

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## REDUÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E AUMENTO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS EM MILHO

Valdinei Sofiatti<sup>1</sup>; Adeliano Cargini<sup>2</sup>; Lêda Verônica Benevides Dantas Silva<sup>3</sup>; João Carlos Cardoso Galvão<sup>4</sup>

**RESUMO:** O melhoramento genético da cultura do milho proporcionou alterações em suas características anatômicas, morfológicas e fisiológicas, ocasionando aumento da eficiência fotossintética. Assim, muitos híbridos modernos de milho apresentam porte baixo, folhas eretas e tolerância ao acamamento, suportando populações de plantas maiores e/ou menores espaçamentos entre linhas. O objetivo desta revisão bibliográfica foi verificar a capacidade de resposta de híbridos modernos de milho à redução do espaçamento entre linhas e aumento da população de plantas, através da utilização dos resultados dos diversos trabalhos realizados no Brasil. O aumento no rendimento de grãos pelo incremento na população de plantas e pela redução do espaçamento entre linhas é dependente de vários fatores, entre os quais o tipo de híbrido utilizado. Verificou-se que os híbridos de baixo porte, com arquitetura foliar ereta e semi-ereta quando em condições ambientais favoráveis respondem ao aumento na população de plantas até aproximadamente 70.000 plantas/ha. Porém, em condições climáticas desfavoráveis normalmente não há resposta positiva ao aumento na população de plantas. A redução do espaçamento entre linhas até aproximadamente 0,70 m quando associada ao aumento na população de plantas proporciona incremento no rendimento de grãos. Contudo, em condições ambientais ótimas, alguns híbridos apresentam resposta positiva à redução no espaçamento entre linhas até 0,40 m.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, híbridos, arquitetura de planta, condições ambientais, rendimento de grãos.

### MAIZE POPULATION INCREASE AND REDUCED SPACING BETWEEN PLANT ROWS

**ABSTRACT:** Genetic improvement of maize has led to alterations in the anatomical, morphological and physiological characteristics, which resulted in an increased photosynthetic efficiency. Many modern maize hybrids are therefore of a short plant type with erect leaves and lodging tolerance, which support greater plant populations and/or shorter spacing between rows. The objective of this bibliographic revision was to verify the response of modern maize hybrids to reduced spacing between rows and greater plant populations, founded on the results of the diverse studies carried out in Brazil. The higher grain yield, due to increased plant populations and reduced row spacing, depends on different factors, as for instance the hybrid type in use. Short plant type hybrids, with erect and semi-erect leaf architecture, in favorable environmental conditions, respond to an increase in plant populations up to approximately 70.000 plants/ha. However, in unfavorable climatic conditions the response to increased plant populations is normally not positive. A row spacing reduced to about 0.70 m together with increased plant populations raises the grain yield. But in optimal environmental conditions, some hybrids presented positive response to a row spacing reduced down to 0.40 m.

**Keywords:** *Zea mays*, hybrids, plant architecture, environmental conditions, grain yield.

<sup>1</sup> Pesquisador Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz 1143, Centenário, CEP: 58107-720, Campina Grande-PB. E-mail: vsofiatti@cnpa.embrapa.br

<sup>2</sup> Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. Rua Getúlio Vargas 169, Bairro Bom Jesus, CEP: 36570-000, Viçosa-MG. E-mail: adelianoc@vicosa.ufv.br.

<sup>3</sup> Engº. Agrº., Universidade Federal de Viçosa. Rua Doutor Milton Bandeira, 140/204. CEP: 36570-000, Viçosa-MG. E-mail: ledavdantas@gmail.com

<sup>4</sup> Prof. Adjunto, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. CEP: 36570-000, Viçosa-MG. E-mail: jgalvao@ufv.br

## INTRODUÇÃO

A capacidade de rendimento de grãos na cultura do milho está relacionada ao contínuo desenvolvimento de técnicas que propiciem a maximização do seu potencial de exploração do ambiente (ALMEIDA et al., 2000). A cultura do milho está entre aquelas que apresentaram maiores incrementos no rendimento de grãos nas últimas décadas (RUSSEL, 1991). As mudanças em características anatômicas, morfológicas e fisiológicas com o melhoramento genético realizado nas últimas décadas proporcionaram o aumento da eficiência fotossintética. Estas modificações incorporadas pelos programas de melhoramento aumentaram também a tolerância da cultura a estresses, principalmente aos estresses abióticos (TOLLENAAR et al., 1992; SANGOI, 2001).

A densidade de plantas é uma das práticas culturais que mais interfere no rendimento de grãos de milho, em virtude da pequena capacidade de emissão de afixos férteis desta espécie, da sua organização floral monóica e do curto período de florescimento (SANGOI, 2001). Assim, a cultura do milho apresenta uma faixa muito estreita de densidade de plantas na qual o rendimento é máximo (MUNSDTOCK, 1977b). Tradicionalmente, a densidade de sementeira utilizada na cultura do milho no Brasil é de aproximadamente 50.000 a 60.000 sementes/ha. Atualmente, as empresas produtoras de sementes vendem embalagens contendo aproximadamente 60.000 sementes com a premissa de que cada embalagem contém sementes para a sementeira de um hectare, incentivando os agricultores a utilizarem essa densidade de sementeira, independentemente do híbrido escolhido. Do mesmo modo, o espaçamento entre linhas utilizado é de 0,8 a 1,0 m, já que as plataformas utilizadas nas colheitadeiras foram desenvolvidas para operação nesses espaçamentos. No entanto, atualmente novos equipamentos desenvolvidos operam em faixas mais amplas de espaçamento entre linhas.

Muitos híbridos modernos de milho apresentam porte baixo, folhas eretas e tolerância ao acamamento suportando populações de plantas maiores e/ou menores espaçamentos entre linhas. Nos últimos anos, foram realizados muitos experimentos estudando a população de plantas e espaçamento entre linhas que proporcionam o máximo rendimento de grãos dos híbridos modernos de milho, em diversas regiões

brasileiras.

O objetivo desta revisão bibliográfica foi verificar a capacidade de resposta de híbridos modernos de milho à redução do espaçamento entre linhas e aumento da população de plantas, através da utilização dos resultados dos diversos trabalhos realizados no Brasil nos últimos anos.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização da luz é o processo mais importante para a produção dos vegetais, pois é através da fotossíntese que a planta acumula compostos orgânicos em seus tecidos. A quantidade de energia convertida é, portanto, a quantidade de massa seca produzida, e depende da percentagem de absorção e da eficiência de utilização da energia. A matéria seca acumulada pelas plantas em determinada área é o resultado da transformação da radiação incidente pela fotossíntese. Uma das formas de se aumentar a interceptação da radiação e, conseqüentemente, o rendimento de grãos são a escolha adequada da densidade de sementeira e do espaçamento entre linhas. A radiação é interceptada pelas folhas, o que só ocorre plenamente após a cobertura total do solo, pelo fechamento do espaço entre as linhas. A associação entre arranjo de plantas e aumento da produção de grãos de milho tem sido freqüentemente relatada na literatura em diversos países (CARDWELL, 1982; RUSSEL, 1991; SANGOI, 2001; ARGENTA et al., 2001b; PENARIOL et al., 2003; FLESCHE e VIEIRA, 2004).

Em milho, a manipulação do arranjo de plantas constitui-se em prática de manejo importante para potencializar o rendimento de grãos. A interceptação da radiação solar é influenciada pelo índice de área foliar, ângulo da folha, distribuição de folhas (arranjo de folhas na planta e de plantas na área), características de absorção de luz pela folha e pela quantidade de radiação incidente (ARGENTA et al., 2001b).

Por outro lado, a esterilidade feminina é um dos principais fatores limitantes à otimização da conversão da energia solar à produção de grãos quando o milho é cultivado em altas densidades de plantas. A compreensão dos processos fisiológicos envolvidos desde a diferenciação da espiga até a exteriorização

dos estigmas é fundamental para explicar os efeitos da alta densidade na supressão da produção de espigas e para elucidar mecanismos que permitem aos híbridos modernos de milho apresentar menores taxas de esterilidade feminina sob alta população (SANGOI et al., 2002b).

A primeira alteração fisiológica que afeta o número de espigas férteis produzidas por planta é o intervalo de tempo decorrido entre a diferenciação das inflorescências masculina e feminina. O milho é uma planta monóica e protândrica, na qual a inflorescência masculina é diferenciada antes da inflorescência feminina. O meristema é transformado num primórdio de inflorescência masculina quando a planta apresenta de três a quatro folhas completamente expandidas (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000). A gema lateral que originará a espiga transforma-se num primórdio floral alguns dias após a diferenciação do pendão, quando o milho possui de seis a sete folhas completamente expandidas. Altas densidades de plantas reduzem, de forma mais acentuada, a taxa e o crescimento das gemas laterais do que o ponto de crescimento da planta. Isso aumenta a defasagem temporal entre a diferenciação do pendão e da espiga (SANGOI e SALVADOR, 1996). O aumento desse intervalo altera as taxas de transporte de fitormônios e carboidratos dentro da planta. Assim, espigas diferenciadas tardiamente recebem menores quantidades dessas substâncias, tendo menores possibilidades de se tornarem funcionais e produzirem grãos, em decorrência da menor capacidade competitiva por fotoassimilados da espiga com as demais estruturas da planta (SANGOI, 2001).

O melhoramento do milho proporcionou a adaptação dos híbridos modernos ao adensamento através da redução da ocorrência de protandria no florescimento, reduzindo o intervalo entre a diferenciação das inflorescências masculina e feminina (SANGOI, 2001). Dessa forma, os híbridos modernos produzem pendões menores que requerem menores quantidades de nutrientes e fotoassimilados para o seu desenvolvimento (SANGOI e SALVADOR, 1998) e produzem menores quantidades de auxinas, diminuindo o efeito inibitório sobre o desenvolvimento das espigas (SANGOI e SALVADOR, 1996). Esse fato tem proporcionado menor percentagem de esterilidade feminina, quando são utilizadas maiores densidades de plantas. Sangoi et al. (1998) comparando a ocorrência

de esterilidade feminina sob populações de 25.000 a 100.000 plantas/ha em um híbrido comercial da década de 90 (Agrocerec 9012) e um híbrido comercial da década de 70 (Agrocerec 28), observaram que no híbrido moderno, a máxima esterilidade feminina ocorreu na densidade de 100.000 plantas, sendo inferior a 2%. Por outro lado, o híbrido da década de 70 apresentou elevada esterilidade feminina em densidades superiores a 50.000 plantas, atingindo aproximadamente 10% de esterilidade na população de 100.000 plantas/ha.

O aumento da população de plantas também pode ser obtido através da redução do espaçamento entre linhas, mantendo-se o número de plantas/m linear. O aumento do rendimento de grãos com a redução do espaçamento entre linhas é atribuído à melhor eficiência na interceptação da radiação solar e ao decréscimo da competição entre plantas de milho por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição equidistante das plantas (DOURADO NETO et al., 2003).

Com o aumento na população de plantas, as principais alterações observadas nos componentes do rendimento são a redução no tamanho das espigas e no número de espigas por planta. No entanto, ocorre à compensação da produção, pelo aumento do número de plantas por área, ocasionando aumento no número de espigas (DOURADO NETO et al., 2003). Por outro lado, o adensamento excessivo aumenta a competição intra-específica, o que estimula a esterilidade feminina, limitando a produção de grãos (SANGOI et al., 1998). Desta forma, a produção de grãos aumenta com o aumento da população de plantas, até o ponto denominado “ponto crítico”, sendo que a partir deste ponto, o aumento da população de plantas reduz a produção de grãos. Nessa faixa de população, não há competição intra-específica e acima dessa faixa a produção decresce, devido ao início da competição intra-específica (DOURADO NETO et al., 2003).

Os principais fatores que influenciam a resposta da cultura do milho ao aumento na população de plantas e a redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho são: a época de semeadura, disponibilidade de água no solo, características do híbrido ou variedade e disponibilidade de nutrientes (FLESCH e VIEIRA, 1999). Esses fatores foram exaustivamente estudados por diversos autores em diversas regiões do Brasil, sendo que os principais trabalhos encontrados na

literatura serão discutidos abaixo.

### **a) Época de semeadura**

A época de semeadura e o comprimento da estação de crescimento influenciam a escolha do arranjo das plantas na cultura do milho. Regiões situadas em altitudes maiores apresentam maior amplitude de temperaturas durante os meses de cultivo, apresentando variações de até 10°C entre o dia e a noite (ALMEIDA e SANGOI, 1996). Além disso, regiões situadas em maiores latitudes apresentam curta estação de crescimento apresentando baixas temperaturas no início do ciclo da cultura. Assim, nas semeaduras antecipadas (final do inverno e início da primavera), particularmente em regiões temperadas e subtropicais, tais como, o norte dos Estados Unidos e o sul do Brasil usualmente são requeridas maiores densidades de plantas (MEROTTO JUNIOR et al., 1997; ALMEIDA et al., 2000). Esse fato é atribuído à menor radiação solar incidente e ao menor crescimento da planta sob temperaturas baixas (SANGOI, 2001).

Nesta situação, a adoção de menores espaçamentos entre linhas e o aumento da população de plantas pode proporcionar incrementos no rendimento de grãos, por permitir aumento da área foliar, além de melhorar a distribuição espacial das plantas, permitindo maior interceptação da radiação solar. Assim, híbridos cultivados nessas regiões apresentam menor área foliar e menor estatura de plantas e normalmente, exigem maiores populações de plantas para maximizar o rendimento, principalmente quando semeadas no início da estação de crescimento (ALMEIDA e SANGOI, 1996).

O efeito da população de plantas (60.000, 70.000 e 80.000 plantas/ha) em região de curta estação de crescimento foi estudada por Almeida e Sangoi (1996). Os autores utilizaram dois híbridos de milho com ciclo precoce (XL 370) e super-precoce (C 901). O rendimento de grãos não foi afetado pelas populações de plantas no híbrido de ciclo super-precoce, enquanto que no híbrido precoce o aumento da população de plantas ocasionou decréscimo linear na produção apresentando redução de 63 kg/ha a cada aumento de mil plantas. Entretanto, os autores atribuíram a redução do rendimento no híbrido precoce, com o aumento da população de plantas à coincidência do período de pendoamento com a ocorrência de déficit hídrico neste

período. Isso teria ocasionado maior déficit hídrico nas maiores densidades de plantas devido ao aumento da área foliar e conseqüentemente da evapotranspiração. O aumento da população de plantas em regiões de curta estação de crescimento, também foi avaliada por Almeida et al. (2000) por meio de quatro experimentos. Em três dos quatro experimentos, o uso de densidades superiores a 60.000 plantas/ha, maximizou o rendimento de grãos, obtendo-se em alguns casos, resposta até 80.000 plantas/ha.

A relação da época de semeadura (antecipada vs. normal) com o espaçamento entre linhas, em um híbrido simples de ciclo super-precoce e, um híbrido duplo de ciclo longo foi estudada por Sangoi et al. (2001b) os quais realizaram experimentos em dois anos agrícolas, utilizando densidade de semeadura de 75.000 plantas/ha. Nos dois anos agrícolas, houve aumento linear no rendimento de grãos com a redução no espaçamento entre linhas de 100 para 50 cm. O aumento na produção de grãos variou entre 96 e 284 kg/ha a cada 10 cm de redução no espaçamento entre linhas, dependendo do ano agrícola e da época de semeadura.

Por outro lado, a relação entre a época de semeadura e a densidade de plantas foi estudada por Silva et al. (1999) realizando semeaduras em três épocas (agosto, outubro e dezembro) utilizando espaçamento entre linhas de 0,70 m e populações de plantas variando de 50.000 a 90.000 plantas/ha em três híbridos de milho sob irrigação. Esses autores observaram, aumento no rendimento de grãos pelo incremento na densidade de plantas até 70.000 plantas/ha, somente na semeadura realizada em outubro. O aumento no rendimento somente na semeadura de outubro, foi atribuída às diferenças na radiação solar incidente entre as épocas estudadas, já que houve irrigação nas três épocas, não ocorrendo déficit hídrico.

### **b) Disponibilidade de água no solo**

A disponibilidade de água é, provavelmente, um dos principais fatores ambientais que afetam a escolha da densidade ótima de plantas na cultura do milho. O aumento na população de plantas não altera o consumo de água até aproximadamente 60 a 70 dias após a semeadura, devido ao escasso grau de cobertura do solo, o que faz com que as elevadas perdas por evaporação nas menores densidades de plantio se

equilibrem com as elevadas perdas por evapotranspiração das populações maiores (ESPINOZA, 1979). Após esse período, as maiores densidades de plantas consomem mais água devido a maior área foliar que proporciona maior evapotranspiração das plantas (ESPINOZA, 1979). Dessa forma, o aumento da população de plantas somente é viável em condições ambientais com adequada disponibilidade hídrica.

A época mais crítica da planta de milho à deficiência hídrica, situa-se no período entre o florescimento e o espigamento. Quando há alta probabilidade de falta de água nesta fase, deve-se reduzir a densidade, para que o solo possa suprir as plantas com suas reservas hídricas (MUNDSTOCK, 1977a). A ausência de resposta ou redução na produção com o aumento da população de plantas em condições de déficit hídrico no período de florescimento e espigamento, foi observada no experimento realizado por Almeida e Sangoi (1996) e em um dos quatro experimentos realizados por Almeida et al. (2000).

### **c) Características do híbrido ou variedade**

Normalmente, híbridos que apresentam ciclo mais curto como híbridos precoces e super-precoces requerem maior densidade de plantas em relação aos de ciclo normal para atingir seu máximo potencial de rendimento (MUNDSTOCK, 1977a). Isso se deve ao fato desses híbridos, geralmente, apresentarem menor estatura, folhas menores, menor área foliar por planta e folhas mais eretas (MUNDSTOCK, 1977a; SANGOI, 2001). Estas características morfológicas possibilitam a adoção de menor espaçamento entre plantas na linha e entre linhas, resultando em maior densidade de plantas por área. Esses híbridos normalmente requerem maiores densidades de plantas para a maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais indivíduos por área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar (SANGOI, 2001; SANGOI et al., 2002a). Diversos experimentos foram realizados para verificar a interação de tais características dos híbridos ou variedades de milho com a população de plantas e espaçamento entre linhas.

A utilização de híbridos ou variedades e sua interação com o espaçamento entre linhas e a densidade populacional foi estudada por Penariol et al. (2003), os

quais testaram um híbrido (AG 9010) e uma variedade (BR 473), ambos semeados no período de safrinha. Os autores verificaram aumento linear na produção de grãos com a redução do espaçamento entre linhas de 0,80 para 0,40 m. O incremento médio estimado foi de 711 e 316 kg/ha para cada 20 cm de redução no espaçamento entre linhas no híbrido e na variedade, respectivamente. A produção de grãos também aumentou linearmente com o incremento da população de plantas de 40.000 para 80.000 plantas/ha no híbrido enquanto que para a variedade o máximo rendimento foi obtido com uma população estimada de aproximadamente 71 mil plantas/ha.

O ciclo dos cultivares também pode influenciar a resposta à redução no espaçamento entre linhas e ao aumento populacional. Baseados neste fato, Flesch e Vieira (1999) testaram o efeito da densidade populacional e espaçamento entre linhas em híbridos de ciclo normal com porte alto e de ciclo precoce com porte baixo. Ambos os híbridos responderam ao aumento na população de plantas até 70.000 plantas, a partir dessa densidade não houve resposta. Espaçamentos entre linhas entre 0,70 e 0,85 m apresentaram melhores resultados em relação aos espaçamentos de 1,00 e 1,15 m, em ambos os híbridos.

Flesch e Vieira (2004) também estudaram o efeito da variação na densidade populacional e no espaçamento entre linhas em híbridos de ciclo normal e precoce em três anos agrícolas. O aumento da população de plantas até aproximadamente 74.000 plantas/ha proporcionou a máxima produção de grãos para ambos os híbridos, sendo que populações maiores de 74.000 plantas causaram redução na produção. A redução do espaçamento entre linhas de 115 para 70 cm proporcionou resposta linear na produção de grãos apenas no híbrido de ciclo precoce. O incremento neste híbrido foi de aproximadamente 97 kg/ha a cada 15 cm de redução do espaçamento entre linhas.

A arquitetura da folha é variável entre os híbridos modernos de milho. Existem atualmente híbridos com arquitetura foliar aberta, semi-ereta e ereta. Desta forma, Dourado Neto et al. (2003) estudaram o efeito da população de plantas e da densidade de semeadura sobre a produção de grãos em híbridos com diferentes arquiteturas da folha. A produção de grãos do híbrido com arquitetura foliar ereta aumentou com o incremento na população de plantas de 30 para 90 mil plantas/ha,

independentemente do espaçamento entre linhas utilizado (0,40 e 0,80 m). No híbrido de arquitetura foliar aberta houve aumento no rendimento até 60.000 plantas/ha, sendo que a partir dessa densidade houve estabilização no rendimento para o espaçamento entre linhas de 0,80 m e redução para o de 0,40 m. O rendimento também aumentou até 60.000 plantas/ha no híbrido com folhas semi-eretas, tendendo a estabilização em densidades maiores nos dois espaçamentos. Assim sendo, os maiores benefícios do aumento da população de plantas e da redução no espaçamento entre linhas são verificados nos híbridos com arquitetura foliar ereta e semi-ereta.

#### **d) Disponibilidade de nutrientes**

A resposta ao aumento populacional e a redução no espaçamento entre linhas também é influenciada pela disponibilidade de nutrientes. O aumento da população de plantas aumenta a competição por nutrientes que possuem maior mobilidade, o que não acontece com nutrientes de menor mobilidade (NOVAIS, 1999b). A mobilidade dos nutrientes é dependente do coeficiente de difusão de cada elemento no solo. Assim entre os macronutrientes o nitrogênio (N) apresenta coeficiente de difusão na ordem de  $10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  quando na forma de  $\text{NH}_4$  e  $10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  na forma de  $\text{NO}_3$  e o fósforo (P)  $10^{-11} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  (NOVAIS, 1999a). Como consequência, há dois extremos de mobilidade no solo: o P muito pouco móvel, ao passo que as formas de N, particularmente a nítrica são muito móveis (NOVAIS, 1999a). Dessa forma, para P, o aumento da população de plantas proporciona competição mínima por este nutriente já que a sua distância de transporte no solo, geralmente, não ultrapassa 1 mm da raiz (NOVAIS, 1999b). Assim, apenas naqueles locais onde raízes de duas plantas se tocam haverá competição entre elas por P. Como o volume de solo explorado pelas raízes de uma planta é, em média, 1%, o contato de raízes entre plantas vizinhas é bastante pequeno (BRAY, 1954).

A cultura do milho por ser uma espécie gramínea necessita de elevadas doses de adubo nitrogenado em cobertura, além disso, o nitrogênio tanto na forma amoniacal como nítrica apresenta elevado coeficiente de difusão, podendo ocorrer aumento expressivo da demanda desse nutriente com o aumento da população de plantas. Nesse sentido, Amaral Filho et al. (2005) estudaram as interações entre a adubação nitrogenada

em cobertura (0, 50, 100 e 150 kg/ha de nitrogênio), com as populações de plantas (40.000, 60.000 e 80.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) e o espaçamento entre linhas (0,60 e 0,80 m) no milho híbrido simples AG 9010 de ciclo precoce. O maior rendimento de grãos foi obtido utilizando-se 80.000 plantas/ha associado ao espaçamento entre linhas de 0,80m, sendo que o aumento da dose de nitrogênio em cobertura proporcionou incremento linear no rendimento de grãos.

Outros experimentos visando avaliar o efeito do espaçamento entre linhas e população de plantas sem estudar interações com outros fatores também foram realizados e são descritos abaixo.

Populações de plantas de 37.000, 54.000, 64.000 e 81.000 plantas/ha nos espaçamentos entre linhas de 0,75 e 1,00 m, utilizando o híbrido simples Cargill-901 foram testadas por Merotto Junior et al. (1997). O espaçamento entre linhas não afetou o rendimento de grãos e os componentes do rendimento. A variação na população de plantas aumentou linearmente o rendimento de grãos de 7.500 para 10.200 kg/ha. O aumento foi atribuído ao maior número de espigas por área, que compensou a redução do peso de grãos e do número de espigas por planta.

Com a realização de dois experimentos em anos agrícolas distintos Argenta et al. (2001a) verificaram que o efeito da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos dependeu do híbrido utilizado e da densidade de plantas. No primeiro experimento, utilizando densidade de 50.000 plantas/ha foi verificado que o rendimento de grãos aumenta linearmente com redução do espaçamento de 1,0 m para 0,4 m para o híbrido Cargill 901 (incremento de 716 kg/ha para cada 20 cm de redução no espaçamento), enquanto que para o outro híbrido (XL 212), não houve resposta à alteração no espaçamento entre linhas. No segundo experimento esses autores verificaram que os dois híbridos testados aumentaram linearmente o rendimento de grãos à medida que se reduziu o espaçamento de 1,0 m para 0,4 m (incrementos de 280 e de 130 kg/ha para cada 20cm de redução no espaçamento, respectivamente, para C 901 e XL 214), na densidade de 5 plantas/ $\text{m}^2$ . No entanto, quando se utilizou densidade de 6,5 plantas/ $\text{m}^2$ , em que teoricamente a redução do espaçamento seria mais benéfica, não houve efeito do espaçamento sobre o rendimento de grãos, para os dois híbridos. Os

autores atribuíram esta resposta diferencial ao fato de que em densidades superiores a 5 plantas/m<sup>2</sup>, a vantagem da melhor distribuição espacial no menor espaçamento entre linhas pode ser suprimida em função da maior competição intra-específica devido ao elevado número de plantas.

Em trabalhos realizados em dois anos agrícolas, visando estudar o efeito da redução no espaçamento entre linhas e no aumento da densidade populacional em dez híbridos de milho de ciclo precoce e semi-precoce Resende et al. (2003) constataram que o ano agrícola afetou significativamente a resposta dos tratamentos, atribuindo esse fato a variação nas condições ambientais em cada ano agrícola. No ano agrícola 2000/01 houve efeito positivo da redução no espaçamento entre linhas de 0,90 para 0,70 m, enquanto que a variação na população de plantas não afetou o rendimento de grãos. A redução no espaçamento para 0,45 m apresentou efeito negativo sobre a produção de grãos. No ano agrícola 2001/02 houve resposta linear ao incremento na densidade de semeadura de 55.000 para 90.000 plantas, proporcionando um acréscimo de 507 kg/ha a cada aumento de 10.000 plantas/ha. A variação no espaçamento entre linhas não ocasionou alterações na produção de grãos neste ano agrícola.

De forma geral, verifica-se que híbridos modernos de porte baixo, com arquitetura foliar ereta ou semi-ereta quando cultivados em condições climáticas favoráveis, normalmente, respondem ao aumento na densidade de plantas até aproximadamente 70.000 plantas/ha, embora em alguns casos observa-se resposta até 90.000 plantas. Híbridos com essas características e cultivados em ambientes favoráveis também proporcionaram aumentos no rendimento de grãos através da redução no espaçamento entre linhas associada ao aumento da população de plantas em boa parte dos experimentos. A redução do espaçamento entre-linhas sem o aumento da população de plantas dificilmente ocasiona aumentos no rendimento. Isso provavelmente ocorre, devido aos híbridos modernos de milho não produzirem mais de uma espiga por planta, sendo que o principal componente que proporciona aumento do rendimento é o número de espigas por área. No entanto, menores populações de plantas, normalmente, promovem formação de espigas com maior número de grãos em relação a maiores adensamentos, entretanto, esse aumento não é

suficiente para compensar o aumento no número de espigas ocasionado pelo aumento na população de plantas.

Por outro lado, o aumento do rendimento com a redução no espaçamento entre linhas normalmente ocorre até aproximadamente 0,70 a 0,60 m, embora, em condições favoráveis, com híbridos de porte baixo e folhas eretas verificou-se resposta até 0,40 m. O milho emite folhas no sentido transversal a linha de plantio, fazendo com que as folhas aproveitem o espaço entre as linhas para formar área foliar fotossinteticamente ativa. Quando o espaçamento é reduzido demasiadamente ocorre sobreposição das folhas provenientes das plantas de uma linha com as folhas da planta da linha vizinha. Essa sobreposição reduz a incidência de radiação solar sobre as folhas ocasionando redução da fotossíntese líquida. É provavelmente devido a este fato que alguns híbridos não apresentam respostas positivas em espaçamentos entre linhas menores que 0,70. Para híbridos que apresentam arquitetura foliar aberta dificilmente ocorrem respostas em espaçamentos entre linhas menores que 0,70 m.

As modificações na arquitetura da planta de milho de híbridos modernos, tais como menor estatura, menor número de folhas, folhas mais eretas e resistência ao acamamento, permitem maior infiltração de luz no dossel, mesmo com alto índice de área foliar, além da redução da competição intra-específica por recursos naturais sob altas densidades de plantas. A menor exigência em unidades de calor para florescimento dos híbridos modernos favorece também a produção de plantas com menor altura de inserção de espigas. Com isso, o centro de gravidade da planta fica mais bem equilibrado, aumentando sua sustentabilidade (SANGOI et al., 2001a). Este novo ideótipo de plantas possibilitou alterações no arranjo destas, proporcionando maior eficiência no uso da radiação solar para obtenção de altas produtividades.

## CONCLUSÃO

O aumento no rendimento de grãos pelo incremento na população de plantas e pela redução do espaçamento entre linhas é dependente de vários fatores, entre os quais o tipo de híbrido utilizado.

Híbridos de baixo porte, com arquitetura foliar ereta e semi-ereta quando em condições ambientais favoráveis respondem ao aumento na população de plantas até aproximadamente 70.000 plantas/ha.

Em condições climáticas desfavoráveis normalmente não há resposta positiva ao aumento na população de plantas.

A redução do espaçamento entre linhas até aproximadamente 0,70 m quando associada ao aumento na população de plantas também proporciona incremento no rendimento de grãos.

Em condições ambientais ótimas, alguns híbridos apresentam resposta positiva à redução no espaçamento entre linhas até 0,40 m.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ALMEIDA, M.L.; MEROTTO JUNIOR, 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, n. 1, p. 23-29, 2000.
- AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, R.F. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29, n. 3, p. 467-473, 2005.
- 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, 2001a.
- 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. 5, p. 1075-1084, 2001b.
- BRAY, R.H. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. **Soil Science**, v. 78, p. 9-22, 1954.
- CARDWELL, V.B. Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 984-990, 1982.
- DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, A.; MEDEIROS, L.P.; ROMANO, M.R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 63-77, 2003.
- ESPINOZA, W. Efeito da densidade de plantio sobre a evapotranspiração do milho irrigado na época da seca, em cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, n.4, p. 343-350, 1979.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FLESCHE, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaços e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, p. 25-31, 2004.
- FLESCHE, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaçamento e população de plantas na cultura do milho. **Agropecuária Catarinense**, v. 12, n. 2, p. 28-31, 1999.
- MEROTTO JUNIOR, A.; ALMEIDA, M.L.; FUCKS, O. Aumento do rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 549-554, 1997.
- MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura no milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : UFRGS/ASCAR, 1977a. 35p.
- MUNDSTOCK, C.M. Milho: distribuição da distância entre linhas. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, n. 299, p. 28-29, 1977b.
- NOVAIS, R.F. Difusão. In: NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, Cap. 9, p. 213-234, 1999b.

- NOVAIS, R.F. Transformação de fósforo lábil em não-lábil. In: NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, Cap. 5, p. 97-121, 1999a.
- PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeados em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.
- RESENDE, S.G. de; VON PINHO, R.G.; VASCONCELOS, R.C. Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista brasileira de milho e sorgo**, v. 2, n. 3, p. 34-42, 2003.
- RUSSEL, W.A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, Cambridge, v. 46, n. 1, p. 245-298, 1991.
- 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. Effect of maize detasseling on grain yield tolerance to high plant density and drought stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 677-684, 1998.
- 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.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. 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.; ALMEIDA, M.L.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L.C. Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas ao aumento da densidade de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 3., 2001, Chapecó **Resumos**. Florianópolis: Epagri, p.48-52, 2001a.
- SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; ALMEIDA, M.L.; HEBERLE, P.C. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 06, p. 861-869, 2001b.
- SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; KONFLANZ, V.A. A dominância apical do pendão sobre as espigas é menor em híbridos modernos de milho. In: Reunião Técnica Catarinense de Milho e Feijão, 1., Chapecó. **Resumos**. Passo Fundo: Editora Padre Berthier, p. 14-18, 1998.
- SANGOI, L.; GRACIETTI, M.A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHETTI, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v. 79, p. 39-51, 2002b.
- SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; RAZERA, F. Resposta de híbridos de milho à densidade de plantas, em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 585-595, 1999.
- TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 2, p. 305-311, 1992.