

EVANILDO MANTINE

ARRANJO DE PLANTAS E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE  
DOIS HÍBRIDOS SIMPLES DE MILHO

MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
JULHO – 2008

EVANILDO MANTINE

ARRANJO DE PLANTAS E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE  
DOIS HÍBRIDOS SIMPLES DE MILHO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

MARINGÁ  
PARANÁ-BRASIL  
JULHO – 2008

A meus pais, Ângelo Mantine e Tereza Scarinci Mantine, pelo constante apoio e incentivo na educação.

À minha esposa, Bete, e filhas, Fabíola e Flávia, pela compreensão e disposição em me ajudar em todas as dificuldades.

*Dedico...*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve presente em minha vida.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Professor Dr. Pedro Soares Vidigal Filho, pela orientação, dedicação ensinamentos, oportunidade, incentivo, confiança e amizade.

Aos Professores Co-orientadores Dr. Carlos Alberto Scapim, Dr. Carlos Alberto de Bastos Andrade e Dr. Ronald Barth Pinto.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Sandra Regina Garcia, Chefe do Departamento de Educação Profissional e Trabalho da Secretaria da Educação do Estado do Paraná, e ao Professor Ilvo Danilo Hennig, Diretor Pedagógico do Colégio Agrícola Manoel Ribas Apucarana Paraná, pela oportunidade, incentivo, confiança e amizade na busca de novos conhecimentos.

Ao Professor Dr. Marcus Vinicius Kvitschal, pela imprescindível colaboração na análise dos dados experimentais, interpretação dos resultados e revisão textual.

Aos colegas Dr. Elias Franco, Márcio Ueda, Jaime Beleze e Walangieri Caçador, pelo incentivo, apoio e contribuição valiosa a este trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Daniel Saraiva, representante local da Monsanto do Brasil Ltda, e dirigentes da Empresa Agrícola Niágara Ltda, pelo apoio técnico por ocasião da instalação dos experimentos.

Aos Produtores Darcy, Geraldo, Paulo e Evaldo Bovo, pela cessão da área e das máquinas para implantação dos experimentos.

Ao Técnico em Agropecuária Clovis Koval, pelo apoio logístico, amizade, dedicação e acompanhamento em todas as atividades desenvolvidas durante o desenvolvimento dos experimentos.

Ao Colégio Agrícola Manoel Ribas de Apucarana, pela cessão de seus Laboratórios e de seus alunos, que contribuíram nas atividades desenvolvidas em campo.

A todos que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

EVANILDO MANTINE, filho de Ângelo Mantine e Tereza Scarinci Mantine, nasceu na cidade de Arapongas, Estado do Paraná, aos 29 dias do mês de outubro de 1957.

Em dezembro de 1974, concluiu o Ensino Fundamental no Colégio Estadual Nilo Cairo, em Apucarana – PR.

Em dezembro de 1977, concluiu o Curso Técnico em Análise Clínica em nível de 2º Grau, no Colégio Positivo, em Curitiba - PR.

Ingressou no Curso de Graduação em Agronomia, em 1978, e formou-se Engenheiro Agrônomo, no ano de 1981, pela Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel, em Bandeirantes Paraná.

Em dezembro 1997, concluiu o Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Metodologia e Didática de Ensino, pela Universidade Norte do Paraná – Londrina-Paraná.

Em dezembro de 2000, concluiu o Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Orientação, Supervisão e Administração, pela Universidade Norte do Paraná, em Londrina-Paraná.

Em dezembro de 2000, concluiu o Curso de Formação Pedagógica, Licenciatura Plena em Agricultura, no CEFET de Cornélio Procópio Paraná.

No ano de 2006, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Mestrado, Área de Concentração Produção Vegetal, na Universidade Estadual de Maringá.

Atualmente, trabalha no Colégio Agrícola Manoel Ribas Ensino Técnico Profissionalizante, especificamente, nos cursos de Técnico em Agropecuária, Técnico em Turismo e Técnico em Meio Ambiente, onde exerce a função de Diretor Geral desde o ano de 1996.

## ÍNDICE

RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
1. Introdução .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Fenologia do milho .....	4
2.2. Ecofisiologia do milho .....	7
2.2.1. Características fotossintéticas do milho .....	7
2.2.2. Luminosidade e crescimento e desenvolvimento do milho .....	9
2.2.3. Temperatura e crescimento e desenvolvimento do milho .....	10
2.2.4. Disponibilidade hídrica e crescimento e desenvolvimento do milho .....	12
2.3. Densidade populacional e distribuição de plantas .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1. Localização .....	26
3.2. Solo e Clima .....	26
3.3. Tratamentos .....	27
3.3.1. Híbrido DKB 214 .....	27
3.3.2. Híbrido DKB 234 .....	28
3.4. Delineamento experimental .....	28
3.5. Características das unidades experimentais .....	29
3.6. Instalação e condução dos experimentos .....	29
3.7. Avaliações fitotécnicas e componentes de produção .....	30
3.7.1. Altura média de planta .....	30
3.7.2. Altura média de inserção da primeira espiga .....	30
3.7.3. Área foliar média .....	31
3.7.4. Diâmetro médio do colmo .....	31
3.7.5. Comprimento médio da espiga .....	31
3.7.6. Número médio de fileira de grãos da espiga .....	31
3.7.7. Número médio de grãos por fileira da espiga .....	31
3.7.8. Diâmetro médio da espiga .....	32
3.7.9. Diâmetro médio do sabugo .....	32

3.7.10. Prolifidade .....	32
3.7.11. Massa de mil grãos.....	32
3.7.12. Produção de grãos.....	32
3.8. Análise estatística.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1. Clima, crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.....	34
4.2. Altura média de planta.....	35
4.3. Altura média de inserção da primeira espiga.....	38
4.4. Área foliar média .....	40
4.5. Diâmetro médio do colmo.....	45
4.6. Comprimento médio de espiga .....	48
4.7. Número médio de fileiras de grãos da espiga .....	52
4.8. Número médio de grãos por fileira da espiga .....	57
4.9. Diâmetro médio da espiga.....	60
4.10. Diâmetro médio do sabugo.....	64
4.11. Prolifidade .....	67
4.12. Massa de mil grãos.....	72
4.13. Produção de grãos .....	75
5. CONCLUSÕES .....	87
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

## LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1 - Valores médios mensais de precipitação pluvial e de temperaturas médias máximas e mínimas observadas durante o período de condução dos experimentos (Setembro/2005 a Fevereiro/2007), Apucarana, PR. .... 27
- Figura 2 - Resultado de análise de regressão linear conjunta para diâmetro médio de colmos em função da densidade populacional de plantas de dois híbridos de milho (DKB 234 e DKB 214), em dois espaçamentos entre linhas (0,45 m e 0,90 m) durante dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)..... 47
- Figura 3 - Resultado de análise de regressão referente ao efeito médio da densidade populacional sobre a massa de mil grãos (g) de dois híbridos de milho (DKB 234 e DKB 214), em dois espaçamentos entre linhas (0,45 m e 0,90 m) e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)..... 74
- Figura 4 - Produtividade de grãos do híbrido DKB 234 em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,45 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b)..... 80
- Figura 5 - Produtividade de grãos do híbrido DKB 234 em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,90 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b)..... 83
- Figura 6 - Produção de grãos do híbrido DKB 214 em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,45 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b)..... 84
- Figura 7 - Produção de grãos do híbrido DKB 214 em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,90 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b) ..... 86

## LISTA DE QUADROS

Página

Quadro 1	- Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho .....	4
Quadro 2	- Resultado de análise química da amostra de material de solo da área experimental.....	26
Quadro 3	- Número de plantas por metro linear para obtenção das quatro densidades populacionais em dois espaçamentos entre linhas utilizados .....	30
Quadro 4	- Resumo da análise de variância conjunta referente à altura média de plantas (m) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais em dois anos.....	36
Quadro 5	- Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica altura média de plantas (m).....	37
Quadro 6	- Resumo da análise de variância conjunta referente à altura média de inserção da primeira espiga (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais em dois anos agrícolas .....	38
Quadro 7	- Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica altura média de inserção da primeira espiga (cm) .....	39
Quadro 8	- Equações de regressão do padrão de resposta da característica altura média de inserção da primeira espiga (cm), referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano .....	40
Quadro 9	- Resumo da análise de variância conjunta, referente à área foliar média (cm <sup>2</sup> ) das plantas de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas .....	41

Quadro 10 - Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica área foliar média (cm <sup>2</sup> ).....	42
Quadro 11 - Desdobramento do efeito dos espaçamentos entre linhas de 0,45 e 0,90 m, em função de híbrido x densidade populacional x ano, referente à característica área foliar média (cm <sup>2</sup> ).....	44
Quadro 12 - Equações de regressão do padrão de resposta da característica área foliar média (cm <sup>2</sup> ), referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano.....	45
Quadro 13 - Resumo da análise de variância conjunta, referente ao diâmetro médio de colmos (cm) das plantas de dois híbridos de milho em dois espaçamentos, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas.....	46
Quadro 14 - Resumo da análise de variância conjunta, referente ao comprimento médio de espigas (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, e dois anos agrícolas.....	48
Quadro 15 - Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica comprimento médio de espigas (cm).....	49
Quadro 16 - Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbrido x densidade populacional x ano, referente à característica comprimento médio de espigas (cm).....	50
Quadro 17 - Equações de regressão do padrão de resposta da característica comprimento médio de espigas (cm), referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano.....	51
Quadro 18 - Resumo da análise de variância conjunta, referente ao número médio das fileiras de grãos por espiga de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas.....	53

Quadro 19 - Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica número médio de fileiras de grãos por espiga .....	54
Quadro 20 - Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbridos x densidade populacional x ano, referente à característica número médio de fileiras de grãos por espiga .....	55
Quadro 21 - Equações de regressão do padrão de resposta da característica número médio de fileiras de grãos por espiga, referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano .....	56
Quadro 22 - Resumo da análise de variância conjunta, referente ao número médio de grãos por fileira de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas .....	58
Quadro 23 - Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica número médio de grãos por fileira .....	59
Quadro 24 - Equações de regressão do padrão de resposta da característica número médio de grãos por fileira, referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano .....	60
Quadro 25 - Resumo da análise de variância conjunta, referente ao diâmetro médio de espigas (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas .....	61
Quadro 26 - Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica diâmetro médio de espiga (cm) .....	62
Quadro 27 - Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbrido x densidade populacional x ano, referente à característica diâmetro médio de espigas (cm).....	63

Quadro 28 - Equações de regressão do padrão de resposta da característica diâmetro médio de espigas referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano.....	64
Quadro 29 - Resumo da análise de variância conjunta, referente ao diâmetro médio do sabugo (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas.....	65
Quadro 30 - Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica diâmetro médio do sabugo (cm).....	66
Quadro 31 - Equações de regressão do padrão de resposta da característica diâmetro médio do sabugo (cm), referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional, em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano.....	67
Quadro 32 - Resumo da análise de variância conjunta da prolificidade de dois híbridos de milho avaliados em dois espaçamentos entre linhas, em quatro densidades populacionais, durante dois anos agrícolas.....	68
Quadro 33 - Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica prolificidade.....	69
Quadro 34 - Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas, em função de híbridos x densidade populacional x ano, referente à característica prolificidade.....	70
Quadro 35 - Equações de regressão do padrão de resposta da característica prolificidade, referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano.....	71
Quadro 36 - Resumo da análise de variância conjunta, referente à massa de mil grãos (g) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas.....	72

Quadro 37 - Valores médios de massa de mil grãos (g), referente ao efeito médio de híbridos em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais durante dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07) .....	73
Quadro 38 - Valores médios da massa de mil grãos (g), referente ao efeito médio de espaçamentos entre linhas para dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais durante dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07).....	73
Quadro 39 - Resumo da análise de variância conjunta da produção de grãos de dois híbridos de milho, avaliados em dois espaçamentos entre linhas, em quatro densidades populacionais, durante dois anos agrícolas .....	75
Quadro 40 - Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica produção de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) .....	76
Quadro 41 - Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas, em função de híbridos x densidade populacional x ano, referente à característica produção de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).....	78
Quadro 42 - Resumo da análise de regressão, referente ao desdobramento do efeito de densidade populacional, em função de híbrido DKB 234 x espaçamentos entre linhas de 0,45 m x ano, para produção de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).....	80
Quadro 43 - Resumo da análise de regressão, referente ao desdobramento do efeito de populações, em função de híbrido DKB 234 x espaçamentos entre linhas de 0,90 m x ano, para produção de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) .....	82
Quadro 44 - Resumo da análise de regressão, referente ao desdobramento do efeito de populações, em função de híbrido DKB 214 x espaçamentos entre linhas de 0,45 m x Anos, para produção de grãos de milho.....	83
Quadro 45 - Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbrido DKB 214 x espaçamentos entre linhas de 0,90 m x ano, para produção de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) .....	85

## LISTA DE QUADROS DO APÊNDICE

Página

Quadro 1A - Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbridos x espaçamentos entre linhas x anos, para as características área foliar (AFOL), comprimento médio da espiga (CESP) e número médio de fileiras de grãos (NFG).....	105
Quadro 2A - Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbridos x espaçamentos entre linhas x anos, para as características número médio de grãos por fileira (NGF), diâmetro médio da espiga (DESP) e diâmetro médio do sabugo (DSAB) .....	106
Quadro 3A - Altura média de plantas (m) para dois espaçamentos entre linhas, referente a dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07) .....	107
Quadro 4A - Altura média de espigas (cm) em dois espaçamentos entre linhas, referente a dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07) .....	108
Quadro 5A - Diâmetro médio de colmos (cm) de plantas de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07) .....	109
Quadro 6A - Número médio de grãos por fileira, em dois espaçamentos entre linhas, para dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07) .....	110
Quadro 7A - Diâmetro médio do sabugo (cm) de plantas de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07) .....	111

## RESUMO

MANTINE, E. M.Sc. Universidade Estadual de Maringá, julho de 2008. **Arranjo de plantas e desempenho agrônômico de dois híbridos simples de milho.** Professor Orientador: Dr. Pedro Soares Vidigal Filho. Professores Conselheiros: Dr. Carlos Alberto Scapim, Dr. Carlos Alberto de Basto Andrade e Dr. Ronald José Barth Pinto.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da densidade populacional de plantas e do espaçamento entre linhas sobre o desempenho agrônômico de dois híbridos de milho durante dois anos agrícolas. Os experimentos foram instalados em área de ocorrência de Nitossolo Vermelho eutrófico latossólico, textura argilosa, no município de Apucarana, PR, durante a safra de verão dos anos agrícolas de 2005/06 e 2006/07. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se da combinação entre os níveis dos fatores híbridos (DKB 214 e DKB 234), espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m), densidades populacionais (45.000, 60.000, 75.000 e 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>) e anos agrícolas (2005/06 e 2006/07), sendo analisados em esquema fatorial 2 x 2 x 4 x 2. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância simples e conjunta e os desdobramentos foram realizados mediante aplicação do teste F, para os fatores híbrido e espaçamento entre linhas, e por análise de regressão polinomial, para o fator densidade populacional, utilizando-se o programa estatístico Sisvar. Praticamente todas as características estudadas foram influenciadas pelos híbridos de milho, com exceção do diâmetro médio de colmos. O espaçamento entre linhas afetou muito pouco na variação fenotípica das características avaliadas, com exceção da área foliar média e da massa de mil grãos. A produção de grãos dos híbridos DKB 234 e DKB 214 em espaçamento entre linhas de 0,45 m se equipara àquela observada em espaçamento entre linhas de 0,90 m. O uso espaçamento entre linhas de 0,45 m é indicado no cultivo dos híbridos de milho DKB 234 e DKB 214 em substituição ao espaçamento entre linhas de 0,90 m. A densidade populacional afetou significativamente praticamente todas as características avaliadas, com exceção da altura média de plantas. Ambos os híbridos de milho apresentaram

maior produção de grãos em densidades populacionais elevadas, variando entre 70.000 e 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>, independente do espaçamento entre linhas utilizado.

**Palavras-chave:** densidade populacional, espaçamento entre linhas, rendimento de grãos, *Zea mays* L.

## ABSTRACT

MANTINE, E. M.Sc. Universidade Estadual de Maringá, julho de 2008. **Plant arrangement and agronomic performance of two corn hybrids**. Adviser: Prof. Dr. Pedro Soares Vidigal Filho. Professores Conselheiros: Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim, Dr. Carlos Alberto de Basto Andrade e Dr. Ronald José Barth Pinto.

The objective of this work was to evaluate the plant density effect of plants and row spacing upon grain yield components of two simple corn hybrids during two agricultural years. The experiments, a design of randomized blocks with four replications, were placed in an area of latosol eutrophic Red Nitosol, argyle texture, in Apucarana county, PR, during summer period of 2005/2006 and 2006/2007. The treatments based on combination among two corn hybrids (DKB 214 and DKB 234), two row spacing (0.45m and 0.90m), four plant population densities (45,000, 60,000, 75,000 and 90,000 plants ha<sup>-1</sup>) and two agricultural years (2005/2006 and 2006/2007), which were analyzed according to factorial scheme 2 x 2 x 4 x 2. The data were submitted to simple and joint analysis, and the interaction effects were compared by F test for hybrids and row spacing, and through polynomial regression analysis for population density. Almost all traits evaluated were affected by corn hybrids, excepting the average diameter of stem. The row spacing affected very little on phenotypic variation of traits evaluated, excepting the average leaf area and the average mass of thousand grains. The grain yield of DKB 234 and DKB 214 hybrids on row spacing of 0.45 m was tantamount to row spacing of 0.90 m. Using row spacing of 0.45 m is indicated on cropping corn hybrids DKB 234 and DKB 214 to replacing the spacing of 0.90 m. The plant population density showed significant effect on all traits evaluated, except for plant height. Both corn hybrids had higher grain yield in high plant population densities, ranging from 70.000 to 80.000 plants ha<sup>-1</sup>, independent of the row spacing used.

**Key-words:** grain yield, plant population density, row spacing, *Zea mays* L.

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é originado da região centro-americana e na atualidade encontra-se disseminado pelo mundo, compreendendo desde os paralelos 58° da latitude Norte no Canadá e União Soviética, até 40° da latitude Sul na Argentina (Galinat, 1977). Nesta diversidade de ambiente, a sua exploração é encontrada abaixo do nível do mar, na região do Mar Cáspio (extremo Leste da Europa e extremo Oeste da Ásia), ou ainda, em elevadas altitudes ( $\geq 3.000$  m), nos Andes Peruanos (Wilson et al., 1973).

Embora seja originalmente da região tropical, a diversidade das cultivares e os avanços decorrentes do melhoramento genético têm propiciado cultivo desse cereal em diversas partes do globo, sendo submetido a grandes variações climáticas (Wilson et al., 1973; Durães, 2007). Uma vez que o milho apresenta elevada amplitude de ciclo de crescimento, cuja variação é dependente das condições ambientais, este ciclo é mais curto nas regiões com clima temperado devido ao fato do verão ser curto e possuir dias longos. Em regiões equatoriais úmidas, o ciclo da planta pode atingir até 10 meses ou mais, enquanto nas regiões subtropicais ou tropicais, tais como no Planalto Central do Brasil, em geral, são utilizadas cultivares de ciclo intermediário (Durães et al., 2002).

Outro aspecto relevante com relação à planta do milho diz respeito à sua elevada eficiência fotossintética em função de possuir a rota metabólica  $C_4$  (Salisbury e Ross, 1992), que propicia à mesma atingir taxas fotossintéticas superiores a  $80 \text{ mg dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , superior a qualquer outra espécie vegetal. Adicionalmente à elevada produção energética ( $200 \times 10^3 \text{ cal ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), o milho se destaca quando comparado às  $176 \times 10^3$ ,  $114 \times 10^3$  e  $110 \times 10^3 \text{ cal ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  produzidas pelo arroz, sorgo e trigo, respectivamente (Balagopalan et al., 1988).

A espécie *Zea mays* L. apresenta grande potencial econômico, uma vez que a sua exploração é destinada a uma multiplicidade de uso, por constituir-se em uma excelente fonte de carboidratos, de proteínas e de óleo. No que se refere ao consumo, o milho é utilizado na dieta humana, na forma de milho verde, em conserva, fubá farinha, amido e outros; na alimentação de animais;

na indústria de bebidas, na fabricação de medicamentos, tintas, plásticos, explosivos e em programas destinados à bioenergia, entre outros (Santos Júnior, 2002). Assim, considerada como uma importante cultura para as necessidades atuais da sociedade moderna, a demanda de consumo e de oferta de milho vem sofrendo contínuo aumento, tanto em níveis nacionais quanto mundiais (FAO, 2008).

Em função de sua importância econômica, o milho tem merecido atenção dos pesquisadores de todo o mundo, fato que é expresso pelo elevado incremento de seu potencial produtivo alcançado a partir da segunda metade do século XX, que resultaram em ganhos de produtividade de 1,0 a 1,5% por ano, em diferentes regiões do mundo (Slaffer e Otegui, 2000). Atualmente, a produção mundial é estimada em 774,10 milhões de toneladas (FAO, 2008), sendo os principais produtores os E.U.A (39%), China (21%); Brasil (7%), México e Argentina (3%).

No Brasil a cultura do milho vem apresentando incrementos tanto em relação à área cultivada, que no ano agrícola de 2007/08 foi de 13,99 milhões de hectares, quanto em relação ao volume produzido, que foi da ordem de 59,85 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2008). Neste contexto, destaca-se o Estado do Paraná, como sendo o principal produtor nacional de milho, com área cultivada de aproximadamente 2,8 milhões de hectares, volume estimado em 13,91 milhões de toneladas, e produtividade média de 7,0 ton ha<sup>-1</sup> no cultivo de verão e 4,0 ton ha<sup>-1</sup> na “safrinha” (CONAB, 2008).

Tendo em vista a elevação do consumo mundial de grãos de milho, a demanda por novas tecnologias tem sido crescente, com o objetivo de aprimorar os sistemas de produção e, com isso, obter incrementos de produtividade e a conseqüente redução de custos. Dentre os fatores que influenciam na produtividade do milho, destaca-se o arranjo de plantas, uma das práticas culturais que mais afeta o rendimento de grãos (Almeida e Sangoi, 1996; Argenta et al., 2001b).

A distribuição espacial (espaçamento e densidade de semeadura) entre linhas e entre plantas na linha de plantio permite uma melhor distribuição das plantas. Este fato resulta na melhoria de sua eficiência na interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa (Williams et al., 1965), podendo resultar em incrementos do rendimento de grãos (Argenta et al., 2001a), devido

ao aumento da taxa assimilatória líquida (Bullock et al., 1988). Segundo Tollenaar (1992), os híbridos modernos, além de apresentarem maior potencial produtivo, expressam elevadas produtividades quando submetidos a incremento nas densidades populacionais, em decorrência de possuírem ciclo mais curto, porte baixo e folhas eretas e em menor número.

No Brasil e em especial no Paraná, nas últimas décadas do século XX, a população de plantas utilizadas nas lavouras de milho variava entre 50.000 a 60.000 de plantas  $ha^{-1}$ , arranjadas em um espaçamento médio de 0,90 m entre linhas e densidade de 5-6 plantas por metro (Sangoi et al., 2004; Silva, 2005). Entretanto, aliado à expansão do sistema de produção milho “safrinha” x soja e ao desenvolvimento de novos híbridos, a utilização de lavouras com espaçamentos mais adensados vem sendo utilizadas pelos produtores com o objetivo de facilitar as práticas culturais e de potencializar o rendimento de grãos (Marchão et al., 2005).

Estudos sobre os efeitos da redução do espaçamento entre linhas e do aumento da densidade populacional de plantas na produtividade de grãos de milho têm apresentado resultados contraditórios. Incrementos de 5 a 10% no rendimento de grãos, mediante a utilização de espaçamentos que variaram de 0,45 m a 0,70 m, foram obtidos por Mundstock (1977b) e por Argenta et al. (2001b). Sangoi et al. (2001a), Porter et al. (1997) e Bullock et al. (1988) reportaram incremento linear da produtividade de grãos de milho em função da redução de espaçamento entre linhas de plantas. No entanto, Merotto Júnior et al. (1997), Westgate et al. (1997) e Argenta et al. (2001b) relataram não haver diferença significativa da redução do espaçamento entre linhas de plantas na produtividade de grãos de milho.

Diante disso, estudos adicionais tornam-se necessários uma vez que, para alterar o arranjo de plantas, devem-se considerar as condições edafoclimáticas do local de cultivo, os sistemas de produção e as características dos híbridos utilizados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do espaçamento entre linhas e da densidade populacional de plantas sobre a produtividade de grãos de dois híbridos comerciais de milho, na região de Apucarana, Norte do Paraná, durante dois anos agrícolas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Fenologia do milho

O ciclo da cultura do milho compreende os diversos estádios de crescimento da planta desde a sua emergência até a maturidade fisiológica (Quadro 1).

Quadro 1 – Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho

Vegetativo	Reprodutivo
$V_E$ – emergência	$R_1$ – embonecamento
$V_1$ – 1ª folha desenvolvida	$R_2$ – grão bolha d'água
$V_2$ – 2ª folha desenvolvida	$R_3$ – grão leitoso
$V_3$ – 3ª folha desenvolvida	$R_4$ – grão pastoso
$V_4$ – 4ª folha desenvolvida	$R_5$ – formação de dente
$V_N$ – $n$ folhas desenvolvidas	$R_6$ – maturidade fisiológica
$V_T$ – pendoamento	

Fonte : Ritchie e Hanway (1993).

O sistema de identificação utilizado divide o desenvolvimento da planta em vegetativo (V) e reprodutivo (R), conforme ilustrado no Quadro 1. As subdivisões dos estádios vegetativos são designados numericamente como  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , até  $V_N$ , em que (N) representa a última folha emitida antes do pendoamento ( $V_T$ ). O primeiro e o último estádio vegetativo são representados, respectivamente, por  $V_E$  (emergência) e  $V_T$  (pendoamento).

De acordo com Ritchie e Hanway (1993), cada estádio, durante a fase vegetativa, define-se conforme ocorre a visível formação do colar na inserção da bainha da folha com o colmo. Quando o colar é visível, na primeira folha de cima para baixo, considera-se que a mesma está completamente desenvolvida, logo, é contada como tal. Para os estádios posteriores à emissão da espiga, a identificação deverá ser efetuada com base no desenvolvimento e consistência dos grãos (Kiniry e Bonhomme, 1991).

O sistema radicular nodal inicia-se no estádio  $V_E$  e prolonga-se até o estádio  $R_3$ , após o qual ocorre pouco crescimento. Assim, aproximadamente

uma semana após a emergência, quando a planta apresenta duas folhas totalmente expandidas, a mesma se encontra apta à realização do processo de fotossíntese (Magalhães et al., 1994).

O principal evento relacionado ao estágio  $V_3$  e  $V_4$  (aproximadamente duas semanas após a sementeira) refere-se ao ponto de crescimento, o qual ainda se encontra abaixo da superfície do solo e a planta apresenta caule pouco desenvolvido. Entretanto, destaca-se que nesta fase ocorre a definição do potencial produtivo das plantas por meio da diferenciação do meristema apical, na qual todas as folhas e espigas/grãos que a planta eventualmente irá produzir estão sendo formadas.

O estágio  $V_5$  apresentará a área foliar potencial que a planta deverá apresentar completamente definida, bem como possibilitará a visualização microscópica da extremidade do caule, logo abaixo da superfície do solo (Magalhães et al., 1994). O sistema radicular encontra-se em pleno desenvolvimento, apresentando considerável presença de pêlos absorventes e ramificações diferenciadas. Tal estágio precede a fase de aumento na taxa de crescimento das espigas (entre o sexto e nono nó acima do solo).

Os estádios  $V_6$  e  $V_7$  caracterizam-se pelo surgimento do ponto de crescimento e do pendão acima do nível do solo, iniciando um período de alongação acelerada do colmo, no qual o sistema radicular nodal (fasciculado) encontra-se em pleno funcionamento e em crescimento. Há ainda a possibilidade da existência de perfilhos, dependendo de fatores como: tipo da cultivar, do estado nutricional da planta, do espaçamento adotado, do ataque de pragas e das alterações bruscas de temperaturas.

O estágio  $V_8$  é caracterizado pelo início da queda das primeiras folhas, onde é definido o número de fileiras de grãos. Os estresses hídricos durante este período podem influenciar o comprimento do internódio, provavelmente devido à inibição do alongamento da célula em desenvolvimento. Desta forma, concorre para a redução da capacidade de armazenamento de açúcares no colmo, propiciando a formação de colmos mais finos e plantas de menor porte, e de menor área foliar (Magalhães et al., 1998).

Ao realizar uma dissecação da planta durante os estádios  $V_9$  e  $V_{10}$ , muitas espigas são facilmente visíveis. Neste período ocorre alta taxa de desenvolvimento de órgãos florais e o pendão, por meio dos entrenós, inicia

um rápido desenvolvimento seguido do alongamento. Após o estágio  $V_{10}$ , o tempo de surgimento entre um estágio foliar e outro é reduzido, geralmente ocorrendo a cada dois ou três dias (Ritchie e Hanway, 1993; Magalhães et al. 1994).

A planta no estágio  $V_{12}$  geralmente alcança cerca de 85 a 90% da área foliar total, no qual também é observado o início do desenvolvimento das raízes adventícias (esporões). Igualmente, é nesta fase que se define o número de óvulos e tamanho da espiga.

Os estádios finais de desenvolvimento vegetativo,  $V_{15}$  a  $V_{18}$ , representam a continuação do período mais importante e crucial para o desenvolvimento da planta, em termos de fixação de carbono e rendimento de grãos. Em torno do estágio  $V_{17}$ , as extremidades das espigas são visíveis no caule, assim como a extremidade do pendão também pode ser observada (Magalhães et al., 1994).

O estágio  $V_T$  caracteriza-se pelo aparecimento parcial do pendão e pelo crescimento acentuado dos estilos-estigmas da espiga. A emissão da inflorescência masculina antecede de dois a quatro dias a exposição dos estilos-estigmas. No entanto, 75% das espigas devem apresentar seus estilos-estigmas expostos no período de 10 a 12 dias após o aparecimento do pendão. O tempo decorrente entre  $V_T$  e  $R_1$  pode variar consideravelmente, dependendo da cultivar e das condições ambientais (Magalhães e Paiva, 1993).

O estágio reprodutivo inicia-se quando os estilos-estigmas estão visíveis, para fora da espiga, ocorrendo a polinização por meio dos grãos de pólen do pendão. Geralmente, o período requerido para todos os estilos-estigmas em uma espiga serem polinizados é de dois a três dias (Ritchie e Hanway, 1993).

O estágio  $R_2$ , “grão bolha d’água”, é caracterizado pela coloração clara do endosperma, bem como pela sua composição, que se dá principalmente por açúcares. O acúmulo de amido propicia rápido aumento da massa seca, ou seja, ganho de peso por parte dos grãos. Embora o embrião esteja ainda se desenvolvendo vagarosamente nesse estágio, a radícula, o coleóptilo e a primeira folha embrionária já estão formados. Adicionalmente, a espiga encontra-se próxima de atingir seu tamanho máximo (Fornasier Filho, 1992).

Os estádios seguintes,  $R_3$  (grão leitoso) e  $R_4$  (grão pastoso), ocorrem aproximadamente de 15 a 25 dias após a polinização, e evidenciam o acúmulo

de amido no endosperma dos grãos, em decorrência da translocação dos sintetizados (fotoassimilados), provenientes das folhas e do colmo para a espiga (Magalhães et al., 1998).

Aproximadamente 36 dias após a polinização, no estágio R<sub>5</sub>, há formação de dente, ou seja, o grão encontra-se em fase de transição do estado pastoso para o farináceo. Entretanto, em cultivares de grãos dentados e semi-duros, é visível a concavidade em sua parte superior, contrariamente àqueles genótipos de grãos duros, cuja referência para a identificação deste estágio está no endurecimento. Logo, a separação desses estágios é feita por meio da denominada linha divisória de solidificação do endosperma. Tal linha aparece logo após a formação do dente e com a maturação avança em direção à base do grão (Ritchie e Hanway, 1993).

O estágio R<sub>6</sub>, normalmente, compreende o período ente 50 a 60 dias após a polinização. Isso é verificado pela acelerada perda de umidade em toda a planta, bem como significativa redução na taxa de acumulação de sintetizados (fotoassimilados) nos grãos que se encontram na iminência da maturidade fisiológica (Fancelli e Dourado Neto, 2000a). Adicionalmente, é observada a paralisação total do acúmulo de massa seca nos grãos, iniciando o processo de senescência natural das folhas das plantas, as quais iniciam a perda da sua coloração verde características de maneira gradativa (Magalhães et al., 1994). Também é neste estágio que se verifica a maturidade fisiológica, sendo definida a produtividade máxima das plantas. Igualmente, é detectada a formação da “camada negra”, localizada no ponto de inserção dos grãos com o sabugo, representando o rompimento do elo entre a planta mãe e o fruto. A partir deste estágio, há a redução da umidade dos grãos, até que seja alcançada a umidade desejada para a colheita (Ritchie e Hanway, 1993).

## **2.2. Ecofisiologia do milho**

### **2.2.1. Características fotossintéticas do milho**

Normalmente, grande parte da massa seca do milho (90%) é oriunda da fixação atmosférica de CO<sub>2</sub> por meio do processo da fotossíntese (Magalhães

e Paiva, 1993). A evolução das espécies resultou em mecanismos de fixação de CO<sub>2</sub>, a exemplo de plantas C<sub>4</sub>, em que a enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP carboxilase) apresenta afinidade apenas pelo CO<sub>2</sub>. As plantas C<sub>4</sub>, dentre elas a cultura do milho, durante o processo de evolução, aprimoraram os mecanismos metabólicos de assimilação de CO<sub>2</sub>, de água, e de nitrogênio, além de otimizarem a sua atividade fotossintetizante, uma vez que não apresentam saturação à radiação luminosa em condições ambientais naturais (Dourado Neto et al., 2001; Horton, 2000; Vieira Junior, 1999, Andrade et al., 1991). O primeiro produto da fotossíntese do milho é o ácido oxalacético (4C), o qual é rapidamente reduzido a ácido málico e a ácido aspártico, ambos com 4 átomos de carbono, porém mais estáveis. No milho, além da presença da enzima Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), confinada às células da bainha Kranz, é encontrada nas células do mesófilo foliar a enzima PEP carboxilase, enzima com afinidade maior pelo CO<sub>2</sub> do que a Rubisco. Tanto plantas com mecanismo fotossintético C<sub>3</sub> quanto aquelas com mecanismo C<sub>4</sub> utilizam a rota C<sub>3</sub>, evidenciando que, nas plantas C<sub>4</sub>, a rota C<sub>3</sub> é precedida por passos adicionais, nos quais há uma fixação preliminar de CO<sub>2</sub> por meio da enzima PEP carboxilase. Essa enzima, responsável pela fixação de CO<sub>2</sub> em plantas C<sub>4</sub>, é cerca de 100 vezes mais eficiente que a Rubisco. Isso faz com que o ponto de compensação de CO<sub>2</sub> no milho (planta de mecanismo C<sub>4</sub>) seja de 5 a 10 ppm, enquanto no feijão (planta de mecanismo C<sub>3</sub>), por exemplo, seja de 30 a 70 ppm. Isso demonstra que as necessidades de CO<sub>2</sub> para que a fotossíntese supra os gastos de energia da respiração são menores em plantas C<sub>4</sub>, facilitando o ganho de peso de matéria seca nestas plantas (Taiz e Zeiger, 2004).

O mecanismo fotossintético associado à melhor eficiência na utilização de luz e do CO<sub>2</sub>, típico em plantas C<sub>4</sub>, mantém elevada a relação CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, inibindo, assim, a fotorrespiração. Dessa forma, destina-se uma maior quantidade de carbono aos produtos finais da fotossíntese, o que propicia médias de produtividade de grãos mais satisfatórias na cultura de milho (Ehleringer et al., 1997).

A eficiência na produção de fotoassimilados pelos híbridos de milho atuais, apesar de apresentarem menor área foliar, está relacionada à maior atividade fotossintética em folhas de menor tamanho. Esse incremento se deve

ao aumento da densidade estomática, do conteúdo de proteínas e de clorofila nas folhas e, conseqüentemente, da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (Johnson et al., 1987; Morgan et al., 1990; Kasele et al., 1995). Dessa forma, pode-se inferir que as condições climáticas das áreas de altitude na região Sul do Brasil permitem a formação de comunidades de plantas mais eficientes na acumulação de matéria seca nos grãos, que se deve à formação de folhas menores nas plantas de milho (Argenta et al., 2001a).

### **2.2.2. Luminosidade e crescimento e desenvolvimento do milho**

A radiação solar é praticamente a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. A utilização da luz pelas folhas, mediante a conversão de energia radiante em energia química pela fotossíntese, é o processo mais importante para a produtividade (Argenta et al., 2001a). A quantidade de energia convertida, bem como a quantidade de massa seca produzida pela planta de milho, depende da taxa de absorção e da eficiência de utilização da energia absorvida. De toda a radiação solar emitida, apenas a faixa de comprimento de onda entre 400 e 700 nanômetros (espectro visível) constitui-se de energia radiante fotossinteticamente ativa (Loomis e Williams, 1963), o que representa entre 46 e 50% da radiação solar global (Barni et al., 1995).

O aproveitamento de luz por uma cultura, na faixa do espectro visível, é dependente do índice de área foliar e de parâmetros físicos, biológicos e alométricos, os quais determinam a absorção da radiação luminosa incidente (Barni, 1994). A máxima eficiência teórica da fotossíntese é de cerca de 11,0% (Good e Evans, 1980). Entretanto, a eficiência fotossintética real das culturas no campo está abaixo deste valor. Em condições não limitantes de luz, a eficiência fotossintética pode variar de 2,0 a 5,3% (Loomis e Williams, 1963).

A quantidade de radiação nas faixas de vermelho extremo (Ve) e vermelho (V) pode regular, por meio de fitocromos, a distribuição dos fotoassimilados e o padrão de crescimento das plantas de milho dos híbridos atuais, os quais apresentam folhas em menor número, folhas mais eretas e menor área foliar, minimizando a competição entre plantas e reduzindo a quantidade de vermelho extremo refletida pela comunidade (Almeida et al.,

2000). Assim, pode-se obter uma relação  $Ve/V$  mais baixa em altas densidades populacionais, melhorando a eficiência de absorção luminosa. Isso proporciona condições endógenas para um desenvolvimento alométrico mais equilibrado entre as inflorescências das plantas de milho, minimizando a esterilidade feminina e propiciando melhores condições para o desenvolvimento de maior número de espiguetas funcionais nas espigas de milho (Sangoi et al., 2001a).

A redução de 50% da radiação incidente no período compreendido entre 15 dias antes (emborrachamento) e 15 dias após o florescimento (grãos leitosos) provoca a diminuição de 40 a 50% do rendimento em grãos de milho (Fischer e Palmer, 1984). Da mesma forma, a destruição de 25% da área foliar do milho (em sua porção apical), próximo à etapa do florescimento, pode propiciar uma redução de 32% na produção de grãos. Isto pode ser explicado em virtude que grãos em formação tornam-se “drenos” preferenciais para a planta após a fecundação. Portanto, fatalmente ocorrerá queda considerável de produção em decorrência da redução da taxa fotossintética das folhas superiores (fonte) após o florescimento (Fancelli, 1988). Portanto, a deficiência de radiação luminosa de alta intensidade em períodos críticos constitui-se de um importante fator causador do decréscimo da produtividade do milho.

Apesar da eficiência de conversão de energia radiante das plantas  $C_4$ , existem duas características da planta de milho que diminuem o potencial da eficiência fotossintética das folhas. A mais limitante é o hábito de crescimento, visto que folhas alternadas e opostas dispostas ao longo do colmo da planta proporcionam um alto sombreamento das folhas inferiores. A outra é a presença do pendão, o qual fica inativo logo após a fertilização, mas chega a sombrear as plantas em até 19%, dependendo do híbrido (Magalhães e Paiva, 1993).

### **2.2.3. Temperatura e crescimento e desenvolvimento do milho**

De forma geral, a temperatura é o elemento climático mais importante para prever os eventos fenológicos da cultura do milho (Gadioli, 1999), exercendo influência direta na taxa de desenvolvimento e nos processos metabólicos das plantas (Durães, 2007). Tollenaar e Wu (1999), avaliando a

resposta do crescimento de colmos e de raízes, o aparecimento de novas folhas e a taxa de fotossíntese de folhas de milho em função da temperatura, verificou que o milho se desenvolve em temperaturas variando entre 10 e 45°C, embora a temperatura ótima seja de aproximadamente 30°C.

A germinação e a emergência das plantas são influenciadas pela temperatura do solo, enquanto o desenvolvimento fenológico e o crescimento da planta como um todo são afetados pela temperatura do solo e do ar (Lozada e Angelocci, 1999; Almeida et al., 2000). Em condições favoráveis de temperaturas do solo (entre 10 e 42°C), bem como da sua umidade, o processo germinativo das sementes do milho pode durar entre 7 e 15 dias, aproximadamente. Berger (1962) relata que ocorre um prejuízo considerável em relação à germinação quando a temperatura do solo é inferior a 10°C e superior a 42°C, sendo a faixa ideal para germinação das sementes entre 25 e 30°C. De acordo com Berlato et al. (1984), a duração do período entre a semeadura até a emergência da planta de milho é reduzido em meio dia a cada 1°C de acréscimo na temperatura solo.

Em relação ao período vegetativo do milho, a temperatura do ar é o fator determinante para a duração dos estádios de crescimento e desenvolvimento de híbridos considerados insensíveis ao fotoperíodo (Lozada e Angelocci, 1999). Em geral, considera-se que a exploração econômica de milho não é recomendada para regiões onde as temperaturas médias diurnas e noturnas são inferiores a 19 e 12,8°C respectivamente (Andrade et al., 1991).

De acordo com Mundstock (1995), a ocorrência de baixas temperaturas afeta o crescimento da planta de milho por promover redução da permeabilidade das membranas celulares, alterações nas reações de oxidação das mitocôndrias, alteração no funcionamento dos cloroplastos e redução da atividade da enzima PEP carboxilase, com conseqüente redução na fixação de CO<sub>2</sub> (Taiz e Zeiger, 2004). Em situação de ocorrência de temperatura inferior a 5°C, a planta irá necessitar de 48 horas para recuperar o nível original de fixação de CO<sub>2</sub> (Tollenaar e Daynard, 1978).

A duração do período vegetativo da cultura do milho é influenciada pela temperatura do ar. Conforme Brunini et al. (1981), Cirilo (1994) e Tollenaar et al. (1979), a temperatura basal para o crescimento da planta de milho oscila entre 8 e 10°C. Por sua vez, Fornasieri Filho (1992) enfatiza que a cada 1°C de

elevação na temperatura do ar pode ocorrer uma redução de cinco a seis dias no período entre a emergência e o espigamento. Dessa forma, temperaturas noturnas  $\geq$  a 24°C resultam em diminuição do ciclo da cultura e em menor produtividade de grãos (Berger, 1962).

A ocorrência de amplitudes térmicas oscilando entre 15 e 20°C, do dia à noite, favorece a cinética do crescimento e desenvolvimento das plantas de milho, resultando em elevados rendimentos de grãos, sendo a fase crítica os estágios de 12 folhas e de grãos leitosos (Ritchie e Hanway, 1993). Temperaturas elevadas (superiores a 35°C) também promovem alteração na composição protéica dos grãos de milho em função da diminuição da atividade da enzima nitrato redutase, que é fundamental no processo de assimilação de nitrogênio pelas plantas (Taiz e Zeiger, 2004).

Por ocasião da floração, as temperaturas médias superiores a 26°C favorecem a aceleração do desenvolvimento desta fase, enquanto as inferiores a 15,5°C retardam este processo (Berger, 1962). Resultados experimentais demonstraram que, a cada 1°C acima da temperatura média ideal (21,1°C), o florescimento pode apresentar aceleração em dois a três dias durante os primeiros 60 dias após a semeadura. Por sua vez, temperaturas elevadas (acima de 33°C) associadas à baixa umidade durante o processo de polinização propiciam uma acentuada desidratação dos grãos de pólen e abortamento do tubo polínico, com conseqüente redução no rendimento de grãos (Berger, 1962).

#### **2.2.4. Disponibilidade hídrica e crescimento e desenvolvimento do milho**

As características físico-hídricas do solo e da demanda de água pela atmosfera apresentam funções, sendo uma delas o uso de água pelas plantas. Desta forma, a interação entre clima e solo consiste num papel primordial no processo produtivo das culturas. Enquanto o conteúdo de água no solo não atinge um teor crítico que, para a cultura do milho, está em torno de 30% da água extraível (capacidade de campo), o seu consumo será governado pelas condições climáticas. Assim, o que define o consumo, a partir desse limite crítico, são as condições físico-hídricas do solo (Loomis e Connors, 1992).

O crescimento das plantas do milho tem elevado requerimento de água, o qual varia entre 500 a 800 mm, aproximadamente, embora haja uma exigência mínima de 350 a 500 mm para que se obtenha a máxima expressão do potencial produtivo sem a necessidade de irrigação (Aldrich et al., 1982). Em condições de clima quente e seco, durante os estádios iniciais do crescimento vegetativo do milho (até 30 cm de altura), raramente o consumo de água excede 3 mm dia<sup>-1</sup>. Contudo, o consumo de água pode alcançar valores entre 5 a 7 mm dia<sup>-1</sup> entre os estádios de início do florescimento e a maturação fisiológica dos grãos (Matzenauer et al., 1981; Bergonci e Bergamaschi, 2002).

As fases que requerem maior demanda de água são: a emergência, o florescimento e o enchimento de grãos (Magalhães et al., 1995). De acordo com Bergonci e Bergamaschi (2002), o maior consumo de água pela cultura de milho é verificado por ocasião do florescimento, uma vez que nessa fase, logo após a emissão da folha bandeira, o índice da área foliar das plantas é máximo.

Bolaños e Edmeades (1996) salientam que o período compreendido entre a emissão da inflorescência masculina e o início do enchimento de grãos é extremamente crítico ao déficit hídrico, uma vez que os processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e ao início do enchimento de grãos apresentam elevada sensibilidade a esse tipo de estresse.

A formação e o desenvolvimento interno das flores masculinas e da espiga, bem como a maturação dos grãos de pólen e dos óvulos, requerem pronta disponibilidade de nutrientes na forma assimilável no solo, cuja viabilidade está condicionada à ausência de restrições hídricas (Magalhães et al., 1995). Bolaños e Edmeades (1996) observaram que a ocorrência da deficiência hídrica durante uma semana, no período do florescimento masculino, pode implicar em um decréscimo de aproximadamente 50% da produção de grãos esperada. No entanto, após a polinização sob as mesmas condições, as perdas ocasionalmente excedem 25%. Isto evidencia o importante papel desempenhado pela água no processo de fotossíntese, uma vez que o efeito do déficit hídrico durante o crescimento das plantas resulta em menor disponibilidade de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, limitando, assim, a ação da alongação celular (Devlin, 1975; Salisbury e Ross, 1982; Klar, 1984).

Embora o déficit hídrico durante o período de enchimento de grãos exerça menor influência sobre o rendimento em relação ao período de polinização, deve-se ressaltar a importância da água neste estágio, uma vez que a falta de água implicará na formação de grãos de menor tamanho. Após o estágio de maturidade fisiológica, a água não implica em redução de rendimento de grãos (Doorenbos e Kassam, 1986).

### **2.3. Densidade populacional e distribuição de plantas**

Nas últimas décadas, os setores mais tecnologicamente avançados da cultura do milho no Brasil têm apresentado considerável aumento em suas médias produtivas. Isso tem ocorrido, basicamente, em decorrência do constante melhoramento genético da cultura, aliado à adoção de melhores práticas de manejo, dentre as quais se destaca o arranjo de plantas (Andrade et al., 1999).

Dungan et al. (1958) resumiram vários experimentos sobre espaçamento entre fileiras de milho e relataram que os resultados foram inconsistentes. Resultados de pesquisas reportados em várias décadas também são conflitantes, com alguns demonstrando uma clara vantagem na produtividade de grãos (Fulton, 1970; Bullock et al., 1988; Argenta et al., 2001b) e outros não indicando vantagem alguma em cultivar milho em fileiras estreitas (Merotto Júnior et al., 1997; Westgate et al., 1997). Os autores reportam que são várias as razões destas diferenças observadas, com maior destaque para o efeito dos híbridos, da densidade populacional de plantas e das condições ambientais predominantes durante o período experimental.

Conforme Molin (2000), a quantidade atual de dados de pesquisa disponíveis não permite estabelecer a frequência de sucesso no uso de redução do espaçamento visando incremento de produtividade. Sangoi et al. (2002) relatam que trabalhos relacionados ao estudo do efeito do aumento da densidade populacional de plantas sobre o desempenho agrônomo de híbridos de milho, bem como à identificação de características morfológicas, fisiológicas e alométricas, ainda são escassos.

Segundo Argenta et al. (2001a), justifica-se reavaliar as recomendações de espaçamentos e densidades de semeadura para a cultura do milho, em função das modificações introduzidas nos genótipos mais recentes.

A densidade de plantas, dentre as formas de manipulação do arranjo especial, consiste naquela que apresenta maior interferência na produtividade do milho, uma vez que pequenas alterações na população podem afetar significativamente o rendimento de grãos. Diferentemente a outras Poaceas, o milho não possui um mecanismo de compensação de espaços tão eficiente, pois raramente perfilha (Andrade et al., 1999). Portanto, a determinação da densidade ótima (população de plantas capaz de otimizar a utilização dos recursos disponíveis) depende de diversos fatores, relacionados ao genótipo, ao ambiente e ao manejo da cultura (Sangoi et al., 2006c).

Por outro lado, tradicionalmente, a cultura do milho tem sido implantada no Brasil, empregando-se espaçamento entre linhas entre 0,80 e 0,90 m. Tal distância entre linhas permite o adequado funcionamento dos equipamentos necessários à semeadura, aos tratamentos culturais e à colheita, independentemente do sistema de produção e do tipo de tração utilizado (Sangoi et al., 2004).

Em relação ao milho, a redução na distância entre os sulcos é uma forma de modificar o arranjo das plantas e, como consequência, interferir na eficácia da utilização dos recursos do meio. O interesse pelo cultivo de milho utilizando espaçamento entre linhas reduzido (0,45 a 0,60 m) tem aumentado nos últimos anos. O desenvolvimento de híbridos tolerantes a altas densidades, o aumento no número de herbicidas recomendados para o controle seletivo de plantas daninhas em pós-emergência e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas no desenvolvimento de equipamentos adaptados para o cultivo do milho em espaçamento entre linhas reduzido consistem em fatores que favorecem a adoção desta prática cultural (Silva, 2005).

A escolha do arranjo de plantas de milho é influenciada por vários fatores: o híbrido, os objetivos do produtor, o nível tecnológico, a época de semeadura e a duração da estação de crescimento das plantas na região de cultivo. Sendo assim, os híbridos mais precoces (ciclos mais curtos), a fim de alcançar o seu potencial de rendimento, requerem maior densidade de plantas em relação aos híbridos de ciclo normal (Mundstock, 1977a; Silva, 1992; Tollenaar, 1992). Isso se deve ao fato dos híbridos mais precoces

(superprecoces) normalmente apresentarem estatura menor e, por conseguinte, menor área foliar por planta, bem como menor sombreamento do dossel da cultura (Mundstock, 1977a; Sangoi et al., 2002). Em geral, esses híbridos exigem maior densidade populacional de plantas, o que propicia índices de área foliar capazes de potencializar a interceptação da radiação solar, maximizando, assim, o rendimento de grãos (Sangoi et al., 2002).

A utilização de densidades populacionais mais elevadas tem sido cada vez mais adotada por agricultores, uma vez que os programas de melhoramento genético de híbridos de milho atuais apresentam uma forte tendência à redução da estatura das plantas e à maior precocidade. Tais características propiciaram uma melhor adaptação dos híbridos modernos ao adensamento, fato que promoveu a minimização da natureza protândrica das plantas e, conseqüentemente, reduziu o intervalo ontogênico masculino e feminino (Sangoi et al., 2001a). Deste modo, tal fato resultou no desenvolvimento de híbridos com relação alométrica mais favorável entre pendão e espigas (Mundstock, 1999). Portanto, os híbridos modernos produzem pendões menores (Duvick e Cassmann, 1999), os quais requerem menor quantidade de nutrientes e fotoassimilados para suportar o seu desenvolvimento (Sangoi e Salvador, 1998). Além disso, esses híbridos produzem menores quantidades de auxinas, diminuindo o seu efeito inibitório sobre o desenvolvimento das espigas. Portanto, o aumento do número de espigas por planta e a melhora na sincronia floral dos híbridos modernos de milho em densidades populacionais elevadas são devidas à menor demanda de fotoassimilados pelo pendão e na menor dominância apical do pendão sobre as espigas (Sangoi e Salvador, 1996).

Na condição de elevado número de plantas de milho por unidade de área (alta densidade populacional) aliada à redução do espaçamento entre linhas, as plantas de milho ficam mais distanciadas umas das outras na mesma linha, resultando em uma melhor distribuição espacial das mesmas. Assim, neste arranjo de plantas, há uma melhor distribuição espacial das folhas e das raízes da cultura e, conseqüentemente, menor competição interespecífica (Dwyer et al., 1991). Adicionalmente, acréscimos na produtividade de grãos de milho em função da diminuição do espaçamento entre linhas são atribuídos à redução da competição intra-específica e, por conseguinte, ao aumento do

índice de área foliar, aumento da taxa de crescimento relativo e da taxa de assimilação líquida da cultura (Bullock et al., 1988).

O melhoramento genético voltado à obtenção de híbridos de milho menos exigentes em unidades de calor para o florescimento, do mesmo modo, desencadeou o desenvolvimento de híbridos caracterizados pela arquitetura de plantas tipicamente mais compacta em relação às aquelas tradicionalmente cultivadas em décadas passadas. Essa arquitetura de plantas mais apropriada à penetração de luz propicia maior área de interceptação luminosa, maior eficiência do uso da radiação solar no processo de fotossíntese, além da distribuição mais eficiente dos fotoassimilados nas estruturas e períodos críticos da cultura (Argenta et al., 2001a).

No entanto, a escolha do arranjo espacial de plantas na cultura do milho deve levar em consideração a exigência nutricional da cultura e os respectivos níveis de fertilidade do solo. Estudos realizados com diferentes genótipos de milho evidenciaram que doses de nitrogênio mais elevadas foram necessárias para a obtenção de alto rendimento de grãos à medida que a densidade populacional de plantas foi aumentada (Peixoto, 1996).

Espera-se que plantas cultivadas em espaçamentos entre linhas reduzidos, sob condições de alta intensidade luminosa, regime de precipitação pluvial ótimo e baixos níveis de nutrientes no solo apresentem maior aproveitamento dos recursos limitados. Isso foi demonstrado por Barbieri et al. (2000), cujos resultados indicam que as plantas de milho submetidas à deficiência de nitrogênio e semeadas em espaçamento de 0,35 m entre fileiras apresentaram produtividade de grãos 47% superior à observada em espaçamento entre linhas de 0,70 m. No entanto, em condições de suplementação de nitrogênio, a variação nos níveis de produtividade de grãos foi estimada em 10% em favor do menor espaçamento entre linhas. Portanto, este trabalho revelou que, havendo escassez de água, de radiação solar e de nutrientes, há uma redução mais pronunciada da produtividade de grãos da cultura em função da redução do espaçamento entre linhas quando comparado à condição de suprimento adequado destes recursos.

Alguns trabalhos evidenciam que densidades populacionais mais elevadas somente são recomendadas em condições de alta precipitação pluvial ou sob irrigação (Mundstock e Silva, 1989; Peixoto, 1996), uma vez que

densidades populacionais elevadas implicam no aumento do índice de área foliar e, conseqüentemente, em maior consumo de água pelas plantas (Tetio-Kagho e Gardner, 1988). Por outro lado, a redução do espaçamento entre linhas pode resultar na minimização do déficit hídrico, mantendo constante, ao mesmo tempo, a densidade populacional de plantas. Assim, tal medida pode reduzir a competição por água entre as plantas da população- em decorrência da sua distribuição espacial mais eqüidistante (Johnson et al., 1998).

A época de semeadura e a duração da estação de crescimento também interferem na escolha do arranjo espacial de plantas de milho. Particularmente, em regiões temperadas e subtropicais, como no Norte dos Estados Unidos (Anderson; 1995) e no Sul do Brasil (Merotto Júnior et al., 1997; Almeida et al., 2000), nas semeaduras mais adiantadas (final de inverno e início da primavera), normalmente, são exigidas maiores densidades populacionais de plantas. Isso é atribuído ao menor crescimento de plantas em condições de temperaturas baixas, além da menor disponibilidade de radiação solar (Sangoi, et al, 2001a). Logo, o rendimento de grãos pode sofrer acréscimo se nesta situação houver adoção de menores espaçamentos entre linhas.

Outros estudos relacionados à determinação do espaçamento entre linhas e da densidade populacional ótimos evidenciam que híbridos de milho modernos, de elevado potencial produtivo, são mais tolerantes às altas densidades populacionais de plantas em relação àqueles cultivados no passado, destacando-se os trabalhos desenvolvidos por Duvic e Cassman (1999), nos Estados Unidos, Tollenaar e Lee (2002), no Canadá, e por Sangoi et al. (2002), no Brasil. O presente avanço foi obtido utilizando-se como critério de seleção o rendimento de grãos das futuras cultivares em populações superiores às recomendadas a campo (Bolaños e Edmeades, 1996).

Almeida et al. (2000), em trabalhos realizados na região Sul do Brasil, constataram que os níveis mais elevados de rendimento de grãos foram observados em densidades populacionais iguais ou superiores a 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Mundstock (1977a), Flesch e Vieira (1999) e Silva et al. (1999) também reportaram a ocorrência de rendimentos de grãos mais elevados para híbridos de milho modernos, de elevado potencial produtivo, quando cultivados em densidades populacionais iguais ou superiores a 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Desta forma, Almeida et al. (2000) destacaram que densidades populacionais

superiores a 60.000 plantas ha<sup>-1</sup> são recomendadas sob condições ambientais ótimas e nível tecnológico elevado, aliados ao uso de híbridos modernos (porte baixo/médio e folhas eretas) e tolerantes ao acamamento (Almeida et al. 2000).

Mundstock (1977b) e Argenta et al. (2001b) também citam que o arranjo de plantas na cultura do milho também pode ser manipulado por meio da variação nos espaçamentos entre linhas de plantas. Quando utilizados espaçamentos menores (0,45 a 0,70 m), ao invés daqueles convencionalmente pré-estabelecidos (0,80 a 1,00 m), verificou-se incrementos no rendimento de grãos de milho entre 5 e 10%. Os autores salientaram que esse incremento de rendimento é possível face à melhoria de algumas características fenotípicas dos híbridos mais recentes, tais como: menor estatura de plantas e altura de inserção de espigas, menor esterilidade de plantas, menor duração do sub período pendoamento-espigamento, plantas com folha de angulação mais ereta e elevado potencial produtivo (Merotto Júnior et al., 1999; Strieder et al., 2006).

Da mesma forma, outros estudos evidenciaram que a redução do espaçamento entre linhas de plantas de milho propicia acréscimos na produtividade de grãos de milho. A exemplo, pode-se citar os estudos de Bullock et al. (1988), que avaliaram a redução do espaçamento entre linhas de 0,76 para 0,38 m. Porter et al. (1997) também estudaram o efeito da redução do espaçamento entre linhas de 0,75 para 0,25 m; e Sangoi et al. (2001b) avaliaram a produtividade de milho em função da redução do espaçamento entre linhas de 1,0 para 0,50 m. Todos estes autores verificaram o aumento linear da produtividade de grãos, evidenciando que esta é uma prática viável na exploração da cultura do milho quando se almeja acréscimo na produtividade média de grãos.

No estado de Ohio, EUA, dados referentes à exploração comercial da cultura do milho para produção de grãos evidenciam um incremento médio de 340 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade, em resposta à redução do espaçamento entre linhas de plantas de 0,76 m para 0,50 m. Pesquisas realizadas em várias regiões dos EUA evidenciam que a utilização dos espaçamentos entrelinhas (0,38 e 0,50 m) proporciona incrementos de 3 a 5% na produtividade média de milho, quando comparados aos espaçamentos de 0,76 m (Thomison et al., 2005).

Objetivando estudar o efeito do incremento na densidade de plantas sobre o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento, Almeida et al. (2000) instalaram experimentos em Lages, SC. Os híbridos Cargil 901 e XL 370 foram cultivados sob densidades populacionais de plantas variando de 37 a 100 mil plantas ha<sup>-1</sup>, sob diferentes situações de manejo. O uso de densidades populacionais de plantas superiores a 60 mil plantas ha<sup>-1</sup> maximizou o rendimento de grãos em três experimentos. A maior competição intra-específica verificada nas densidades populacionais mais elevadas não implicou em redução do número de espigas por planta, fator este que contribuiu para a melhor adaptação da cultura a densidades populacionais elevadas. Dessa forma, para locais onde a estação estival de crescimento é mais curta, o uso de cultivares precoces e de menor porte pode ser acompanhado pelo incremento na densidade populacional variando entre 65.000 e 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Os autores justificam que isso é possível desde que se tenha bom nível de fertilidade no solo, boa disponibilidade hídrica e cultivares resistentes ao acamamento.

Teoricamente, incrementos de produtividade de grãos, decorrentes da redução no espaçamento entre linhas, seria mais evidente em elevadas densidades populacionais de plantas, uma vez que, em espaçamentos entre linhas e densidades populacionais elevadas (alta concentração de plantas na linha), a competição dentro da linha seria maior. Entretanto, Argenta et al. (2001b) verificaram que houve aumento na produtividade de grãos com redução de espaçamento entre linhas somente sob menor densidade populacional de plantas (50.000 plantas ha<sup>-1</sup>), enquanto que tal efeito não foi observado em densidade populacional de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Desta forma, constatou-se, ainda, que são insuficientes os dados apresentados para a elaboração de uma conclusão definitiva relacionando o espaçamento entre linhas e a produtividade de grãos de milho. Vale ressaltar que essas variações de respostas entre fileiras sobre a produtividade de grãos dependem do genótipo, da densidade populacional de plantas, das condições ambientais e do manejo da cultura.

A elevação da produtividade de grãos de milho em decorrência da redução do espaçamento entre fileiras somente é possível em híbridos de ciclo superprecoce e com baixa estatura, uma vez que estes híbridos apresentaram

capacidade de resposta mais intensa à redução do espaçamento entre linhas (Argenta et al., 2001b; Flesch e Vieira, 2004). Por outro lado, os autores detectaram que os genótipos de ciclo normal e elevada estatura demonstraram menor resposta, provavelmente porque os mesmos, em espaçamentos maiores, ocupavam rapidamente as entrelinhas.

Em outro trabalho conduzido por Sangoi et al. (2001b) no município de Lages – SC, durante o ano agrícola de 1999/2000, foram avaliados três híbridos contrastantes em exigência calórica para florescimento: P32R21 (superprecoce), Premium (precoce), e C333B (tardio), em quatro densidades populacionais distintas: 25.000; 50.000; 75.000 e 100.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Os híbridos foram avaliados com sua área foliar intacta e metade das folhas verdes presentes durante o espigamento foram removidas. O híbrido superprecoce P32R21 apresentou menor área foliar e maior rendimento de grãos do que o tardio C333B, tanto nas parcelas em que as folhas foram mantidas intactas quanto nas desfolhadas. Isto ocorreu devido à maior capacidade do P32R21 em remobilizar as reservas do colmo para atender à demanda dos grãos. A densidade populacional de plantas necessária para maximizar o rendimento de grãos foi tanto menor quanto mais tardio foi o híbrido.

Vazquez e Silva (2002) avaliaram a performance de um híbrido moderno (AG 9010) sob quatro espaçamentos entre linhas (0,46; 0,71; 0,82 e 0,93 m) e densidade populacional de 72.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Os autores não verificaram diferenças em relação à altura de inserção de espigas, enquanto que, para a altura de plantas, o espaçamento entre linhas de 0,46 m propiciou médias significativamente superiores desta característica em relação ao espaçamento entre linhas de 0,71 m. Contudo, para número médio de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por espiga não foram verificadas diferenças significativas. A produtividade de grãos no espaçamento entre linhas de 0,46 m foi estatisticamente superior (19,4%) àquela obtida no espaçamento entre linhas de 0,82 m.

Sérgio et al. (2002), estudando o comportamento de dez genótipos de milho submetidos a três espaçamentos (0,45; 0,70; e 0,90 m) e três densidades populacionais de plantas (55.000, 70.000 e 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>) no município de Lavras-MG, verificaram que o espaçamento entre linhas de 0,70 m

proporcionou produtividade de grãos 17% superior ao espaçamento de 0,90 m e 33% superior ao espaçamento de 0,45 m. A densidade populacional de plantas que proporcionou maior produção de grãos foi a de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>, seguida pela de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>, independente do espaçamento utilizado.

No ano agrícola de 2000/01, no município de Porto Alegre – RS, Forsthofer et al. (2004) avaliaram o desenvolvimento fenológico e agrônomico de três híbridos de milho (Pioneer 32R21, Dekalb 214 e AG 1051), em três épocas de semeadura (22/08/2000 – cedo; 31/10/2000 – intermediária; 25/01/2000 – tardia), sob condições naturais de precipitação pluvial. Os autores concluíram que o atraso da semeadura implicou em menor duração dos subperíodos de desenvolvimento de todos os híbridos. As diferenciações do pendão e da espiga ocorreram nos estádios 6-7 e 10-11, respectivamente, com as folhas estando completamente expandidas, independente do ciclo do híbrido e da época de semeadura. A taxa de emissão de folhas foi maior na semeadura de outubro e no híbrido de ciclo superprecoce. A semeadura mais tardia propiciou menor área foliar, promovendo o aumento do incremento do ciclo do híbrido. O número de espiguetas por espiga, o rendimento de grãos e a massa dos grãos foram geralmente superiores na semeadura de outubro em relação àquelas dos meses de agosto e de janeiro.

Em trabalho conduzido por Marchão et al. (2005) com o objetivo de analisar o comportamento de híbridos de milho (A 2555, A 2288, AG 9010, AG 6690, P 30F88 e Valent) em diferentes densidades populacionais (40.000, 53.000, 71.000, 84.000 e 97.000 plantas ha<sup>-1</sup>) e sob espaçamento entre linhas reduzido (0,45 m), foram instalados experimentos em Goiânia e Jataí (GO), durante a safra de verão de 2002/03. Os componentes de produção avaliados, e a produtividade de grãos sofreram significativa interferência da densidade populacional de plantas, em ambos os experimentos, sendo observado a maior produtividade em densidades populacionais superiores a 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, tais resultados indicam que a utilização de cultivares de milho de menor porte, aliado aos acréscimos na densidade populacional de plantas, pode contribuir significativamente para o aumento do rendimento de grãos sob espaçamentos entre linhas reduzidos (0,45 m).

Sangoi et al. (2006c) instalaram experimentos no município de Eldorado do Sul – RS, durante os anos agrícolas de 2001/02 e 2002/03, e no município

de Lages – SC, durante as safras de 2002/03 e 2003/04, com o objetivo de avaliar o desempenho agrônomico de genótipos de milho em diferentes sistemas de manejo. Os sistemas de manejo foram definidos em função da combinação entre densidades populacionais de plantas, espaçamentos entre linha, níveis de adubação e suplementação hídrica. Foram avaliados o híbrido simples P 32R21, o híbrido duplo Traktor e a variedade de polinização aberta BRS Planalto. No município de Eldorado do Sul – RS, a densidade populacional de plantas variou de 4 a 10 plantas  $m^{-2}$  enquanto em Lages – SC a densidade populacional avaliada variou de 3 a 10 plantas  $m^{-2}$ . Em ambos os locais os tratamentos foram submetidos a espaçamentos entre linhas de 0,40 e 0,80 m. Nos quatro ambientes, os dois híbridos e a variedade de polinização aberta de milho apresentaram maior rendimento de grãos quando foram submetidos a condições de melhores níveis de adubação e de suplementação hídrica. No entanto, o híbrido simples P 32R21 apresentou melhor padrão de resposta fenotípica à melhoria das condições de manejo quando comparado à variedade de polinização aberta BRS Planalto. Ganhos de até 284% na produtividade de grãos de milho, em decorrência da melhoria no sistema de manejo da cultura, foram reportados.

Em outro trabalho conduzido por Sangoi et al. (2006a), durante os anos agrícolas de 1999/00 e 2000/01, no município de Lages – SC, foram avaliadas três densidades populacionais de plantas (50.000, 75.000 e 100.000 plantas  $ha^{-1}$ ), quatro híbridos de milho tradicionalmente cultivados nas décadas de 60 (AG 12), 70 (AG 28), 80 (AG 303) e 90 (AG 9012), considerando-se ainda a presença de pendões intactos ou integralmente removidos durante o emborrachamento. O híbrido AG 9012 exigiu densidades populacionais mais elevadas para otimizar o seu potencial produtivo em relação aos híbridos antigos, visto que, no ano agrícola de 1999/00, quando as condições ambientais foram mais favoráveis, este híbrido apresentou rendimento de grãos superior a 10.000 kg  $ha^{-1}$ . A interferência do pendão sobre o desenvolvimento das espigas neste ano agrícola foi pequena. Entretanto, o rendimento de grãos de todos os híbridos respondeu positivamente ao despendoamento em 2000/01, sob tetos de produtividade mais baixos. No entanto, não houve associação entre maior tolerância ao adensamento e à resposta ao despendoamento, indicando que a tolerância a altas densidades populacionais

não esteve relacionada com a redução da dominância apical do pendão sobre as espigas.

De acordo com Teasdale (1995), a redução do espaçamento entre linhas no milho promove outras vantagens que, dependendo da situação, podem não resultar em acréscimo na produtividade de grãos. Sua adoção pode se justificar pela ampliação na competitividade da cultura com as plantas daninhas, em decorrência da maior quantidade de radiação solar interceptada. Balbinot e Fleck (2005) também enfatizaram que a melhor distribuição de folhas e de raízes na cultura do milho, em virtude do menor espaçamento entre linhas, promove o aumento da capacidade de interceptação de radiação solar, além do aproveitamento de água e nutrientes, em decorrência da ocupação mais rápida de espaço. Desse modo, ocorre a redução da disponibilidade destes recursos, tanto para o crescimento como para o desenvolvimento das plantas concorrentes. A diminuição no espaçamento entre linhas de milho pode também ser adotada como prática cultural de manejo de plantas daninhas, podendo contribuir para a redução da dependência do uso de herbicidas.

Além disso, a utilização da redução do espaçamento entre linhas e, conseqüentemente, do aumento no número de linhas da cultura, proporciona outras vantagens, como a maior uniformidade de aplicação do adubo na área de plantio, por exemplo. Dessa forma, a concentração de adubo aplicado na linha é diminuída proporcionalmente à redução do espaçamento entre linhas. Tal fato também implica na redução do problema da salinização localizada na linha de aplicação do adubo que, por ocasião da germinação das sementes e da emergência de plântulas, pode afetar tais processos fisiológicos das plantas.

A mão de obra e o tempo utilizado na regulagem do espaçamento entre linhas da semeadora também pode ser significativamente reduzido mediante a adoção do espaçamento entre linhas de 0,45 a 0,50 m na cultura do milho, visto ser este espaçamento também utilizado em outras culturas tradicionais na agricultura brasileira, como o feijão e a soja, dentre outras.

A disponibilidade de plataformas específicas para a realização da colheita consiste em uma das principais limitações do uso de espaçamento entre linhas reduzido na cultura do milho. Atualmente, já são fabricadas plataformas destinadas à colheita de milho cultivado em espaçamentos entre linhas de 0,4 a 0,5 m, embora a aquisição destas plataformas implique em

custos significativamente elevados à implantação desta prática nas propriedades rurais. Atualmente, os produtores rurais tradicionais, que estão renovando suas máquinas e implementos agrícolas ou aqueles que estão introduzindo o cultivo de milho na rotina agrícola de suas propriedades, têm adotado a prática de espaçamento entre linhas reduzido, tendo em vista a viabilidade econômica desta prática em relação ao custo e ao benefício do investimento (Silva, 2005).

As perspectivas futuras em relação ao emprego do espaçamento entre linhas reduzido são promissoras no tocante a se elevar e se disseminar entre os produtores rurais, principalmente aqueles que cultivam híbridos modernos de elevado potencial produtivo, específicos para as condições de alta tecnologia (em termos de adubação, controle de plantas daninhas e pragas), em grandes áreas de cultivo (Silva, 2005). Sendo assim, para tais produtores, justifica-se a aquisição de plataformas específicas para a colheita de milho em espaçamento entre linhas reduzido, uma vez que o custo de aquisição das mesmas pode ser compensado pelo aumento na produtividade de grãos, pela redução do custo das práticas de controle de plantas daninhas e pelo ganho de agilidade durante a semeadura. No entanto, os agricultores devem realizar uma avaliação prévia de todo o sistema de produção de sua propriedade rural, levantamento este que auxiliará consideravelmente na programação da adoção de tal prática. Portanto, é importante a realização de uma análise regional dos possíveis fatores limitantes à adoção do espaçamento entre linhas reduzido na cultura do milho, os quais deverão ser previamente eliminados.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização

Os experimentos foram conduzidos a campo, no período de setembro a fevereiro dos anos agrícolas 2005/06 e de 2006/07, em área de terra da Fazenda Bovo, situada no município de Apucarana, Norte do Estado do Paraná. O município de Apucarana encontra-se geograficamente situado a 23°31'30" de latitude Sul, a 51°24'20" de longitude Oeste de Greenwich e apresenta altitude média de 868 m.

#### 3.2. Solo e Clima

Os experimentos foram instalados em área de ocorrência de solo Nitossolo Vermelho eutrófico latossólico, textura argilosa (Embrapa, 1999). No Quadro 2, encontram-se os dados relativos à análise química da amostra de solo coletada na área experimental.

Quadro 2 – Resultado de análise química da amostra de material de solo da área experimental\*

pH		Al <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>+++</sup>	Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	P	C
CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	(Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					(mg dm <sup>-3</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )
5,69	6,56	0,0	3,27	6,77	5,20	0,56	6,73	18,10

\*Análises efetuadas no Laboratório Laborsolo, Londrina Paraná.

O clima de Apucarana, segundo a classificação de Köppen, pertence ao tipo Cfb, definido como tropical semi-úmido, ocasionalmente seco no inverno. As condições térmicas locais predominantes são temperaturas médias anuais de 20,3°C (máxima de 26°C e a mínima de 16°C), com predominância de ocorrência de ventos a partir da direção Nordeste para o Sudoeste e precipitação média anual de 1.637 mm (Godoy et al., 1976). Os dados referentes às médias de precipitação pluvial e de temperaturas médias máximas e mínimas, durante o período de condução dos experimentos,

encontram-se listados na Figura 1. Os dados referentes às temperaturas foram obtidos no entreposto da Cooperativa Agropecuária de Rolândia (Corol), situado em Apucarana - PR, enquanto as informações relacionadas às precipitações pluviiais foram coletadas mediante o uso de pluviômetro instalado na área experimental.

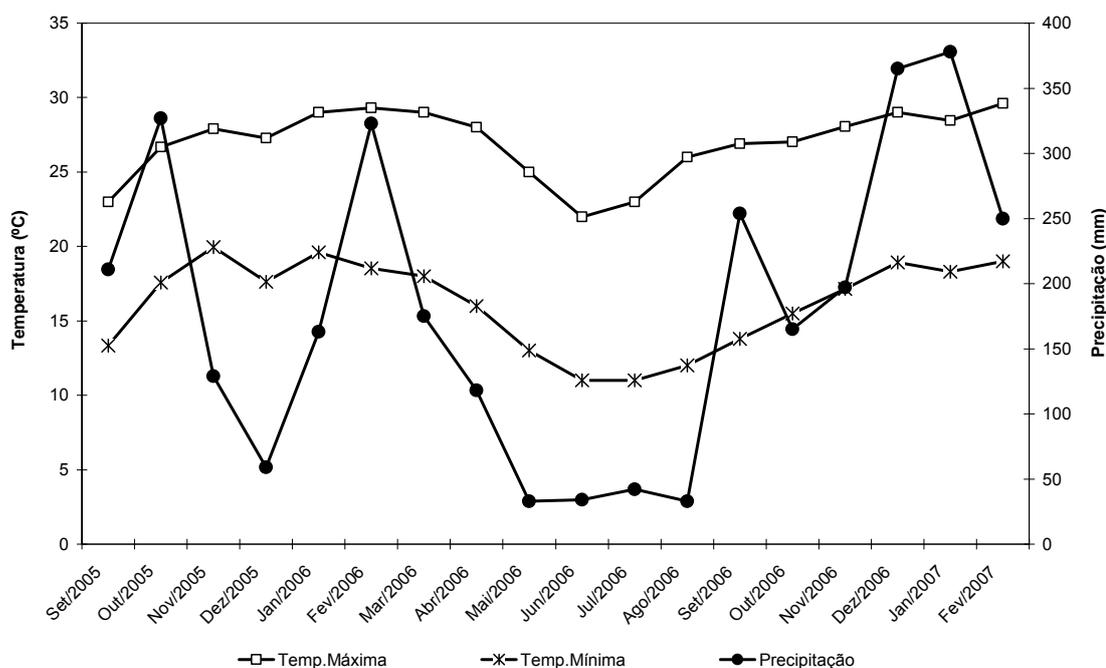


Figura 1 – Valores médios mensais de precipitação pluvial e de temperaturas médias máximas e mínimas observadas durante o período de condução dos experimentos (Setembro/2005 a Fevereiro/2007), Apucarana, PR.

### 3.3. Tratamentos

Os tratamentos constituíram-se da combinação entre dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m), quatro densidades populacionais de plantas (45.000, 60.000, 75.000 e 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>), e de dois híbridos de milho (DKB 214 e DKB 234), avaliados em dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07).

#### 3.3.1. Híbrido DKB 214

Segundo a Monsanto do Brasil S/A, o DKB 214 é um híbrido simples, caracterizado por possuir arquitetura foliar semi-ereta, ciclo precoce (soma

térmica 810 GDU), grãos semi-duros de cor amarelo-alaranjada, excelente empalhamento e alta resistência a grãos ardidos. Além disso, este híbrido apresenta boa tolerância a doenças, como a pinta branca, causada pelo fungo *Phaeosphaeria maydis*, e o enfezamento do milho “Corn Stunt”, causado por viroses. A altura média das plantas é de 2,20 a 2,30 m, sendo a altura de inserção das espigas de 1,15 a 1,25 m. O colmo apresenta elevada resistência ao quebramento, sendo, portanto, recomendado para a produção de grãos em altitudes a partir de 500 m, com indicação de densidade populacional de plantas variando de 50.000 a 65.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Dekalb, 2008).

### **3.3.2. Híbrido DKB 234**

Segundo Dekalb (2008), o DKB 234 é um híbrido simples, caracterizado por apresentar arquitetura foliar semi-ereta, ciclo superprecoce (soma térmica 790 GDU), grãos dentados de cor amarela, excelente empalhamento, alta tolerância a grãos ardidos. Adicionalmente, possui boa tolerância a doenças, como a pinta branca, causada pelo fungo *Phaeosphaeria maydis*, e o enfezamento do milho “Corn Stunt”, causado por viroses. A altura média das plantas é de 2,25 a 2,35 m, sendo que a altura de inserção das espigas varia de 1,20 a 1,30 m. O colmo exibe alta resistência ao quebramento, é aconselhado para a produção de grãos em altitudes a partir de 500 m e indicado para cultivo sob densidade populacional de plantas variando entre 65.000 e 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

### **3.4. Delineamento experimental**

Na implantação dos experimentos, os tratamentos foram delineados em blocos completos casualizados, em esquema fatorial 2 x 2 x 4 x 2, resultante da combinação entre dois espaçamentos entre linhas de plantas, dois híbridos de milho, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas de avaliação, em quatro repetições, perfazendo um total de 128 unidades experimentais.

### **3.5. Características das unidades experimentais**

No espaçamento entre linhas de 0,45 m, as unidades experimentais foram constituídas de dez linhas de 8,0 m de comprimento, sendo consideradas para as avaliações as seis linhas centrais, excluindo-se 1,0 m de cada extremidade. A área útil de cada parcela experimental foi de 16,2 m<sup>2</sup>.

O no espaçamento de 0,9 m, as unidades experimentais foram constituídas de cinco linhas de plantas, com 8,0 m de comprimento. Nas avaliações, foram consideradas as três linhas centrais, excluindo-se 1,0 m das extremidades, totalizando uma área útil de 16,2 m<sup>2</sup>.

### **3.6. Instalação e condução dos experimentos**

A área experimental utilizada foi anteriormente cultivada com a cultura do trigo, em sistema de plantio direto. Nos dois anos agrícolas de avaliação, 2005/06 e 2006/07, o plantio foi realizado no final o mês de setembro. Por ocasião da implantação dos experimentos, sete dias antes da realização do plantio, foi efetuada a dessecação de manejo de invasoras utilizando-se o herbicida Glyphosate, na dosagem de 960 g.i.a. ha<sup>-1</sup> (Andrei, 2005). Em ambos os anos agrícolas de avaliação, o plantio foi efetuado manualmente, utilizando matraca especial e regulável, nas densidades previstas de plantas, de modo a atender às populações desejadas por área (Quadro 3). A adubação de plantio, calculada em função dos resultados da análise química do solo (Quadro 2), consistiu-se da aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 11-28-16 (NPK), conforme recomendações de Rajj et al. (1996). O controle de pragas iniciais da cultura do milho foi efetuado mediante o tratamento de sementes com inseticidas Imidacloprido (240g i.a por 100 kg) e Thiodicarbe (700 g.i.a por 100 kg), conforme Andrei (2005).

Por ocasião do estágio V<sub>4</sub>, em que as plantas apresentavam quatro folhas totalmente expandidas Ritchie e Hanway (1993), efetuou-se o desbaste a fim de ajustar a densidade populacional de plantas aos valores definidos em cada tratamento (Quadro 3). Logo a seguir, entre os estádios V<sub>4</sub> e V<sub>8</sub> (quatro e oito folhas totalmente expandidas), foram realizadas as adubações nitrogenadas em cobertura, sendo que cada tratamento recebeu 400 Kg de N.

ha<sup>-1</sup>, aplicados a lanço na forma de uréia. O controle de plantas daninhas foi realizado mediante aplicação do herbicida Atrazina, na dosagem de 3.250 g.i.a ha<sup>-1</sup> (Andrei, 2005), aplicado em pós-emergência. O controle de pragas foi efetuado mediante a aplicação dos inseticidas Methamidophos e Lufenuron (Andrei, 2005).

Quadro 3 – Número de plantas por metro linear para obtenção das quatro densidades populacionais em dois espaçamentos entre linhas utilizados

Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Espaçamento entre linhas	
	0,45 m	0,90m
45.000	2,02	4,05
60.000	2,70	5,40
75.000	3,37	6,75
90.000	4,05	8,01

### **3.7. Avaliações fitotécnicas e componentes de produção**

#### **3.7.1. Altura média de planta**

A determinação da altura média das plantas foi efetuada por ocasião do florescimento pleno, por meio de simples medição do comprimento do colmo de dez plantas de cada unidade experimental. Tal medida foi obtida desde a superfície do solo até a base da inflorescência masculina (pendão), com o uso de trena graduada (cm).

#### **3.7.2. Altura média de inserção da primeira espiga**

A altura média da inserção da primeira espiga (cm) constituiu-se da medição das distâncias (cm) entre a superfície do solo e o ponto de inserção da primeira espiga com o colmo das mesmas plantas avaliadas na determinação da altura de plantas, mediante o uso de trena graduada.

### **3.7.3. Área foliar média**

A avaliação da área foliar média (cm<sup>2</sup>) foi realizada por ocasião do florescimento pleno, utilizando-se de 10 plantas de cada unidade experimental, mediante a mensuração de todas as folhas (cm) plenamente expandidas de cada planta, em seu comprimento (C<sub>i</sub>) e sua maior largura (L<sub>i</sub>), com o uso de fita métrica. O cálculo da área foliar de cada folha foi obtido mediante o uso da equação  $AF_i = 0,75 \cdot C_i \cdot L_i$ , proposta por Francis et al. (1969). A área foliar total de cada planta foi obtida pela soma da área foliar de todas as suas folhas.

### **3.7.4. Diâmetro médio do colmo**

O diâmetro médio do colmo (cm) constituiu-se da medição do segundo internódio, a partir da base da planta, mediante o uso de um paquímetro, utilizando-se as mesmas 10 plantas de cada unidade experimental, usadas na obtenção da área foliar.

### **3.7.5. Comprimento médio da espiga**

Por ocasião da colheita, procedeu-se a determinação do comprimento médio das espigas (cm), separando-se aleatoriamente 10 espigas colhidas em cada unidade experimental, as quais foram medidas utilizando-se uma trena graduada.

### **3.7.6. Número médio de fileira de grãos da espiga**

O número médio de fileiras de grãos da espiga foi determinado por meio da simples contagem de fileiras das dez espigas amostradas em cada unidade experimental, as mesmas utilizadas na determinação do comprimento médio de espigas, e por meio do número médio de grãos por fileira.

### **3.7.7. Número médio de grãos por fileira da espiga**

O número médio de grãos por fileira da espiga foi estimado mediante simples contagem dos grãos presentes nas fileiras de 10 espigas amostradas aleatoriamente em cada unidade experimental.

### **3.7.8. Diâmetro médio da espiga**

O diâmetro médio da espiga (cm) foi verificado por meio de paquímetro, medindo-se o centro de 10 espigas de cada unidade experimental.

### **3.7.9. Diâmetro médio do sabugo**

Após a debulha dos grãos das mesmas 10 espigas de cada unidade experimental, foi determinado o diâmetro médio da parte central do sabugo (cm), por meio de um paquímetro.

### **3.7.10. Prolificidade**

A prolificidade foi determinada mediante a mensuração do número médio de espigas produzidas por planta, dentro da área útil de cada unidade experimental.

### **3.7.11. Massa de mil grãos**

A massa média de mil grãos foi determinada por meio de amostras de grãos coletadas, após a debulha de todas as espigas da área útil de cada unidade experimental, conforme Brasil (1992). Do total de grãos de cada parcela, foram retiradas oito subamostras ao acaso, contendo cem grãos cada, os quais foram submetidos à pesagem e à determinação imediata da umidade em escala de porcentagem. Ao final, a massa de mil grãos (g) foi corrigida para 13% de umidade.

### **3.7.12. Produção de grãos**

A colheita foi realizada manualmente, sendo recolhidas todas as espigas da área útil de cada unidade experimental. A seguir, as espigas foram debulhadas com debulhador mecânico, estacionário. Após a debulha, foi avaliada a umidade dos grãos, com o emprego do determinador de umidade

universal, marca Dickey-John multi-grain. A obtenção da massa média de grãos (g) foi realizada utilizando-se uma balança semi-analítica, com precisão de 1,0 g. A massa final dos grãos de cada unidade experimental foi corrigida para 13% de umidade e transformada em escala de  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **3.8. Análise estatística**

Os dados experimentais obtidos foram submetidos, inicialmente, à análise de variância individual, ocasião em que foi verificada a pressuposição de homogeneidade das variâncias residuais entre os ambientes, conforme proposta de Cruz e Regazzi (2001). Nessa análise foram comparados os quadrados médios residuais, admitindo-se a análise conjunta das características, cujos quadrados médios não ultrapassaram a relação aproximada de 7:1 (Pimentel Gomes, 1990). A seguir, procedeu-se à análise de variância conjunta dos resultados a fim de se verificar efeitos das interações entre os fatores espaçamento entre linhas, densidade populacional de plantas, híbrido e ano agrícola.

Para as características que apresentaram efeito significativo da interação entre fatores, procedeu-se o desdobramento do efeito da densidade populacional de plantas, mediante o uso de análise de regressão linear e quadrática. Para os efeitos de espaçamento entre linhas e de híbridos, o teste F da análise de variância conjunta já foi conclusivo, dispensando, portanto, a aplicação de testes de comparação entre médias para o desdobramento dos mesmos (Cruz e Regazzi, 2001).

As análises estatísticas foram efetuadas mediante emprego dos programas estatísticos Genes (2001) e Sisvar (Ferreira, 2000).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Clima, crescimento e desenvolvimento das plantas de milho

Ao longo do período de crescimento, bem como desenvolvimento das plantas de milho, qual seja, do plantio até o término da colheita dos experimentos, foram observadas condições climáticas satisfatórias. A precipitação pluvial total detectada durante o primeiro ano de plantio foi de 1.212 mm, enquanto que no segundo ano este valor foi de 1.609 mm (Figura 1). O volume ideal de chuvas, a fim de se obter elevadas produtividades de grãos de milho, na ausência de irrigação, é de aproximadamente 500 a 800 mm, bem distribuídos, especialmente nos estádios críticos, os quais correspondem aos períodos de pendoamento e de enchimento de grãos Aldrich et al. (1982).

Assim, os valores de precipitação pluvial demonstraram-se compreendidos dentro do intervalo considerado ideal para obtenção de elevada produtividade exigida pela cultura de milho, não ocorrendo ainda períodos críticos de déficit hídrico durante os estádios vegetativos e reprodutivos das plantas. Contudo, no segundo ano agrícola (2006/07), a precipitação pluvial ocorrida no período de dezembro a janeiro foi mais satisfatória para o crescimento das plantas de milho em relação ao primeiro (Figura 1).

No que se referem às temperaturas médias mensais, no primeiro ano agrícola, os valores variaram de 13,33 a 29,32°C, durante o período de avaliação, com uma média de 22,3°C (Figura 1). Por outro lado, no segundo ano, tais valores variaram de 13,8 a 29,6°C com média estimada em 22,64°C (Figura 1). Assim, estes valores podem ser considerados adequados para o crescimento e o desenvolvimento da planta do milho, cuja exigência se situa entre 20 e 30°C, sendo o limite inferior estimado em aproximadamente 10°C (Gomes, 1991; Mundstock, 1995) e o limite superior de até 35°C diurno e 24°C noturno (Sartori, 1997; Fancelli e Dourado Neto, 1997).

De modo geral, observou-se uma ligeira tendência ao aumento de manifestação de natureza protândrica do milho nas densidades populacionais mais elevadas, que, conforme Sangoi et al. (2002), é decorrente de maior

competição intra-específica. Dessa forma, a soma térmica necessária para o início do florescimento de cada híbrido, nos diferentes espaçamentos e densidades populacionais estudados, foi praticamente a mesma, correspondendo às informações técnicas fornecidas pela empresa produtora das sementes.

#### **4.2. Altura média de planta**

No Quadro 4, encontram-se os resultados da análise de variância conjunta referentes à altura média de plantas de dois híbridos de milho, avaliados em dois espaçamentos entre linhas e quatro densidades populacionais em dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07). Pode-se verificar que houve efeito significativo ( $P \leq 0,05$ ) para os efeitos principais de híbridos e anos, bem como para a interação entre híbridos e anos.

No que se refere ao desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano agrícola (Quadro 5), verificou-se que o híbrido DKB 234 apresentou maior altura média de plantas, cujos valores estiveram em conformidade com as especificações da empresa produtora de sementes (Dekalb, 2008).

Quanto ao efeito de espaçamento entre linhas, não foi realizado o desdobramento do mesmo, uma vez que não houve diferença significativa deste efeito sobre a altura média de plantas, tanto no seu efeito principal quanto nas interações com os fatores híbrido, densidade populacional e ano agrícola (Quadro 4). Resultados similares aos observados neste estudo também foram reportados por Argenta et al. (2001b) e Sangoi et al. (2001b), os quais evidenciaram que, na região Sul do Brasil, a variação no espaçamento entre linhas não interferiu na altura média de plantas dos híbridos de milho.

O desdobramento do efeito dos híbridos (Quadro 7), em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, evidenciou, que no primeiro ano de avaliação (2005/06), não foi verificada diferença significativa alguma entre a altura média de inserção da primeira espiga dos híbridos DKB 234 e DKB 214. A ausência de efeito significativo entre híbridos também ocorreu no espaçamento de 0,90 m e densidade populacional de 45.000

plantas ha<sup>-1</sup> no segundo ano (2006/07). Nas demais combinações entre os níveis dos fatores espaçamento entre linhas e densidade populacional, no segundo ano agrícola, o híbrido DKB 234 apresentou altura média de inserção da primeira espiga significativamente superior ( $P \leq 0,05$ ) ao híbrido DKB 214 (Quadro 7). As referidas médias observadas no presente estudo também estiveram em conformidade às especificadas pela empresa produtora de sementes (Dekalb, 2008).

Quadro 4 – Resumo da análise de variância conjunta referente à altura média de plantas (m) de dois híbridos de milho em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais em dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	1,730 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	0,001 <sup>ns</sup>
Densidade Populacional (P)	3	0,011 <sup>ns</sup>
Ano	1	0,027 *
Repetição/Ano	6	0,023 **
H x E	1	0,012 <sup>ns</sup>
H x P	3	0,001 <sup>ns</sup>
H x Ano	1	0,233 **
E x P	3	0,002 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	0,001 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	0,003 <sup>ns</sup>
H x E x P	3	0,001 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	0,003 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	0,006 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	0,006 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	0,003 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	0,006
C.V. (%)		3,420
Média Geral		2,248

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No que se refere ao efeito da densidade populacional, verificou-se que este fator não influenciou na expressão fenotípica da altura média de plantas, seja no seu efeito médio ou na interação com diferentes níveis dos demais fatores avaliados (Quadro 4) dispensando, assim, o desdobramento do mesmo. Entretanto, resultados contrastantes foram reportados por Marchão et al. (2005) ao avaliar seis híbridos de milho no Estado de Goiás.

Quadro 5 – Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214 em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica altura média de plantas (m)

Espaçamento entre linhas (cm)	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbrido	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	2,32 a	2,12 b
0,45	45.000	2	2,35 a	2,07 b
0,45	60.000	1	2,31 a	2,15 b
0,45	60.000	2	2,46 a	2,08 b
0,45	75.000	1	2,29 a	2,15 b
0,45	75.000	2	2,50 a	2,11 b
0,45	90.000	1	2,28 a	2,16 b
0,90	90.000	2	2,47 a	2,13 b
0,90	45.000	1	2,28 a	2,15 b
0,90	45.000	2	2,36 a	2,11 b
0,90	60.000	1	2,30 a	2,21 a
0,90	60.000	2	2,44 a	2,10 b
0,90	75.000	1	2,34 a	2,18 b
0,90	75.000	2	2,37 a	2,10 b
0,90	90.000	1	2,31 a	2,15 b
0,90	90.000	2	2,41 a	2,12 b
Média Geral			2,36	2,13

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

### 4.3. Altura média de inserção da primeira espiga

A análise de variância para a característica altura média de inserção da primeira espiga (Quadro 6) evidenciou efeito significativo ( $P \leq 0,01$ ) para o efeito principal de híbrido, densidade populacional e ano, bem como para as interações híbrido x densidade populacional e híbrido x ano.

Quadro 6 – Resumo da análise de variância conjunta referente a altura média de inserção da primeira espiga (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais em dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	1.830,125 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	1,320 <sup>ns</sup>
Densidade Populacional (P)	3	376,991 **
Ano	1	1.105,675 **
Repetição/Ano	6	90,553 <sup>ns</sup>
H x E	1	161,101 <sup>ns</sup>
H x P	3	27,151 **
H x Ano	1	1.275,125 **
E x P	3	54,301 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	130,008 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	52,899 <sup>ns</sup>
H x E x P	3	91,448 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	28,501 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	51,417 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	50,380 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	0,631 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	44,995
C.V. (%)		6,010
Média Geral		111,561

\*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

Quanto ao efeito do espaçamento entre linhas, não foi realizado o desdobramento do mesmo, uma vez que não foi verificada diferença significativa deste efeito sobre a altura de inserção da primeira espiga de ambos os híbridos avaliados (Quadro 6). Resultados semelhantes foram reportados por Argenta et al. (2001b). Isso se deve, provavelmente, ao fato de ambos os híbridos apresentarem grande semelhança morfológica e fenológica: híbridos simples, de arquitetura foliar semi-ereta, ciclo superprecoce e precoce e de baixa estatura (Dekalb, 2008).

Quadro 7 – Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214 em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica altura média de inserção da primeira espiga (cm)

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade Populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbridos	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	107,27 a	101,67 a
0,45	45.000	2	115,25 a	98,50 b
0,45	60.000	1	107,25 a	104,65 a
0,45	60.000	2	107,00 a	103,00 b
0,45	75.000	1	109,65 a	110,17 a
0,45	75.000	2	126,00 a	110,75 b
0,45	90.000	1	110,97 a	108,45 a
0,45	90.000	2	127,50 a	115,25 b
0,90	45.000	1	104,20 a	108,05 a
0,90	45.000	2	111,00 a	107,00 a
0,90	60.000	1	107,22 a	110,77 a
0,90	60.000	2	124,00 a	111,25 b
0,90	75.000	1	111,07 a	112,35 a
0,90	75.000	2	120,25 a	108,25 b
0,90	90.000	1	116,32 a	107,85 a
0,90	90.000	2	120,50 a	106,50 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano, no Quadro 8, estão apresentadas as equações de regressão linear das interações entre os níveis dos fatores híbrido, espaçamento entre linhas e ano agrícola, que possibilitaram ajuste de modelo matemático.

Pode-se verificar que ambos os híbridos apresentaram comportamento linear crescente para a altura média de inserção da primeira espiga, em função do aumento da densidade populacional, visto que os coeficientes angulares da regressão linear ( $\beta$ ) apresentaram valores positivos. Tais resultados indicam que, dentro do limite de densidades populacionais avaliadas (45.000 a 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>), a altura média de inserção da primeira espiga dos híbridos DKB 234 e DKB 214 tende a expressar valores proporcionalmente mais elevados frente ao aumento da densidade populacional de plantas de milho, concordando com resultados obtidos por Argenta et al. (2001b).

Quadro 8 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica altura média de inserção da primeira espiga (cm), referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
H1 x E45 x A2	$y = 107,850 + 0,238x$	62,78
H1 x E90 x A1	$y = 91,605 + 0,268x$	98,47
H2 x E45 x A2	$y = 80,775 + 0,387x$	98,76

H1: Híbrido DKB 234; H2: Híbrido DKB 214; E45: Espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: Espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: Ano 1 (2005/06); A2: Ano 2 (2006/07).

Tais resultados indicam que, em geral, o híbrido DKB 234 tende a apresentar incrementos de 0,24 a 0,27 cm na altura de plantas em resposta a cada acréscimo de 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional, enquanto que, para o híbrido DKB 214, esse padrão de resposta é de quase 0,40 cm.

#### 4.4. Área foliar média

Os resultados da análise de variância conjunta para a característica área foliar média estão apresentados no Quadro 9, onde se verifica diferença

significativa ( $P \leq 0,05$ ) para os efeitos principais de híbridos e anos, bem como para as interações híbrido x ano, densidade populacional x ano e híbrido x espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano.

Quadro 9 – Resumo da análise de variância conjunta, referente à área foliar média ( $\text{cm}^2$ ) das plantas de dois híbridos de milho em dois espaçamentos, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	2.576044,329 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	673.603,540 <sup>ns</sup>
Densidade populacional (P)	3	383.978,196 <sup>ns</sup>
Ano	1	4.489348,810 **
Repetição/Ano	6	546.172,209 <sup>ns</sup>
H x E	1	1.099114,391 <sup>ns</sup>
H x P	3	247.102,683 <sup>ns</sup>
H x Ano	1	8.530959,159 **
E x P	3	101.401,537 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	1.138212,316 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	2.505970,558 **
H x E x P	3	154.600,850 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	4.638,530 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	636.011,297 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	58.402,217 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	1.169883,016 *
Resíduo	90	326.427,67
C.V. (%)		8,05
Média Geral		7094,083

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No que se refere ao desdobramento do efeito de híbridos, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano agrícola (Quadro 10), observa-se que, no espaçamento entre linhas de 0,45 m, o híbrido DKB

234 apresentou maior área foliar média apenas para a densidade populacional de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup> durante o ano agrícola de 2005/06. Contudo, no segundo ano agrícola (2006/07), tal efeito foi verificado em todos os níveis de densidade populacional (45.000, 60.000, 75.000 e 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>).

Quadro 10 – Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214 em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica área foliar média (cm<sup>2</sup>)

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade Populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbridos	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	7.398 a	6.205 b
0,45	45.000	2	8.300 a	6.775 b
0,45	60.000	1	6.804 a	6.398 a
0,45	60.000	2	7.838 a	6.384 b
0,45	75.000	1	7.372 a	7.198 a
0,45	75.000	2	7.504 a	6.123 b
0,45	90.000	1	7.298 a	6.757 a
0,90	90.000	2	7.989 a	6.002 b
0,90	45.000	1	6.816 a	6.731 a
0,90	45.000	2	8.568 a	6.893 b
0,90	60.000	1	6.178 a	6.888 a
0,90	60.000	2	8.461 a	6.706 b
0,90	75.000	1	7.698 a	6.678 b
0,90	75.000	2	7.248 a	6.665 a
0,90	90.000	1	7.216 a	6.875 a
0,90	90.000	2	7.989 a	7.048 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (P > 0,05), pelo teste F.

No espaçamento entre linhas de 0,90 m, por sua vez, a superioridade do híbrido DKB 234 em relação à área foliar média durante o primeiro ano agrícola foi verificada na densidade populacional de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, enquanto que, no segundo ano, o DKB 234 apresentou área foliar média significativamente superior ao DKB 214 nas densidades populacionais de 45.000, 60.000 e

90.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Quadro 10). De maneira geral, o híbrido DKB 234 apresentou maior área foliar média em relação ao híbrido DKB 214, de forma semelhante ao ocorrido para as características altura média de plantas (Quadro 5) e altura média de espigas (Quadro 7).

As médias de área foliar observadas para os híbridos DKB 234 e DKB 214 neste estudo são semelhantes àquelas reportadas por Sangoi et al. (2001a) e Sangoi et al. (2002) para híbridos de milho atuais de ciclo precoce e superprecoce. Estes autores relatam que o tipo de arquitetura das plantas que caracteriza esses híbridos, mesmo com área foliar menor que dos híbridos mais antigos, contribui para o aumento da eficiência de uso da radiação solar quando semeados em altas densidades populacionais. Adicionalmente, afirmam que a maior atividade fotossintetizante dos híbridos caracterizados pela presença de folhas de menor tamanho se deve ao aumento da densidade estomatal, conteúdo de proteínas e de clorofila nestas folhas e, conseqüentemente, à maior taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (Johnson et al., 1987; Morgan et al., 1990; Kasele et al., 1995). Sangoi et al. (2002) afirmam que as condições climáticas das regiões de altitude do Sul do país, uma vez que determinam a formação de folhas menores nas plantas de milho, podem permitir a formação de uma comunidade de plantas mais eficientes no acúmulo de massa seca, contribuindo para elevadas produtividades.

No que se refere ao desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas, em função de híbrido x densidade populacional x ano agrícola (Quadro 11), pode-se observar que, de maneira geral, o espaçamento entre linhas de 0,45 m propiciou maior área foliar para ambos os híbridos avaliados, principalmente quando as condições ambientais foram mais favoráveis, verificadas no ano agrícola de 2006/07 (Figura 1).

Estão apresentadas, no Quadro 12 as equações de regressão linear referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano agrícola. Pode-se verificar que o híbrido DKB 234, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, se comportou de forma contrastante nos diferentes anos de avaliação. No primeiro ano agrícola, a área foliar média do híbrido DKB 234 apresentou resposta linear crescente ao aumento da densidade populacional, enquanto no segundo ano agrícola esta

resposta foi decrescente, visto que os coeficientes angulares da regressão linear ( $\beta$ ) apresentaram valores positivos no primeiro ano (2005/06) e negativo no segundo ano (2006/07). No entanto, tais modelos matemáticos apresentaram uma baixa confiabilidade de resposta, uma vez que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) se mostraram relativamente baixos (Quadro 12).

Quadro 11 – Desdobramento do efeito dos espaçamentos entre linhas de 0,45 e 0,90 m, em função de híbrido x densidade populacional x ano, referente à característica área foliar média ( $\text{cm}^2$ )

Híbrido	Densidade Populacional ( $\text{plantas ha}^{-1}$ )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB234	45.000	1	7.398 a	6.205 b
DKB234	45.000	2	8.300 a	6.775 b
DKB234	60.000	1	6.804 a	6.398 a
DKB234	60.000	2	7.838 a	6.384 b
DKB234	75.000	1	7.372 a	7.198 a
DKB234	75.000	2	7.504 a	6.123 b
DKB234	90.000	1	7.298 a	6.757 a
DKB234	90.000	2	7.989 a	6.002 b
DKB214	45.000	1	6.816 a	6.731 a
DKB214	45.000	2	8.568 a	6.893 b
DKB214	60.000	1	6.178 a	6.888 a
DKB214	60.000	2	8.461 a	6.706 b
DKB214	75.000	1	7.698 a	6.678 b
DKB214	75.000	2	7.248 a	6.665 a
DKB214	90.000	1	7.216 a	6.875 a
DKB214	90.000	2	7.989 a	7.048 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

O híbrido DKB 214, no espaçamento entre linhas de 0,45 m durante o segundo ano de avaliação, apresentou comportamento linear decrescente (Quadro 12). A área foliar média do híbrido DKB 214 tende a diminuir em aproximadamente  $17,2 \text{ cm}^2$  a cada incremento de  $1.000 \text{ plantas ha}^{-1}$  na densidade populacional, quando cultivadas em espaçamento entre linhas de

0,45 m em condições climáticas semelhantes às aquelas ocorridas no ano agrícola de 2006/07 (Figura 1). Resultados semelhantes foram verificados por Silva et al. (1999) ao estudar a variação da área foliar dos híbridos de milho P3027 e C901 em resposta à elevação da densidade populacional de plantas sob condições de suplementação hídrica. Entretanto, os mesmos autores observaram que o padrão de resposta para a área foliar dos híbridos P3063 e XL212 foi explicado por modelos de regressão quadrática, em função da densidade populacional de plantas.

Quadro 12 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica área foliar média (cm<sup>2</sup>), referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
H1 x E90 x A1	$y = 5752,424 + 18,139x$	29,82
H1 x E90 x A2	$y = 9.398,162 - 19,701x$	40,10
H2 x E45 x A2	$y = 7.481,197 - 17,187x$	94,80

H1: Híbrido DKB 234; H2: Híbrido DKB 214; E45: Espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: Espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: Ano 1 (2005/06); A2: Ano 2 (2006/07).

Portanto, pode-se verificar que, no que se refere à área foliar média, o padrão de resposta de híbridos de milho frente à variação na densidade populacional de plantas é bastante variável, conforme verificado no presente estudo.

#### 4.5. Diâmetro médio do colmo

Os resultados da análise de variância conjunta para a característica diâmetro médio dos colmos encontram-se no Quadro 13. Observa-se que houve diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) apenas para o efeito principal de densidade populacional e ano agrícola, enquanto os híbridos e o espaçamento entre linhas, bem como todas as interações entre estes fatores, não influenciaram na variação do diâmetro médio de colmos (Quadro 13).

No que se refere ao efeito da densidade populacional sobre a variação do diâmetro médio de colmos, não foi realizado o desdobramento das análises, uma vez que nenhuma das interações entre os diferentes níveis dos fatores

apresentou efeito significativo ( $P > 0,01$ ). Na Figura 2 encontra-se ilustrada a equação de regressão linear correspondente ao padrão de resposta do diâmetro médio de colmos, em função da densidade populacional. Nesta figura, verifica-se que, em média, ambos os híbridos apresentaram comportamento linear decrescente para o diâmetro médio de colmos em função do aumento da densidade populacional. Os resultados do presente estudo indicam que, dentro do limite de densidades populacionais avaliadas (45.000 - 90.000 plantas  $ha^{-1}$ ), o diâmetro médio do colmo dos híbridos DKB 234 e DKB 214 tende a expressar valores proporcionalmente menores frente ao aumento da densidade populacional de plantas de milho.

Quadro 13 – Resumo da análise de variância conjunta, referente ao diâmetro médio de colmos (cm) das plantas de dois híbridos de milho em dois espaçamentos, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	0,085 <sup>ns</sup>
Espaçamento entre linhas (E)	1	0,056 <sup>ns</sup>
Densidade Populacional (P)	3	0,842 <sup>**</sup>
Ano	1	0,237 <sup>**</sup>
Repetição/Ano	6	0,036 <sup>ns</sup>
H x E	1	0,011 <sup>ns</sup>
H x P	3	0,046 <sup>ns</sup>
H x Ano	1	0,082 <sup>ns</sup>
E x P	3	0,08 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	0,047 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	0,055 <sup>ns</sup>
H x E x P	3	0,022 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	0,007 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	0,018 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	0,055 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	0,001 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	0,021
C.V. (%)		5,55
Média Geral		2,62

\*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

Com o aumento da densidade populacional de plantas, espera-se que estes híbridos apresentem uma redução do diâmetro médio de colmos em aproximadamente 0,08 mm em resposta ao incremento de cada 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional. Embora esta variação pareça ser insignificante, a análise de variância evidenciou a presença de diferença significativa para o efeito médio da densidade populacional de plantas sobre o diâmetro médio de colmos. Resultados semelhantes foram também reportados por Sangoi et al. (2001a). Tal fato pode ser atribuído à menor oxidação de auxinas decorrentes da proximidade das plantas em densidades elevadas que estimulam a alongação celular (Salisbury e Ross, 1992). Com isso, os entrenós do colmo são mais longos, aumentando a estatura da planta e também a altura de inserção de espigas. Adicionalmente, a maior competição por luz na mesma linha de plantas, bem como o aumento, a dominância apical e o estiolamento das plantas em populações elevadas favorecem a redução no diâmetro do colmo (Sangoi et al., 2002).

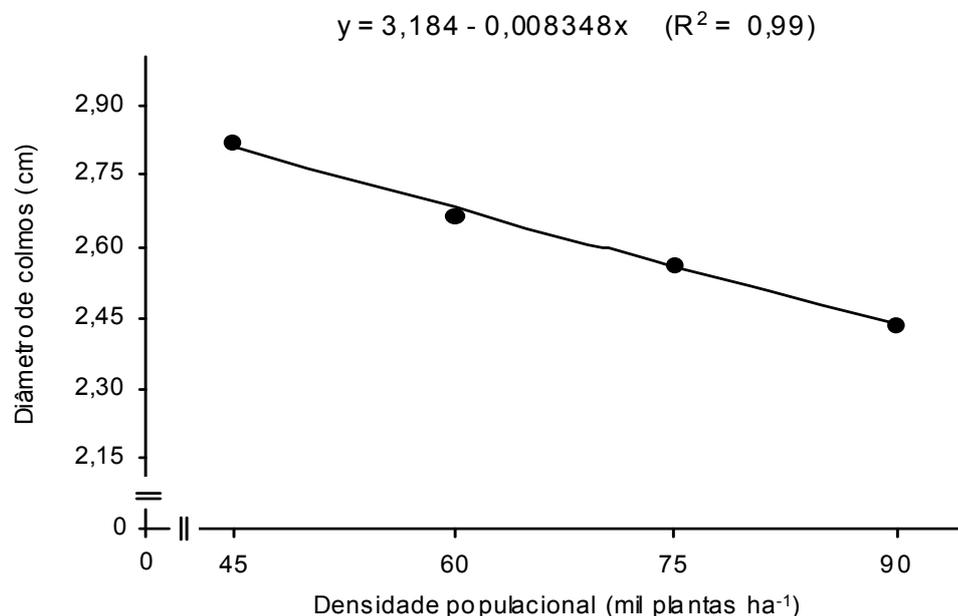


Figura 2 – Resultado de análise de regressão linear conjunta para diâmetro médio de colmos, em função da densidade populacional de plantas de dois híbridos de milho (DKB 234 e DKB 214), em dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) durante dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07).

#### 4.6. Comprimento médio de espiga

A análise de variância para a característica comprimento médio de espiga (Quadro 14) evidenciou diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) para os efeitos principais de híbrido, densidade populacional e ano agrícola, bem como para as interações híbrido x densidade populacional, densidade populacional x ano, e espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano (Quadro 14), evidenciando a necessidade de desdobramento das análises.

Quadro 14 – Resumo da análise de variância conjunta, referente ao comprimento médio de espigas (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, e dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	25,543 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	0,822 <sup>ns</sup>
Densidade Populacional (P)	3	22,928 **
Ano	1	14,933 **
Repetição/Ano	6	2,375 *
H x E	1	2,862 <sup>ns</sup>
H x P	3	5,249 **
H x Ano	1	3,472 <sup>ns</sup>
E x P	3	1,269 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	3,498 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	14,310 **
H x E x P	3	1,155 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	3,864 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	0,881 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	3,201 *
H x E x P x Ano	3	0,757 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	0,043
C.V. (%)		5,57
Média Geral		18,337

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No que se refere ao desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano agrícola (Quadro 15), evidenciou-se que, no espaçamento de 0,45 m durante o primeiro ano de avaliação (2005/06), o híbrido DKB 234 apresentou maior comprimento médio de espigas na densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No entanto, no segundo ano de avaliação, esta superioridade do híbrido DKB 234 foi verificada nas densidades populacionais de 60.000, 75.000 e 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

No espaçamento de 0,90 m, o híbrido DKB 234 apresentou maior comprimento médio de espigas na densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>, no primeiro ano de avaliação, e na densidade populacional de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup> no segundo ano de avaliação (Quadro 15).

Quadro 15 – Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica comprimento médio de espigas (cm)

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade Populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbrido	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	19,69 a	20,40 a
0,45	45.000	2	19,06 a	17,91 a
0,45	60.000	1	19,35 a	19,30 a
0,45	60.000	2	18,78 a	16,18 b
0,45	75.000	1	18,65 a	17,87 a
0,45	75.000	2	18,40 a	16,91 b
0,45	90.000	1	18,40 a	16,45 b
0,45	90.000	2	18,50 a	16,25 b
0,90	45.000	1	19,60 a	20,17 a
0,90	45.000	2	18,31 a	18,81 a
0,90	60.000	1	19,90 a	19,72 a
0,90	60.000	2	18,09 a	18,12 a
0,90	75.000	1	19,40 a	18,22 a
0,90	75.000	2	18,20 a	16,91 b
0,90	90.000	1	16,70 a	15,02 b
0,90	90.000	2	18,72 a	17,97 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

Quanto ao desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbrido x densidade populacional x ano (Quadro 16), pode-se verificar que não houve diferença significativa no comprimento médio de espigas de ambos os híbridos nas diferentes densidades populacionais e anos agrícolas, com exceção na densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> para os híbridos DKB 234 e DKB 214 nos anos agrícolas de 2005/06 e 2006/07, respectivamente.

Quadro 16 – Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbrido x densidade populacional x ano, referente à característica comprimento médio de espigas (cm)

Híbrido	Densidade Populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB234	45.000	1	19,69 a	19,60 a
DKB234	45.000	2	19,06 a	18,31 a
DKB234	60.000	1	19,35 a	19,90 a
DKB234	60.000	2	18,78 a	18,09 a
DKB234	75.000	1	18,65 a	19,40 a
DKB234	75.000	2	18,40 a	19,00 a
DKB234	90.000	1	18,40 a	16,70 b
DKB234	90.000	2	18,50 a	18,72 a
DKB214	45.000	1	20,40 a	20,17 a
DKB214	45.000	2	17,91 a	18,81 a
DKB214	60.000	1	19,30 a	19,72 a
DKB214	60.000	2	16,18 b	18,12 a
DKB214	75.000	1	17,87 a	18,22 a
DKB214	75.000	2	16,91 a	16,91 a
DKB214	90.000	1	16,45 a	15,02 a
DKB214	90.000	2	16,23 b	17,97 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

Maior comprimento médio de espigas foi verificado para o híbrido DKB 234 no espaçamento de 0,45 m e densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> no primeiro ano de avaliação. Este fato pode ser explicado,

provavelmente, pela ocorrência de menor competição entre plantas da mesma linha em espaçamentos entre linhas mais reduzidos. O híbrido DKB 214, por sua vez, no espaçamento entre linhas de 0,90 m e densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>, apresentou maior comprimento de espigas em relação ao espaçamento entre linhas de 0,45 m. Este fato pode estar relacionado às melhores condições climáticas ocorridas neste ano, o que deve ter favorecido o desenvolvimento adequado das espigas (Sangoi et al, 2001b).

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional, em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano, no Quadro 17, estão apresentadas as equações de regressão referentes ao padrão de resposta para o comprimento médio de espigas das interações entre os níveis dos fatores híbrido, espaçamento entre linhas e ano agrícola.

Quadro 17 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica comprimento médio de espigas (cm), referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup> (%)	Ponto de Máximo (plantas ha <sup>-1</sup> )	Resposta Máxima (cm)
H1 x E45 x A1	$y = 21,075 - 0,030x$	96,75		
H1 x E90 x A1	$y = 8,79 + 0,388x - 0,003x^2$	98,51	64,660	21,34
H2 x E45 x A1	$y = 24,480 - 0,088x$	99,64		
H2 x E90 x A1	$y = 12,852 + 0,299x - 0,003x^2$	99,87	49,830	20,30

H1: Híbrido DKB 234; H2: Híbrido DKB 214; E45: Espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: Espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: Ano 1 (2005/06)

Pode-se verificar que os híbridos DKB 234 e DKB 214, no espaçamento entre linhas de 0,45 m, no primeiro ano de avaliação, apresentaram comportamento linear decrescente para o tamanho médio de espigas em função do aumento da densidade populacional. Com base nos valores dos coeficientes angulares estimados na regressão linear pode-se inferir que, a cada incremento de 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional, o híbrido DKB 234 tende a apresentar redução no tamanho médio de espigas na ordem de 3,0 mm, enquanto que no híbrido DKB 214 essa redução do comprimento médio de espigas é de aproximadamente 8,8 mm. Resultados

semelhantes também foram reportados por Marchão et al. (2005) em estudos de avaliação da influência da densidade populacional na variação de componentes de produção de seis híbridos de milho cultivados em espaçamento entre linhas reduzido.

No espaçamento entre linhas de 0,90 m, durante o primeiro ano agrícola, os dois híbridos estudados apresentaram comportamento quadrático em função do aumento da densidade populacional (Quadro 17). A densidade populacional ótima que propiciou a maior média estimada do comprimento de espigas foi de 64.660 plantas ha<sup>-1</sup> para o híbrido DKB 234 e de 49.830 plantas ha<sup>-1</sup> para o híbrido DKB 214. Vale ressaltar que, para o híbrido DKB 234, densidades populacionais superiores a 65.000 plantas ha<sup>-1</sup> tendem a um decréscimo no comprimento médio de espigas, enquanto para o híbrido DKB 214 densidades populacionais superiores a 50.000 plantas ha<sup>-1</sup> tendem a propiciar a formação de espigas com menor comprimento médio. Tal afirmativa se deve à forma convexa assumida por ambas as curvas de regressão, visto que as estimativas dos parâmetros  $\beta_1$  levam valor positivo, enquanto as estimativas do parâmetro  $\beta_2$  levam valor negativo (Quadro 17).

De maneira geral, os resultados indicam que o comprimento médio de espigas dos híbridos de milho DKB 234 e DKB 214 tende a expressar valores proporcionalmente mais reduzidos, frente ao aumento da densidade populacional de plantas. Isso é atribuído ao fato das altas densidades populacionais de plantas poderem reduzir o suprimento de nitrogênio (Lemcoff e Loomis, 1994), de fotoassimilados (Jacobs e Pearson, 1991) e de água (Westgate, 1994) para as espigas.

#### **4.7. Número médio de fileiras de grãos da espiga**

Os resultados da análise de variância para a característica número médio de fileiras de grãos por espiga estão apresentados no Quadro 18. Pode-se verificar diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) para o efeito principal de híbrido e para as interações entre espaçamento entre linhas x densidade populacional, bem como entre espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano.

O desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano (Quadro 19) evidenciou que, no primeiro ano de avaliação (2005/06), o híbrido DKB 234 apresentou maior número médio de fileiras de grãos por espiga em relação ao híbrido DKB 214 no espaçamento de 0,45 m, nas populações de 45.000, 60.000, 75.000 e 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Ainda em relação ao espaçamento entre linhas de 0,45 m, no segundo ano agrícola (2006/07), o híbrido DKB 234 apresentou número médio de fileiras de grãos por espiga significativamente superior ao DKB 214 apenas na densidade populacional de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Quadro 18 – Resumo da análise de variância conjunta, referente ao número médio das fileiras de grãos por espiga de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	18,098 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	0,542 <sup>ns</sup>
Densidade populacional (P)	3	0,706 <sup>ns</sup>
Ano	1	0,397 <sup>ns</sup>
Repetição/Ano	6	0,262 <sup>ns</sup>
H x E	1	0,105 <sup>ns</sup>
H x P	3	0,070 <sup>ns</sup>
H x Ano	1	0,923 <sup>ns</sup>
E x P	3	1,019 *
E x Ano	1	0,009 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	0,398 <sup>ns</sup>
H x E x P	3	0,207 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	0,009 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	0,738 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	1,236 *
H x E x P x Ano	3	0,260 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	0,343
C.V. (%)		4,02
Média Geral		14,577

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No espaçamento entre linhas de 0,90 m, no ano agrícola de 2005/06, o híbrido DKB 234 apresentou maior número médio de fileiras de grãos por espiga nas densidades populacionais de 45.000 e 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, enquanto, no ano agrícola de 2006/07, esta superioridade do DKB 234 foi verificada apenas na densidade populacional de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Em geral, o híbrido DKB 234 apresentou maior número médio de fileiras de grãos por espiga que o híbrido DKB 214, característica esta que pode estar relacionada às diferenças genéticas dos híbridos (Quadro 19).

Quadro 19 – Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica número médio de fileiras de grãos por espiga

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade Populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbrido	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	15,35 a	14,25 b
0,45	45.000	2	14,50 a	14,00 a
0,45	60.000	1	15,35 a	14,40 b
0,45	60.000	2	14,50 a	14,12 a
0,45	75.000	1	15,05 a	14,20 b
0,45	75.000	2	15,87 a	14,50 b
0,45	90.000	1	15,00 a	14,05 b
0,45	90.000	2	14,75 a	14,37 a
0,90	45.000	1	15,40 a	14,05 b
0,90	45.000	2	14,62 a	14,87 a
0,90	60.000	1	15,25 a	14,30 b
0,90	60.000	2	15,12 a	14,25 b
0,90	75.000	1	14,95 a	14,45 a
0,90	75.000	2	14,50 a	13,75 a
0,90	90.000	1	14,40 a	13,67 a
0,90	90.000	2	14,62 a	13,97 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

O desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbridos x densidade populacional x ano (Quadro 20), evidenciou que o espaçamento entre linhas de 0,45 m propiciou maior número médio de fileiras

de grãos por espiga para o híbrido DKB 234 na densidade populacional de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup> durante o segundo ano de avaliação (2006/07).

Por sua vez, para o híbrido DKB 214, no espaçamento de 0,90 m propiciou maior número médio de fileiras de grãos por espiga somente na densidade populacional de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup> durante o ano agrícola (2006/07). Dessa forma, pode-se inferir que o espaçamento entre linhas exerceu pequena influência sobre a variação do número médio de fileiras de grãos por espiga (Quadro 20).

Quadro 20 – Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbridos x densidade populacional x ano, referente à característica número médio de fileiras de grãos por espiga

Híbrido	Densidade Populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB234	45.000	1	15,35 a	15,40 a
DKB234	45.000	2	14,50 a	14,62 a
DKB234	60.000	1	15,35 a	15,25 a
DKB234	60.000	2	14,50 a	15,12 a
DKB234	75.000	1	15,05 a	14,95 a
DKB234	75.000	2	15,87 a	14,50 b
DKB234	90.000	1	15,00 a	14,40 a
DKB234	90.000	2	14,75 a	14,62 a
DKB214	45.000	1	14,25 a	14,05 a
DKB214	45.000	2	14,00 b	14,85 a
DKB214	60.000	1	14,40 a	14,30 a
DKB214	60.000	2	14,12 a	14,25 a
DKB214	75.000	1	14,20 a	14,45 a
DKB214	75.000	2	14,50 a	13,75 a
DKB214	90.000	1	14,05 a	13,67 a
DKB214	90.000	2	14,37 a	13,97 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (P > 0,05), pelo teste F.

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano, no Quadro 21, estão apresentadas as equações de regressão linear referente ao padrão de resposta do número médio de fileiras de grãos por espiga para as

interações entre os níveis dos fatores híbridos, espaçamento entre linhas e ano agrícola, que possibilitaram ajuste de modelo matemático.

Pode-se verificar que o híbrido DKB 234, no primeiro ano de avaliação, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, teve comportamento linear decrescente para o número médio de fileiras de grãos por espiga em função do aumento da densidade populacional. O híbrido DKB 214, no segundo ano de avaliação, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, se comportou de forma semelhante àquela verificada para o híbrido DKB 234 no espaçamento de 0,90m durante o primeiro ano agrícola (Quadro 21). Vale ressaltar, ainda, que as estimativas dos parâmetros  $\beta$  foram significativamente diferentes de zero, embora tenham apresentado valores muito próximos disso, indicando que a densidade populacional de plantas exerceu uma pequena influência na variação do número médio de fileiras de grãos por espiga. Em geral, o aumento de cada 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional tende a propiciar uma redução de 0,02 fileiras de grãos por espiga de ambos os híbridos avaliados, uma vez que seus coeficientes angulares estimados na regressão linear foram muito semelhantes (Quadro 21).

Quadro 21 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica número médio de fileiras de grãos por espiga, referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
H1 x E90 x A1	Y = 16,485 – 0,022x	93,08
H2 x E90 x A2	Y = 15,661 – 0,021x	72,70

H1: Híbrido DKB 234; H2: Híbrido DKB 214; E90: Espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: Ano 1 (2005/06); A2: Ano 2 (2006/07).

Marchão et al. (2005) relataram que a densidade populacional de plantas não influenciou na variação do número médio de fileiras de grãos por espiga. Isso pode estar relacionado ao fato de o potencial produtivo dos híbridos de milho ser definido no primeiro estágio de desenvolvimento, quando ocorre o início do processo de diferenciação floral e formação dos primórdios da panícula e da espiga, no qual não há influência significativa da competição

entre plantas no ambiente. Adicionalmente, Bertrand (1991) salienta que o número de fileiras de grãos por espiga é mais influenciado pela temperatura ambiente e pelo genótipo do que densidade populacional de plantas (Uhart e Andrade, 1995).

A confiabilidade dos modelos ajustados, por sua vez, foi relativamente alta, uma vez que as estimativas dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) se mostraram elevados. No entanto, as demais interações não permitiram ajuste de um modelo matemático que explique a variação fenotípica desta característica (Quadro 21).

#### **4.8. Número médio de grãos por fileira da espiga**

A análise de variância conjunta referente ao número médio de grãos por fileira evidenciou diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) para o efeito principal de híbrido, densidade populacional e ano agrícola, bem como para as interações híbrido x densidade populacional, híbrido x ano agrícola, e densidade populacional x ano agrícola (Quadro 22).

O desdobramento do efeito de híbridos, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, está apresentado no Quadro 23. Evidenciou-se que no primeiro ano de avaliação (2005/06) em espaçamento de 0,45 m, o híbrido DKB 214 apresentou, maior número médio de grãos por fileira nas densidades populacionais de 45.000 e 75.000 plantas  $ha^{-1}$ , enquanto no segundo ano agrícola (2006/07) esta superioridade do híbrido DKB 214 foi verificada apenas na densidade populacional de 45.000 plantas  $ha^{-1}$ .

O desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas, em função de híbrido x densidade populacional x ano agrícola, não foi realizado, uma vez que nenhum efeito significativo da interação deste fator com os demais foi verificado (Quadro 22). Isso evidencia que a interação do espaçamento entre linhas com os demais fatores (híbrido, densidade populacional e ano agrícola) não afeta significativamente o número médio de grãos por fileira. Resultados semelhantes foram também reportados por Tollenaar et al. (1997) e por Flesch e Vieira (2004) em estudos realizados com híbrido de milho de ciclo precoce.

Pode-se verificar que o híbrido DKB 214 apresentou comportamento linear decrescente para o número médio de grãos por fileira, em função do aumento da densidade populacional no espaçamento entre linhas de 0,45 m e de 0,90 m, durante o primeiro ano agrícola de 2005/06, uma vez que os coeficientes angulares da regressão linear ( $\beta$ ) apresentaram valores negativos.

Quadro 22 – Resumo da análise de variância conjunta, referente ao número médio de grãos por fileira de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	124,642 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	11,682 <sup>ns</sup>
Densidade populacional (P)	3	43,111 **
Ano	1	918,972 **
Repetição/Ano	6	8,911 <sup>ns</sup>
H x E	1	0,040 <sup>ns</sup>
H x P	3	54,667 **
H x Ano	1	91,007 **
E x P	3	6,734 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	0,019 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	39,016 **
H x E x P	3	8,683 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	2,545 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	6,964 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	3,558 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	1,643 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	6,465
C.V. (%)		7,41
Média Geral		34,312

\*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional, em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano, no Quadro 24, estão apresentadas as equações de regressão linear das interações entre os níveis dos fatores híbrido, espaçamento entre linhas e ano agrícola, que possibilitaram ajuste de modelo matemático.

Quadro 23 – Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica número médio de grãos por fileira

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbridos	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	35,58 b	42,41 a
0,45	45.000	2	30,11 b	34,11 a
0,45	60.000	1	35,99 a	38,74 a
0,45	60.000	2	31,51 a	30,06 a
0,45	75.000	1	33,30 b	37,74 a
0,45	75.000	2	31,08 a	31,37 a
0,45	90.000	1	35,15 a	34,49 a
0,45	90.000	2	31,60 a	30,90 a
0,90	45.000	1	35,42 b	43,80 a
0,90	45.000	2	31,01 a	33,04 a
0,90	60.000	1	35,88 b	41,24 a
0,90	60.000	2	30,03 a	32,03 a
0,90	75.000	1	36,09 a	39,04 a
0,90	75.000	2	33,73 a	38,85 a
0,90	90.000	1	33,08 a	33,10 a
0,90	90.000	2	32,84 a	30,05 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

Quadro 24 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica número médio de grãos por fileira, referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
H2 x E45 x A1	$Y = 49,493 - 0,165x$	96,10
H2 x E90 x A1	$Y = 54,735 - 0,229x$	94,09

H2: Híbrido DKB 214; E45: Espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: Espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: Ano 1 (2005/06).

Isso indica que à medida que se eleva a densidade populacional, o número médio de grãos por fileira tende a diminuir linearmente, concordando com resultados apresentados por Flesch e Vieira (2004) e por Marchão et al. (2005). Assim, pode-se inferir que, com o acréscimo de cada 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional, o híbrido DKB 214 tende a propiciar uma redução de 0,17 e 0,23 grãos por fileira quando cultivados em espaçamento entre linhas de 0,45 e 0,90 m, respectivamente.

#### 4.9. Diâmetro médio da espiga

Os resultados da análise de variância para o diâmetro médio de espigas estão apresentados no Quadro 25. Foram verificadas diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) para o efeito principal de híbrido, espaçamento entre linhas, densidade populacional e ano agrícola. Para a interação entre espaçamento entre linhas e ano agrícola (Quadro 25), também foi observado efeito significativo ( $P \leq 0,05$ ).

Quanto ao desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas, em função de híbrido x densidade populacional x ano agrícola (Quadro 27), observou-se efeito significativo apenas para o híbrido DKB 214 na densidade populacional de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup> durante o primeiro ano agrícola (2005/06).

Quadro 25 – Resumo da análise de variância conjunta, referente ao diâmetro médio de espigas (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	5,574 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	0,149 **
Densidade populacional (P)	3	0,093 **
Ano	1	0,397 **
Repetição/Ano	6	0,056 *
H x E	1	0,004 <sup>ns</sup>
H x P	3	0,013 <sup>ns</sup>
H x Ano	1	0,035 <sup>ns</sup>
E x P	3	0,006 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	0,076 *
P x Ano	3	0,018 <sup>ns</sup>
H x E x P	3	0,013 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	0,004 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	0,005 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	0,009 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	0,024 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	0,019
C.V. (%)		2,95
Média Geral		4,694

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

O desdobramento do efeito dos híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano (Quadro 26) revelou que o híbrido DKB 214 apresentou maior diâmetro médio de espigas em relação ao híbrido DKB 234 para todas as interações entre os diferentes níveis dos fatores, sendo isso atribuído às características genéticas do mesmo (Dekalb, 2008).

Para as demais combinações entre os níveis dos fatores híbrido, densidade populacional e ano agrícola, não foi verificado efeito significativo ( $P > 0,05$ ) do espaçamento entre linhas na variação do diâmetro médio de espigas (Quadro 27). Dessa forma, pode-se inferir que este fator afetou muito pouco a variação da característica diâmetro médio de espigas dos híbridos de milho avaliados.

Quadro 26 – Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica diâmetro médio de espiga (cm)

Espaçamento entre linhas (cm)	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbrido	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	4,58 b	5,15 a
0,45	45.000	2	4,47 b	4,92 a
0,45	60.000	1	4,64 b	4,92 a
0,45	60.000	2	4,50 b	4,95 a
0,45	75.000	1	4,48 b	4,98 a
0,45	75.000	2	4,53 b	4,87 a
0,45	90.000	1	4,15 b	4,86 a
0,90	90.000	2	4,45 b	4,84 a
0,90	45.000	1	4,68 b	5,13 a
0,90	45.000	2	4,55 b	4,92 a
0,90	60.000	1	4,67 b	5,15 a
0,90	60.000	2	4,53 b	4,87 a
0,90	75.000	1	4,67 b	5,11 a
0,90	75.000	2	4,53 b	5,00 a
0,90	90.000	1	4,58 b	4,99 a
0,90	90.000	2	4,52 b	4,78 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional, em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano agrícola, no Quadro 33, estão apresentadas as equações de regressão linear referente ao padrão de resposta fenotípica do diâmetro médio de espigas dos híbridos DKB 234 e DKB 214 no espaçamento entre linhas de 0,45 m durante o ano agrícola de 2005/06. Pode-se observar que ambos os híbridos de milho avaliados apresentaram comportamento linear decrescente para o diâmetro médio de espigas em decorrência do aumento da densidade populacional, visto que os coeficientes angulares da regressão linear ( $\beta$ ) apresentaram valores negativos (Quadro 28).

Quadro 27 – Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbrido x densidade populacional x ano, referente à característica diâmetro médio de espigas (cm)

Híbrido	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB234	45.000	1	4,58 a	4,68 a
DKB234	45.000	2	4,47 a	4,55 a
DKB234	60.000	1	4,64 a	4,67 a
DKB234	60.000	2	4,50 a	4,53 a
DKB234	75.000	1	4,49 a	4,66 a
DKB234	75.000	2	4,53 a	4,53 a
DKB234	90.000	1	4,41 a	4,58 a
DKB234	90.000	2	4,45 a	4,52 a
DKB214	45.000	1	5,15 a	5,13 a
DKB214	45.000	2	4,92 a	4,92 a
DKB214	60.000	1	4,92 b	5,16 a
DKB214	60.000	2	4,95 a	4,87 a
DKB214	75.000	1	4,98 a	5,11 a
DKB214	75.000	2	4,87 a	5,00 a
DKB214	90.000	1	4,86 a	4,99 a
DKB214	90.000	2	4,84 a	4,78 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

Para as outras interações entre os níveis dos fatores híbridos, espaçamento entre linhas e ano agrícola, não foi possível o ajuste de um modelo matemático capaz de explicar variação fenotípica significativa desta característica. Dessa forma, pode-se inferir que a densidade populacional também não exerceu forte influência na expressão fenotípica do diâmetro médio de espigas dos híbridos de milho avaliados.

Quadro 28 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica diâmetro médio de espigas referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
H1 x E45 x A1	$Y = 4,817 - 0,004x$	67,11
H2 x E45 x A1	$Y = 5,341 - 0,005x$	69,11

H1: Híbrido DKB 234; H2: Híbrido DKB 214; E45: Espaçamento entre linhas de 0,45 m; A1: Ano 1 (2005/06).

Tais resultados estão em conformidade com os reportados por Marchão et al. (2005), que também verificaram a existência de um padrão de resposta linear decrescente para o diâmetro médio de espigas em função do aumento da densidade populacional de plantas.

Esta redução do diâmetro médio de espigas em resposta à elevação da densidade populacional se deve ao aumento da competição entre plantas, uma vez que, nestas condições, haverá menor aproveitamento da radiação luminosa incidente na comunidade de plantas (Tollenaar et al., 1992).

#### 4.10. Diâmetro médio do sabugo

No Quadro 29, estão apresentados os resultados da análise de variância dos dados referentes ao diâmetro médio do sabugo. Observa-se diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) para o efeito principal de híbrido, densidade populacional e ano agrícola, bem como para o efeito da interação híbrido x densidade populacional (Quadro 29).

O desdobramento do efeito de híbridos em função do espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano agrícola evidenciou que o híbrido DKB 214 apresentou maior diâmetro médio do sabugo em relação ao híbrido

DKB 234 para todas as interações entre os diferentes níveis dos fatores avaliados: espaçamento entre linhas, densidade populacional e ano agrícola (Quadro 30). Esta diferença está associada à genética do híbrido DKB 214, conforme especificações da empresa produtora das sementes (Dekalb, 2008).

Quadro 29 – Resumo da análise de variância conjunta, referente ao diâmetro médio do sabugo (cm) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	2,599 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	0,029 <sup>ns</sup>
Densidade populacional (P)	3	0,051 **
Ano	1	0,259 **
Repetição/Ano	6	0,222 **
H x E	1	0,006 <sup>ns</sup>
H x P	3	0,051 **
H x Ano	1	0,010 <sup>ns</sup>
E x P	3	0,001 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	0,001 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	0,008 <sup>ns</sup>
H x E x P	3	0,009 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	0,000 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	0,005 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	0,006 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	0,004 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	0,009
C.V. (%)		3,60
Média Geral		2,66

\*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No que se refere à influência do espaçamento entre linhas na variação do diâmetro médio de sabugo, não foi realizado o desdobramento, uma vez que não foi verificado efeito significativo deste fator na variação desta característica, tanto no seu efeito principal quanto nas interações com os

demais fatores (Quadro 29). Pode-se inferir, assim, que o espaçamento entre linhas não afetou a expressão fenotípica do diâmetro médio do sabugo.

Quadro 30 – Desdobramento do efeito de híbridos em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica diâmetro médio do sabugo (cm)

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbrido	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	2,52 b	2,92 a
0,45	45.000	2	2,44 b	2,86 a
0,45	60.000	1	2,57 b	2,80 a
0,45	60.000	2	2,47 b	2,70 a
0,45	75.000	1	2,53 b	2,87 a
0,45	75.000	2	2,46 b	2,76 a
0,45	90.000	1	2,55 b	2,71 a
0,90	90.000	2	2,40 b	2,72 a
0,90	45.000	1	2,60 b	2,96 a
0,90	45.000	2	2,47 b	2,82 a
0,90	60.000	1	2,60 b	2,88 a
0,90	60.000	2	2,47 b	2,76 a
0,90	75.000	1	2,61 b	2,88 a
0,90	75.000	2	2,47 b	2,81 a
0,90	90.000	1	2,56 b	2,68 a
0,90	90.000	2	2,52 b	2,70 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

Em relação ao desdobramento do efeito da densidade populacional, em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano agrícola, no Quadro 31, está apresentado o padrão de resposta do diâmetro médio de sabugo para o

híbrido DKB 214, nos espaçamentos entre linhas de 0,45 e 0,90 m, durante o ano agrícola de 2005/06.

Pode-se observar que a variação nesta característica foi explicada por modelos de regressão linear decrescente, uma vez que as respectivas estimativas do coeficiente angular apresentaram valores negativos (Quadro 31).

Quadro 31 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica diâmetro médio do sabugo (cm) referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
H2 x E45 x A1	$y = 3,082 - 0,004x$	65,45
H2 x E90 x A1	$y = 3,226 - 0,005x$	91,85

H2: Híbrido DKB 214; E45: Espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: Espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: Ano 1 (2005/06).

Logo, o diâmetro médio do sabugo tende a apresentar valores mais reduzidos à medida que se eleva a densidade populacional de plantas. O resultado do presente estudo também está em concordância com àqueles reportados por Marchão et al. (2005).

#### 4.11. Prolificidade

No Quadro 32, estão apresentados os resultados da análise de variância dos dados referentes à característica prolificidade. Observou-se diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) para o efeito principal de todos os fatores avaliados (híbrido, espaçamento entre linhas, densidade populacional e ano agrícola), bem como para o efeito de quase todas as interações, com exceção das interações espaçamento entre linhas x densidade populacional, híbrido x espaçamento entre linhas x densidade populacional e espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano agrícola (Quadro 32). Assim, procedeu-se o desdobramento dos efeitos dos respectivos fatores.

O desdobramento do efeito de híbridos, em função do espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano agrícola, evidenciou que o híbrido DKB 234 apresentou maior prolificidade em relação ao híbrido DKB 214 para quase todas as combinações entre os diferentes níveis dos fatores avaliados (Quadro 33). Esta diferença está associada às características de arquitetura de plantas predominantes neste híbrido, quais sejam menor altura de plantas e folhas eretas (Dekalb, 2008).

Quadro 32 – Resumo da análise de variância conjunta da prolificidade de dois híbridos de milho avaliados em dois espaçamentos entre linhas, em quatro densidades populacionais, durante dois anos agrícolas

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	1,867278 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	0,015753 **
Densidade populacional (P)	3	0,386276 **
Ano	1	0,018050 **
Repetição/Ano	6	0,003054 <sup>ns</sup>
H x E	1	0,013203 *
H x P	3	0,365755 **
H x Ano	1	0,016200 **
E x P	3	0,002759 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	0,018050 **
P x Ano	3	0,010102 **
H x E x P	3	0,003522 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	0,010512 *
H x P x Ano	3	0,009173 **
E x P x Ano	3	0,003577 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	0,006860 *
Resíduo	90	0,002133
C.V.(%)		4,17
Média Geral		1,108

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

O espaçamento entre linhas não exerceu grande influência sobre a prolificidade, embora tal efeito tenha se mostrado significativo na análise de

variância (Quadro 32). Esta inferência pode ser justificada pelo fato de que apenas uma combinação envolvendo o espaçamento entre linhas de 0,90 m propiciou maior prolificidade no híbrido DKB 234 (Quadro 34).

A densidade populacional exerceu forte influência sobre a prolificidade apenas do híbrido DKB 234 em quaisquer condições de espaçamento entre linhas e ano agrícola (Quadro 35), o que se deve à natureza prolífica deste híbrido, conforme foi observado no Quadro 33. Por sua vez, o híbrido DKB 214 não mostrou tendência em produzir mais de uma espiga por planta, mesmo quando foi submetido a diferentes níveis de densidade populacional (Quadro 35).

Quadro 33 – Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214 em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica prolificidade

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbridos	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	1,52 a	0,98 b
0,45	45.000	2	1,52 a	1,00 b
0,45	60.000	1	1,13 a	1,00 b
0,45	60.000	2	1,35 a	1,00 b
0,45	75.000	1	1,01 a	0,99 a
0,45	75.000	2	1,13 a	0,99 b
0,45	90.000	1	0,99 a	0,97 a
0,45	90.000	2	1,00 a	0,98 a
0,90	45.000	1	1,54 a	1,00 b
0,90	45.000	2	1,48 a	0,98 b
0,90	60.000	1	1,29 a	0,99 b
0,90	60.000	2	1,34 a	0,99 b
0,90	75.000	1	1,15 a	0,99 b
0,90	75.000	2	1,12 a	0,99 b
0,90	90.000	1	1,02 a	0,99 a
0,90	90.000	2	1,08 a	0,99 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente ( $P > 0,05$ ) pelo teste F.

No espaçamento entre linhas de 0,45 m, durante o primeiro ano agrícola de avaliação, o híbrido DKB 234 apresentou comportamento quadrático côncavo para a característica de prolificidade, em função da

elevação da densidade populacional. Pode-se verificar que densidades populacionais de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup> propiciou maior prolificidade do híbrido DKB 234, com decréscimo da prolificidade à medida que se elevou a densidade populacional, sendo o ponto mínimo da função estimado em 81.076 plantas ha<sup>-1</sup> (Quadro 35). O mesmo híbrido, quando foi submetido ao mesmo espaçamento entre linhas, no segundo ano agrícola, apresentou comportamento linear decrescente para prolificidade em função da elevação da densidade populacional (Quadro 35). Tal fato indica que à medida que se eleva a densidade populacional deste híbrido, o mesmo tende a apresentar menor número de espigas por planta. O coeficiente angular da análise de regressão linear indicou que, a cada acréscimo de 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional deste híbrido, a prolificidade se reduz em 0,01 espigas plantas<sup>-1</sup> (Quadro 35).

Quadro 34 – Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbridos x densidade populacional x ano, referente à característica prolificidade

Híbrido	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	1	1,52 a	1,54 a
DKB 234	45.000	2	1,52 a	1,48 a
DKB 234	60.000	1	1,13 a	1,29 a
DKB 234	60.000	2	1,35 a	1,34 a
DKB 234	75.000	1	1,01 b	1,15 a
DKB 234	75.000	2	1,13 a	1,12 a
DKB 234	90.000	1	0,99 a	1,02 a
DKB 234	90.000	2	1,01 a	1,08 a
DKB 214	45.000	1	0,98 a	1,00 a
DKB 214	45.000	2	1,00 a	0,98 a
DKB 214	60.000	1	1,00 a	0,99 a
DKB 214	60.000	2	1,00 a	0,99 a
DKB 214	75.000	1	0,99 a	0,99 a
DKB 214	75.000	2	0,99 a	0,99 a
DKB 214	90.000	1	0,97 a	0,99 a
DKB 214	90.000	2	0,98 a	0,99 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente ( $P > 0,05$ ) pelo teste F.

Para o espaçamento entre linhas de 0,90 m, o comportamento do híbrido DKB 234 foi bastante semelhante em ambos os anos agrícolas, uma vez que as estimativas dos parâmetros da regressão quadrática foram semelhantes (Quadro 35). Em ambos os anos agrícolas, o híbrido DKB 234 apresentou padrão de resposta fenotípica quadrática côncava, com estimativa do ponto de mínimo em 109.162 plantas ha<sup>-1</sup> no ano agrícola de 2005/06 e 111.401 plantas ha<sup>-1</sup>, no ano agrícola 2006/07. Estes valores extrapolaram o intervalo limite de densidade populacional avaliado, que foi de 45.000 a 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Quadro 35). No entanto, até o nível de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>, o híbrido DKB 234 apresentou redução da prolificidade em resposta à elevação da densidade populacional, embora de forma não linear.

Quadro 35 – Equações de regressão do padrão de resposta da característica prolificidade, referente ao desdobramento do efeito da densidade populacional em função da interação híbrido x espaçamento entre linhas x ano

Interação	Modelo	R <sup>2</sup>	Ponto de Inflexão	Resposta no ponto de inflexão
		(%)	(plantas ha <sup>-1</sup> )	(espigas planta <sup>-1</sup> )
H1 x E45 x A1	$y = 3,71225 - 0,067617x + 0,000417x^2$	99,06	81.076	0,97
H1 x E45 x A2	$y = 2,04275 - 0,011711x$	99,08	-	-
H1 x E90 x A1	$y = 2,59387 - 0,029692x + 0,000136x^2$	99,77	109.162	0,97
H1 x E90 x A2	$y = 2,33600 - 0,023617x + 0,000106x^2$	97,23	111.401	1,02

H1: Híbrido DKB 234; E45: Espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: Espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: Ano 1 (2005/06); A2: Ano 2 (2006/07).

De forma geral, o híbrido DKB 234 tende a ser menos prolífico quanto maior for a densidade populacional utilizada, indiferentemente do espaçamento entre linhas adotado. A característica de prolificidade do híbrido DKB 214, por sua vez, não foi significativamente influenciada pela variação na densidade populacional de plantas.

#### 4.12. Massa de mil grãos

A análise de variância referente à característica massa de mil grãos (Quadro 36) revelou diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) para o efeito principal de todos os fatores avaliados, sendo não significativo para todas as interações entre os seus respectivos níveis. Dessa forma, os fatores híbridos, espaçamento entre linhas e densidade populacional foram analisados em seu efeito médio sobre a variação da massa de mil grãos, dispensando, portanto, os respectivos desdobramentos.

Quadro 36 – Resumo da análise de variância conjunta, referente à massa de mil grãos (g) de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, em dois anos agrícolas

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	61.080,804 **
Espaçamento entre linhas (E)	1	3.221,536 **
Densidade populacional (P)	3	3.564,152 **
Ano	1	109.596,841 **
Repetição/Ano	6	560,358 <sup>ns</sup>
H x E	1	946,614 <sup>ns</sup>
H x P	3	704,794 <sup>ns</sup>
H x Ano	1	1.166,385 <sup>ns</sup>
E x P	3	248,948 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	353,347 <sup>ns</sup>
P x Ano	3	67,692 <sup>ns</sup>
H x E x P	3	445,076 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	87,070 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	540,676 <sup>ns</sup>
E x P x Ano	3	658,675 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	787,110 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	401,865
C.V. (%)		5,22
Média Geral		384,25

\*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No que se refere ao efeito médio de híbridos, pode-se observar, no Quadro 37, que o híbrido DKB 214 apresentou massa de mil grãos significativamente superior ( $P \leq 0,05$ ) aos valores apresentados pelo híbrido DKB 234. Esta variação se deve ao tipo de grãos de ambos os híbridos, uma vez que o híbrido DKB 234 é classificado como grãos “dentados”, enquanto o híbrido DKB 214 se caracteriza pelos grãos “semi-duros”. Resultados semelhantes também foram apresentados por Marchão et al. (2005) ao avaliarem a massa de 100 grãos de diferentes híbridos de milho.

Quadro 37 – Valores médios de massa de mil grãos (g) referentes ao efeito médio de híbridos em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais durante dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)

Híbrido	Massa de mil grãos (g)		
	Ano 1 (2005/06)	Ano 2 (2006/07)	Média
DKB 234	336,16	388,65	362,41 b
DKB 214	373,82	438,38	406,10 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

Quanto ao efeito médio do espaçamento entre linhas, pode-se observar, no Quadro 38, que uma maior massa de mil grãos ocorreu no espaçamento entre linhas de 0,90 m, embora outros estudos evidenciem ausência de efeito significativo deste fator na expressão da massa de mil grãos em híbridos de milho (Flesch e Vieira, 2004; Argenta et al., 2001b).

Quadro 38 – Valores médios da massa de mil grãos (g) referentes ao efeito médio de espaçamentos entre linhas para dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais durante dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)

Espaçamento entre linhas	Massa de mil grãos (g)		
	Ano 1 (2005/06)	Ano 2 (2006/07)	Média
0,45 m	348,31	410,16	379,23 b
0,90 m	361,67	416,87	389,27 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste F.

O efeito médio da densidade populacional na variação da massa de mil grãos foi explicado por um modelo de regressão quadrática de padrão convexo, com ponto de máximo na densidade populacional de 54.618 plantas ha<sup>-1</sup> e resposta fenotípica máxima de 393,78 g (Figura 3). Assim, densidades populacionais superiores a este ótimo estimado (54.618 plantas ha<sup>-1</sup>) tendem a propiciar a formação de grãos com uma massa específica proporcionalmente menor. Silva et al. (1999), Argenta et al. (2001b), Flesch e Vieira (2004), Marchão et al. (2005) e Sangoi et al. (2006b) também evidenciaram redução da massa específica de grãos de milho, em resposta à elevação da densidade populacional de plantas.

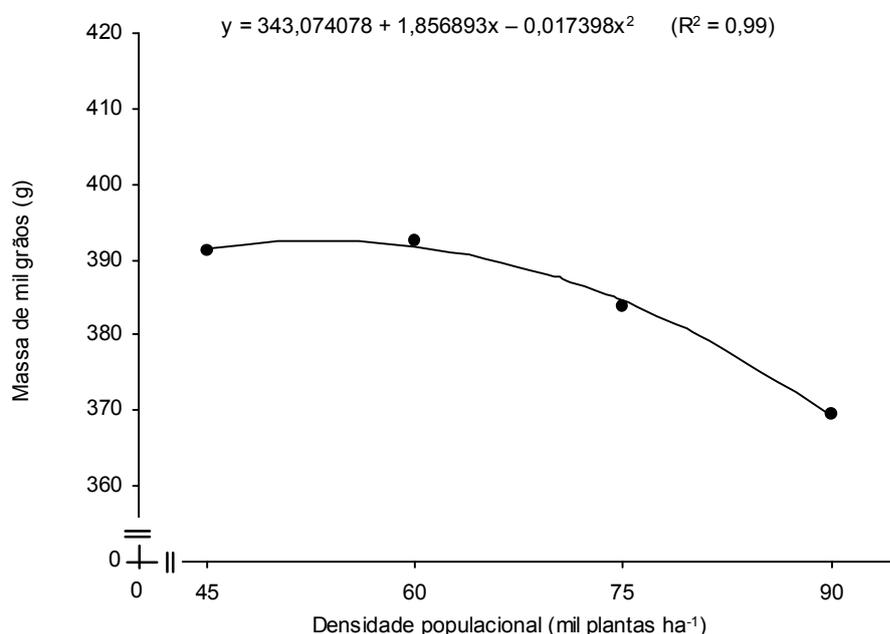


Figura 3 – Resultado de análise de regressão referente ao efeito médio da densidade populacional sobre a massa de mil grãos (g) de dois híbridos de milho (DKB 234 e DKB 214), em dois espaçamentos entre linhas (0,45 m e 0,90 m) e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07).

Entretanto, vale ressaltar que, em se tratando da exploração da cultura do milho para produção de grãos, é importante considerar não somente a massa específica dos grãos, mas também o número de grãos produzidos por unidade de área. A combinação de tais características está intimamente relacionada à produtividade de grãos.

#### 4.13. Produção de grãos

A análise de variância para a característica produção de grãos evidenciou efeito significativo ( $P \leq 0,05$ ) para os efeitos de híbridos, espaçamento entre linhas, densidade populacional e para as interações híbrido x densidade populacional, híbrido x ano, espaçamento entre linhas x ano, densidade populacional x ano e híbrido x densidade populacional x ano, sendo que, para as demais interações, não foi verificado efeito significativo (Quadro 39).

Quadro 39 – Resumo da análise de variância conjunta da produção de grãos de dois híbridos de milho avaliados em dois espaçamentos entre linhas, em quatro densidades populacionais, durante dois anos agrícolas

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios
Híbrido (H)	1	1.913012,010 *
Espaçamento entre linhas (E)	1	13.947847,341 **
Densidade populacional (P)	3	13.374928,434 **
Ano	1	70.587,865 <sup>ns</sup>
Repetição/Ano	6	10.866,960 <sup>ns</sup>
H x E	1	36.378,374 <sup>ns</sup>
H x P	3	515.694,384 **
H x Ano	1	204.581,557 **
E x P	3	188.947,132 <sup>ns</sup>
E x Ano	1	945.395,066 **
P x Ano	3	122.549,269 **
H x E x P	3	642.752,932 <sup>ns</sup>
H x E x Ano	1	3.667,747 <sup>ns</sup>
H x P x Ano	3	1.158640,702 *
E x P x Ano	3	445.892,568 <sup>ns</sup>
H x E x P x Ano	3	115.608,455 <sup>ns</sup>
Resíduo	90	342.793,329
C.V.(%)		5,52
Média Geral		10.605,082

\* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

O desdobramento da interação entre híbridos x espaçamentos entre linhas x densidades populacionais x anos permite verificar que o híbrido DKB 234, no espaçamento de 0,45 m e densidade populacional de 45.000 plantas

ha<sup>-1</sup>, apresentou diferença significativa na produção de grãos de milho em relação ao híbrido DKB 214 apenas no segundo ano de avaliação (Quadro 40). Isso pode estar relacionado à maior prolificidade do híbrido DKB 234, principalmente quando cultivado em baixas populações de plantas (Quadro 33), aliado às melhores condições ambientais ocorridas no segundo ano (Figura 1).

O efeito de híbridos no espaçamento entre linhas de 0,45 m e densidade populacional de 60.000 e 75.000 plantas ha<sup>-1</sup> não foi significativo em ambos os anos de avaliação, resultado que pode ser atribuído às características genéticas dos híbridos estudados, cuja recomendação de densidade populacional é de 55.000 a 65.000 plantas ha<sup>-1</sup> para o DKB 214 e de 60.000 a 70.000 plantas ha<sup>-1</sup> para o DKB 234 (Dekalb, 2008).

Quadro 40 – Desdobramento do efeito dos híbridos DKB 234 e DKB 214 em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica produção de grãos de milho (kg ha<sup>-1</sup>)

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Híbridos	
			DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	1	10.123 a	9.664 a
0,45	45.000	2	9.441 a	8.569 b
0,45	60.000	1	11.017 a	10.495 a
0,45	60.000	2	9.844 a	9.974 a
0,45	75.000	1	11.349 a	10.551 a
0,45	75.000	2	10.478 a	10.421 a
0,45	90.000	1	10.924 a	10.093 b
0,45	90.000	2	10.410 a	11.045 a
0,90	45.000	1	10.608 a	9.765 b
0,90	45.000	2	10.296 a	8.892 b
0,90	60.000	1	11.174 a	10.787 a
0,90	60.000	2	10.793 a	11.418 a
0,90	75.000	1	11.446 a	11.302 a
0,90	75.000	2	11.074 b	12.174 a
0,90	90.000	1	10.735 a	10.231 a
0,90	90.000	2	11.923 a	12.343 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente (P > 0,05) pelo teste F.

No espaçamento entre linhas de 0,45 m e densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>, o híbrido DKB 234 superou a média de produtividade de grãos do híbrido DKB 214 apenas no primeiro ano de avaliação (Quadro 40). As elevadas médias de produção de grãos alcançadas nesta condição (espaçamento entre linhas de 0,45 m e populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>) devem-se ao fato de que os híbridos DKB 214 e DKB 234, por apresentarem ciclo mais curto (superprecoces) e baixa estatura, tendem a proporcionar incrementos significativos no rendimento de grãos em decorrência da redução do espaçamento entre linhas (Almeida et al., 2000; Argenta et al., 2001b). A menor produção de grãos observada no ano agrícola de 2005/06 para o híbrido DKB 214 provavelmente esteve associada à menor precipitação pluvial (Figura 1) ocorrida nas fases de florescimento pleno e de enchimento de grãos.

No espaçamento entre linhas 0,90 m e densidade populacional de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup>, o híbrido DKB 234 apresentou produtividade mais elevada em relação ao DKB 214 nos dois anos de avaliação (Quadro 40). Com o aumento da densidade populacional para 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, verificou-se que não houve diferença significativa no rendimento de grãos entre os híbridos em ambos os anos. Entretanto, elevando-se a densidade populacional para 75.000 plantas ha<sup>-1</sup> verificou-se que, no segundo ano de avaliação, o híbrido DKB 214 apresentou rendimento de grãos superior àquele apresentado pelo híbrido DKB 234, evidenciando que as condições ambientais influenciaram neste resultado. Os híbridos DKB 214 e DKB 234, por sua vez, não diferiram significativamente para a produção de grãos em ambos os anos, quando foram submetidos à densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> e espaçamento de 0,90 m entre linhas (Quadro 40).

As elevadas médias de produção de grãos dos dois híbridos de milho avaliados neste estudo demonstram que a maximização da produção dependeu da distribuição espacial de plantas na área (Sangoi et al., 2006a), da prolificidade dos híbridos (Thomison e Jordan, 1995), das condições climáticas observadas durante o período experimental (Figura 1).

No que se refere ao desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função da interação híbrido x densidade populacional x ano, pode-se observar, no Quadro 41, que, no primeiro ano de avaliação, a utilização de

menor espaçamento entre linhas de plantas (0,45 m) não resultou em incremento na produção de grãos, tal como foi relatado por Merotto Júnior et al. (1997) e Westgate et al. (1997).

O efeito não significativo da redução do espaçamento entre linhas de plantas na produção de grãos dos dois híbridos avaliados pode estar associado ao fato de que, nessa situação, mesmo com distribuição mais uniforme das plantas, ocorreu maior competição por luz entre as plantas de linhas distintas (Argenta et al., 2001a; Tollenaar et al., 1992).

Mundstock (1977b), Bullock et al. (1988), Porter et al. (1997), Argenta et al. (2001b) e Sangoi et al. (2001b) reportaram incremento linear da produtividade de grãos de milho em função da redução de espaçamento entre linhas de plantas.

Quadro 41 – Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbridos x densidade populacional x ano, referente à característica produção de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Híbrido	Densidade populacional ( $\text{plantas ha}^{-1}$ )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	1	10,123 a	10,608 a
DKB 234	45.000	2	9,441 b	10,296 a
DKB 234	60.000	1	11,017 a	11,174 a
DKB 234	60.000	2	9,844 b	10,793 a
DKB 234	75.000	1	11,349 a	11,446 a
DKB 234	75.000	2	10,478 a	11,074 a
DKB 234	90.000	1	10,924 a	10,735 a
DKB 234	90.000	2	10,410 b	11,923 a
DKB 214	45.000	1	9,664 a	9,765 a
DKB 214	45.000	2	8,569 a	8,892 a
DKB 214	60.000	1	10,495 a	10,787 a
DKB 214	60.000	2	9,974 b	11,418 a
DKB 214	75.000	1	10,551 a	11,302 a
DKB 214	75.000	2	10,421 b	12,174 a
DKB 214	90.000	1	10,093 a	10,231 a
DKB 214	90.000	2	11,045 b	12,343 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente ( $P > 0,05$ ) pelo teste F.

No segundo ano de avaliação (2006/07), o espaçamento entre linhas de 0,90 m propiciou produção de grãos mais elevada na maioria das combinações dos fatores analisadas, com exceção do híbrido DKB 234 na população de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, bem como do híbrido DKB 214 na população de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Quadro 41), ocasiões em que ambos os espaçamentos entre linhas não diferiram significativamente na expressão da produção de grãos de milho.

A variação observada no comportamento dos híbridos DKB 214 e DKB 234, em função de diferentes espaçamentos entre linhas de plantas (Quadro 41), provavelmente, esteve associada às variações de temperatura, luminosidade e precipitação pluvial observada durante o período experimental, fatores estes que interferem diretamente na produtividade de grãos do milho (Fulton, 1970; Bullock et al., 1988; Tollenaar et al., 1992; Argenta et al., 2001a).

Dessa forma, a superioridade da produção de grãos de ambos os híbridos, quando cultivados em espaçamento entre linhas de 0,90 m, no segundo ano de avaliação (Quadro 41), evidenciou que as condições ambientais deste ano agrícola (2006/07) foram mais favoráveis (Figura 1), minimizando a competição entre plantas da mesma linha e, portanto, favorecendo a expressão do potencial genético dos híbridos de milho.

O desdobramento do efeito da densidade populacional, em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano, foi realizado mediante análise de regressão (Quadro 42).

No ano agrícola de 2005/06, o híbrido DKB 234, cultivado em espaçamento entre linhas de 0,45 m, respondeu de forma quadrática ao aumento da densidade populacional de plantas, enquanto, em 2006/07, esse padrão de resposta foi linear. Vale ressaltar que não foi verificado efeito significativo para os desvios da regressão (Quadro 42).

Na Figura 4a, pode-se observar a curva de regressão da produção de grãos do híbrido DKB 234, em função da densidade populacional de plantas, em espaçamento entre linhas de 0,45 m, no ano agrícola de 2005/06.

No ano agrícola de 2006/07, no entanto, a resposta fenotípica para produção de grãos do híbrido DKB 234, no espaçamento entre linhas de 0,45m, apresentou comportamento linear (Figura 4b), com a produção de grãos

atingindo nível máximo em densidades populacionais próximas do limite máximo avaliado, que foi de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Quadro 42 – Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de densidade populacional em função de híbrido DKB 234 x espaçamentos entre linhas de 0,45 m x anos, para produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)

Combinação	F.V.	G.L.	Q.M.	F	P < F
H1 x E45 x A1	$\beta_1$	1	1.495.569,15*	4,363	0,040
	$\beta_2$	1	1.736.847,23*	5,067	0,027
	Desvio	1	7.561,77 <sup>ns</sup>	0,022	0,882
H1 x E45 x A2	$\beta_1$	1	2.508.678,19**	7,318	0,008
	$\beta_2$	1	221.539,66 <sup>ns</sup>	0,646	0,424
	Desvio	1	174.338,60 <sup>ns</sup>	0,509	0,478
Resíduo		90	342.793,33		

H1: DKB 234; E45: espaçamento entre linhas de 0,45 m; A1: 2005/06; A2: 2006/07; \* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

A resposta máxima estimada pela regressão quadrática foi de 11.322 kg ha<sup>-1</sup> na densidade populacional de 73.725 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 4a). Assim, para as condições ambientais prevalentes no ano agrícola de 2005/06, o híbrido DKB 234 apresentou potencial de produção de grãos de 11.322 kg ha<sup>-1</sup> quando cultivados em espaçamento de 0,45 m e densidade populacional ótima de 73.725 plantas ha<sup>-1</sup>.

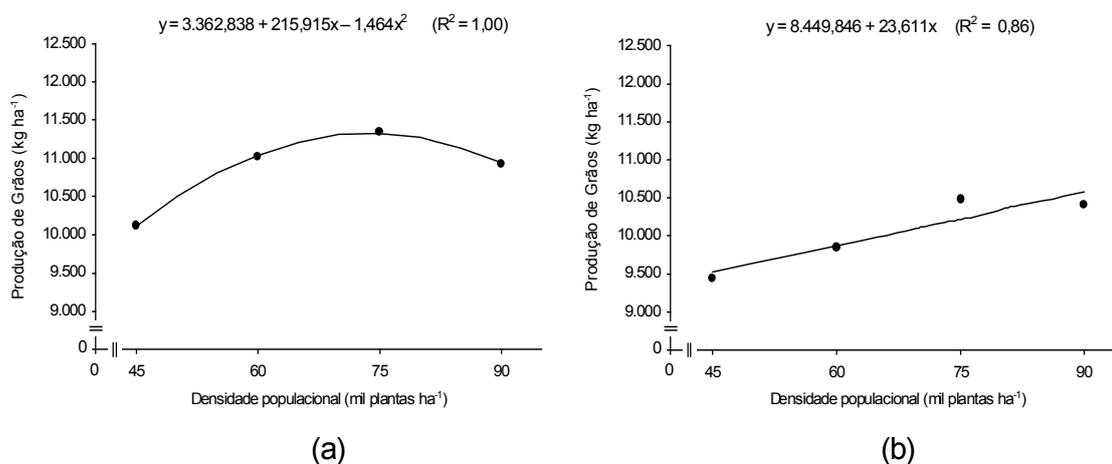


Figura 4 – Produtividade de grãos do híbrido DKB 234, em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,45 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b).

Com base no coeficiente angular da equação de regressão linear, pode-se inferir que o híbrido DKB 234, quando cultivado em espaçamento entre linhas de 0,45 m e sob condições ambientais semelhantes às ocorridas no ano agrícola de 2006/07, tende a aumentar a produção de grãos em 23,61 kg ha<sup>-1</sup> a cada acréscimo de 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional de plantas. Tal comportamento, provavelmente, esteve associado à melhor distribuição de precipitação pluvial neste ano agrícola (Figura 1), especialmente durante o período de florescimento pleno e enchimento de grãos, períodos esses que são críticos à produção de grãos (Magalhães et al., 1995; Bolaños e Edmeades, 1996; Bergonci e Bergamaschi, 2002).

O comportamento linear da produção de grãos de milho do híbrido DKB 234, em função da densidade populacional, no espaçamento de 0,45 m, provavelmente, esteve associado ao elevado potencial produtivo do mesmo, o qual é um híbrido simples (Karlen e Camp, 1985; Silva et al., 1999; Sangoi et al., 2006a). Na atualidade, tais híbridos simples conseguem aproveitar melhor os efeitos da heterose, quando são submetidos a condições edafoclimáticas favoráveis (Borém, 1999). Além disso, a maior uniformidade morfológica e fenológica destes híbridos propiciam a otimização do aproveitamento de água, luz e nutrientes, principalmente quando são submetidos a densidades populacionais elevadas (Maddoni e Otegui, 2004; Liu et al., 2004).

Por não terem sido testadas densidades populacionais superiores a 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> para os resultados obtidos no ano agrícola de 2006/07, não foi possível ajustar um modelo quadrático de regressão para a produção de grãos do híbrido DKB 234, quando cultivados em espaçamento entre linhas de 0,45 m. De forma geral, o híbrido DKB 234 pode proporcionar elevada produção de grãos, quando cultivados em densidades populacionais variando entre 70.000 e 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 4).

No espaçamento entre linhas de 0,90 m, o híbrido DKB 234 apresentou padrão de resposta fenotípica quadrática, no ano agrícola de 2005/06, e linear em 2006/07 (Quadro 43). No segundo ano agrícola (2006/07), a produção de grãos do híbrido DKB 234, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, foi expressa por um modelo de regressão linear (Figura 5b), indicando que, em condições ambientais favoráveis, o elevado potencial produtivo do híbrido está

intimamente relacionado com a resposta à densidade populacional dentro do limite avaliado (45.000 – 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>). A cada acréscimo de 1.000 plantas ha<sup>-1</sup>, na densidade populacional, o híbrido DKB 234 tende a propiciar um aumento de 34,41 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos, quando cultivados em espaçamento de 0,90 m e sob condições ambientais semelhantes às aquelas ocorridas no ano agrícola de 2006/07 (Figura 5b). Sangoi et al. (2001b) também relatam que, quanto mais favoráveis forem as condições edafoclimáticas, mais elevada será a densidade populacional de plantas associada à produtividade máxima de um determinado híbrido de milho em uma dada região.

Quadro 43 – Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbrido DKB 234 x espaçamento entre linhas de 0,90 m x anos, para produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)

Combinação	F.V.	G.L.	Q.M.	F	P < F
H1 x E90 x A1	$\beta_1$	1	84.822,06 <sup>ns</sup>	0,247	0,620
	$\beta_2$	1	1.632.715,34*	4,763	0,032
	Desvio	1	94.741,05 <sup>ns</sup>	0,276	0,600
H1 x E90 x A2	$\beta_1$	1	5.326.136,57**	15,537	0,000
	$\beta_2$	1	123.796,66 <sup>ns</sup>	0,361	0,549
	Desvio	1	122.914,74 <sup>ns</sup>	0,359	0,551
Resíduo		90	342.793,33		

H1: DKB 234; E90: espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: 2005/06; A2: 2006/07; \* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

No primeiro ano agrícola (2005/06), a regressão quadrática permitiu verificar que a densidade populacional que proporcionou as médias de produção de grãos mais elevadas do híbrido DKB 234, no espaçamento de 0,90 m, oscilou entre 65.000 e 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com ponto de máximo em 69.029 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 5a). A produção de grãos no ponto de máximo, estimada pela equação de regressão, foi de 11.393 kg ha<sup>-1</sup>. Tal valor corresponde ao potencial produtivo do híbrido DKB 234, quando cultivado em espaçamento entre linhas de 0,90 m, em condições de clima e solo semelhantes às aquelas predominantes no ano agrícola de 2005/06.

Vale ressaltar que, em ambos os anos agrícolas avaliados, foi verificada uma elevada confiabilidade de resposta dos modelos matemáticos ajustados, uma vez que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) se apresentaram muito próximos de 1,00 (Figura 5).

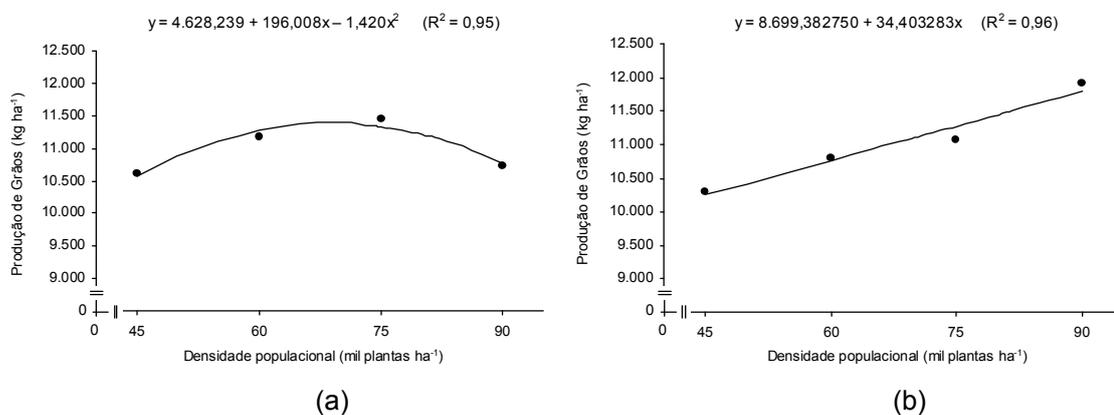


Figura 5 – Produtividade de grãos do híbrido DKB 234, em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,90 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b).

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional, em função do híbrido DKB 214, cultivado em espaçamento entre linhas de 0,45 m, observou-se que, no ano agrícola de 2005/06, um modelo quadrático explicou a variação fenotípica da produção de grãos, enquanto que, em 2006/07, um modelo linear representou essa variação (Quadro 44).

Quadro 44 – Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbrido DKB 214 x espaçamentos entre linhas de 0,45 m x anos, para produção de grãos de milho

Combinação	F.V.	G.L.	Q.M.	F	P < F
H2 x E45 x A1	$\beta_1$	1	360.508,24 <sup>ns</sup>	1,052	0,308
	$\beta_2$	1	1.664.416,07*	4,855	0,030
	Desvio	1	13.764,19 <sup>ns</sup>	0,040	0,842
H2 x E45 x A2	$\beta_1$	1	12.398.282,35**	36,168	0,000
	$\beta_2$	1	609.746,24 <sup>ns</sup>	1,779	0,186
	Desvio	1	256.607,52 <sup>ns</sup>	0,749	0,389
Resíduo		90	342.793,33		

H2: DKB 214; E45: espaçamento entre linhas de 0,45 m; A1: 2005/06; A2: 2006/07; \* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

Na Figura 6a, pode-se observar a equação e a curva de regressão que explica a produção de grãos do híbrido DKB 214, em espaçamento entre linhas de 0,45 m, no ano agrícola de 2005/06, em função da variação na densidade populacional de plantas. Baseado no modelo matemático ajustado, pode-se inferir que, em condições ambientais semelhantes àquelas ocorridas no ano agrícola de 2005/06, o ponto de máximo estimado para a respectiva equação foi de 70.622 plantas ha<sup>-1</sup>, sendo que o potencial de resposta fenotípica máxima do híbrido DKB 234 nestas condições foi de 10.618 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 6a).

No ano agrícola de 2006/07, no espaçamento entre linhas de 0,45 m, a produção de grãos do híbrido DKB 214 foi explicada por um modelo de regressão linear (Figura 6b). Dentro do limite de densidade populacional avaliado, o híbrido DKB 214 tende a apresentar produção de grãos mais elevada à medida que a densidade populacional é aumentada, com aumento de 52,49 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos para cada incremento de 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional. A variação no padrão de resposta fenotípica da produção de grãos do híbrido DKB 214, observada entre os dois anos agrícolas de avaliação, pode ser explicada pela melhor regularidade da precipitação pluvial ocorrida no ano agrícola de 2006/07 (Figuras 1).

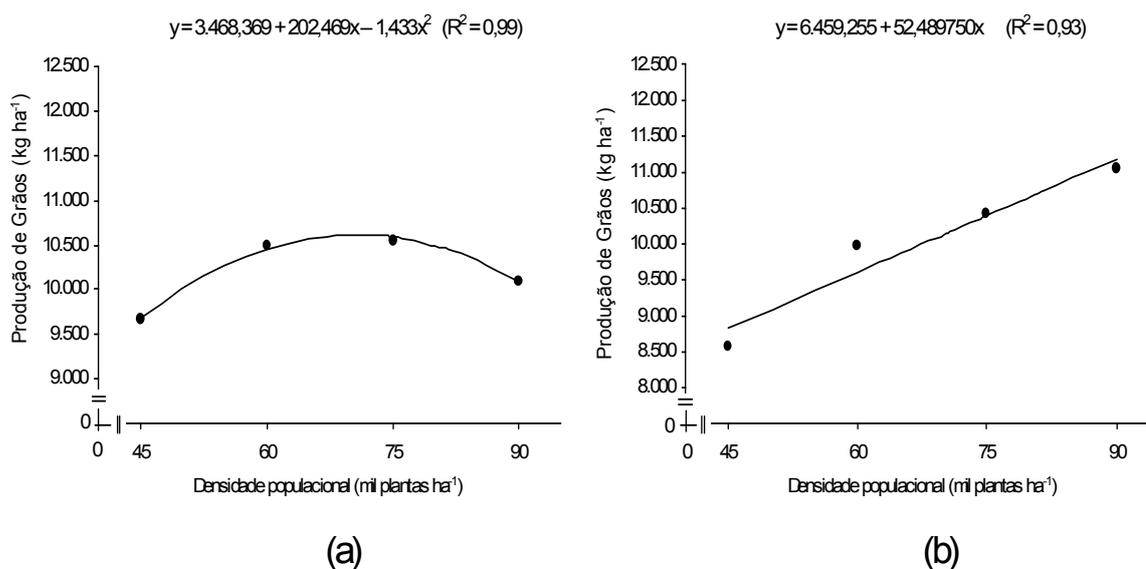


Figura 6 – Produção de grãos do híbrido DKB 214 em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,45 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b).

No espaçamento entre linhas de 0,90 m, o comportamento fenotípico da produção de grãos do híbrido DKB 214 foi representado por um modelo de regressão quadrática em ambos os anos de avaliação, com desvios da regressão não significativos (Quadro 45).

Quadro 45 – Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbrido DKB 214 x espaçamento entre linhas de 0,90 m x anos, para produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)

Combinação	F.V.	G.L.	Q.M.	F	P < F
H2 x E90 x A1	$\beta_1$	1	732.357,68 <sup>ns</sup>	2,136	0,147
	$\beta_2$	1	4.378.932,91**	12,774	0,001
	Desvio	1	233.394,49 <sup>ns</sup>	0,681	0,411
H2 x E90 x A2	$\beta_1$	1	24.677.621,66**	71,990	0,000
	$\beta_2$	1	5.560.281,90**	16,221	0,000
	Desvio	1	279.467,35 <sup>ns</sup>	0,815	0,369
Resíduo		90	342.793,33		

H2: DKB 214; E90: espaçamento entre linhas de 0,90 m; A1: 2005/06; A2: 2006/07; \* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

Na Figura 7a, pode-se verificar a equação de regressão e a curva de resposta para a produção de grãos do híbrido DKB 214, em função da densidade populacional, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, no primeiro ano de avaliação. Observa-se que o máximo potencial produtivo verificado para este híbrido foi de 11.193 kg ha<sup>-1</sup> na densidade populacional de 70.243 plantas ha<sup>-1</sup>, cujo valor representa o ponto de máximo da equação de regressão quadrática. No entanto, em condições ambientais semelhantes àquelas ocorridas no ano agrícola de 2005/06, médias elevadas de produção de grãos podem ser obtidas pelo cultivo do híbrido DKB 214 em densidades populacionais variando entre 65.000 e 75.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 7a).

Resultados semelhantes foram reportados por Fancelli e Dourado Neto (2000b), Sangoi et al. (2001a) e Marchão et al. (2005), cujos estudos evidenciaram que, no Brasil, a produção de grãos dos híbridos de milho atuais foi mais elevada quando os mesmos foram cultivados em densidades populacionais variando entre 55.000 e 72.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

No espaçamento entre linhas de 0,90 m e ano agrícola de 2006/07 a maior produção de grãos (12.467 kg ha<sup>-1</sup>) do híbrido DKB 214 foi obtida na densidade populacional de 81.632 plantas ha<sup>-1</sup>, cujo valor expressa o ponto de máximo da respectiva função (Figura 7b). Sob condições ambientais semelhantes às aquelas ocorridas no segundo ano agrícola (Figura 1), o cultivo deste híbrido em densidades populacionais variando entre 80.000 e 85.000 plantas ha<sup>-1</sup> tende a propiciar as médias de produção de grãos mais elevadas (Figura 7b).

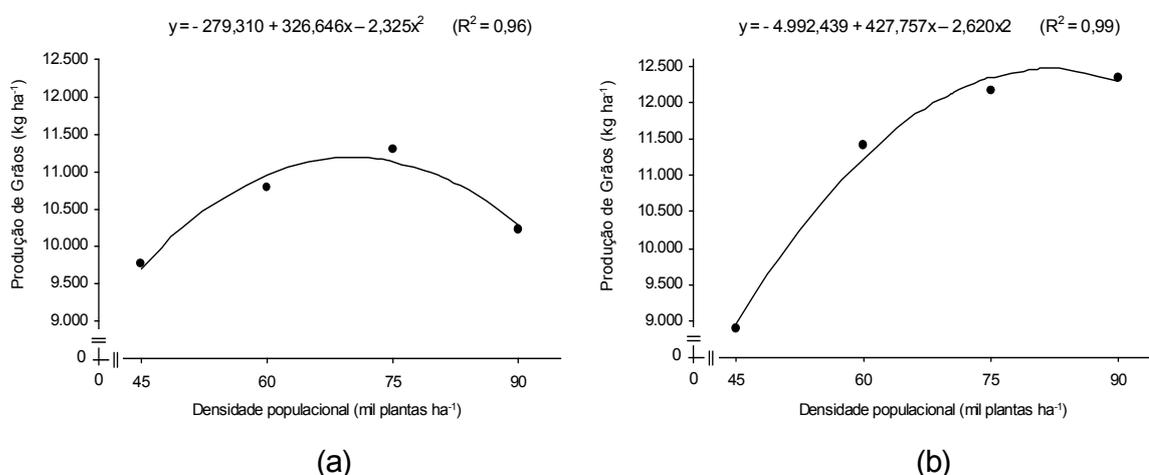


Figura 7 – Produção de grãos do híbrido DKB 214 em função da densidade populacional de plantas, cultivadas em espaçamento entre linhas de 0,90 m, nos anos agrícolas de 2005/06 (a) e de 2006/07 (b).

O maior ponto de máximo estimado para o segundo ano agrícola, provavelmente, esteve associado às melhores condições climáticas ocorridas neste ano (Figura 1), visto que Duvick e Cassmann (1999), Tollenaar e Wu (1999), Sangoi et al. (2001a) e Tollenaar e Lee (2002) afirmam que os híbridos de milho atuais exigem condições edafoclimáticas mais favoráveis e densidades populacionais mais elevadas para a otimização do seu potencial produtivo.

Em geral, elevadas médias de produção de grãos podem ser obtidas com o cultivo dos híbridos DKB 214 e DKB 234 em densidades populacionais variando entre 65.000 e 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

## 5. CONCLUSÕES

- Em geral todas as características estudadas foram influenciadas pelos híbridos de milho, com exceção do diâmetro médio de colmos.
- O espaçamento entre linhas afetou muito pouco na variação fenotípica das características avaliadas, com exceção da área foliar média e da massa de mil grãos.
- A produção de grãos dos híbridos DKB 234 e DKB 214 em espaçamento entre linhas de 0,45 m se equipara àquela observada em espaçamento entre linhas de 0,90 m.
- O uso espaçamento entre linhas de 0,45 m é indicado no cultivo dos híbridos de milho DKB 234 e DKB 214 em substituição ao espaçamento entre linhas de 0,90 m.
- A densidade populacional afetou de maneira significativa praticamente todas as características avaliadas, com exceção da altura média de plantas.
- Ambos os híbridos de milho apresentaram maior produção de grãos em densidades populacionais elevadas, variando entre 70.000 e 80.000 plantas  $ha^{-1}$ , independente do espaçamento entre linhas utilizado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.

ALMEIDA, M.L.; MEROTTO JÚNIOR; A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F. 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.

ALMEIDA, M.L; SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 179-183, 1996.

ANDERSON, I.C. **Crop management**. Ames: Iowa State University, 1995. 52p. (Agronomy 516 Course Work, I).

ANDRADE, F.H.; VEGA, C.; UHART, S.O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 453-459, 1999.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.; ARGUISSAIN, G. Rendimiento potencial de maiz en Balcarce: analisis de los factores que lo determinan. Balcarce: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuário, 1991. 11p. (Boletim Técnico n. 101).

ANDREI, E. **Compendio de Defensivos Agrícolas**. 7.ed. São Paulo: Organização Andrei Editora LTDA, 2005. 1133 p.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001a.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos

simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001b.

BALAGOPALAN, C.; PADMJA, G.; NANDA, S.K.; MOORTHY, S.N. **Cassava in: food, feed, and industry**. Florida: CRC Press, 1988. 219 p.

BALBINOT, A.A.; FLECK, N.G. Benefícios e limitações da redução do espaçamento entrelinhas. **Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 5, p. 37-41, 2005.

BARBIERI, P.A.; ROZAS, H.R.S.; ANDRADE, F.H. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 1, p. 283-288, 2000.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, p. 2201-216, 1995.

BARNI, N.A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 249p. Tese (Doutorado em Agronomia).

BERGER, J. Maize production and the manuring of maizes. Geneva, Switzerland: Centre d'Estudo de l' Azote, 1962. p. 38-41.

BERGONCI, I.; BERGAMANSCHI, H. Ecofisiologia do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABMS, 2002. (CD-ROM).

BERLATO, M.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V.R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, p. 111-132, 1984.

BERTRAND, M. **Mècanismes de l'élaboration du nombre de graines du maïs. Valeur prédictive d'indicateurs écophysiológicos.** Paris-Grignon: Institut National Agronomique, 1991. 185p. Thèse (D.Sc. in Agronomy).

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

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: UFV, 1999. 817p.

BRASIL - Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 1992. 365 p.

BRUNINI, O.; CAMARGO, M.B.P.; MIRANDA, L.T.; SAWASAKI, E. Resistência estomatal e potencial de água em variedades de milho em condições de campo. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEREOLOGIA, Pelotas, 1981. **Resumos...** Pelotas: UFPEL, 1981. p. 134-138.

BULLOCK. D.G.; NIELSEN, R.L.; NYQUIST, W.E. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 2, p. 254-258, 1988.

CIRILO, A.G. **Desarrollo, crecimiento y partición de materia seca en cultivos de maíz sembrados em diferentes fechas.** Balcarce: Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Mar del Plata, 1994. 86p. Tesis (Magister Scientiae).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2007/2008, nono levantamento.** Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo\\_safra.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf)>. Acesso em: 30, Junho, 2008.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística.** Viçosa: UFV, 2001. 648p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

DEKALB. **Recomendações de semeadura de híbridos de milho para a região Sul em altitudes superiores a 700m**. Disponível em: <<http://www.dekalb.com.br/sementes.aspx>>. Acesso em: 02, julho, 2008.

DEVLIN, R.M. Water relations. In: DEVLIN, R.M. **Plant physiology**. 3ed. New York: D. Van Nostrand, 1975. p. 43-86.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1979. 193p. (Paper n. 33).

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (eds.). **Milho: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2001. p. 120-125.

DUNGAN, G.H.; LANG, A.C.; PENDLETON, J.W. Corn plant population in relation to soil productivity. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 10, p. 135-173, 1958.

DURÃES, F.O.M. **Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas. 2007**. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/2007-1/limitemilho/index.htm>>. Acesso em: 29, maio, 2008.

DURÃES, F.O.M., MAGALHÃES, P.C.; MARRIEL, I.E.; CASELA, C.R.; OLIVEIRA, A.C.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; SHANAHAN, J.F. The usefulness of chlorophyll fluorescence in screening for water, N use efficiency, Al toxicity, and disease in maize. In: EASTERN and SOUTHERN AFRICA MAIZE CONFERENCE, 7.; SYMPOSIUM ON LOW-NITROGEN AND DROUGHT TOLERANCE IN MAIZE. 2002, Nairobi. ( Abstracts and Proceedings) México: CIMMYT, 2002.

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

DWYER, L.M.; TOLLENAAR, M.; STEWART, D.W. Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis of maize hybrids, 1959 to 1988. **Canadian Journal Plant Science**, Quebec, v. 71, p. 1-11, 1991.

EHLERINGER, J.R.; CERLING, E.T.; HELLIKER, B.R. C<sub>4</sub> photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. **Oecologia**, Salt Lake City, v. 112, n. 3, p. 285-299, 1997.

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

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>. Acesso em: 30, junho, 2008.

FANCELLI, A.L. **Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, 1988. 172p. Tese (Doutorado em Agronomia).

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: ecofisiologia e rendimento. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (eds.). **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 157-170.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (eds.). **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000a. p. 21-54.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Fisiologia da produção e aspectos básicos de manejo para alto rendimento. In: SANDNI, I.E.; FANCELLI, A.L.

(eds.). **Milho: estratégias de manejo para a região Sul**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000b. cap.7, p. 103-115.

FERREIRA, D.F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 63p.

FISCHER, K.S.; PALMER, F.E. Tropical maize. In: GOLDSWORTHY, P.R.; FISCHER, N.M. (eds.). **The physiology of tropical field crops**. New York: J. Wiley & Sons, 1984. p. 231-248.

FLESCH, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaçamento e população de plantas na cultura do milho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p. 28-31, 1999.

FLESCH, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaçamento e densidade de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 25-31, 2004.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273p.

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L.; SUHRE, E.; RAMBO, L. Desenvolvimento fenológico e agrônomico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1341-1348, 2004.

FRANCIS, C.A.; RUTTER, J.N.; PALMER, A.E.E. A rapid method for plant leaf estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v. 9, n. 5. p.538-539, 1969.

FULTON, J.M. Relationship among soil moisture stress, plant population, row spacing and yield of corn. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 50, n. 1, p. 31-38, 1970.

GADIOLI, J.L. **Estimativa de produção de grãos e caracterização fitotécnica da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: Escola Superior de

Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, 1999. 86p.  
Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)

GALINAT, W.C. The origin of corn. In: SPRAGUE, G.F. (ed.). **Corn and corn improvement**. Madison: ASA, 1977. 774p. (Serie Agronomy n. 18).

GODOY, H.; CORREA, A.R.; SANTOS, D. Clima no Paraná. In: Instituto Agrônômico do Paraná – Iapar. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina: Iapar, 1976. p.17-36.

GOMES, J. Parâmetros ambientais e época de semeadura. In: **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: Iapar, 1991. p. 53-60. (Circular n. 68).

GOOD, R.M.; EVANS, L.T. Photosynthesis plant productivity and crop yield. In: CARSON, P.S. (eds.). **The biology of crop productivity**. New York: Academic Press, 1980. p. 3-51.

HORTON, P. Prospects for crops improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspect of light capture. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 51, p. 475-485, 2000.

JACOBS, B.J.; PEARSON, C.J. Potential yield of maize, determined by rates of growth and development of ears. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 281-298, 1991.

JOHNSON, G.A. ; HOVERSTAD, T.R.; GREENWALD, R.E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 1, p. 40-46, 1998.

JOHNSON, R.C.; KEBEDE, H.; MORNHINWEG, D.W. Photosynthetic differences among *Triticum* accessions at tillering. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 5, p. 1046-1050, 1987.

KARLEN, D.L.; CAMP, C.R. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 393-398, 1985.

KASELE, I.N.; SHANAHAN, J.F.; NIELSEN, D.C. Impact of growth retardants on corn leaf morphology and gas exchange traits. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 190-194, 1995.

KINIRY, J.R.; BONHOMME, R. Predicting maize phenology. In: HODGES, T. (ed.). **Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 115-131.

KLAR, S.R. **Transpiração**. In: KLAR, S.R. (Ed. Coord.) A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel, 1984. p. 347-385.

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

LIU, W.; TOLLENAAR, M.; STEWART, G.; DEEN, W. Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 275-280, 2004.

LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, Madison, v. 3, n. 1, p. 67-72, 1963.

LOOMIS, R.S.; CONNORS, D.J. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems**. Cambridge: Cambridge University, 1992. 550p.

LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 37-43, 1999.

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

MAGALHÃES, P.C.; PAIVA, E. **Fisiologia da produção de milho**. In: Embrapa. **Recomendações técnicas para o cultivo de milho**. Brasília: Embrapa - SPI, 1993. p. 85-92.

MAGALHÃES, P.C.; RESENDE, M.; OLIVEIRA, A.C. de; DURÃES, F.O.M.; SANS, L.M.A. Caracterização morfológica de milho de diferentes ciclos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Goiânia, 1994. **Centro Oeste-cinturão do milho e do sorgo no Brasil: Resumos...** Goiânia: ABMS, v. 20, 1994. p. 190.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: Embrapa/CNPMS, 1995. 27p. (Circular Técnica n. 20).

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; OLIVEIRA, A.C. de Efeitos do quebramento do colmo no rendimento de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 3, p. 279-289, 1998.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; DUARTE, J.B.; GUIMARÃES, C.M.; GOMES, J.A. Densidade de plantas e característica agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entrelinhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H.; SUTILL, V.R. Evapotranspiração do milho (*Zea mays L*) e sua relação com a evaporação do tanque classe A. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 273-295, 1981.

MEROTTO JÚNIOR, A.; ALMEIDA, M.L.; FUNCHS, O. Aumento no rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 549-554, 1997.

MEROTTO, J.A.; SANGOI, L.; GUIDOLIN, A.F.; HAVERROTH, H.S. 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.

MOLIN, J.P. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Castro: Fundação ABC, 2000. 72p.

MORGAN, J.A.; LECAIN, D.R.; WELLS, R. Semidwarfing genes concentrate photosynthetic machinery and affect leaf gas exchange of wheat. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 602-608, 1990.

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

MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura de milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS: ASCAR, 1977a. 35 p (Boletim Técnico n. 1).

MUNDSTOCK, C.M. Milho: distribuição da distância entre linhas. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, n. 299, p. 28-29, 1977b.

MUNDSTOCK, C.M. Aspectos fisiológicos da tolerância do milho ao frio. In: Seminário sobre a cultura do milho "Safrinha, 3., Assis, 1995. **Resumos...** Campinas: Instituto Agrônomo (IAC), 1995. p. 45-48.

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R.F. da. **Manejo da cultura do milho**. Porto Alegre: UFRGS, 1989. 76 p. (Boletim Técnico n. 1).

PEIXOTO, C.M. **Resposta de genótipos de milho à densidade de plantas, em dois níveis de manejo**. Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia, 1996. 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 401p.

PORTER, P.M.; HICKS, D.R.; LUESCHEN, W.E.; FORD, J.H.; WARNES, D.D.; HOVERSTAD, T.R. Corn response to row width and plant population in the Northern Corn Belt. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 10, n. 2, p. 293-300, 1997.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed., Campinas, São Paulo: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico n. 100).

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

0

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. The photosynthesis-transpiration compromise. In: CAREY, J.C. (Coord. Ed.). **Plant physiology**, 2ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 1982. p. 32-46.

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

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

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

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; GRACIETTI, L. C. Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas ao aumento na densidade de plantio. In:

REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 3., Chapecó, 2001. **Anais...** Chapecó: EPAGRI, 2001a. p. 48-52.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; LECH, V.A.; GRACIETTI, L.C; RAMPAZZO, C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 271-276, 2001b.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Base morfológica para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 101-110, 2002.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Arranjo espacial de plantas de milho: como otimizá-lo para maximizar o rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., Cuiabá, 2004. **Anais...** Cuiabá: EMBRAPA-CNPMS, 2004. (CD-ROM).

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.E.; SILVA, P.R.F.; HORN, D.; SCHIMITT, A.; SCHWEITZER, C.; MOTTER, F. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 747-755, 2006a.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; SILVA, A.A.; ERNANI, P.R.; HORN, D.; STRIEDER, M.L.; SCHIMITT, A.; SCHWEITZER, C. Desempenho agrônômico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, p. 218-231, 2006b.

SANGOI, L.; GUIDOLIN, A.F.; COIMBRA, J.L.M.; SILVA, P.R.F. Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas à população de plantas e ao despendoamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1367-1373, 2006c.

SANTOS JÚNIOR, C.C. A inserção do agronegócio brasileiro de milho no mercado internacional: desafios e oportunidades. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24; Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABMS, 2002. (CD-ROM).

SARTORI, J.A. Determinantes genético-fisiológicos e elementos de manejo na escolha de cultivares de milho “safrinha”. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 4., Assis, 1997, SP. **Anais...** Campinas: IAC/CDV, 1997. p. 31-36.

SÉRGIO, G.R.; RENZO, G.V.P.; ANDRE, H.B. Alternativas para o arranjo de plantas na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24. Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABMS, 2002. (CD-ROM).

SILVA, P.P.F. Densidade e arranjo de plantas em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, n.19, Porto Alegre, 1992. **Conferências...** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura – CIENTEC-ABMS, 1992. p. 291-294.

SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigados á densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

SILVA, A.K. Redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 5., Chapecó, 2005. **Resumos Expandidos...** Chapecó: Epagri-Cepaf, 2005. p. 27-30.

SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. Is there a niche for physiology in future gene improvement of maize yield. In: SLAFFER, G.A.; OTEGUI (eds.). **Physiological base for maize improvement**. New York: Harworth Press, 2000. cap.1, p. 1-14.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, A.A.; ENDRIGO, P.C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento

entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Tradução: SANTARÉM, E.R. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEASDALE, J.R. Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Champaign, v. 9, p. 113-118, 1995.

TETIO-KAGHO, F.; GARDNER, F.P. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield an yield adjustments. **Agronomy Journal**, Madison , v. 80, n. 5, p. 935-940, 1988.

THOMISON, P.L.; JORDAN, D.M. Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 3, p. 394-400, 1995.

THOMISON, P.L.; HAMMOND, R.; MULLEN, R.; EISLEY, B. **Corn production**. Disponível em: <<http://ohioline.osu.edu/b472/0005.html>>. Acesso em: 10, julho, 2008.

TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 2, p. 305-311, 1992.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short-season environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 219-23, 1978.

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

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B.; HUNTER, T.B. Effect of temperature sensitive period for leaf number of maize. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 457-460, 1979.

TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 2, p. 432-438, 1992.

TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A.; NISSANKA, S.P. Grain yield is reduced more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 2, p. 239-246, 1997.

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

VAZQUEZ, G.H.; SILVA, M.R.R. Influência de espaçamento entre linhas de semeadura em híbrido simples de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABMS, 2002 (CD-ROM).

VIEIRA JUNIOR, P.A. Milho. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (eds.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p. 41-72.

WESTGATE, M.E. **Seed formation in maize during drought**. In: BOOTE, K.J.; BENNETT, J.M.; SINCLAIR, T.R.; PAULSEN, G.M. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. cap. 15, p. 361-364.

WESTGATE, M.E.; FORCELLA, F.; REICOSKY, D.D.; SOMSEN, J. Rapid canopy closure for maize production in the Northern US corn belt: radiation use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 49, p. 249-258, 1997.

WILLIAMS, W.A.; LOOMIS, R.S.; LEPLEY, C.R. Vegetative growth of corn as affected by population density. II. Components of growth, net assimilation rate and leaf index. **Crop Science**, Madison, v. 5, p. 215-9, 1965.

WILSON, J.H.; CLOWES, M.S.J.; ALLISON, J.C.S. Growth and yield of maize at different altitudes in Rhodesia. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 73, p. 77-84, 1973.

## **APÊNDICE**

Quadro 1A – Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbridos x espaçamentos entre linhas x anos, para as características área foliar média (AFOL), comprimento médio da espiga (CESP) e número médio de fileiras de grãos (NFG)

Combinação	F.V.	G.L.	Quadrados médios		
			AFOL	CESP	NFG
H1 x E45 x A1	$\beta_1$	1	14.394,56 <sup>ns</sup>	4,16*	0,36 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	270.319,41 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	650.527,66 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
H1 x E45 x A2	$\beta_1$	1	320.677,81 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	897.377,29 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	1,26 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	95.911,25 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	3,00**
H1 x E90 x A1	$\beta_1$	1	1.480.678,41*	16,93**	2,17*
	$\beta_2$	1	24.565,08 <sup>ns</sup>	9,00**	0,16 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	3.460.042,64**	0,39 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
H1 x E90 x A2	$\beta_1$	1	1.746.552,75*	0,90 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	706.734,45 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	1.902.673,83*	1,06 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
H2 x E45 x A1	$\beta_1$	1	1.208.428,10 <sup>ns</sup>	35,24**	0,13 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	400.799,78 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	683.285,09 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
H2 x E45 x A2	$\beta_1$	1	1.329.268,36**	3,65 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	72.927,00 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	19,60 <sup>ns</sup>	2,98 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
H2 x E90 x A1	$\beta_1$	1	9.782,57 <sup>ns</sup>	57,47**	0,19 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	1.588,62 <sup>ns</sup>	76,56**	1,05 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	119.687,52 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
H2 x E90 x A2	$\beta_1$	1	35.887,39 <sup>ns</sup>	2,79 <sup>ns</sup>	2,08*
	$\beta_2$	1	324.330,25 <sup>ns</sup>	3,01 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	15.590,53 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
Resíduo		90	326.427,67	1,04	0,34

H1: DKB 234; H2: DKB 214; E45: espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: espaçamento entre linhas de 0,90 m A1: 2005/06; A2: 2006/07; \* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

Quadro 2A – Resumo da análise de regressão referente ao desdobramento do efeito de populações em função de híbridos x espaçamentos entre linhas x anos, para as características e número médio de grãos por fileira (NGF), diâmetro médio da espiga (DESP) e diâmetro médio do sabugo (DSAB)

Combinação	F.V.	G.L.	Quadrados médios		
			NGF	DESP	DSAB
H1 x E45 x A1	$\beta_1$	1	3,15 <sup>ns</sup>	0,08*	0,01 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	2,07 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	11,71 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
H1 x E45 x A2	$\beta_1$	1	3,25 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	0,79 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	1,54 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
H1 x E90 x A1	$\beta_1$	1	3,88 <sup>ns</sup>	0,61**	0,01 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	7,17 <sup>ns</sup>	3,99**	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	0,95 <sup>ns</sup>	7,96**	0,01 <sup>ns</sup>
H1 x E90 x A2	$\beta_1$	1	16,83 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	17,18 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
H2 x E45 x A1	$\beta_1$	1	122,68**	0,12*	0,06**
	$\beta_2$	1	0,18 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	4,79 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
H2 x E45 x A2	$\beta_1$	1	13,92 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	12,87 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	10,22 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
H2 x E90 x A1	$\beta_1$	1	235,47**	0,04 <sup>ns</sup>	0,14**
	$\beta_2$	1	11,41 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	3,38 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
H2 x E90 x A2	$\beta_1$	1	9,11 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	9,11 <sup>ns</sup>
	$\beta_2$	1	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
	Desvio	1	0,56 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>
	Resíduo	90	6,46	0,02	0,01

H1: DKB 234; H2: DKB 214; E45: espaçamento entre linhas de 0,45 m; E90: espaçamento entre linhas de 0,90 m A1: 2005/06; A2: 2006/07; \* Significativo ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste F; \*\* Significativo ( $P \leq 0,01$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo.

Quadro 3A – Altura média de plantas (m) para dois espaçamentos entre linhas, referente a dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)

Híbrido	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	1	2,32	2,28
DKB 234	45.000	2	2,35	2,36
DKB 234	60.000	1	2,31	2,30
DKB 234	60.000	2	2,46	2,44
DKB 234	75.000	1	2,29	2,34
DKB 234	75.000	2	2,49	2,36
DKB 234	90.000	1	2,30	2,31
DKB 234	90.000	2	2,47	2,41
DKB 214	45.000	1	2,12	2,15
DKB 214	45.000	2	2,06	2,10
DKB 214	60.000	1	2,15	2,21
DKB 214	60.000	2	2,08	2,10
DKB 214	75.000	1	2,15	2,18
DKB 214	75.000	2	2,11	2,10
DKB 214	90.000	1	2,16	2,15
DKB 214	90.000	2	2,13	2,12
Média Geral			2,25	2,24

Quadro 4A – Altura média de espigas (cm) em dois espaçamentos entre linhas, referente a dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)

Híbrido	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	1	107,27	104,20
DKB 234	45.000	2	115,25	111,00
DKB 234	60.000	1	107,25	107,22
DKB 234	60.000	2	127,00	124,00
DKB 234	75.000	1	109,65	111,07
DKB 234	75.000	2	126,00	120,25
DKB 234	90.000	1	110,97	116,32
DKB 234	90.000	2	127,50	120,50
DKB 214	45.000	1	101,67	108,05
DKB 214	45.000	2	98,50	107,00
DKB 214	60.000	1	104,65	110,77
DKB 214	60.000	2	103,00	111,25
DKB 214	75.000	1	110,17	112,35
DKB 214	75.000	2	110,75	108,25
DKB 214	90.000	1	108,45	107,85
DKB 214	90.000	2	115,25	106,50
Média Geral			111,46	111,66

Quadro 5A – Diâmetro médio de colmos (cm) em dois espaçamentos entre linhas, referente a dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)

Híbridos	Densidade Populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	1	2,84	2,78
DKB 234	45.000	2	3,01	2,94
DKB 234	60.000	1	2,64	2,64
DKB 234	60.000	2	2,72	2,76
DKB 234	75.000	1	2,48	2,60
DKB 234	75.000	2	2,55	2,68
DKB 234	90.000	1	2,40	2,23
DKB 234	90.000	2	2,42	2,63
DKB 214	45.000	1	2,73	2,83
DKB 214	45.000	2	2,69	2,73
DKB 214	60.000	1	2,62	2,63
DKB 214	60.000	2	2,61	2,64
DKB 214	75.000	1	2,53	2,54
DKB 214	75.000	2	2,54	2,56
DKB 214	90.000	1	2,36	2,34
DKB 214	90.000	2	2,44	2,68
Média Geral			2,60	2,64

Quadro 6A – Número médio de grãos por fileira em dois espaçamentos entre linhas, para dois híbridos de milho, em quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)

Híbrido	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	1	35,58	35,42
DKB 234	45.000	2	30,11	31,01
DKB 234	60.000	1	35,99	35,88
DKB 234	60.000	2	31,51	30,03
DKB 234	75.000	1	33,30	36,09
DKB 234	75.000	2	31,08	33,73
DKB 234	90.000	1	35,15	33,88
DKB 234	90.000	2	31,60	32,84
DKB 214	45.000	1	42,41	43,80
DKB 214	45.000	2	34,11	33,04
DKB 214	60.000	1	38,74	41,24
DKB 214	60.000	2	30,06	32,03
DKB 214	75.000	1	37,74	39,04
DKB 214	75.000	2	31,37	31,85
DKB 214	90.000	1	34,95	33,10
DKB 214	90.000	2	30,90	30,85

Quadro 7A – Diâmetro médio do sabugo (cm) de plantas de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07)

Híbrido	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano	Espaçamento entre linhas	
			0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	1	2,52	2,60
DKB 234	45.000	2	2,44	2,47
DKB 234	60.000	1	2,57	2,60
DKB 234	60.000	2	2,47	2,47
DKB 234	75.000	1	2,53	2,61
DKB 234	75.000	2	2,46	2,47
DKB 234	90.000	1	2,55	2,56
DKB 234	90.000	2	2,40	2,52
DKB 214	45.000	1	2,92	2,96
DKB 214	45.000	2	2,86	2,81
DKB 214	60.000	1	2,80	2,88
DKB 214	60.000	2	2,70	2,76
DKB 214	75.000	1	2,87	2,88
DKB 214	75.000	2	2,76	2,81
DKB 214	90.000	1	2,71	2,68
DKB 214	90.000	2	2,72	2,70