia floral estimulada por condições de estresse reduz o número de óvulos fertilizados, suprimindo o poder de demanda da espiga durante o enchimento de grãos (SANGOI & SALVADOR, 1998). A redução do poder de demanda da espiga contribui para a diminuição da atividade fotossintética das folhas (RAJCAN & TOLLENAAR, 1999a). A menor atividade fotossintética das folhas reduz o suprimento de carboidratos às raízes, o qual é fundamental para absorção de nitrogênio e de outros nutrientes na fase reprodutiva da cultura (RAJCAN & TOLLENAAR, 1999b). Coletivamente, esta seqüência de eventos acelera a senescência foliar, encurtando o período de enchimento de grãos e reduzindo o rendimento de grãos.

Associando-se os dados de rendimento de grãos (Figura 9) com o comportamento dos dados relativos à área foliar (Figuras 2, 3, 4 e 5), a duração do subperíodo antese-espigamento (Figura 6), à esterilidade feminina (Figura 8A), à estatura de plantas (Tabela 3) e à percentagem de quebra de plantas (Figura 7B), com as ponderações fisiológicas do parágrafo anterior, pode-se fazer algumas ilações. Neste sentido, a melhor adaptação do HS às altas populações de plantas pode ser consequência de sua melhor sincronia floral (Figura 6) e da menor esterilidade feminina (Figura 8A), promovidas por uma natureza protândrica menos acentuada da planta e pelo desenvolvimento alométrico mais equilibrado entre as inflorescências masculina e feminina. Estas características certamente contribuíram para o estabelecimento de um dreno mais forte logo após a floração. Assim, a maior demanda por fotoassimilados do HS durante o enchimento de grãos pode ter favorecido a manutenção da atividade fotossintética das folhas por um período mais longo, retardando a senescência foliar e contribuindo para à maior produção de grãos por área (Figura 10A) desta cultivar. Outra característica fundamental para a melhor performance agronômica do HS em estandes adensados foi a sua capacidade de manter as plantas eretas até à colheita (Figura 7B), preservando por mais tempo a atividade fotossintética das folhas.

Os dados obtidos neste estudo reforçam a hipótese de que existe associação positiva entre tolerância ao adensamento e senescência foliar mais lenta ao final do período de enchimento de grãos na cultura do milho, conforme pode ser observado pela correlação negativa registrada entre área foliar senesceda por planta aos 56 dias após o espigamento e o rendimento de grãos (Tabela 2).

1.5 CONCLUSÕES

1. O incremento na população de plantas reduziu a área foliar das cultivares avaliadas, tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva, e aumentou a duração do subperíodo antese-espigamento, a esterilidade feminina e a percentagem de plantas quebradas.
2. O rendimento de grãos do HS (P30F53) foi maior e mais responsivo à elevação da densidade de plantas do que o HD (Ag 303) e a VPA (Fortuna). A maior produtividade do HS em relação às demais cultivares foi associado a sua melhor sincronia floral, menor esterilidade feminina e a menor percentagem de plantas quebradas, características que propiciaram a manutenção de maior superfície fotossinteticamente ativa ao final do período de enchimento de grãos, incrementando o número de grãos produzidos por área.

2. CAPÍTULO II

Uniformidade no crescimento e desenvolvimento de plantas e tolerância ao adensamento de cultivares de milho

2.1 RESUMO

O rendimento de grãos de cada indivíduo numa lavoura de milho é reduzido pela presença de plantas adjacentes. O incremento na população de plantas aumenta a variabilidade morfológica e fenológica do milho, o que pode diminuir sua eficiência no uso dos recursos do ambiente. Cultivares tolerantes ao adensamento podem ter desenvolvimento mais uniforme das plantas, melhorando o desempenho agronômico da cultura em ambientes adensados. O objetivo deste trabalho foi quantificar o impacto do incremento na densidade de plantas sobre o rendimento de grãos por planta e o coeficiente de variação de características morfológicas e fenológicas de cultivares de milho. O ensaio foi conduzido no município de Lages-SC. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas três cultivares de milho de bases genéticas contrastantes: uma variedade de polinização aberta (Fortuna), um híbrido duplo (Ag 303) e um híbrido simples (P30F53). Nas subparcelas foram alocadas cinco populações de plantas: 25.000, 50.000, 75.000, 100.000, e 125.000 plantas ha⁻¹. O experimento foi implantado no dia 26 de outubro de 2005, utilizando o espaçamento entrelinhas de 0,70 m. Quando a cultura estava com quatro folhas expandidas, 10 plantas que estavam no mesmo estádio fenológico foram etiquetadas. Nestas plantas foi acompanhado o crescimento, determinando-se o coeficiente de variação para área foliar, estádio fenológico e estatura, em 10 avaliações efetuadas nos estádios V4, V8, V12, V16, R1 (espigamento) e aos 14, 28, 42, 56 e 70 dias após o espigamento. Após a colheita, determinou-se a produção de grãos por planta e o seu coeficiente de variação. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, ao nível de significância de 5% ($P<0,05$). As médias dos coeficientes de variação foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$). Os maiores coeficientes de variação para área foliar e estádio fenológico, nas fases vegetativa e reprodutiva, e para a produção de grãos por planta, foram registrados na densidade de 125.000 plantas ha⁻¹ e os menores na de 25.000 plantas ha⁻¹. Isto confirmou que o adensamento aumenta a competição e gera maior variabilidade entre as plantas na lavoura. O híbrido simples (HS) apresentou menor coeficiente de variação do que o híbrido duplo (HD) e a variedade de polinização aberta (VPA) para área foliar nas fases vegetativa e reprodutiva, estádio fenológico e número de folhas verdes, na fase vegetativa e na floração, estatura de planta na fase vegetativa e também para produção de grãos por planta. A menor variabilidade entre plantas do HS contribuiu para reduzir a competição intra-específica por água, luz e nutrientes, melhorando sua performance agronômica em estandes adensados. Assim, a maior uniformidade morfológica e fenológica do HS favoreceu a obtenção de maiores rendimentos

de grãos da comunidade, principalmente nas densidades mais altas, confirmando a hipótese de que é uma característica desejável para incrementar a tolerância das cultivares de milho ao aumento na população de plantas.

Palavras-chave: *Zea mays*, densidades de semeadura, uniformidade morfológica e fenológica, produção de grãos por planta.

2. CHAPTER II

Uniformity in plant growth and development and tolerance to crowding of maize cultivars

2.1 SUMMARY

The grain yield of each individual in a maize field is reduced by the presence of adjacent plants. The increment in plant population increases maize morphologic variability, which can reduce the crop efficiency in the use of the environmental resources. Maize cultivars tolerant to crowding may have more uniform plant development, improving the crop agronomic performance in crowded stands. This work was conducted with the objective of quantifying the effects of plant population increment on the variation coefficient of agronomic traits of maize cultivars. The trial was set up in Lages, SC, Brazil. A randomized block experimental design disposed in split-plots was used. Three cultivars with contrasting genetic variability were evaluated in the main plot: an open-pollinated variety (Fortuna), a double-cross hybrid (Ag 303) and a single-cross hybrid (P30F53). Five plant populations were tested in the split-plot: 25,000, 50,000, 75,000, 100,000, and 125,000 plants ha⁻¹. The experiment was sowed on 10-26-2005, with a row spacing of 0.70 m. When the crop had four expanded leaves, 10 plants of each split-plot that were in the same growth stage were labeled. The development of these plants was followed, determining the variation coefficient for leaf area, growth stage and plant height 10 times, at the stages of V4, V8, V12, V16, R1 (silking) and 14, 28, 42, 56 and 70 days after silking. After harvesting, grain production per plant and its variation coefficient were determined. The data were submitted to the variance analysis by the F test, at the 5.0% significance level ($P < 0.05$). The variation coefficient means were compared by the Tukey's test, at the 5.0% significance level ($P < 0.05$). The largest variation coefficients for leaf area, and growth stage, during the vegetative and reproductive phases, and for grain production per plant, were obtained with the stand of 125,000 plants ha⁻¹ and the smallest with the population of 25,000 plants ha⁻¹. This information confirmed that crowding increases the competition and stimulates higher variability among plants inside the canopy. The single-cross hybrid (SCH) presented smaller variation coefficients than the double-cross hybrid (DCH) and the open-pollinated variety (OPV) for leaf area, during the vegetative and reproductive phases, growth stage and number of green leaves, in the vegetative phase and at silking, plant height in the vegetative phase, and grain production per plant. The SCH smallest variability among plants contributed to reduce the intra-specific competition for water, light and nutrients, improving its agronomic performance. The SCH higher morphologic uniformity was positive to enhance grain yield, especially when high plant densities were used, confirming the hypothesis that an even plant growth is a desirable characteristic to improve maize tolerance to the increase in plant population.

Keywords: *Zea mays*; sowing densities; morphologic and phonologic uniformity; kernel production per plant.

2.2. INTRODUÇÃO

O incremento na densidade de plantas é uma forma de aumentar a interceptação da radiação solar e de aumentar o potencial de rendimento do milho. Contudo, ele também pode trazer algumas consequências negativas quando não se utiliza cultivares tolerantes a esta prática cultural. Entre estas podem ser citadas o aumento no intervalo entre o florescimento masculino e feminino, a maior esterilidade feminina, o menor número de grãos por espiga, a maior desuniformidade na estatura de planta e na altura de inserção da espiga e nas reduções na atividade fotossintética da cultura e na sua eficiência de conversão de fotoassimilados à produção de grãos (SANGOI et al., 2002c).

O adensamento reduz a produção de grãos por planta devido à maior proximidade e a maior variabilidade entre indivíduos no dossel (TOLLENAAR & WU, 1999). Para aumentar o rendimento de grãos por área através do incremento na população, é fundamental que o decréscimo na produção de grãos por indivíduo seja inferior ao acréscimo no número de plantas adicionadas ao estande final da lavoura (SANGOI, 2001).

A produção de grãos de cada indivíduo numa lavoura de milho é reduzida pela presença de plantas adjacentes. A magnitude desta redução em cada ambiente dependerá da proximidade, do número e da uniformidade no desenvolvimento entre as plantas da comunidade (DUNCAN, 1984; LIU et al., 2004b).

O aumento na variabilidade entre plantas é uma resposta freqüentemente observada com o incremento na densidade de semeadura na cultura do milho. Edmeades & Daynard (1979) e Madonni & Otegui (2004) observaram que sob densidades de plantas inferiores a 5,0 plantas m⁻², o desenvolvimento individual das plantas foi similar em toda população,

enquanto sob altas densidades ($8,5 \text{ plantas m}^{-2}$) foi muito desuniforme, com formação de hierarquia entre os indivíduos, se refletindo em diferenças acentuadas na taxa de acúmulo de massa seca das plantas. À medida que se incrementa a densidade, aumenta o número de plantas dominadas, caracterizadas por possuírem menor desenvolvimento e menor diâmetro de colmo, resultando em menor rendimento de grãos (STRIEDER, 2006).

A redução na produção de fitomassa e o aumento na variabilidade entre plantas são respostas freqüentemente observadas com o incremento na densidade de semeadura (MADDONI & OTEGUI, 2004). Aumentos no coeficiente de variação entre plantas como consequência do adensamento para variáveis como estatura, intervalo antese-espigamento, número de grãos e rendimento de grãos foram reportados por Edmeades & Daynard (1979), Echarte (2000) e Uribelarrea et al. (2002).

As altas variabilidades morfológica e fenológica entre plantas são características negativas à obtenção de altas produtividades porque elas diminuem a eficiência de uso dos recursos do ambiente (TOKATLIDIS & KOUTROUBAS, 2004; LIU et al., 2004b). 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 intra-específica (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, consequentemente, em reduções no número de grãos por espiga e no rendimento de grãos (VEGA, 2001).

Híbridos com respostas contrastantes ao incremento na população de plantas podem diferir na homogeneidade do crescimento e do desenvolvimento das plantas e no estádio

ontogenético em que a competição intra-específica 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 intra-específica pelos recursos do meio.

Não há relatos de estudos no Brasil correlacionando variabilidades morfológica e fenológica de genótipos de milho com tolerância ao estresse imposto pela elevação da densidade de plantas. O estudo da variabilidade no crescimento e no desenvolvimento entre plantas dentro da comunidade de genótipos de milho contrastantes quanto à tolerância ao adensamento poderá trazer importantes subsídios a fisiologistas e melhoristas, auxiliando-os a desenvolver estratégias efetivas para melhorar a performance agronômica da cultura do milho sob altas densidades de plantas. Neste sentido, a identificação das inter-relações existentes entre uniformidades morfológica e fenológica de genótipos de milho e sua tolerância ao adensamento pode ser uma ferramenta útil para que se possa utilizar o incremento na população como uma estratégia efetiva para otimizar o uso da radiação solar e, com isto, elevar o rendimento de grãos de milho.

Este trabalho foi conduzido objetivando avaliar se a maior uniformidade no crescimento e no desenvolvimento das plantas é uma característica importante para aumentar a tolerância do milho a altas densidades populacionais, melhorando a performance agronômica da cultura em locais com alta competição intra-específica.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o ano agrícola de 2005/2006, no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km de Lages, no Planalto Sul de Santa Catarina. O experimento foi localizado nas coordenadas geográficas de 27° 50' 35'' de

latitude sul e 50° 29' 45" de longitude oeste e altitude de 849 metros. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Cfb, mesotérmico, com verões brandos, com 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, 1999). Segundo análise de solo realizada em outubro de 2005, ele apresentava as seguintes características: 340 g kg⁻¹ de argila; pH em H₂O 5,4; 3 mg L⁻¹ de P; 236 mg L⁻¹ de K; 33 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 5,2 cmol_c dm⁻³ de Ca; 2,0 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,2 cmol_c dm⁻³ de Al e CTC 8,0.

No período de outono - inverno que antecedeu a implantação do experimento foi implantado em 01 de maio de 2005 um consórcio de aveia preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*), utilizando-se 55 kg ha⁻¹ de sementes para cada espécie. Essa cobertura resultou em 5.200 kg ha⁻¹ de massa seca na época da instalação do experimento. A dessecação da cobertura foi realizada no dia 25 de setembro de 2005, utilizando-se o herbicida glyphosate (1.080 g de i.a. ha⁻¹), aplicado com volume de calda de 100 L ha⁻¹.

Foram testadas três cultivares de milho com diferentes bases genéticas, todas de ciclo precoce: uma variedade de polinização aberta (SCS 154 Fortuna) desenvolvida pela EPAGRI - SC, um híbrido duplo (Ag 303) da empresa Agroceres/Monsanto e um híbrido simples (P30F53) da empresa Pioneer. Essas cultivares apresentam diferenças quanto à população de plantas indicada pelas empresas produtoras. A recomendação máxima de densidade de plantas para a cultivar SCS 154 Fortuna é de 50.000 plantas ha⁻¹. Para a cultivar Ag 303 a empresa recomenda populações de plantas entre 45.000 e 50.000 plantas ha⁻¹. A cultivar P30F53 é a que apresenta maior faixa de recomendação, variando de um mínimo de 55.000 plantas ha⁻¹ em espaçamentos de 0,80 a 0,90 m entre filas, a uma recomendação máxima de 72.000 plantas ha⁻¹ para espaçamentos reduzidos entre filas de 0,45 a 0,50 m.

Cada uma das três cultivares foi avaliada em cinco populações de plantas, equivalentes a 25.000, 50.000, 75.000, 100.000 e 125.000 plantas ha⁻¹, mantendo-se sempre o mesmo espaçamento de 0,7 m entre linhas. Foi, portanto, necessário confeccionar barbantes marcados com as distâncias entre plantas na mesma linha (57, 29, 19, 14 e 11 cm), pertinentes para cada uma das cinco densidades de plantas testadas.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas com quatro repetições. As cultivares foram avaliadas na parcela principal e as populações de planta nas subparcelas. Cada subparcela foi composta por seis linhas com sete metros de comprimento, tendo como área útil, as quatro linhas centrais.

O experimento foi implantado no dia 26 de outubro de 2005, no sistema de semeadura direta, com plantadoras manuais, reguladas para distribuir três a cinco sementes por cova. As sementes foram previamente tratadas com inseticida thiodicarb (6 g de i.a. kg⁻¹ de sementes), objetivando prevenir o ataque de pragas de solo na fase de emergência da cultura. A emergência das plantas ocorreu no dia 07 de novembro de 2005, doze dias após a semeadura. Quando as plantas estavam no estádio V4 (quatro folhas expandidas, conforme escala proposta por Ritchie et al., 1993), efetuou-se o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova, condicionando cada subparcela a sua densidade estipulada.

A adubação de manutenção com nitrogênio, fósforo e potássio foi realizada no dia da semeadura com base nos resultados obtidos pela 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 (2004), almejando um teto produtivo de 12.000 kg ha⁻¹. Aplicaram-se superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes de fósforo e potássio, nas quantidades equivalentes a 205 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 110 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Os fertilizantes fosfatado e potássico foram aplicados superficialmente nas linhas de semeadura, paralelamente a esta operação. A adubação nitrogenada foi feita utilizando uréia como fonte.

Ela consistiu de uma dose de 30 kg ha⁻¹ de N aplicada na semeadura e de duas doses de 100 kg ha⁻¹ de N, aplicadas em cobertura quando as plantas se encontravam nos estádios V4 e V10, respectivamente, perfazendo um total de 230 kg ha⁻¹ de N.

O controle de plantas daninhas foi efetuado com duas aplicações de herbicida. A primeira foi feita em pré-emergência, aos cinco dias após a semeadura, com a mistura dos produtos atrazine + s-metolachlor (1.480 + 1.160 g de i.a. ha⁻¹). A segunda foi efetuada em pós-emergência quando as plantas se encontravam no estádio V3, utilizando o produto nicosulfuron (56 g de i.a. ha⁻¹).

Foram realizadas duas aplicações preventivas do inseticida lufenoron (15 g de i.a. ha⁻¹) com jato dirigido, para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), quando as plantas estavam nos estádios V5 e V10.

Em decorrência da escassez pluviométrica próximo do florescimento, fase mais sensível da cultura ao estresse hídrico, foi necessário efetuar uma irrigação por aspersão no dia 14 de janeiro de 2006, aplicando-se uma lâmina de água de, aproximadamente, 20 mm em toda área experimental. O sistema utilizado foi o de irrigação por aspersão, com vazão de 12 mm hora⁻¹.

A avaliação do efeito dos tratamentos sobre os parâmetros ligados às uniformidades de crescimento e desenvolvimento de plantas de milho foi feita tomando-se por base 10 plantas, cinco na linha dois e cinco na linha três de cada subparcela. Estas plantas foram escolhidas procurando-se selecionar indivíduos que estivessem no mesmo estádio fenológico (V4), com as máximas homogeneidades morfológica e fenológica possíveis. Identificou-se cada uma das dez plantas com uma etiqueta plástica numerada na base do colmo. Para realizar com precisão as avaliações referentes ao estádio fenológico em que se encontravam as 10 plantas selecionadas, as extremidades da quarta, oitava e décima segundas folhas foram marcadas com tinta não lavável, servindo como um referencial.

Nas plantas selecionadas realizou-se avaliações em 10 diferentes épocas do ciclo da cultura, correspondentes aos estádios V4, V8, V12, V16, R1 (espigamento) e aos 14, 28, 42, 56 e 70 dias após o espigamento. Nestas plantas foram feitas as seguintes avaliações:

- a) Fenológicas: estádio fenológico em cada avaliação, a data em que as plantas selecionadas alcançaram os estádios VT (exteriorização do pendão e início da deiscência de pólen) e R1 (exteriorização dos estigmas) e o número de dias entre VT e R1, de acordo com escala proposta por Ritchie et al. (1993).
- b) Morfológicas: número de folhas produzidas pela planta, número de folhas verdes e senescidas e estatura de planta, medindo-se a distância entre o nível do solo e a extremidade da folha mais jovem da planta (estádio vegetativo) e do pendão (R1).

Área foliar: a área foliar foi obtida de acordo com metodologia descrita por Tollenaar (1992). Para tanto, foram medidos o comprimento (C) da base à ponta da folha e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas da planta. Considerou-se fotossinteticamente ativas 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. O somatório das áreas de todas as folhas da planta determinaram a área foliar por indivíduo.

Senescência foliar: a senescência foliar foi estimada considerando-se o somatório da área de todas as folhas senescidas, com menos de 50% de sua área verde, em cada época de avaliação, com exceção à primeira (V4).

- c) Características agronômicas: produção de grãos por planta.

Todas estas avaliações foram tomadas individualmente nas 10 plantas de cada subparcela, calculando-se posteriormente a média e o coeficiente de variação para cada uma das variáveis analisadas. O coeficiente de variação foi determinado dividindo-se o desvio

padrão da média pela própria média, multiplicando o valor achado por 100, para se obter o valor em porcentagem.

A colheita das espigas do ensaio foi feita manualmente, colhendo-se apenas as espigas das dez plantas selecionadas, no dia 08 de abril de 2006, 164 dias após a semeadura, no momento em que não havia mais presença de folhas verdes e os grãos estavam com umidade próxima a 20%.

As espigas foram colhidas, despalhadas e trilhadas manualmente. Posteriormente, os grãos foram secos em estufa à temperatura de, aproximadamente, 60°C, até atingirem peso constante.

Os pesos obtidos da massa seca de grãos colhidos foram convertidos à umidade padrão de 130 g kg⁻¹, determinando-se assim o rendimento de grãos por planta, a média e o coeficiente de variação de cada subparcela.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente através da análise de variância. A magnitude do efeito dos tratamentos aplicados frente ao erro experimental foi testada através do teste F. A comparação do efeito dos tratamentos sobre os coeficientes de variação estudados para cada variável foi feita pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% ($P<0,05$).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação e a discussão dos resultados serão focadas nos valores dos coeficientes de variação (C.V.) das variáveis analisadas que foram afetadas pela interação entre cultivares e populações de plantas ou pelo efeito simples de um dos tratamentos e que são apresentados na forma de tabelas, com exceção da variável produção de grãos por planta que será apresentada na forma de gráfico com os valores absolutos obtidos.

2.4.1 Área foliar por planta

2.4.1.1 Variabilidade da área foliar por planta nos períodos vegetativo e espigamento

O coeficiente de variação da área foliar entre plantas foi afetado pelo efeito simples de cultivar nos estádios fenológicos V12, V16 e R1. O HS apresentou os menores coeficientes de variação entre plantas e a VPA as maiores variabilidades nestes estádios fenológicos (Tabela 5). Nas avaliações realizadas nos estádios V4 e V8 não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os coeficientes de variação calculados para área foliar, o que provavelmente ocorreu em função de se ter selecionado plantas bastante uniformes fenologicamente em V4.

Tabela 5 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta de três cultivares de milho, em três estádios fenológicos (V12, V16 e R1), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Estádio fenológico	Cultivares		
	VPA ^{1/}	HD	HS
	C.V. da área foliar (%)		
V12 ^{2/}	22,9 A*	17,9 B	14,4 C
V16	16,7 A	14,1 B	9,5 C
R1 ^{3/}	16,5 A	12,9 B	7,5 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples

^{2/} Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993). ^{3/} Espigamento.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

O incremento na densidade de plantas de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} aumentou o coeficiente de variação da área foliar da cultura nos estádios V16 e R1, na média das três cultivares (Tabela 6). Em V16, a variabilidade da área foliar entre plantas cresceu 74,0 % com o incremento na densidade de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} , enquanto que em R1 esse acréscimo foi de 97,6% (Tabela 6). Estes dados confirmaram as observações feitas por

Echarte (2000) e Uribe Larrea et al. (2002) de que o adensamento aumenta a variabilidade entre plantas na comunidade.

Tabela 6 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta em dois estádios fenológicos do milho (V16 e R1) em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.

Estádio fenológico	Populações (plantas ha ⁻¹)				
	25.000	50.000	75.000	100.000	125.000
C.V. da área foliar (%)					
V16 ^{1/}	9,7 E*	13,4 C	13,3 D	13,9 B	16,9 A
R1 ^{2/}	8,2 E	11,7 D	12,9 B	12,5 C	16,2 A

^{1/}Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993). ^{2/} Espigamento.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

2.4.1.2 Variabilidade da área foliar por planta no período de formação e enchimento de grãos

Durante todo o período de formação e enchimento de grãos, os menores valores de coeficiente de variação (C.V.) para área foliar foram registrados no HS e os maiores na VPA, na média das cinco populações de plantas testadas (Tabela 7). Para todas as cultivares, verificou-se que os valores de C.V. foram mais altos no final do período de enchimento de grãos, evidenciando que as diferenças entre plantas quanto à capacidade de manter folhas verdes se acentuaram ao final do ciclo da cultura.

Tabela 7 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta de três cultivares de milho em cinco épocas de avaliação, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Dias após espigamento	Cultivares		
	VPA ^{1/}	HD	HS
		C.V. da área foliar (%)	
14	16,9 A*	13,0 B	8,3 C
28	17,1 A	13,1 B	8,7 C
42	20,8 A	19,2 B	10,9 C
56	75,5 B	94,8 A	35,2 C
70	179,0 A	151,5 B	113,9 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

Na média das três cultivares utilizadas, os maiores coeficientes de variação para área foliar por planta aos 14, 28 e 42 dias após o espigamento foram registrados na densidade de 125.000 plantas ha^{-1} e os menores na de 25.000 plantas ha^{-1} (Tabela 8). Isto demonstra que o incremento na competição intra-específica decorrente do adensamento, aumenta a variabilidade entre plantas, tanto na fase vegetativa (Tabela 6) quanto durante o enchimento de grãos (Tabela 8).

Tabela 8 – Coeficiente de variação (C.V.) da área foliar por planta, em três épocas de avaliação, em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.

Dias após espigamento	Populações (plantas ha ⁻¹)				
	25.000	50.000	75.000	100.000	125.000
	C.V. da área foliar (%)				
14	8,7 E*	12,3 C	12,2 D	13,6 B	16,7 A
28	9,4 E	12,5 C	12,4 D	13,2 B	17,3 A
42	12,8 E	17,3 C	18,5 B	16,2 D	20,0 A

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

2.4.1.3 Estadios fenológicos

O coeficiente de variação externado pelas 10 plantas de cada subparcela para estádios fenológicos foi afetado significativamente pelo efeito simples de cultivar nos estádios V12, V16 e R1 (espigamento) (Tabela 9). Observou-se um comportamento diferenciado para o HS frente às outras duas cultivares. O HS manteve menor coeficiente de variação nas três épocas supracitadas (Tabela 9). Principalmente durante o espigamento, a variabilidade fenológica entre plantas do HS foi 180 e 169% menor do que a externada pela VPA e pelo HD, respectivamente, corroborando com os dados fenológicos descritos no Capítulo I e enfatizando a uniformidade fenológica das plantas desta cultivar.

Tabela 9 – Coeficiente de variação (C.V.) do desenvolvimento fenológico de três cultivares de milho, em três estádios (V12, V16 e R1), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Estádio fenológico	Cultivares		
	VPA ^{1/}	HD	HS
C.V. do estádio fenológico (%)			
V12 ^{2/}	7,1 A*	6,6 B	4,7 C
V16	7,1 A	6,8 B	4,5 C
R1 ^{3/}	7,3 A	7,0 B	2,6 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples

^{2/} Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993). ^{3/} Espigamento.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

O adensamento de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} aumentou o coeficiente de variação entre plantas nos estádios V16 e R1 (Tabela 10). Em V16, a variabilidade entre plantas cresceu 39% da menor para a maior densidade, enquanto que em R1 (espigamento) o aumento foi de 74%. O aumento na variabilidade fenólica ocorrido entre plantas com o adensamento é um ponto negativo para o florescimento da cultura, pois pode favorecer a produção de menor número de espigas férteis por planta decorrente do maior intervalo de tempo entre a diferenciação das inflorescências masculina e feminina, bem como dificulta os processos de polinização e fertilização das espiguetas femininas.

Tabela 10 – Coeficiente de variação (C.V.) do desenvolvimento fenológico, em dois estádios de crescimento do milho (V16 e R1), em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.

Estádio fenológico	Populações (plantas ha ⁻¹)				
	25.000	50.000	75.000	100.000	125.000
	C.V. do estádio fenológico (%)				
V16 ^{1/}	5,1 E*	6,2 B	6,1 C	6,0 D	7,1 A
R1 ^{2/}	4,6 E	5,2 C	4,8 D	5,5 B	8,0 A

^{1/}Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993). ^{2/} Espigamento.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

2.4.1.4 Número de folhas verdes por planta

O coeficiente de variação (C.V.) do número de folhas foi afetado pelo efeito simples de cultivar, nos estádios V16 e R1 (espigamento). A VPA apresentou os maiores C.V.s entre plantas, enquanto que o HS apresentou a menor variabilidade entre plantas para esta característica (Tabela 11). Para a VPA e o HD, a variabilidade no número de folhas verdes manteve-se com valores muito próximos na mudança do estádio fenológico V16 para R1. Já para o HS, a variabilidade registrada no estádio V16 decresceu 42% na avaliação feita em R1.

Tabela 11 – Coeficiente de variação (C.V.) do número de folhas verdes por planta de três cultivares de milho, em dois estádios fenológicos (V16 e R1), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Estádio fenológico	Cultivares		
	VPA ^{1/}	HD	HS
C.V. do número de folhas verdes (%)			
V16 ^{2/}	11,0 A*	10,4 B	7,5 C
R1 ^{3/}	11,5 A	10,0 B	5,3 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples

^{2/} Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al., (1993). ^{3/} Espigamento.

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

2.4.1.5 Estatura de planta

Houve apenas efeito simples de cultivar sobre o coeficiente de variação da estatura de planta nos estádios V8, V12 e V16 (Tabela 12). Os maiores valores para todas as cultivares, do coeficiente de variação para estatura de planta foram registrados em V8. Esta é uma fase de início de expansão dos entrenós do colmo, onde ocorre acentuada concorrência das plantas por luz. Esta competição tende a diminuir a partir do momento em que cada uma das plantas preenche seu espaço dentro da comunidade nos estádios subseqüentes. O HS demonstrou maior homogeneidade na estatura de planta durante a fase de expansão dos entrenós do colmo, talvez por apresentar arquitetura de planta mais compacta, que facilita a penetração da radiação solar no interior da comunidade. Isto pode promover maior oxidação de auxinas e menor estímulo ao crescimento em estatura, diminuindo a competição entre as plantas por luz, mesmo nos estandes mais adensados (Sangoi et al., 2002c).

Tabela 12 – Coeficiente de variação (C.V.) da estatura de planta de três cultivares de milho, em três estádios fenológicos (V8, V12 e V16), na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Estádio fenológico	Cultivares		
	VPA ^{1/}	HD	HS
C.V. da estatura de planta (%)			
V8 ^{2/}	11,9 A*	9,5 B	7,8 C
V12	9,7 A	6,2 B	6,0 C
V16	9,5 A	6,7 B	4,2 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples

^{2/} Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993).

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

2.4.1.6 Produção de grãos por planta

A variabilidade para produção de grãos por planta aumentou à medida que se elevou o número de plantas por área de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} (Tabela 13), na média das três cultivares, mantendo o comportamento típico já observado em outras variáveis. Assim, o adensamento aumentou o coeficiente de variação entre plantas para área foliar, estádio fenológico, número de folhas verdes e estatura de planta, características que provavelmente contribuíram para maior variabilidade na produção de grãos por indivíduo.

Tabela 13 – Coeficiente de variação (C.V.) da produção de grãos por planta de milho em função do incremento na população de plantas, na média de três cultivares. Lages-SC, 2005/06.

Populações (plantas ha ⁻¹)	25.000	50.000	75.000	100.000	125.000
C.V. da produção de grãos por planta (%)	25,6 D*	24,8 E	38,0 C	43,5 B	54,2 A

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

O coeficiente de variação da produção de grãos por planta do HS foi 61% e 41% menor do que o do HD e da VPA, na média das cinco populações de plantas avaliadas (Tabela 14). A menor variabilidade na produção de grãos por planta é uma característica importante principalmente sob altas densidades populacionais (TOKATLIDIS & KOUTROUBAS, 2004). Os dados da Tabela 14 ajudam explicar a melhor resposta do rendimento de grãos da comunidade de plantas do HS em relação às outras duas cultivares ao adensamento descrito no primeiro capítulo (Figura 9).

Tabela 14 – Coeficiente de variação (C.V.) da produção de grãos por planta de três cultivares de milho, na média de cinco populações de plantas. Lages-SC, 2005/06.

Cultivares	VPA ^{1/}	HD	HS
C.V. da produção de grãos por planta (%)	44,7 A*	39,2 B	27,8 C

^{1/} VPA – variedade de polinização aberta, HD – híbrido duplo e HS – híbrido simples

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

A interação entre cultivar e densidade de plantas afetou significativamente os valores absolutos da produção de grãos por planta. Esta variável apresentou um comportamento linear

decrecente nas três cultivares, com o incremento de 25.000 para 125.000 plantas ha^{-1} (Figura 13). Estes dados confirmam os relatos feitos por Tollenaar & Wu (1999) de que as maiores proximidade e variabilidade entre indivíduos do dossel promovidas pelo maior adensamento, reduzem a produção de grãos por planta. O HS, por apresentar a menor variabilidade entre plantas na produção de grãos (Tabela 14), conseguiu, mesmo com a maior taxa de decréscimo, os maiores valores de produção de grãos por planta nas quatro densidades (Figura 13). As maiores taxas de decréscimo na produção de grãos por planta do HS pode ser devido à sua capacidade de emissão de afilhos férteis quando cultivados em baixas densidades populacionais, característica que fez com que a produção de grãos por indivíduo do HS fosse superior a 200g nas duas densidades mais baixas utilizadas no trabalho.

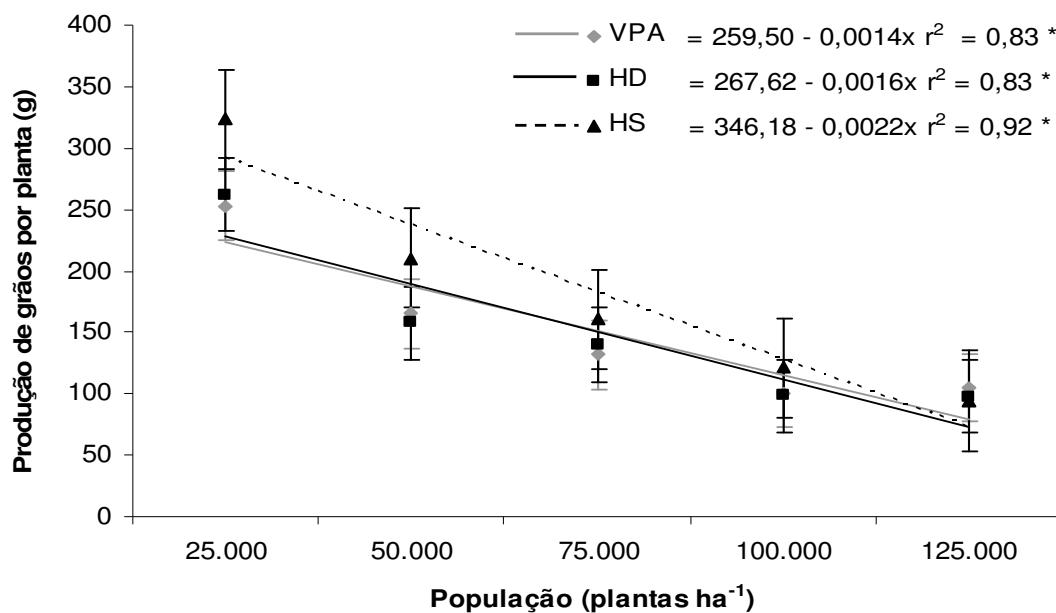


Figura 12. Produção de grãos por planta de três cultivares de milho (Variedade de Polinização Aberta - VPA, Híbrido Duplo - HD e Híbrido Simples - HS), em cinco populações de plantas. Lages, SC, 2005/06.

* Regressão significativa a 5% de probabilidade de erro ($P<0,05$).

O HS apresentou os menores coeficientes de variação do que o HD e a VPA para todas as variáveis avaliadas no trabalho. Isto possivelmente contribuiu para o maior rendimento de grãos obtido com esta cultivar em todas as densidades de semeadura e, principalmente, para as maiores diferenças de produtividade registradas entre o HS e os demais genótipos nas densidades mais altas (Capítulo I). Neste sentido, as menores variabilidades morfológica e fenológica entre plantas do HS foi uma característica positiva para otimizar a eficiência de uso dos recursos do ambiente, diminuindo o número de plantas dominadas e tornando a comunidade mais eficaz na conversão da energia luminosa à produção de grãos. Estes dados confirmaram as observações feitas por Tollenaar & Wu (2000) de que híbridos tolerantes a altas densidades apresentam menor variabilidade na produção de grãos de planta para planta do que híbridos não tolerantes, mesmo em densidades consideradas adequadas. Em densidades supra-ótimas, esta característica se acentua e está intimamente associada com a tolerância da cultura a estresses bióticos e abióticos (TOLLENAAR & LEE, 2002).

2.5 CONCLUSÕES

1. Os maiores coeficientes de variação para área foliar, estádio fenológico e número de folhas verdes no espigamento da cultura foram registrados na densidade de 125.000 plantas ha⁻¹ e os menores na de 25.000 plantas ha⁻¹, indicando que o adensamento aumenta a competição intra-específica e, consequentemente, a variabilidade entre plantas na lavoura.
2. As plantas do HS (P30F53) apresentaram menores coeficientes de variação para área foliar, número de folhas verdes, estádio fenológico, estatura e produção de grãos por indivíduo do que as do HD (Ag 303) e da VPA (Fortuna). Estas características contribuíram para reduzir a competição intra-específica e para melhorar a performance agronômica do HS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O incremento na densidade de plantas é uma alternativa para elevar o rendimento de grãos da cultura de milho. O rendimento de grãos de diferentes híbridos lançados recentemente tem respondido positivamente ao maior adensamento de plantas do que os híbridos utilizados no passado.

A elucidação de características agronômicas que contribuam para aumentar a tolerância do milho à competição intra-específica decorrente do incremento na população de plantas, é indispensável para que se possa utilizar altas densidades como uma estratégia de manejo efetiva para elevar o rendimento de grãos de milho.

O presente trabalho tinha como hipóteses iniciais que a senescência foliar mais lenta na fase reprodutiva da cultura e o crescimento e desenvolvimento uniforme das plantas eram características positivas para aumentar a tolerância da cultura do milho à elevação da população de plantas em lavoura. Estas hipóteses foram parcialmente confirmadas pelos resultados obtidos no ano agrícola 2005/2006. Neste sentido, o híbrido simples (HS) P30F53 apresentou maior tolerância ao adensamento de plantas e maior capacidade de manter suas folhas verdes na segunda metade do período de formação e enchimento de grãos, principalmente nas densidades mais altas. Este comportamento foi provavelmente decorrente de sua maior sincronia floral e da menor esterilidade feminina, características que contribuíram para estabelecimento de um dreno mais forte logo após a floração. Assim, a maior demanda por fotoassimilados do HS provavelmente favorecem a manutenção da

atividade fotossintética das folhas por um período mais longo, retardando a senescência foliar e contribuindo para maior produção de grãos por área desta cultivar.

Da mesma forma para as avaliações referentes à variabilidade entre plantas, o HS foi mais homogêneo para características importantes como estatura de planta, área foliar, fenologia e produção de grãos por planta, apresentando coeficientes de variação sempre menores que os dos outros dois genótipos. As menores variabilidades morfológica e fenológica do HS foi, provavelmente, uma característica positiva para otimizar a eficiência de uso dos recursos do ambiente, diminuindo o número de plantas dominadas e tornando a comunidade mais eficaz na conversão da energia luminosa à produção de grãos.

Embora os resultados obtidos no primeiro ano de trabalho indiquem que as hipóteses inicialmente propostas são procedentes, eles se referem a apenas um ano de experimentação. Além disto, intempéries climáticas ocorridas em meados de janeiro de 2006, quando a cultura se encontrava no início do enchimento de grãos, estimularam a quebra prematura de colmos nas densidades superiores a 50.000 plantas ha^{-1} , principalmente no híbrido duplo Ag 303 e na variedade de polinização aberta Fortuna. Nestes casos, algumas parcelas apresentaram cerca de 50% das plantas quebradas logo após a floração. Isto pode ter desconfigurado o efeito da densidade de plantas sobre a quantidade de radiação solar interceptada pela cultura, sobre o poder de demanda das espigas das plantas remanescentes e, consequentemente, sobre a evolução das áreas foliares verde e senescida durante o enchimento de grãos da cultura.

Considerando estas limitações, o ensaio está sendo repetido no ano agrícola 2006/2007, de forma que se possam tirar conclusões mais consistentes sobre a importância da senescência foliar mais lenta na fase reprodutiva da cultura e do crescimento e desenvolvimento uniformes como características positivas para aumentar a tolerância da cultura do milho ao incremento na densidade de plantas.

REFERÊNCIAS 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. **Ecofisiología del cultivo de maíz**. Buenos Aires: Dekalb Press, 1996. 292p.
- 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.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Estratégias de melhoramento das empresas para otimizar a resposta a densidade de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, IV, 2003, Lages, SC. **Resumos Expandidos...** Lages: CAV-UDESC, 2003a. p. 30-34.
- ARGENTA, G.; et al. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 4, n. 1/2, p. 27-34, 2003b.
- 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.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77p.
- BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 31, n. 2, p. 233-252, 1996.

BORRÁS, L.; MADDONI, G.; OTEGUI, M. E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 13-26, 2003.

CANTARERO, M. G.; CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Night temperature at silking affects kernel set in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 3, p. 703-710, 1999.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

COMUNICADO TÉCNICO PIONEER SEMENTES, IV. **Os gargalos técnicos da cultura do milho**. Santa Cruz do Sul, 2006. 8p.

DANGL, J. L.; DIETRICH, R. A.; THOMAS, H. Senescence and programmed cell death. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISEN, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. Cap. 15, p. 1044-1100.

DUNCAN, W.G. A theory to explain the relationship between corn population and grain yield. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 6, p. 1141-1145, 1984.

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

DWYER, L. M.; et al. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 2, p. 430-438, 1992.

ECHARTE, L.; et al. Response of maize kernel number to plant population in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 1-8, 2000.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

GARDNER, F. P.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants.** Ames: Iowa State University, 1985. 327p.

HORN, D. **Cinética da absorção de nutrientes em cultivares de milho com diferentes bases genéticas e seus desempenhos agronômico e econômico em quatro níveis de manejo.** 2004. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2004.

ICEPA. Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. **A despeito da redução de plantio, produção catarinense deve crescer.** - Milho, 10/11/2006, 2006. Disponível em: <<http://www.icepa.com.br/milho>>. Acesso em 17 de novembro de 2006.

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.

LAFARGE, T. H.; HAMMER, G. L. Predicting plant leaf area production: shoot assimilate accumulation and partitioning and leaf area ratio are stable for a wide range of sorghum population densities. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, 137-151, 2002.

LIU, W.; et al. Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 1, p. 275-280, 2004a.

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, 2004b.

MADONNI, 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, p. 1-13, 2004.

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.

MADDONI, G. A.; et al. Maize leaves turn away from neighbors. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 130, n. 6, p. 1181-1189, 2002.

MEROTTO JR., A.; et al. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos do milho, principalmente em alta população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 595-601, 1999.

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

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, 2005. 51p.

NOODEN, L. D.; GUIAMET, J. J.; JOHN, I. Senescence mechanisms. **Physiology Plantarum**, Rockville, v. 101, n. 3, p. 746-753, 1997.

OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F. H. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: Westgate, M. E.; Boote, K. J. (ed), **Physiology and modeling kernel set in maize.** Madison, CSSA, 2000. Cap. 4, p. 89-102.

OTEGUI, M. E.; et al. Sowing date effects on grain yield components of different maize genotypes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 1, p. 29-33, 1995.

PEIXOTO, C. M.; 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.

PIONEER SEMENTES. “**Efeito etanol” já turbina o mercado brasileiro de milho.** Notícias, 22/11/2006, 2006. Disponível em:<<http://www.pioneersementes.com.br/default.aspx?page=ArtigosDetalhe&id=83>>. Acesso em 22 de novembro de 2006.

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

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source:sink ration and leaf senescence in maize. 1. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 2, p. 245-253, 1999a.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source:sink ratio and leaf senescence in maize. 2. Nitrogen metabolism during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 2, p. 255-265, 1999b.

RAMALHO, M. A. P. Contribuição do melhoramento genético vegetal na produção de grãos. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, V, 2005, Chapecó.

Resumos... Chapecó: Newsprint, 2005. 336p. p.20-26.

RIGON, L.; et al. **Anuário Brasileiro do Milho 2006**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta. 2006. 136p.:il.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special Report, 48).

SADRAS, V. O.; ECHARTE, L.; ANDRADE, F. Profile of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. **Annals of Botany**, Balcarce, v. 85, n. 1, p. 187-195, 2000.

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

SANGOI, L. **An ideotype of maize for conditions of high temperature and low moisture**. Ames, IA, 1996. 350p. (Ph.D. Dissertation) - Iowa State Universtiy.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, p. 159-168, 2001.

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

SANGOI, L.; SALVADOR, R. J. Maize susceptibility to drought at flowering: a new approach to overcome the problem. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 699-706, 1998.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Arranjo espacial de plantas de milho: como otimizá-lo para maximizar o rendimento de grãos. CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, XXV, 2004, Cuiabá, MT. **Anais...** Sete Lagoas: ABMS, 2004. CD-ROM.

SANGOI, L.; et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 39-51, 2002a.

SANGOI, L.; et al. 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, 2002b.

SANGOI, L.; et al. Bases morfo-fisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 101-110, 2002c.

SANGOI, L.; et al. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento na densidade de plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 1, p. 25-31, 2005a.

SANGOI, L.; et al. Bases morfofisiológicas para a maior tolerância dos híbridos modernos de milhos a altas densidades populacionais – senescência foliar. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, V, 2005, Chapecó. **Resumos...** Chapecó: Newsprint, 2005b. 336p. p. 143-147.

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

SANGOI, L.; et al. Bases morfofisiológicas para aumentar a tolerância de cultivares de milho a altas densidades de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, IV, 2003, Lages, SC. **Resumos Expandidos...** Lages: CAV-UDESC, 2003. p. 19-24.

SILVA, A. A.; et al. Parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura em milho sobre aveia preta e ervilhaca comum. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, XXV, 2004, Cuiabá, MT. **Resumos Expandidos...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Empaer, 2004. CD-ROM.

SILVA, P. R. F. da. Densidade e arranjo de plantas em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, XIX., 1992, Porto Alegre, RS. **Conferências...** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura – CIENTEC-ABMS. p. 291-294, 1992.

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, 2003. p. 25-29.

STRIEDER, M. L. Resposta do milho à redução do espaçamento entrelinhas em diferentes sistemas de manejo. Porto Alegre, 2006. 100p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

THOMAS, H. Canopy survival. In: BAKER, N. R.; THOMAS, H. **Crop photosynthesis: spatial and temporal determinants**. Amsterdam: Elsevier, 1992. Cap.1, p. 11-41.

THOMAS, H.; HOWARTH, C. J. Five ways to stay green. **Journal of Experimental Botany**, Aberystwyth, v. 51, n. 2, p. 329-337, 2000.

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

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

TOLLENAAR, M.; WU, J. Improving maize grain yield potential in a cool environment. In SLAFFER, G. A.; OTEGUI M. E. (Ed). **Physiological bases for maize improvement**. New York, Haworth Press, 2000. cap.2, p. 15-30.

TROYER, A. F.; ROSEMBROOK, R. W. Utility of higher plant population densities for corn performance testing. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 4, p. 863-867, 1983.

UHART, S. A.; ANDRADE, F. H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 183-190, 1995.

URIBELARREA, M.; et al. Pollen production, pollination dynamics, and kernel set in maize. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1910-1918, 2002.

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.

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.

ZAMPIERI, S. L.; SILVA, V. P. Modelo para o cálculo do déficit anual de milho usando séries históricas de produção em Santa Catarina. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, V, 2005, Chapecó. **Resumos...** Chapecó: Newsprint, 2005. 336p. p. 169-172.