

# Arranjo de plantas e produção de dois híbridos simples de milho<sup>1</sup>

## Plant arrangement and grain yield of two simple maize hybrids

Marcus Vinícius Kvitschal<sup>2\*</sup>, Evanildo Mantine<sup>3</sup>, Pedro Soares Vidigal Filho<sup>4</sup>, Maria Celeste Gonçalves Vidigal<sup>5</sup>  
e Carlos Alberto Scapim<sup>6</sup>

**Resumo** - O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do arranjo espacial de plantas na produção e na massa de mil grãos de dois híbridos simples de milho, na região Norte do Paraná. Os tratamentos constituíram-se da combinação de espaçamentos entre linhas de 0,45 e 0,90 m, densidades populacionais de 45.000, 60.000, 75.000 e 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>, híbridos DKB 234 e DKB 214, em dois anos de avaliação (2005/06 e 2006/07). Os experimentos foram delineados em blocos completos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 2 x 4 x 2, com quatro repetições. O híbrido DKB 234 apresentou maior produtividade de grãos, enquanto que o híbrido DKB 214 apresentou maior massa de mil grãos. Em geral, a redução do espaçamento entre linhas de 0,90 para 0,45 m pouco afetou a produção de grãos, podendo ser usado como opção viável para o cultivo dos híbridos DKB 214 e DKB 234, sem decréscimo significativo de produtividade. A densidade populacional ótima para produção de grãos do híbrido DKB 234 variou entre 65.000 e 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, enquanto que para o DKB 214 esteve entre 70.000 e 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O efeito médio da densidade populacional sobre a variação da massa de mil grãos permitiu estimar uma densidade populacional ótima de aproximadamente 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave** - *Zea mays* L. Espaçamento entre linhas. Densidade populacional. Rendimento de grãos.

**Abstract** - The objective of this work was to evaluate the effect of plant arrangement on grain yield and mass of a thousand kernels of two simple corn hybrids, in the North region of Paraná State. The combination among two plant row spacing (0.45 and 0.90 m), four plant population densities (45,000, 60,000, 75,000 and 90,000 plants ha<sup>-1</sup>), two corn hybrids (DKB 234 and DKB 214) and two growing seasons (2005/06 and 2006/07) constituted the treatments. Experiments were designed in randomized complete blocks, in 2 x 2 x 4 x 2 factorial scheme, with four replications. The hybrid DKB 234 presented the highest grain yield, while hybrid DKB 214 presented the highest mass of a thousand kernels. In general, the plant row spacing did not affect too much the grain yield, being a viable option to crop the corn hybrids DKB 214 and DKB 234 for grain yield. The fine plant population density for grain yield of hybrid DKB 234 ranged from 65,000 to 75,000 plants ha<sup>-1</sup>, while this fine plant population density for grain yield of hybrid DKB 214 was about 70,000 to 80,000 plants ha<sup>-1</sup>. The fine plant population density for mass of a thousand kernels was 55,000 plants ha<sup>-1</sup>.

**Key words** - *Zea mays* L. Plant row spacing. Plant population density. Grain yield.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 05/06/2009; aprovado em 11/02/2010

Parte da Dissertação apresentada pelo segundo autor ao curso de Mestrado em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

<sup>2</sup>Pesquisador da Epagri/Estação Experimental de Caçador, Rua Abílio Franco, n. 1.500, C.P. 591, Caçador-SC, Brasil, 89.500-000, marcusvinicius@epagri.sc.gov.br

<sup>3</sup>Dep. de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá/UEM, Av. Colombo, 5.790, Maringá-PR, Brasil, 87.020-900, evanildomantine@uol.com.br

<sup>4</sup>Dep. de Agronomia/UEM, Av. Colombo, 5.790, Maringá-PR, Brasil, 87.020-900, psvfilho@uem.br

<sup>5</sup>Dep. de Agronomia/UEM, Av. Colombo, 5.790, Maringá-PR, Brasil, 87.020-900, mvidigal@uem.br

<sup>6</sup>Dep. de Agronomia/UEM, Av. Colombo, 5.790, Maringá-PR, Brasil, 87.020-900, cascapim@uem.br

## Introdução

A produção mundial de milho é estimada em 774,10 milhões de toneladas (FAO, 2008), sendo os principais produtores os EUA (39%), China (21%), Brasil (7%), México e Argentina (3%). No Brasil, a cultura do milho ocupou na safra agrícola de 2007/08 uma área de 13,99 milhões de hectares, alcançando produção de 59,85 milhões de toneladas de grãos. Dentre os estados brasileiros produtores de milho, destaca-se o Paraná, principal produtor nacional, com área cultivada de 2,8 milhões de hectares, volume estimado em 13,91 milhões de toneladas e produtividade média de 7,0 t ha<sup>-1</sup> no cultivo de verão e 4,0 t ha<sup>-1</sup> na “safrinha” (CONAB, 2008).

Na cultura do milho, entre os fatores que afetam a produtividade, destaca-se o arranjo de plantas, uma vez que uma melhor distribuição das plantas na área resulta na melhoria da eficiência na interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa. Tal fato propicia o aumento da taxa assimilatória líquida, e conseqüentemente resulta em incrementos no rendimento de grãos (ARGENTA et al., 2001).

Aliada à expansão do sistema de produção milho x soja e ao desenvolvimento de novos híbridos, a condução de lavouras de milho em espaçamentos mais adensados vem sendo adotada pelos agricultores com o objetivo de facilitar as práticas culturais e de potencializar o rendimento de grãos (MARCHÃO et al., 2005). Além disso, os híbridos modernos de milho toleram maior densidade de plantas do que os híbridos antigos (TOLLENAAR, 1992), visto que estes híbridos normalmente apresentam ciclo mais curto, porte mais baixo, menor número de folhas e folhas com angulação mais ereta. Tais características implicam em incremento no potencial de resposta das plantas ao aumento da densidade populacional (DWER et al., 1991; RUSSEL, 1991), e geralmente são típicas em híbridos simples. Nunes et al. (1992) sugerem, ainda, a necessidade de ajuste da densidade populacional e da época de semeadura à cada híbrido ou variedade como forma de maximizar a expressão do potencial produtivo dos mesmos.

Entretanto, os efeitos do espaçamento entre linhas e da densidade populacional sobre o rendimento

de grãos de milho ainda não foram muito bem elucidados, uma vez que alguns estudos evidenciam resultados contrastantes. Enquanto Sangoi et al. (2001) reportaram incremento no rendimento de grãos de milho em função da redução no espaçamento entre linhas, Westgate et al. (1997) e Argenta et al. (2001) não identificaram tal diferença.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do espaçamento entre linhas e da densidade populacional de plantas sobre a produção e a massa de mil grãos de dois híbridos simples de milho, na região de Apucarana, Norte do Paraná.

## Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos a campo, no período de setembro a fevereiro dos anos agrícolas de 2005/06 e 2006/07, na Fazenda Bovo, situada no município de Apucarana, Norte do Estado do Paraná que possui as seguintes coordenadas geográficas: 23°31'30" de latitude Sul, 51°24'20" de longitude Oeste, e altitude média de 868 m.

Os experimentos foram instalados em área de ocorrência de solo Nitossolo Vermelho eutrófico latossólico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006), cujos resultados da análise química estão apresentados na Tabela 1.

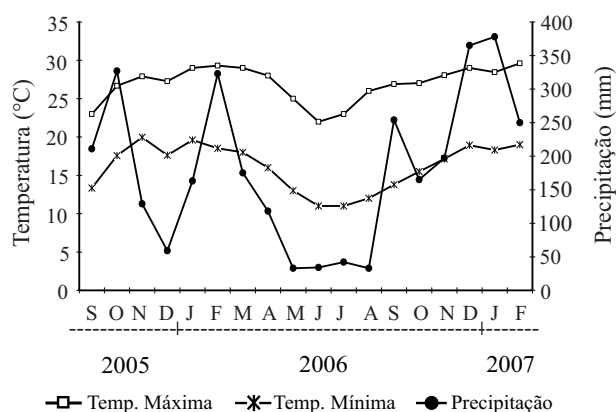
O clima do município, segundo a classificação de Köppen, pertence ao tipo Cfb, tropical semi-úmido, ocasionalmente seco no inverno. As condições térmicas locais predominantes são temperaturas médias anuais de 20,3 °C (máxima de 26 °C e a mínima de 16 °C), com ventos dominantes que circulam de Nordeste para Sudoeste, e com precipitação média anual de 1.637 mm. As médias de precipitação pluvial e de temperaturas máximas e mínimas, durante o período de condução dos experimentos, estão apresentadas na Figura 1.

O solo da área experimental foi cultivado por mais de dez anos no sistema de produção milho x trigo x soja, em sistema de plantio direto. Sete dias antes da realização da semeadura, foi efetuada a dessecação das plantas daninhas utilizando-se o herbicida Glifosate, na dose de 960 g.i.a. ha<sup>-1</sup> (ANDREI, 2005).

**Tabela 1** - Resultado de análise química da amostra de solo (camada de 0-20 cm) 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>	V	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	69,15	6,73	18,10

\*Análises efetuadas no Laboratório Laborsolo, Londrina, PR



**Figura 1** - Valores médios mensais de precipitação pluvial e de temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante o período de setembro/2005 a fevereiro/2007, Apucarana, PR

Os tratamentos foram delineados em blocos completos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 4 \times 2$ , resultante da combinação entre dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m), dois híbridos simples de milho (DKB 234 e DKB 214), quatro densidades populacionais (45.000; 60.000; 75.000 e 90.000 plantas  $ha^{-1}$ ) e dois anos agrícolas (2005/06 e 2006/07), perfazendo um total de 128 unidades experimentais.

No espaçamento entre linhas de 0,45 m as unidades experimentais foram constituídas de dez linhas de 8,0 m de comprimento. A área útil (16,2  $m^2$ ) constituiu-se das seis linhas centrais, excluindo-se 1,0 m de cada extremidade. Por sua vez, no espaçamento de 0,90 m, as unidades experimentais foram constituídas de cinco linhas de plantas, com 8,0 m de comprimento. A área útil (16,2  $m^2$ ) constituiu-se das três linhas centrais, excluindo-se 1,0 m de cada extremidade.

Em ambos os anos agrícolas a semeadura foi efetuada manualmente, utilizando matraca especial regulável, ao final do mês de setembro. A adubação de plantio consistiu da aplicação de 400  $kg\ ha^{-1}$  da fórmula 11-28-16 (NPK). O controle de pragas iniciais (*Diabrotica speciosa*, *Elasmopalpus lignosellus*, *Spodoptera frugiperda*, *Syntermes molestus*, *Dilobderus abderus*) foi efetuada mediante o tratamento de sementes (ANDREI, 2005) com os inseticidas Imidacloprid (240 g.i.a.  $100\ kg^{-1}$ ) e Thiodicarb (700 g.i.a.  $100\ kg^{-1}$ ).

Por ocasião do estágio  $V_4$  (RITCHIE; HANWAY, 1993) efetuou-se o desbaste a fim de ajustar a densidade populacional de plantas aos valores definidos em cada tratamento. Posteriormente, entre os estádios  $V_4$  e  $V_8$  foram realizadas duas adubações nitrogenadas de cobertura na forma de uréia a lanço, cujas aplicações

totalizaram 180  $kg\ de\ N\ ha^{-1}$ . O controle de plantas daninhas foi efetuado mediante o uso do herbicida Atrazine, na dosagem de 3,25  $kg.i.a.\ ha^{-1}$  (ANDREI, 2005), aplicado em pós-emergência. O controle de pragas (*Elasmopalpus lignosellus*, *Mocis latipes*, *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea*, *Diatraea saccharalis*) foi efetuado mediante a aplicação de inseticida Methamidophos e Lufenuron, nas dosagens de 300 e 15 g.i.a.  $ha^{-1}$ , respectivamente (ANDREI, 2005).

A colheita foi realizada manualmente, e as espigas debulhadas com debulhador mecânico estacionário. Após a debulha, a umidade dos grãos foi avaliada por meio de determinador de umidade universal, marca Dickey-John multi-grain. A produção de grãos foi corrigida para a umidade padrão de 13% e convertida em escala de  $kg\ ha^{-1}$ . A massa de mil grãos foi determinada mediante a pesagem, em balança semi-analítica com precisão de 1,0 g, de oito subamostras de 100 grãos retiradas aleatoriamente da massa total de grãos de cada unidade experimental, com correção de umidade para 13%.

Os dados experimentais foram submetidos, inicialmente, à análise de variância individual, ocasião em que se verificou a pressuposição de homogeneidade das variâncias residuais entre ambientes (CRUZ; REGAZZI, 2001). A seguir, procedeu-se a análise de variância conjunta a fim de verificar o efeito das interações entre os fatores investigados sobre a produção de grãos e a massa de mil grãos. O desdobramento do efeito da densidade populacional de plantas foi realizado mediante o emprego de análise de regressão linear e quadrática (CRUZ; REGAZZI, 2001). As análises estatísticas foram efetuadas mediante emprego do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

## Resultados e discussão

A análise de variância a partir dos dados de produção de grãos evidenciou diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) para os efeitos de híbrido, espaçamento entre linhas, densidade populacional, bem como 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 entre fatores não foi verificado efeito significativo (Tabela 2).

Para a massa de mil grãos verificou-se diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) apenas para os efeitos médios de híbrido, espaçamento entre linhas, densidade populacional e ano agrícola, enquanto que nenhuma das interações afetou significativamente ( $P > 0,05$ ) a massa de mil grãos

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância conjunta da produção de grãos (PROD) e da massa de mil grãos (MMG) de dois híbridos de milho avaliados em dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades populacionais, durante dois anos agrícolas

Fonte de variação	G.L.	PROD			MMG		
		Q.M.	F	P > Fc	Q.M.	F	P > Fc
Híbrido (H)	1	1.913.012,010*	5,58	0,020	61.080,804**	151,99	0,000
Espaç. entre linhas (E)	1	13.947.847,341**	40,69	0,000	3.221,536**	8,02	0,006
Dens. populacional (D)	3	13.374.928,434**	39,02	0,000	3.564,152**	8,87	0,000
Ano	1	70.587,865 <sup>ns</sup>	0,50	0,482	109.596,841**	272,72	0,000
Repetição/Ano	6	10.866,960 <sup>ns</sup>	1,78	0,111	560,358 <sup>ns</sup>	1,39	0,226
H x E	1	36.378,374 <sup>ns</sup>	0,98	0,325	946,614 <sup>ns</sup>	2,36	0,128
H x D	3	515.694,384**	4,42	0,006	704,794 <sup>ns</sup>	1,75	0,162
H x Ano	1	204.581,557**	9,35	0,003	1.166,385 <sup>ns</sup>	2,90	0,092
E x D	3	188.947,132 <sup>ns</sup>	0,55	0,649	248,948 <sup>ns</sup>	0,62	0,604
E x Ano	1	945.395,066**	17,34	0,000	353,347 <sup>ns</sup>	0,88	0,351
D x Ano	3	122.549,269**	12,03	0,000	67,692 <sup>ns</sup>	0,17	0,918
H x E x D	3	642.752,932 <sup>ns</sup>	1,86	0,139	445,076 <sup>ns</sup>	1,11	0,350
H x E x Ano	1	3.667,747 <sup>ns</sup>	0,01	0,918	87,070 <sup>ns</sup>	0,22	0,643
H x D x Ano	3	1.158.640,702*	3,38	0,022	540,676 <sup>ns</sup>	1,35	0,265
E x D x Ano	3	445.892,568 <sup>ns</sup>	1,30	0,279	658,675 <sup>ns</sup>	1,64	0,186
H x E x D x Ano	3	115.608,455 <sup>ns</sup>	0,34	0,798	787,110 <sup>ns</sup>	1,96	0,126
Resíduo	90	342.793,329			401,865		
C.V.(%)		5,52			5,22		
Média Geral		10.605,082			384,25		

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

(Tabela 2). Desta forma, o desdobramento das interações foi realizado apenas para os dados de produção de grãos, enquanto que para a massa de mil grãos os fatores foram avaliados apenas no seu efeito médio. Vale ressaltar que a precisão experimental foi elevada para ambas as características avaliadas, visto que os coeficientes de variação não ultrapassaram valores de 5,5% (Tabela 2).

O desdobramento do efeito de híbridos, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, sobre a produção de grãos permitiu 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 (Tabela 3). Isto pode estar relacionado à maior prolificidade do híbrido DKB 234, mesmo quando cultivado em baixas densidades populacionais (MANTINE, 2008), aliado às melhores condições ambientais ocorridas no segundo ano agrícola (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>, por sua vez, não foi significativo em ambos os anos de avaliação, fato 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).

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 (Tabela 3). As elevadas médias de produção de grãos alcançadas nesta condição devem-se ao fato dos híbridos DKB 214 e DKB 234 apresentarem ciclo curto (superprecoce) e baixa estatura, resultando em incrementos significativos no rendimento de grãos em decorrência da redução do espaçamento entre linhas (ALMEIDA et al., 2000; ARGENTA et al., 2001). A menor produção de grãos do híbrido DKB 214 ocorrida no ano agrícola de 2005/06 provavelmente esteve associada à menor precipitação pluvial (Figura 1) verificada nas fases de florescimento pleno e de enchimento de grãos.

**Tabela 3** - Desdobramento do efeito de híbridos, em função de espaçamento entre linhas x densidade populacional x ano, referente à característica produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)

Espaçamento entre linhas (m)	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano 1 (2005/06)		Ano 2 (2006/07)	
		DKB 234	DKB 214	DKB 234	DKB 214
0,45	45.000	10.123 a	9.664 a	9.441 a	8.569 b
	60.000	11.017 a	10.495 a	9.844 a	9.974 a
	75.000	11.349 a	10.551 a	10.478 a	10.421 a
	90.000	10.924 a	10.093 b	10.410 a	11.045 a
0,90	45.000	10.608 a	9.765 b	10.296 a	8.892 b
	60.000	11.174 a	10.787 a	10.793 a	11.418 a
	75.000	11.446 a	11.302 a	11.074 b	12.174 a
	90.000	10.735 a	10.231 a	11.923 a	12.343 a

Para cada ano agrícola, médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente ( $P > 0,05$ ) entre si pelo teste F

Na condição de espaçamento entre linhas de 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 (Tabela 3). Na densidade populacional para 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, verificou-se que não houve diferença significativa na produção 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 produção de grãos superior àquela do híbrido DKB 234, evidenciando que as condições ambientais influenciaram significativamente nesse resultado. Na condição de densidade populacional de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> e espaçamento entre linhas de 0,90 m, por sua vez, não foi verificada diferença significativa da produção dos híbridos DKB 214 e DKB 234 em ambos os anos de avaliação (Tabela 3).

As elevadas médias de produção de grãos dos dois híbridos de milho avaliados neste estudo demonstraram que a maximização da produção dependeu da distribuição espacial de plantas na área (SANGOI et al., 2006a), da prolificidade dos híbridos (THOMISON; JORDAN, 1995) e das condições climáticas observadas no 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 agrícola, pode-se observar na Tabela 4 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 Westgate et al. (1997). Da mesma forma, Pereira et al. (2008) também verificaram que

**Tabela 4** - Desdobramento do efeito de espaçamento entre linhas em função de híbridos x densidade populacional x ano, referente à característica produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)

Híbrido	Densidade populacional (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ano 1 (2005/06)		Ano 2 (2006/07)	
		0,45 m	0,90 m	0,45 m	0,90 m
DKB 234	45.000	10.123 a	10.608 a	9.441 b	10.296 a
	60.000	11.017 a	11.174 a	9.844 b	10.793 a
	75.000	11.349 a	11.446 a	10.478 a	11.074 a
	90.000	10.924 a	10.735 a	10.410 b	11.923 a
DKB 214	45.000	9.664 a	9.765 a	8.569 a	8.892 a
	60.000	10.495 a	10.787 a	9.974 b	11.418 a
	75.000	10.551 a	11.302 a	10.421 b	12.174 a
	90.000	10.093 a	10.231 a	11.045 b	12.343 a

Para cada ano agrícola, médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente ( $P > 0,05$ ) entre si pelo teste F

o espaçamento entre linhas não afetou a produção de grãos do híbrido AGN30A00 cultivado em densidades populacionais de 60.000 e 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

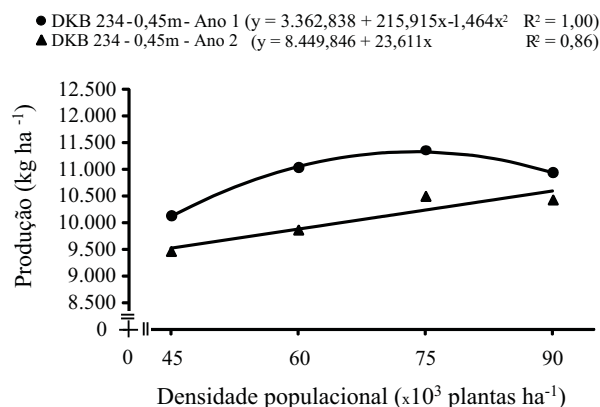
Esta ausência de significância para o efeito do espaçamento entre linhas na produção de grãos dos dois híbridos pode estar associada ao fato de que, nessa situação, mesmo ocorrendo distribuição espacial mais uniforme das plantas, houve maior competição por luz entre as plantas de linhas distintas (TOLLENAAR et al., 1992). No entanto, Argenta et al. (2001) e Sangoi et al. (2001) reportaram incremento linear da produtividade de grãos de milho em função da redução do espaçamento entre linhas.

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 entre níveis dos fatores analisados (Tabela 4). Tal resultado não foi verificado apenas para o híbrido DKB 234 na condição de densidade populacional de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, bem como para o híbrido DKB 214 sob densidade populacional de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

A variação no comportamento fenotípico dos híbridos DKB 214 e DKB 234, em função de diferentes espaçamentos entre linhas, observada no presente estudo (Tabela 4), 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 (ARGENTA et al., 2001; SANGOI et al., 2002; TOLLENAAR et al., 1992). 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 (Tabela 4), evidenciou que as condições ambientais deste ano agrícola (2006/07) foram mais favoráveis (Figura 1), o que minimizou a competição entre plantas da mesma linha e, portanto, favoreceu a expressão do potencial genético dos híbridos de milho.

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional, em função de híbrido x espaçamento entre linhas x ano agrícola, verificou-se que no ano agrícola de 2005/06 e espaçamento entre linhas de 0,45 m, o híbrido DKB 234 respondeu de forma quadrática ao aumento da densidade populacional de plantas (Figura 2). A resposta fenotípica máxima estimada pela regressão quadrática foi de 11.324 kg ha<sup>-1</sup> na densidade populacional de 73.741 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 2).

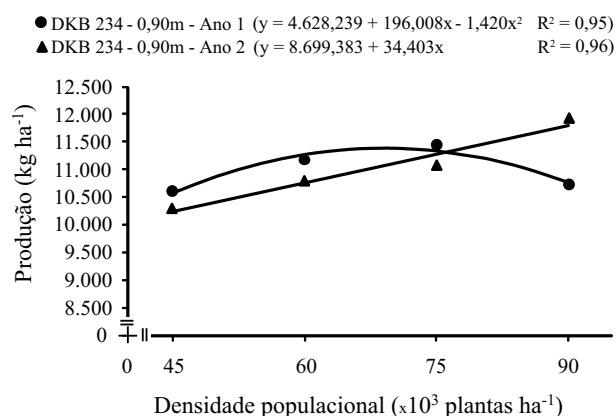
No entanto, no ano agrícola de 2006/07 a resposta fenotípica do híbrido DKB 234 no espaçamento entre linhas de 0,45 m apresentou comportamento linear crescente (Figura 2), dentro do espectro de densidades populacionais avaliadas (45.000 - 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>), ou seja, o híbrido DKB 234, quando cultivado em espaçamento entre linhas de



**Figura 2** - Produtividade de grãos do híbrido DKB 234 em função da densidade populacional de plantas, cultivado em espaçamento entre linhas de 0,45 m, nos anos agrícolas de 2005/06 e de 2006/07

0,45 m em 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> em resposta ao acréscimo de cada 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional.

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 (Figura 3). No primeiro ano agrícola (2005/06) a regressão quadrática permitiu verificar que a densidade populacional de plantas que proporcionou as médias de produção de grãos mais elevadas do híbrido DKB 234, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, oscilou entre 65.000 e 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com ponto de máximo em 69.017 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 3). A produção de grãos na densidade populacional ótima, estimada pela equação



**Figura 3** - Produtividade de grãos do híbrido DKB 234 em função da densidade populacional de plantas, cultivado em espaçamento entre linhas de 0,90 m, nos anos agrícolas de 2005/06 e de 2006/07

de regressão, foi de 11.392 kg ha<sup>-1</sup>. Tal valor corresponde ao potencial produtivo aproximado do híbrido DKB 234, quando cultivado em espaçamento entre linhas de 0,90 m, em condições de clima e solo semelhantes àquelas predominantes no ambiente em que foi desenvolvido este estudo.

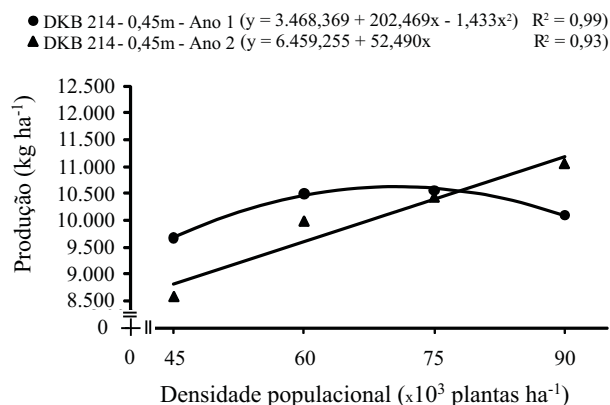
No segundo ano agrícola (2006/07) a produção de grãos do híbrido DKB 234, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, foi expressa por um modelo linear (Figura 3), indicando que, em condições ambientais favoráveis, o elevado potencial produtivo do híbrido está intimamente relacionado com a resposta à densidade 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 34,40 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos, quando cultivado em espaçamento de 0,90 m e sob condições ambientais semelhantes àquelas ocorridas no ano agrícola de 2006/07. Conforme Sangoi et al. (2001), 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. Vale ressaltar que, foi verificada elevada confiabilidade de resposta dos modelos matemáticos ajustados para ambos os anos agrícolas, uma vez que os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) se mostraram muito próximos de 1,0 (Figura 3).

No que se refere ao desdobramento do efeito da densidade populacional sobre a resposta fenotípica do híbrido DKB 214 no espaçamento entre linhas de 0,45 m, pode-se observar que, no ano agrícola de 2005/06, um modelo quadrático explicou a variação fenotípica para a produção de grãos (Figura 4). O modelo ajustado permite inferir que, em condições ambientais semelhantes às ocorridas em 2005/06, a densidade populacional ótima do híbrido DKB 214, quando cultivado em espaçamento entre linhas de 0,45 m, foi de 70.645 plantas ha<sup>-1</sup>, com potencial de resposta máxima próximo de 10.620 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 4).

Por sua vez, no ano agrícola de 2006/07, no espaçamento de 0,45 m, a variação na produção de grãos do híbrido DKB 214 foi explicada por um modelo de regressão linear (Figura 4), sendo que o incremento de cada 1.000 plantas ha<sup>-1</sup> na densidade populacional, a produtividade de grãos tende a ser acrescida em 52,49 kg ha<sup>-1</sup>.

A variação de comportamento fenotípico para a produção de grãos do híbrido DKB 214 nos dois anos agrícolas avaliados pode ser explicada pela melhor regularidade da precipitação pluvial no segundo ano agrícola (Figura 1), especialmente durante o período de florescimento pleno e início do enchimento de grãos, períodos esses que são críticos à produção de grãos na cultura do milho (BOLAÑOS; EDMEADES, 1996).

O comportamento linear da produção de grãos do híbrido DKB 214, em função da densidade populacional,



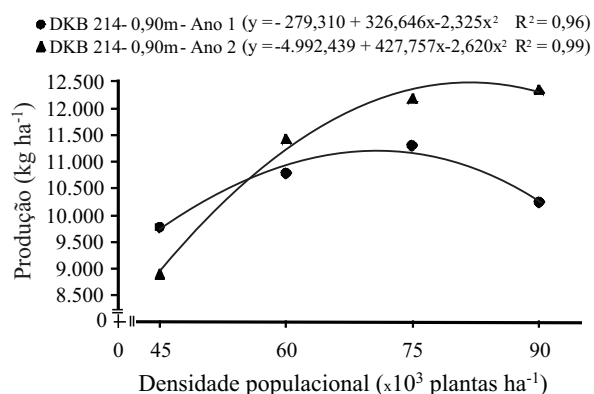
**Figura 4** - Produção de grãos do híbrido DKB 214 em função da densidade populacional de plantas, cultivado em espaçamento entre linhas de 0,45 m, nos anos agrícolas de 2005/06 e de 2006/07

no espaçamento de 0,45 m, provavelmente esteve associado ao elevado potencial produtivo do mesmo (SANGOI et al., 2006a; SILVA et al., 1999), que é um híbrido simples, precoce, com folhas semi-eretas (DEKALB, 2008). Tais híbridos simples conseguem aproveitar melhor os efeitos da heterose quando são submetidos a condições edafoclimáticas favoráveis. Além disso, a maior uniformidade morfológica e fenológica destes híbridos propiciam a otimização do aproveitamento de água, luminosidade e nutrientes, principalmente quando são submetidos a densidades populacionais elevadas (LIU et al., 2004; MADDONI; OTEGUI, 2004).

Por sua vez, no espaçamento entre linhas de 0,90 m, a produção de grãos do híbrido DKB 214 foi representada por um modelo de regressão quadrática em ambos os anos de avaliação (Figura 5). Observa-se que, em condições ambientais semelhantes às ocorridas no ano agrícola de 2005/06, médias de produção de grãos satisfatórias 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 5). Derivando-se a função quadrática  $y = -279,310 + 326,646x - 2,325x^2$ , verificou-se que a densidade populacional no ponto de inflexão da função foi de 70.246 plantas ha<sup>-1</sup>, cujo potencial produtivo máximo foi de 11.194 kg ha<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes também foram reportados por Marchão et al. (2005), cujo estudo indicou que, no Brasil, a produção de grãos de híbridos de milho atuais é mais elevada quando os mesmos são cultivados sob densidades populacionais variando entre 55.000 e 72.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

No segundo ano agrícola (2006/07), cujo padrão de resposta do híbrido DKB 214 também foi expresso por uma regressão quadrática (Figura 5), a densidade populacional ótima foi de 81.633 plantas ha<sup>-1</sup>, na qual foi estimada uma produção de grãos de 12.467 kg ha<sup>-1</sup>.





**Figura 5** - Produção de grãos do híbrido DKB 214 em função da densidade populacional de plantas, cultivado em espaçamento entre linhas de 0,90 m, nos anos agrícolas de 2005/06 e de 2006/07

Os resultados apresentados permitem inferir que, sob condições ambientais semelhantes àquelas ocorridas no segundo ano agrícola (Figura 1), o cultivo do híbrido DKB 214 em espaçamento entre linhas de 0,90 m e densidades populacionais variando entre 75.000 e 85.000 plantas  $ha^{-1}$  tende a propiciar as médias de produção de grãos mais elevadas (Figura 5). O ponto de máximo da função, estimado em densidade populacional mais elevada que no primeiro ano agrícola, provavelmente esteve associado às melhores condições climáticas ocorridas neste ano (Figura 1), visto que Duveck e Cassmann (1999), Tollenaar e Wu (1999) e Tollenaar e Lee (2002) afirmam que os híbridos de milho atuais exigem condições edafo-climáticas favoráveis e altas densidades populacionais para otimizar seu potencial produtivo. Em geral, elevadas produtividades podem ser obtidas com o cultivo dos híbridos DKB 214 e DKB 234 em densidades populacionais variando entre 65.000 e 80.000 plantas  $ha^{-1}$ .

No que refere à massa de mil grãos, pode-se observar na Tabela 5 que o híbrido DKB 214 superou o 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 que o híbrido DKB 214 se caracteriza pelos grãos “semi-duros”. Resultados semelhantes também foram apresentados por Marchão et al. (2005).

Quanto ao efeito médio do espaçamento entre linhas, observa-se na Tabela 6 que a maior massa de mil grãos foi verificada no espaçamento entre linhas de 0,90 m, embora a literatura reporte que esta característica não é significativamente afetada pelo espaçamento entre linhas (ARGENTA et al., 2001; FLESCHE; VIEIRA, 2004; PEREIRA et al., 2008).

**Tabela 5** - 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)

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

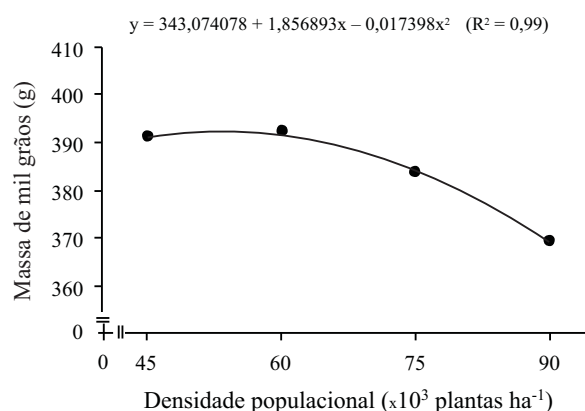
Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste F

**Tabela 6** - 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)

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

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

Por sua vez, o efeito médio da densidade populacional sobre a variação da massa de mil grãos foi explicado por um modelo de regressão quadrática de padrão convexo, com densidade populacional ótima de 53.365 plantas  $ha^{-1}$  e resposta fenotípica máxima de 392,62 g (Figura 6), ou seja, densidades populacionais superiores ao ponto de máximo estimado tendem a propiciar a formação de grãos com massa específica proporcionalmente menor.



**Figura 6** - Efeito médio da densidade populacional sobre a massa de mil grãos de dois híbridos de milho, em dois espaçamentos entre linhas e dois anos agrícolas



Semelhantemente, Silva et al. (1999), Argenta et al. (2001), 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.

Entretanto, vale ressaltar que, a produtividade de um determinado híbrido de milho está relacionada não somente à massa específica dos grãos, mas também o número de grãos produzidos por unidade de área (ANDRADE et al., 2002; VEGA et al., 2001). No presente estudo, embora o híbrido DBK 234 tenha apresentado menor massa de mil grãos, este superou o híbrido DKB 214 em produtividade (Tabela 3), provavelmente em função da sua maior prolificidade (MANTINE, 2008). Isso evidencia que a expressão de outros componentes de produção também está diretamente relacionada à produtividade final de cada híbrido.

## Conclusões

1. De forma geral, o híbrido DKB 234 apresentou maior produtividade de grãos e o híbrido DKB 214 maior massa de mil grãos;
2. A redução do espaçamento entre linhas de 0,90 para 0,45 m afetou muito pouco na variação da produção de grãos, podendo ser usada como opção viável para o cultivo dos híbridos DKB 214 e DKB 234;
3. A densidade populacional ótima para produção de grãos variou de 65.000 a 75.000 plantas ha<sup>-1</sup> para o híbrido DKB 234, e de 70.000 a 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> para o híbrido DKB 214;
4. O efeito médio da densidade populacional sobre a variação da massa de mil grãos permitiu estimar uma densidade populacional ótima de aproximadamente 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

## Referências

- ALMEIDA, M. L. *et al.* 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**, v. 30, n. 01, p. 23-29, 2000.
- ANDRADE, F. H. *et al.* Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. **Crop Science**, v. 42, n. 04, p. 1173-1179, 2002.
- ANDREI, E. **Compendio de defensivos agrícolas**. 7. ed. São Paulo: Organização Andrei Editora LTDA, 2005. 1133 p.
- ARGENTA, G. *et al.* Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 01, p. 71-78, 2001.
- BOLÂNOS, J.; EDMEADES, G. O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, v. 48, n. 01, p. 65-80, 1996.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **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 jul. 2008.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.
- DEKALB. **Safra de verão - Sementes de milho**. Disponível em: <<http://www.dekalb.com.br/sementes.aspx>>. Acesso em: 02 jul. 2008.
- DUVICK, D. N.; CASSMAN, K. G. Post-green revolution trends in yield of temperate maize in the North-Central United States. **Crop Science**, v. 39, n. 06, p. 1622-1630, 1999.
- DWYER, L. M. *et al.* Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis of maize (*Zea mays* L.) hybrids, 1959 to 1988. **Canadian Journal Plant Science**, v. 71, n. 01, p. 1-11, 1991.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 63 p.
- FLESCHE, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamento e densidade de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, n. 01, p. 25-31, 2004.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Crops - Production**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>. Acesso em: 30 jun. 2008.
- LIU, W. *et al.* Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 01, p. 275-280, 2004.
- MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. **Field Crops Research**, v. 85, n. 01, p. 1-13, 2004.
- MANTINE, E. **Arranjo de plantas e desempenho agrônomico de dois híbridos simples de milho**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- MARCHÃO, R. L. *et al.* Densidade de plantas e característica agrônomicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entrelinhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 02, p. 93-101, 2005.
- NUNES, R. P. *et al.* Produtividade do milho (*Zea mays* L.) irrigado em diferentes densidades populacionais e épocas de plantio. **Ciência Agrônoma**, v. 23, n. 01-02, p. 139-147, 1992.
- PEREIRA, F. R. da S. *et al.* Arranjo espacial de plantas de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 01, p. 69-74, 2008.

- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26 p. (Special Report, 48).
- RUSSEL, W. A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, v. 46, n. 01, p. 245-298, 1991.
- SANGOI, L. *et al.* Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 02, p. 271-276, 2001.
- SANGOI, L. *et al.* Bases morfo-fisiológicas para a maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, v. 61, n. 02, p. 101-110, 2002.
- SANGOI, L. *et al.* Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 03, p. 747-755, 2006a.
- SANGOI, L. *et al.* Desempenho agrônomico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 05, n. 02, p. 218-231, 2006b.
- SILVA, P. R. F. *et al.* Resposta de híbridos de milho irrigados à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 04, p. 585-592, 1999.
- THOMISON, P. R.; JORDAN, D. M. Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. **Journal of Production Agriculture**, v. 08, n. 03, p. 394-400, 1995.
- TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, v. 37, n. 02, p. 305-311, 1992.
- TOLLENAAR, M. *et al.* Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, v. 32, n. 02, p. 432-438, 1992.
- TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, v. 39, n. 06, p. 1597-1604, 1999.
- TOLLENAAR, M.; LEE, E. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crop Research**, v. 75, n. 02, p. 161-169, 2002.
- VEGA, C. R. C.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. **Field Crops Research**, v. 72, n. 03, p. 165-173, 2001.
- WESTGATE, M. E. *et al.* Rapid canopy closure for maize production in the Northern US corn belt: radiation use efficiency and grain yield. **Field Crop Research**, v. 49, n. 02-03, p. 249-258, 1997.