

População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho.

Elizeu Luiz Brachtvogel ¹, Francisco Rafael da Silva Pereira ², Simério Carlos Silva Cruz ³,
Magno Luiz de Abreu ⁴, Sílvio José Bicudo ⁵

Resumo – Dentre os principais fatores que interferem na otimização do uso dos recursos do ambiente e maximização do rendimento de grãos em milho, estão a área ocupada pela planta e o arranjo espacial (forma com que se distribuem as plantas na área), interagindo diretamente sobre a competição intraespecífica por fatores do meio. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de diferentes populações de plantas e arranjo espacial na morfologia e rendimento do híbrido simples de milho DOW 2B587 e com isso determinar se o arranjo equidistante reduz a competição intraespecífica. O ensaio foi conduzido em área de Nitossolo Vermelho distroférico, de textura argilosa na safra 2007/2008. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com tratamentos combinados em esquema fatorial 2 x 6 em quatro repetições. Foram avaliadas o índice de área foliar no florescimento e na maturidade fisiológica, a produção de massa de matéria seca por planta e por área no florescimento e na maturidade fisiológica, além de parâmetros agrônômicos de colheita e do rendimento de grãos. Todas as variáveis avaliadas sofreram influência das populações testadas, menos o índice de remobilização e o índice de colheita. Os arranjos espaciais influenciaram apenas o diâmetro de colmo e a relação altura de espiga/altura de planta. De maneira geral, conclui-se que o arranjo espacial equidistante entre plantas, para o híbrido avaliado, não foi efetivo na redução da competição intraespecífica, pois não influenciou a maioria das características morfológicas avaliadas e o rendimento de grãos.

Palavras-chave: espaçamento entre linhas, prática cultural, rendimento de grãos, população de plantas, *Zea mays*.

Plant population, uniform plant spacing and intraspecific competition in maize

Abstract - Among the main factors that affect the optimal use of environmental resources and maximization of grain yield in maize, is the area occupied by the plant and the spatial arrangement (how the plants are distributed), interacting directly on the intraspecific competition by environmental factors. Thus, the objective of this work was to verify the effect of different plant populations and spatial arrangement in morphology and grain yield of the single-cross hybrid DOW 2B587, as well as to determine if the equidistant plant spacing reduces the intraspecific competition. The essay was performed in 2007/2008 growing season, in Botucatu-SP. The experimental design was a randomized block in 4.5 x 10.0 m plots with four replications. It was evaluated the leaf area index at flowering and physiological maturity, the dry matter production per plant and per area at flowering and physiological maturity, as agronomic parameters and grain crop yield. All parameters evaluated were affected by plant populations, except the remobilization and harvesting indexes. The spatial arrangements affected the relationship between ear and plant height and stem diameter. In these specific conditions, it can be affirmed that the corn plant morphology was influenced by plant populations but not by spatial arrangements, and equidistant plant spacing cannot minimize intraspecific plant competition.

Keywords: row distance, agricultural practices, crop yield, plant population, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho apresenta baixa plasticidade de crescimento quando comparada à outras espécies da família Poaceae, pois raramente perfilha efetivamente e possui capacidade de expansão foliar e prolificidade limitadas (Andrade et al., 1999). Além dos híbridos modernos geralmente não perfilharem, usualmente produzem somente uma espiga por planta e, portanto, não possuem a capacidade de compensar eventuais falhas de emergência na lavoura (Argenta et al., 2001a). Assim, para que se obtenham elevados rendimentos de grãos, sugere-se que se deva maximizar a interceptação da radiação solar, por meio da escolha adequada do arranjo de plantas. A associação entre evolução do arranjo de plantas e do aumento do rendimento de grãos de milho tem sido

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Confresa, Confresa, MT, Brasil. E-mail: elizeu.brachtvogel@cfs.ifmt.edu.br.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, Satuba, AL, Brasil. E-mail: pereirafrs@hotmail.com.

³ Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitaria Palmeiras de Goiás, Palmeiras de Goiás, GO, Brasil. E-mail: simerio_cruz@yahoo.com.br.

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Campo Novo dos Parecis, Campo Novo dos Parecis, MT, Brasil. E-mail: magno_abreu@hotmail.com.

⁵ Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: sjbicudo@fca.unesp.br.

reportada na literatura (Sangoi, 2001).

O arranjo de plantas pode ser manipulado por meio de alterações na população de plantas, no espaçamento entre linhas e na distribuição de plantas na linha, sendo que as variações na distância entre plantas na linha e nas entrelinhas conferem os diferentes arranjos espaciais na lavoura (Argenta et al., 2001a).

Teoricamente, o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição uniforme de plantas por área, ou seja, equidistante entre plantas, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes. Plantas espaçadas equidistantemente são capazes de aproveitar melhor os nutrientes, luz e outros fatores de crescimento (Lauer, 1994). No entanto, de acordo com Bullock et al. (1988), modelos de distribuição mais favoráveis em virtude do uso de espaçamentos reduzidos podem aumentar a taxa de crescimento inicial da cultura, levando a uma melhor interceptação e eficiência de uso da radiação solar, resultando em maiores rendimentos de grãos devido ao aumento da produção fotossintética líquida. Portanto, a escolha do arranjo de plantas adequado é importante para maximizar o rendimento de grãos de milho, pois afeta diretamente a interceptação de radiação solar (Loomis & Amthor, 1999; Argenta et al., 2001a), que é um dos principais fatores determinantes do rendimento de grãos (Loomis & Amthor 1999), desde que outros fatores como água e nutrientes estejam disponíveis sem limitações.

Entre as formas existentes de manejo do arranjo espacial, a população de plantas é a que tem maior interferência no rendimento de grãos de milho. No entanto, o aumento da população de plantas apesar de proporcionar ganhos de rendimento de grãos, normalmente afeta os seus componentes negativamente (Dourado Neto et al., 2003), independente da duração do ciclo da planta de milho (Flesch & Vieira, 2004).

Populações de plantas elevadas causam diversas alterações fisiológicas e morfológicas no milho, com respostas diferentes para cada cultivar. As espigas ficam menores, aumenta o número de plantas sem espiga, dentro de certos limites as plantas tendem a apresentar maior altura e os colmos ficam mais finos (Sangoi et al., 2002b; Dourado Neto et al., 2003), os quais juntamente com a maior estatura de plantas, e a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo causada pela alta população de plantas (Argenta et al., 2001b), contribuem para o aumento do acamamento.

Assim, o objetivo deste trabalho foi de verificar o efeito de diferentes populações de plantas e arranjo espacial na morfologia e rendimento de grãos do híbrido simples de milho DOW 2B587 e com isso determinar se o arranjo equidistante reduz a competição intraespecífica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Botucatu - SP, nas coordenadas geográficas 22° 49' S e 48°25'W, altitude de 770 m, em área cujo solo foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférrico, de textura argilosa (Embrapa, 1999). O clima da região é, segundo a caracterização de Köppen, do tipo Cwa, tropical úmido, com inverno seco (junho a agosto) e verão chuvoso (dezembro a fevereiro). A condução do experimento foi realizada sem suplementação hídrica, e durante o período foram observadas precipitação total de 718 mm e temperatura média de 22,7 °C. As temperaturas máximas e mínimas registradas foram em média, de 27,0 °C e 18,4 °C, respectivamente.

Anteriormente à instalação do experimento, realizou-se coleta de amostra de solo para análise química conforme metodologia descrita por Raij et al. (1996), cujos resultados foram: pH em $\text{CaCl}_2 = 5,1$; M.O. = 24 g dm^{-3} ; P(resina) = 18 mg dm^{-3} ; $\text{Al}^{3+} = 1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 38 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{K} = 2,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 31 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{SB} = 48 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{CTC} = 85 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{V}\% = 56$. A calagem foi realizada dois meses antes da semeadura para elevação da saturação por bases, com posterior aração e gradagem em preparo convencional do solo. Assim como a calagem, as adubações também foram realizadas conforme critérios indicados em Raij et al. (1996).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 2,

com quatro repetições, e os tratamentos aplicados em parcelas de 4,5 x 10,0 m de largura e comprimento respectivamente. Foi utilizado o híbrido simples de milho DOW 2B587, cujas características são ciclo precoce, porte baixo, arquitetura de folhas normal e grãos de coloração amarelo alaranjada com textura semidentada. Foram testadas seis populações de plantas combinadas em duas formas de arranjo espacial de plantas, em esquema fatorial totalizando 12 tratamentos. As populações de plantas utilizadas foram as de 30.000, 45.000, 60.000, 75.000, 90.000 e 105.000 plantas ha⁻¹, e as formas de arranjo espacial de plantas empregadas foram o espaçamento entrelinhas 0,80 m, assumido como o convencionalmente utilizado, e o espaçamento que permitiu a equidistância entre plantas em cada população. No arranjo espacial equidistante entre plantas, as distâncias entre plantas foram iguais na linha e na entrelinha, as quais foram obtidas efetuando-se a raiz quadrada da área destinada a cada planta nas respectivas populações.

O experimento foi instalado por meio de semeadura convencional, com sulcagem por um sistema adaptado com enxadas tipo “asa de andorinha”. As distribuições das sementes e do fertilizante - 300 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 08-28-16 - foram feitas manualmente em 04/12/2007. A emergência das plântulas ocorreu no dia 10/12/2008.

O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de aplicação de herbicida em pós-emergência com o ingrediente ativo nicosulfuron, na dose de 16 g i.a. ha⁻¹, e atrazine, na dose de 1.250 g i.a. ha⁻¹, dez dias após a emergência das plântulas. Para controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), foi utilizado produto formulado com ingrediente ativo Spinosad, na dose de 25 g ha⁻¹. Em ambas as aplicações foi empregado pulverizador do tipo tratorizado com volume de calda de 200 l ha⁻¹. Foi realizada adubação nitrogenada e potássica em cobertura, tendo como fontes o sulfato de amônio e o cloreto de potássio, nas doses de 120 kg N ha⁻¹ e 40 kg K₂O ha⁻¹, respectivamente, e realizada quando as plantas apresentavam seis folhas totalmente desdobradas, conforme indicado em Rajj et al. (1996).

Foram avaliadas a altura de plantas (A), a altura de inserção de espiga (AIE) e o diâmetro do colmo (DC), que corresponderam à média tomada aleatoriamente de 10 plantas da área útil de cada parcela, no florescimento, e calculada a relação entre altura da espiga e altura da planta (AIE/A). Também foram avaliados o índice de área foliar nos estádios fenológicos de florescimento (IAFf) e maturidade fisiológica (IAFm), a massa de matéria seca por planta, no florescimento [MS/PL(f)] e na maturidade fisiológica [MS/PL(m)], a massa de matéria seca por área no florescimento (MST f) e na maturidade fisiológica (MST m), o índice de colheita (IC), o índice de remobilização (IR) de acordo com Rajcan & Tollenaar (1999) e o comprimento dos entrenós do colmo no florescimento. Essas variáveis foram avaliadas pela média de quatro plantas provenientes da área útil da parcela. e o rendimento de grãos pela colheita manual das espigas da área útil da parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F com uso do programa estatístico SISVAR. Quando constatada significância dos fatores testados, foi realizado o teste de média para arranjo espacial de plantas, e para populações, análise de regressão, calculada para equações de primeiro e segundo graus. Em caso de interação entre os fatores testados, procedeu-se desdobramento do fator população para cada arranjo espacial de plantas. Foram consideradas apenas as equações significativas a 1 (**) e 5 (*) % de probabilidade pelo teste F; quando ambas apresentaram significância, foi feita a opção por aquela com maior coeficiente de determinação (R²).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância para os caracteres morfológicos avaliados foram apresentados nas Tabelas 1 e 2, com os valores de F calculados para as causas de variação, bem como o desdobramento dos graus de liberdade para as populações e as médias dos arranjos populacionais.

O arranjo populacional influenciou significativamente apenas a relação AIE/A e o DC, enquanto

que a população alterou todas as variáveis estudadas, exceto IR e IC (Tabelas 1 e 2). Foi detectada interação estatisticamente significativa entre população de plantas e arranjo apenas para IAFf.

A altura de plantas foi influenciada pelas populações de forma quadrática, o que também foi observado por Marchão et al. (2005) e Sangoi (2001). A resposta está relacionada ao efeito da competição intraespecífica por luz, com consequente estímulo da dominância apical das plantas. Argenta et al. (2001b), também verificaram um aumento em altura de plantas, conforme aumentou a população de plantas de 40.000 para 100.000 plantas ha⁻¹

Tabela 1. Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as características morfológicas altura de planta (A) (cm), altura de inserção de espiga (AIE) (cm), relação altura de inserção de espiga/altura de planta (AIE/A), diâmetro do colmo (DC) (mm), índice de área foliar no florescimento (IAFf) e na maturidade fisiológica (IAFm) de plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Parâmetros					
	A	AIE	AIE/A	DC	IAFf	IAFm
População (P)	16,853** ⁽¹⁾	38,971**	12,247**	66,177**	318,382**	10,079**
Modelo ⁽³⁾	Q*	Q*	L**	Q*	Q**	Q*
Arranjo (A)	2,799 NS	1,254 NS	6,548*	6,045*	0,128 NS	0,226 NS
Convencional	207,53 a ⁽²⁾	120,99 a	0,5824 b	28,55 b	2,9486 a	1,4111 a
Equidistante	204,77 a	122,40 a	0,5970 a	29,51 a	2,9649 a	1,4591 a
P x D	1,744 NS	2,026 NS	0,448 NS	0,820 NS	3,589*	0,960 NS
Bloco	1,212 NS	3,411*	5,095*	9,662 **	7,550**	12,462**
Média	206,15	121,69	0,5897	29,03	2,9567	1,4351
C.V. (%)	2,77	3,59	3,36	4,66	5,33	24,39
R ² (%)	0,85	0,95	0,97	0,98	1,00	0,94

⁽¹⁾ NS: não significativo (P>0,05); *: P<0,05; **: P< 0,01. ⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste tukey (P>0,05). ⁽³⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

O fato da altura de plantas não ter sido afetada pelo arranjo populacional concorda com os dados obtidos por Alvarez et al. (2006), que concluíram que o aumento da população de plantas proporciona aumento na altura de planta, mas não o espaçamento entre linhas utilizado. O mesmo não foi detectado por Modolo et al. (2010), os quais obtiveram plantas menores em espaçamentos reduzidos.

Os resultados do aumento de altura de inserção de espiga do presente estudo concordam com os encontrados por Marchão et al. (2005), em que os autores também detectaram elevação na altura de inserção de espigas com o aumento da população de plantas dos cultivares testados. Também Alvarez et al. (2006) verificaram que tanto a redução do espaçamento entre linhas quanto o aumento na população de plantas altera a altura de inserção de espiga, o que concorda parcialmente com os dados obtidos neste estudo, pois os arranjos testados não alteraram tal característica.

Conforme já mencionado, a relação entre altura de inserção de espiga e altura de planta foi influenciada por ambos os fatores testados arranjo e população de plantas (Tabela 1) sem haver interação. O arranjo equidistante entre plantas promoveu, em média, plantas com altura de inserção de espiga maior em relação à altura total da planta, quando se comparou ao arranjo convencionalmente utilizado. Houve aumento linear sobre a relação altura de espiga/altura de planta (Tabela 3), confirmando o efeito de estiolamento reportado por Rajcan & Swanton (2001) e Sangoi et al. (2002b) em diferentes populações de plantas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância com valores de F calculado para as características morfológicas massa de matéria seca por planta (g) no florescimento [MS/PL(f)] e maturidade fisiológica [MS/PL(m)], massa de matéria seca por área (kg ha⁻¹) no florescimento (MSTf) e na maturidade fisiológica (MSTm), índice de remobilização (IR), índice de colheita (IC) e rendimento de grãos (RG) (kg ha⁻¹) de plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Parâmetros						
	MS/Pl(f)	MS/Pl(m)	MSTf	MSTm	IR	IC	RG
População(P)	71,830** ⁽¹⁾	45,328**	54,930**	19,815**	1,485NS	1,057NS	2,791*
Modelo ⁽³⁾	Q**	L**	Q**	Q**	-	-	Q**
Arranjo (A)	0,334NS	1,176NS	0,068NS	0,797NS	1,163NS	0,080NS	0,460NS
Convencional	157,17a	312,26a	9711,9a	20826,9a	22,21a	0,5100a	11031,9a
Eqüidistante	159,50a	317,01a	9768,4a	21314,5a	18,52a	0,5082a	11365,5a
P x D	1,428NS	0,786NS	1,483NS	1,517NS	0,734NS	0,634NS	0,931NS
Bloco	6,911**	7,235**	6,323**	6,001**	6,520**	0,311NS	2,229NS
Média	158,33	314,63	9.740,1	21070,7	20,3600	0,5091	11.198,7
C.V. (%)	8,78	4,82	7,68	8,98	58,19	4,29	15,22
R ² (%)	0,9858	0,9755	0,9705	0,9817	0,7683	-	0,9454

⁽¹⁾ NS: não significativo (P>0,05); *: P<0,05; **: P< 0,01. ⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste tukey (P>0,05). ⁽³⁾ L: equação linear, Q: equação quadrática.

Houve decréscimo do diâmetro do colmo à medida que se aumentou a população de plantas (Tabela 3), confirmando os resultados de diversos autores (Sangoi et al., 2002b; Dourado Neto et al., 2003). Em elevadas populações, as plantas respondem com um crescimento mais rápido a fim de evitar o sombreamento e aumentar suas chances de crescer acima do dossel, sacrificando o desenvolvimento do diâmetro do colmo e área foliar, tal qual observado neste trabalho. O efeito do estiolamento (aumento em altura) com aumento da população de plantas observado neste trabalho é confirmado por Rajcan & Swanton (2001) e Dourado Neto et al. (2003), que o atribuem a alterações devido à quantidade e qualidade da radiação incidente em ambientes de elevada competição intraespecífica. O porte das plantas de milho deve ser preferencialmente de médio à baixo, com o objetivo de obter maior eficiência na colheita mecânica e evitar problemas de quebra e acamamento. Geralmente, plantas de porte baixo toleram maiores populações de plantas, mantendo a uniformidade das espigas. Nas populações de plantas mais altas, a relação AIE/A mais elevada contribui para o acamamento e quebra de colmo pois, geralmente, nestas situações o diâmetro de colmo é menor. Estas características são fundamentais, pois quanto maior é a relação entre altura de inserção da espiga e estatura da planta, mais deslocado estará o centro de gravidade da planta, e portanto, maior possibilidade de quebra de colmos, uma vez que o milho aloca cerca de 50% da fitomassa total nos grãos ao final do ciclo (Sangoi et al., 2002a).

Independentemente da população de plantas, foi constatado maior diâmetro do colmo no espaçamento equidistante, quando comparado ao espaçamento convencionalmente utilizado (Tabela 1). Dourado Neto et al. (2003) também constataram maior diâmetro de colmo no menor espaçamento entrelinhas, em elevadas populações, independe do genótipo estudado. Este fato tem sido atribuído à maior interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura no espaçamento equidistante, minimizando a competição intraespecífica por luz em estádios iniciais e anteriores ao florescimento (Bullock et al., 1988).

Tabela 3. Equações de regressão para os características morfológicas altura de planta (A), altura de inserção de espiga (AIE), relação altura de inserção de espiga/altura de planta (AIE/A), diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar no florescimento (IAFf) e na maturidade fisiológica (IAFm), massa de matéria seca por planta no florescimento [MS/PL(f)] e maturidade fisiológica [MS/PL(m)], massa de matéria seca por área no florescimento (MSTf) e na maturidade fisiológica (MSTm), e rendimento de grãos (RG), em função de populações de plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Parâmetro	Equação regressão	R ²
A	$\hat{y} = 172,63 + 0,0008x - 4E^{-09}x^2$	0,9321*(¹)
AIE	$\hat{y} = 87,505 + 0,0007x - 3E^{-09}x^2$	0,9898*
AIE/A	$\hat{y} = 0,5317 + 9E^{-07}x$	0,9702**
DC	$\hat{y} = 41,194 - 0,0002x + 7E^{-10}x^2$	0,9891*
IAFf	$\hat{y} = 0,2287 + 5E^{-05}x - 1E^{-10}x^2$	0,9883**
IAFm	$\hat{y} = 1,3591 + 2E^{-05}x - 2E^{-10}x^2$	0,9419*
MS/Pl (f)	$\hat{y} = 285,55 - 0,0025x + 8E^{-09}x^2$	0,9583*
MS/Pl (m)	$\hat{y} = 397,94 - 0,0012x$	0,9192**
MSTf	$\hat{y} = 2626,6 + 0,16x - 7E^{-07}x^2$	0,9014**
MSTm	$\hat{y} = 8798,6 + 0,2905x - 1E^{-06}x^2$	0,9817**
RG	$\hat{y} = 4436,5 + 0,2409x - 2E^{-06}x^2$	0,9454**

(¹) *: P<0,05; **: P< 0,01.

Os índices de área foliar no florescimento e na maturidade fisiológica revelaram efeito, apenas, de população de plantas (Tabela 1). À medida que se eleva a população de plantas, a área foliar por planta diminui (Sangoi et al., 2005), mas devido ao maior número de plantas por área, o índice de área foliar (área de folhas por unidade de área) aumenta. No presente trabalho, incrementos no índice de área foliar avaliado em pleno florescimento foram obtidos com o aumento da população de plantas (Tabela 3), consequência do aumento do número de indivíduos por área, concordando com Sangoi et al. (2002a; 2005). O aumento de indivíduos por área também promoveu diminuição da área foliar que permaneceu fotossinteticamente ativa ao final do ciclo, representado pelo índice de área foliar na maturidade fisiológica. Segundo Westgate et al., (1997), a quantidade de radiação solar interceptada pela superfície fotossinteticamente ativa da cultura atua favoravelmente para aumentar a eficiência de uso da radiação solar, pois aumenta a longevidade do aparelho fotossintético e, ao mesmo tempo, mantém o acúmulo de massa nas folhas por mais tempo.

De modo geral, houve decréscimo da massa seca por planta com o aumento da população de plantas tanto no florescimento quanto na maturidade fisiológica. Dourado Neto et al. (2003) e Sangoi et al. (2005) também relataram redução da massa de matéria seca da parte aérea por planta com o aumento da população, fato que indica o aumento da competição intraespecífica por recursos do meio à medida que se eleva a população de plantas (Sangoi, 2001). Contudo, estes autores observaram aumento da produção de massa de matéria seca por área com aumento da população de plantas, da mesma forma ao observado neste trabalho tanto para a produção de massa de matéria seca por área no florescimento quanto na maturidade fisiológica.

Turgut et al. (2005) encontraram incrementos no rendimento de massa seca à medida que se elevou a população de 65000 para 85000 plantas ha⁻¹ e decrescendo a partir de então. Alvarez et al. (2006) também constatou que o aumento da população de plantas de 55000 plantas ha⁻¹ para 75000 plantas ha⁻¹ proporcionou aumento na produção de massa de matéria seca e no rendimento de grãos de milho.

No entanto, quando se comparou a produção de massa seca nos arranjos, não foram observados resultados significativos nos espaçamentos mais uniformes. Esses resultados divergem de Alvarez et al. (2006), onde a redução do espaçamento entre linhas de 0,90 m para 0,70 m proporcionou

maiores produções de matéria seca e de grãos de milho, independentemente do ano de cultivo e da população de plantas. Também, Guareschi et al. (2008) verificaram maior acúmulo de massa fresca por área com a diminuição do espaçamento, discordando do observado no presente estudo.

Para o índice de remobilização, não foi detectado efeito significativo para os fatores testados (Tabela 2), concordando com os resultados de Sangoi et al. (2001a), que testaram três híbridos contrastantes em exigência calórica para florescimento.

Da mesma forma que o índice de remobilização, o índice de colheita não foi alterado em razão dos fatores testados (Tabela 2). Segundo Durães et al. (2002), geralmente, quando as populações de plantas aumentam, especialmente acima do nível em que o rendimento de grãos é máximo, o índice de colheita decresce. Maddonni & Otegui (2006) constataram alteração de índice de colheita em populações de 30 a 150 mil plantas ha⁻¹.

Outro aspecto pode ser o resultado da elevada variabilidade do estande (Sangoi et al., 2002a; Echarte & Andrade, 2003; Maddonni & Otegui, 2006). Maddonni & Otegui (2006) também explicam que o estabelecimento de hierarquias com as chamadas “plantas dominadas” reduz a capacidade de produzir fotoassimilados e conseqüentemente alocar aos grãos, contribuindo para a diminuição deste índice por produzirem poucos grãos. No trabalho de Argenta et al. (2001b) não ocorreu diferença entre populações para o índice de colheita, porque foram testadas populações menores (50.000 e 65.000 plantas ha⁻¹). Embora não avaliado, infere-se que nas condições do presente ensaio, a uniformidade obtida tenha sido suficiente a ponto de não interferir no índice de colheita, como relatado por Maddonni & Otegui (2006).

Em relação ao alongamento dos entrenós do colmo, foi verificado efeito apenas de população, do 1.º ao 7.º entrenós no sentido do colo da planta ao ápice, e nos demais não foi verificado efeito dos fatores testados (Tabelas 4 e 5). O incremento linear no comprimento do 1.º ao 7.º entrenó à medida que a população de plantas aumentou, corresponde da base da planta até aproximadamente a inserção da espiga. Desta maneira, pode-se afirmar que o aumento da população de plantas no híbrido testado aumentou o comprimento dos entrenós na metade inferior da planta, ou seja, abaixo da espiga, e que explica o aumento da relação AIE/A (Tabela 3).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a característica comprimento dos entrenós (cm) em plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

CV	Entrenó													
	1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º	12.º	13.º	14.º
Bloco	NS ⁽¹⁾	NS												
População (P)	**	**	**	**	**	**	**	NS						
Modelo ⁽²⁾	L**	L**	L**	L**	L**	L**	L**	-	-	-	-	-	-	-
Arranjo (A)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P x A	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Média	12,3	15,5	17,3	16,4	15,9	15,3	15,2	13,4	13,5	12,6	12,5	11,8	10,8	9,7
C. V. (%)	9,6	7,8	7,2	11,8	11,7	13,0	11,2	12,4	5,9	18,6	21,0	20,3	23,2	29,2

(1) NS: não significativo (P>0,05); **: P< 0,01. (2) L: equação linear.

Para o rendimento de grãos, obteve-se influência somente das populações testadas (Tabela 2), verificando-se padrão quadrático de rendimento de grãos com o aumento da população de plantas (Tabela 3), com produção máxima estimada de 12.528 kg ha⁻¹ em 67.167 plantas ha⁻¹. O referido comportamento concorda com Flesch & Vieira (2004), que testaram quatro espaçamentos, quatro populações de plantas e dois híbridos de ciclo contrastantes, e ambos os híbridos responderam de forma quadrática ao aumento da população de plantas, incrementando o rendimento de grãos a partir de 30.000 até 70.000 plantas ha⁻¹ e diminuindo a 90.000 plantas ha⁻¹, independentemente do espaçamento utilizado.

Tabela 5. Equações de regressão para o comprimento do 1.º ao 7.º entrenó em função de populações de plantas de milho híbrido DOW 2B587 cultivado na safra 2007/2008 em Botucatu (SP).

Entrenó	Equação	R ²
1.º	$\hat{y} = 09,6932 + 3,9E^{-05}x$	0,7452** ⁽¹⁾
2.º	$\hat{y} = 12,3077 + 4,7E^{-05}x$	0,8520**
3.º	$\hat{y} = 14,7712 + 3,8E^{-05}x$	0,8898**
4.º	$\hat{y} = 14,2658 + 3,8E^{-05}x$	0,5202**
5.º	$\hat{y} = 13,5792 + 3,5E^{-05}x$	0,7533**
6.º	$\hat{y} = 11,6588 + 5,4E^{-05}x$	0,8243**
7.º	$\hat{y} = 12,1120 + 4,5E^{-05}x$	0,9266**

⁽¹⁾ **: P < 0,01.

CONCLUSÕES

1 - O arranjo espacial equidistante entre plantas, para o híbrido avaliado, não é efetivo na redução da competição intraespecífica, pois não influenciou a maioria das características morfológicas avaliadas e o rendimento de grãos, quando comparado ao arranjo espacial convencional em diferentes populações de plantas.

2 - Por apresentar maior rendimento de grãos, o arranjo de plantas e população mais adequado para as condições e híbrido utilizado no presente estudo é o convencionalmente utilizado pelos produtores em populações de 65.000 plantas ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, C.G.D.; PINHO, R.G.V.; BORGES, I.D. Avaliação de características agrônômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n. 3, p.402-408, 2006.
- ANDRADE, F.H. et al. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v.39, n. 2, p.453-459, 1999.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; 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. et al. Resposta de híbridos simples à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, n. 1, p.71-78, 2001b.
- 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.
- DOURADO NETO, D. et al. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n. 3, p.63-77, 2003.
- DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; OLIVEIRA, A.C. Índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.1, n. 1, p.33-40, 2002.
- ECHARTE, L., ANDRADE, F. Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.82, n. 1, p.1-12, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- FLESCHE, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaçamentos e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1 p.25-31, 2004.

- GUARESCHI, R. F. et al. Produção de massa de milho silagem em função do arranjo populacional e adubação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, vol.39, n.3, p. 468-475, 2008.
- LAÛER, J. Should I be planting corn at a 30-inch row spacing? **Wisconsin Crop Manager**, Madison, v.1, n. 6, p.6-8, 1994.
- LOOMIS, R.S.; AMTHOR, J.S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v.39, n. 6, p.1584-1596, 1999.
- MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Intra-specific competition in maize: contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.97, n. 2-3, p.155–166, 2006.
- MARCHÃO, R.L. et al. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n. 2, p.93-101, 2005.
- MODOLO, A. J. et al. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 435-441, 2010.
- RAIJ, B.Van. et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. p.285, (Boletim técnico, 100)
- RAJCAN, L., SWANTON, C.J. Understanding maize-weed competition: resource competition light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.71, n.2, p.139-150, 2001.
- RAJCAN, L.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in mayze. I. dry matter accumulation and partitioning durring grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.60, n. 3, p. 245-253, 1999.
- SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n. 1, p.25-31, 2005.
- SANGOI, L. et al. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v.61, n. 2, p.101-110. 2002a.
- SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.1, n. 2, p.60-66, 2002b.
- SANGOI, L. et al. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n. 2, p.271-276, 2001a.
- SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n. 1, p.159-168, 2001.
- TURGUT, I. et al. Alternate row spacing and plant density effects on forage and dry matter yield of corn hybrids (*Zea mays* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**. Berlim, v.191, n. 2, p.146-151, 2005.
- WESTGATE, M.E. et al. Rapid canopy closure for maize production in the northern US com belt: Radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.49, n. 2-3, p.249-258, 1997.