

## A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas

The response of irrigated corn to row spacing depends on hybrid and plant density

Mércio Luiz Strieder<sup>I</sup> Paulo Regis Ferreira da Silva<sup>II</sup> Gilber Argenta<sup>III</sup>  
Lisandro Rambo<sup>III</sup> Luis Sangoi<sup>IV</sup> Adriano Alves da Silva<sup>I</sup>  
Paulo César Endrigo<sup>V</sup>

### RESUMO

A quantidade de radiação solar interceptada pelo dossel influencia o rendimento de grãos de milho, podendo ser aumentada pela redução do espaçamento entrelinhas e/ou pelo aumento na densidade de plantas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a resposta de quatro híbridos de milho irrigado a alterações no espaçamento entrelinhas e na densidade de plantas, sob alto nível de manejo. Foram conduzidos dois experimentos em Eldorado do Sul, RS. Em 2001/02, os tratamentos constaram de dois híbridos de milho ("Flash" e "Attack"), de quatro densidades (5,0, 6,25, 7,5 e 8,75 plantas m<sup>-2</sup>) e de quatro espaçamentos entrelinhas (40, 60, 80 e 100cm). Em 2002/03, os tratamentos constituíram-se de dois híbridos ("Garra" e "Penta"), de quatro densidades (4,5, 6,0, 7,5 e 9,0 plantas m<sup>-2</sup>) e de quatro espaçamentos entrelinhas (40, 60, 80 e 100cm). A redução do espaçamento entrelinhas de 100 para 40cm e o aumento na densidade de 4,5-5,0 para 8,75-9,0 plantas m<sup>-2</sup> têm mais efeito no rendimento de grãos dos híbridos de folhas eretas "Flash" e "Garra". O rendimento de grãos dos híbridos de folhas decumbentes "Penta" e "Attack" não foi alterado por variações na densidade e no espaçamento entrelinhas. Os efeitos da redução do espaçamento entrelinhas nas características agronômicas foram de magnitude menor que os obtidos com as alterações na densidade.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, rendimento de grãos e seus componentes, cultivar, alto nível de manejo.

### ABSTRACT

The amount of solar radiation intercepted by the canopy has influence on maize grain yield and it can be

enhanced by reducing row spacing and/or increasing plant density. This research was carried out aiming to evaluate the response of four irrigated maize hybrids to variations in row spacing and plant density, under high management level. Two experiments were performed in Eldorado do Sul, RS, Brazil. In 2001/02, treatments had composed by two maize hybrids (Flash and Attack), four plant densities (5.0, 6.25, 7.5 and 8.75 plants m<sup>-2</sup>) and four row spacings (40, 60, 80 and 100cm). In 2002/03, treatments were set as two maize hybrids (Garra and Penta), four plant densities (4.5, 6.0, 7.5 and 9.0 plants m<sup>-2</sup>) and four row spacings (40, 60, 80 and 100cm). The reduction in row spacing from 100 to 40cm and the increase in plant population from 4.5-5.0 to 8.75-9.0 plants m<sup>-2</sup> has more pronounced effects on grain yield for the erect leaf hybrids Flash and Garra. Conversely, grain yield of decumbent leaf hybrids Penta and Attack was not altered by variations in plant density and row spacing. The effects of narrow row spacing on the agronomic characteristics were lesser magnitude than the obtained ones with variations in plant density.

**Key words:** *Zea mays*, grain yield and its components, cultivar, high management level.

### INTRODUÇÃO

O rendimento de grãos de uma cultura depende de fatores genéticos, condições favoráveis de solo, clima e manejo (BUGBEE & SALISBURY, 1988; EVANS & FISCHER, 1999) e da quantidade de radiação solar interceptada pelo dossel (MELGES et al., 1989). A interceptação de radiação exerce grande influência no

<sup>I</sup>Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FA/UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>II</sup>Departamento de Plantas de Lavoura, FA/UFRGS, 90001-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: paulo.silva@ufrgs.br. Autor para correspondência.

<sup>III</sup>Desenvolvimento de Produtos, Syngenta Seeds, Uberlândia, MG, Brasil.

<sup>IV</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidade de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, SC, Brasil.

<sup>V</sup>Curso de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

rendimento de grãos do milho (OTTOMAN & WELCH, 1989), principalmente quando os demais fatores ambientais são favoráveis (ARGENTA et al., 2001a). O milho é a espécie de importância agrícola que apresenta maior potencial de utilização da radiação solar para conversão do carbono mineral em carbono orgânico, para posterior acúmulo nos grãos (SLAFFER & OTEGUI, 2000). Entre as formas de aumentar a interceptação e o uso da radiação solar, está a escolha adequada do arranjo de plantas, que se constitui numa das práticas de manejo mais importantes para maximizar o rendimento de grãos da cultura (OTTOMAN & WELCH, 1989; LOOMIS & AMTHOR, 1999; ARGENTA et al., 2001a).

O arranjo de plantas pode ser manipulado através de alterações na densidade de plantas, no espaçamento entrelinhas e na distribuição de plantas na linha de cultivo (ARGENTA et al., 2001a). Mantendo-se a densidade de plantas, a redução do espaçamento entrelinhas aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar incidente (FLÉNET et al., 1996) e o uso dos recursos do ambiente, possibilitando melhor distribuição de plantas na área e redução da competição intra-específica por luz, água e nutrientes (JOHNSON et al., 1998). Geralmente, esta prática aumenta a produção fotossintética líquida (BULLOCK et al., 1988), incrementa os rendimentos de massa seca e de grãos (MURPHY et al., 1996; ARGENTA et al., 2001b; FLESCHE & VIEIRA, 2004). Contudo, esses benefícios dependem das eficiências de absorção e de conversão da radiação em fotoassimilados (SINCLAIR, 1993).

Alterações no arranjo de plantas também afetam a qualidade de luz interceptada. O adensamento de plantas e a redução do espaçamento entrelinhas ocasionam maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na do vermelho extremo (VE). Assim, sob altas densidades, as plantas de milho recebem mais luz VE refletida, aumentando a relação VE/V. Isso determina modificações em seu desenvolvimento, tais como maior alongação dos entrenós (colmo mais comprido, porém de menor diâmetro), maior dominância apical e altura de inserção de espiga (ALMEIDA et al., 2000), folhas mais compridas e finas e maior abscisão de raízes (KASPERBAUER & KARLEN, 1994).

Estudos de densidade de plantas são importantes pelo fato de ser uma das práticas culturais que mais afeta o rendimento de grãos de milho (ALMEIDA et al., 2000; SILVA et al., 2006). Isso ocorre porque os híbridos comerciais mais recentes perfilham pouco e produzem apenas uma espiga por planta, não possuindo capacidade de compensar eventuais falhas na emergência e/ou prejuízos causados por agentes

(a)bióticos às plantas durante seu desenvolvimento inicial. Além disso, diversas alterações morfo-fisiológicas foram introduzidas nesses híbridos, como o decréscimo do tamanho de pendão, do número de plantas estéreis sob altas densidades, da taxa de senescência foliar durante o enchimento de grãos (DUVICK & CASSMAN, 1999) e do intervalo entre pendoamento e espigamento (SILVA et al., 1999).

Outra característica enfatizada nos programas de melhoramento de milho no Brasil é a maior precocidade dos híbridos comerciais (RAMALHO, 2005). Para potencializar a interceptação da radiação solar, híbridos precoces e de baixa estatura de planta requerem maior número de plantas por área para sombrear a superfície do solo e atingir o mesmo índice de área foliar que os híbridos com ciclo e estatura de planta maiores (ARGENTA et al., 2001b; SANGOI, 2001). Essas modificações introduzidas nos híbridos comerciais mais recentes, sobretudo quanto à estatura de planta, área e ângulo foliares, e a maior tolerância a altas densidades e a outros estresses, implicam a necessidade de novos estudos para definir a melhor combinação de densidade de plantas e espaçamento entrelinhas para obter maior rendimento de grãos pela exploração mais eficiente dos recursos ambientais. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a resposta de quatro híbridos de milho irrigado a alterações no arranjo de plantas, sob alto nível de manejo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos durante os anos agrícolas 2001/02 e 2002/03 na Estação Experimental Agrônômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada em Eldorado do Sul (30° 04' S e 51° 43' W, altitude de 46m), na região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região é classificado por Köppen como subtropical úmido, predominante na região Sul. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico. Os valores das características físico-químicas do solo na profundidade de 0 a 20cm foram os seguintes: densidade: 1.500g dm<sup>-3</sup>; argila: 465g dm<sup>-3</sup>; pH (água): 5,4; P: 12mg dcm<sup>-3</sup>; K: 133mg dcm<sup>-3</sup>; MO: 35g dm<sup>-3</sup> e CTC: 12,1cmolc dcm<sup>-3</sup>.

No Experimento I, conduzido na estação de crescimento 2001/02, os tratamentos constaram de dois genótipos de milho ("Flash" e "Attack"), de quatro densidades (5,0, 6,25, 7,5 e 8,75 plantas m<sup>-2</sup>) e de quatro espaçamentos entrelinhas (40, 60, 80 e 100cm). No Experimento II, conduzido no ano agrícola 2002/03, os tratamentos foram constituídos de dois híbridos ("Garra" e "Penta"), de quatro densidades (4,5, 6,0, 7,5

e 9,0 plantas m<sup>-2</sup>) e de quatro espaçamentos entrelinhas (40, 60, 80 e 100cm). Esses quatro híbridos foram desenvolvidos pela empresa Syngenta Seeds Ltda. Nos dois experimentos, adotou-se o delineamento de blocos casualizados com 32 tratamentos, constituídos pela combinação de dois híbridos nas parcelas principais, de quatro densidades de plantas e de quatro espaçamentos entrelinhas (fatorial 4x4) nas subparcelas, com três repetições. Entre as principais características dos genótipos usados destacam-se: tipo de híbrido: “Flash” e “Penta” são simples, “Attack” um simples modificado e o “Garra” um triplo; arquitetura foliar: “Flash” e “Garra” possuem folhas eretas, e “Attack” e “Penta” folhas decumbentes; quanto ao ciclo: “Flash” é superprecoce e os demais precoces; estatura de planta: “Flash” possui cerca de 190cm e os demais em torno de 210cm (REUNIÃO, 2005).

Os ensaios foram implantados com saraquá em 23 de outubro de 2001 e 26 de setembro de 2002. Adotou-se sistema de semeadura direta, em sucessão ao consórcio de 66% de sementes de aveia preta (*Avena strigosa*) e 34% de ervilhaca comum (*Vicia sativa*), com rendimento total de massa seca de 3,4 e 4,2t ha<sup>-1</sup> nos Experimentos I e II, respectivamente. Manejou-se essa cobertura de solo de inverno com herbicida glyphosate (540g ha<sup>-1</sup> do i.a.), no estádio de grãos leitosos da aveia preta, que foi rolada com rolo faca 14 dias após. Nos dois experimentos, aplicaram-se como adubação de base na linha 25, 120 e 100kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. A adubação nitrogenada em cobertura foi parcelada em três doses de 50kg ha<sup>-1</sup>, aplicadas nos estádios de três (V3), seis (V6) e 10 (V10) folhas expandidas, conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993). Realizou-se o controle de plantas daninhas em pós-emergência precoce, empregando-se a mistura de atrazine (1200g ha<sup>-1</sup> do i.a.) e metolachlor (1800g ha<sup>-1</sup> do i.a.). Os experimentos foram conduzidos com suplementação hídrica, através de sistema de aspersão, com taxa de aplicação de 10mm h<sup>-1</sup>. Os ensaios foram irrigados sempre que a tensão de água no solo fosse inferior a -0,04Mpa. O controle de pragas cortadoras de plantas foi realizado no dia da semeadura com uso de tratamento de sementes, aplicando-se 3g kg<sup>-1</sup> de semente do inseticida thiodiocarb. Nos estádios V3 e V9 fez-se controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e da vaquinha (*Diabrotica speciosa*), aplicando-se 25g ha<sup>-1</sup> de permethrin e 24g ha<sup>-1</sup> de methoxifenoazide.

Nas duas estações de crescimento determinaram-se a massa do grão, o número de grãos por área e o rendimento de grãos. A massa do grão foi obtida pela contagem manual de 400 grãos por unidade

experimental, com posterior pesagem e divisão da massa obtida por 400. Estimou-se o número de grãos por área pela razão entre a massa de grãos de cada unidade experimental e a massa de um grão, enquanto o rendimento de grãos (130g kg<sup>-1</sup>), pela extrapolação da produção por unidade experimental, com área útil de 9,6m<sup>2</sup>, para um hectare. Os resultados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância pelo F-Teste. Contudo, quando a interação híbrido, densidade de plantas e espaçamento entrelinhas foi significativa, procedeu-se análise de regressão, testando-se os modelos lineares e quadráticos. Para resumir a informação reunida em cada característica agrônômica avaliada, escolheram-se as equações significativas que possuíram maior coeficiente de determinação e que melhor explicaram o comportamento biológico de cada híbrido. Em todas as análises estatísticas, adotou-se 5% de probabilidade de erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de grãos por área variou em função da interação tríplice de híbrido, espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, nas duas estações de crescimento (Figura 1A a 1H). Ao se analisar o efeito do espaçamento entrelinhas na mesma densidade de plantas no Experimento I, verificou-se que este componente do rendimento variou apenas na menor densidade (5,0 plantas m<sup>-2</sup>) e no híbrido “Attack”, diminuindo linearmente 6,7 grãos por área para cada centímetro de redução no espaçamento entrelinhas de 100 para 40cm (Figura 1A e 1B). No Experimento II, este componente diminuiu linearmente para o híbrido “Garra”, nas densidades de 4,5, 6,0 e 9,0 plantas m<sup>-2</sup>, sendo as reduções de 5,1, 4,0 e 7,3 grãos por área para cada centímetro de redução no espaçamento entrelinhas de 100 para 40cm, respectivamente (Figura 1C). No entanto, esse componente do rendimento não alterou com o espaçamento entrelinhas na densidade 7,5 plantas m<sup>-2</sup> para o híbrido “Garra”, e em nenhuma das densidades no híbrido “Penta” (Figura 1C e 1D). Por outro lado, o aumento na densidade de plantas afetou o número de grãos por área nos quatro híbridos e nos quatro espaçamentos entrelinhas (Figura 1E a 1H), exceto no híbrido “Attack” no espaçamento de 100cm. Entre as 15 respostas obtidas nos diferentes híbridos e espaçamentos entrelinhas, verificou-se que em 14 delas houve incrementos lineares no número de grãos por área (entre 162 e 401 grãos por área para cada aumento de 1,0 plantas m<sup>-2</sup> na densidade), quando se aumentou a densidade de 4,5-5,0 para 8,75-9,0 plantas m<sup>-2</sup>.

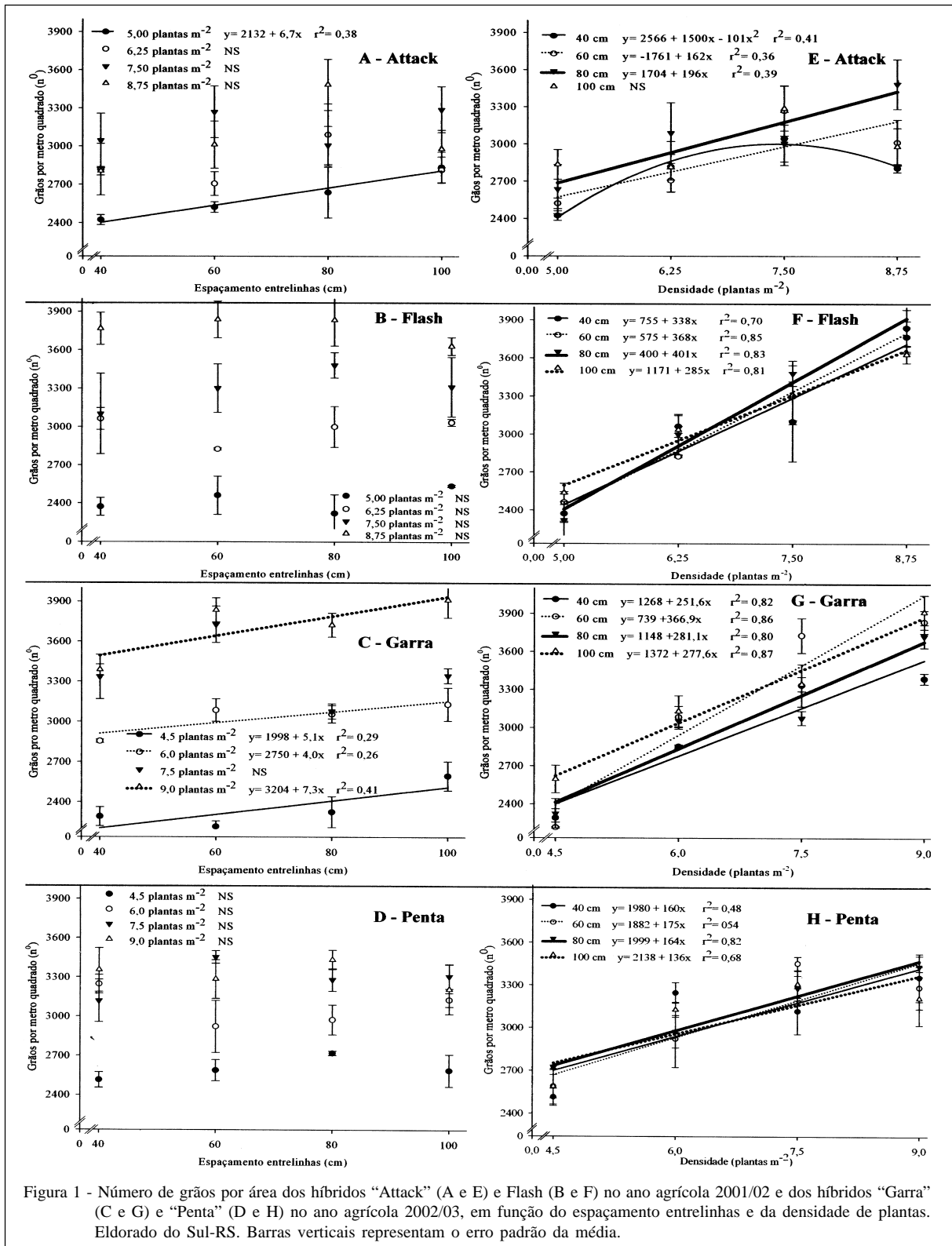


Figura 1 - Número de grãos por área dos híbridos “Attack” (A e E) e Flash (B e F) no ano agrícola 2001/02 e dos híbridos “Garra” (C e G) e “Penta” (D e H) no ano agrícola 2002/03, em função do espaçamento entrelinhas e da densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS. Barras verticais representam o erro padrão da média.

A massa do grão também variou em função da interação tríplice de híbrido, do espaçamento

entrelinhas e da densidade de plantas em ambos os experimentos (Figura 2A a 2H). Analisando o efeito do

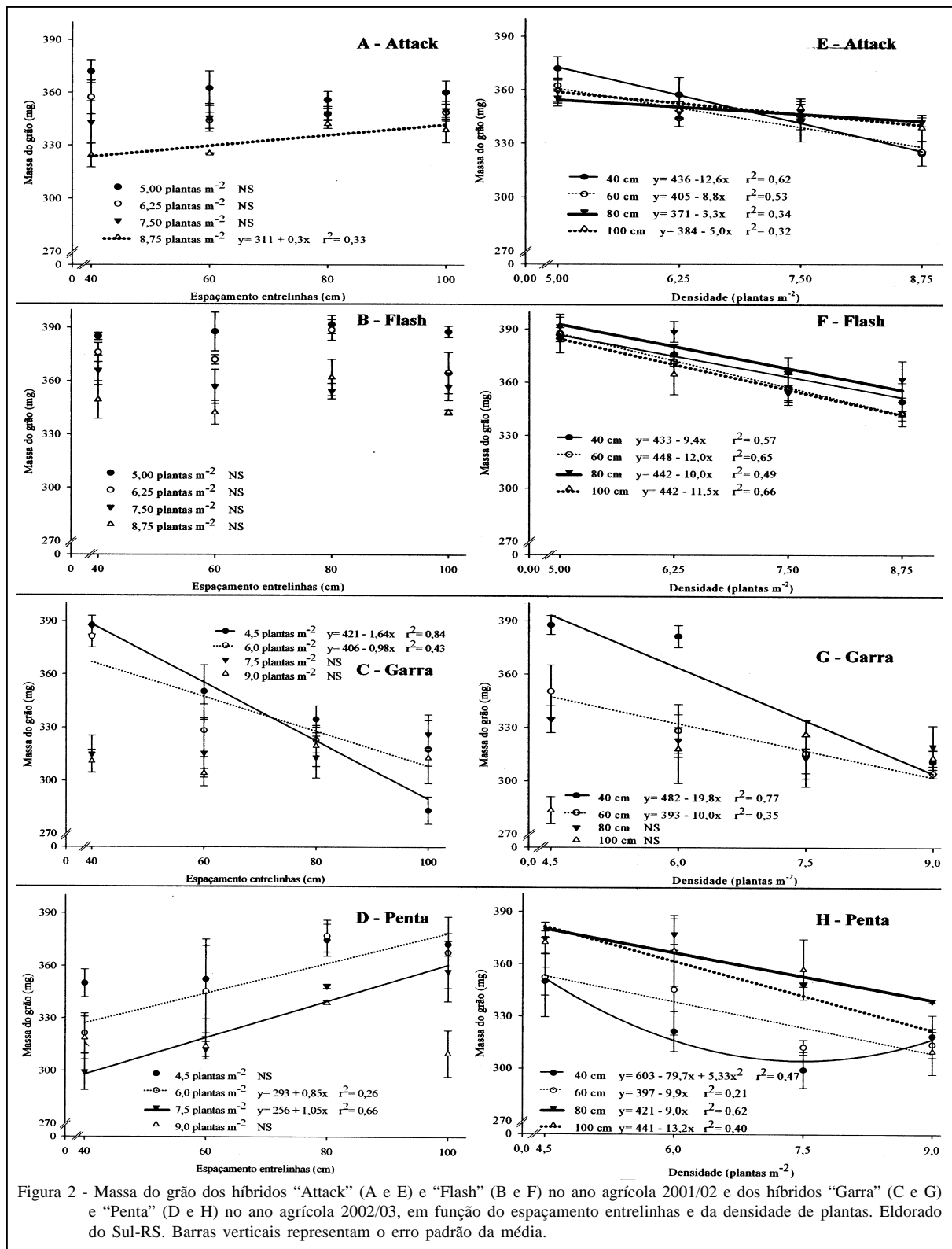


Figura 2 - Massa do grão dos híbridos “Attack” (A e E) e “Flash” (B e F) no ano agrícola 2001/02 e dos híbridos “Garra” (C e G) e “Penta” (D e H) no ano agrícola 2002/03, em função do espaçamento entrelinhas e da densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS. Barras verticais representam o erro padrão da média.

espaçamento entrelinhas na mesma densidade no Experimento I, verificou-se que a massa do grão variou

apenas no híbrido “Attack” e em sua maior densidade (8,75 plantas m<sup>-2</sup>) (Figura 2A e 2B), diminuindo 0,3mg

por grão para cada centímetro de redução no espaçamento de 100 para 40cm. No Experimento II, a massa do grão do híbrido “Garra” aumentou linearmente com a redução no espaçamento entrelinhas nas duas menores densidades (4,5 e 6,0 plantas  $m^{-2}$ ) e se manteve nas maiores densidades (7,5 e 9,0 plantas  $m^{-2}$ ) (Figura 2C). No híbrido “Penta”, a massa do grão diminuiu linearmente com a redução do espaçamento de 100 para 40cm nas densidades intermediárias (6,0 e 7,5 plantas  $m^{-2}$ ) e se manteve nas densidades de 4,5 e 9,0 plantas  $m^{-2}$  (Figura 2D). Por outro lado, houve redução linear na massa do grão nos quatro híbridos com o incremento na densidade de plantas nos quatro espaçamentos entrelinhas testados (Figura 2E a 2H), exceto nos espaçamentos de 80 e 100cm do híbrido “Garra”. Nessa condição, a massa do grão não variou com a densidade de plantas (Figura 2G), enquanto no espaçamento de 40cm do híbrido “Penta”, esse componente aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade (Figura 2H).

Assim como verificado nos dois componentes do rendimento de grãos apresentados, o rendimento de grãos variou em função da interação tríplice de híbrido, do espaçamento entrelinhas e da densidade de plantas, nos dois anos de realização da pesquisa (Figura 3A a 3H). A análise do efeito do espaçamento entrelinhas na mesma densidade de plantas no Experimento I detectou apenas resposta no híbrido “Flash” e em sua maior densidade (8,75 plantas  $m^{-2}$ ) (Figura 3A e 3B), onde o rendimento de grãos aumentou linearmente 0,3t  $ha^{-1}$  de grãos para cada 10cm, à medida que o espaçamento reduziu de 100 para 40cm (Figura 4B). No Experimento II, verificou-se resposta linear à redução do espaçamento entrelinhas nas densidades de 4,5, 6,0 e 9,0 plantas  $m^{-2}$  apenas no híbrido “Garra” (Figura 4C e 4D), com incrementos de 0,2t  $ha^{-1}$  nas densidades de 4,5 e 6,0 plantas  $m^{-2}$  e diminuição de 0,3t  $ha^{-1}$  na maior densidade (9,0 plantas  $m^{-2}$ ) para cada 10cm de redução no espaçamento entrelinhas, na faixa de 100 a 40cm. Entretanto, não houve resposta do rendimento de grãos ao espaçamento entrelinhas na densidade de 7,5 plantas  $m^{-2}$  dos híbridos “Flash” e “Garra” e em nenhuma das densidades testadas no híbrido “Penta”.

No Experimento I, quando se alterou a densidade de plantas, apenas houve variação no rendimento de grãos do híbrido “Flash” (Figura 3E e 3F). Os incrementos no rendimento foram de 1,0, 0,7 e 0,9t  $ha^{-1}$  para cada aumento de 1,0 plantas  $m^{-2}$ , à medida que a densidade aumentou de 5,0 para 8,75 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente, nos espaçamentos de 40, 60 e 80 cm (Figura 3F), não variando no maior espaçamento entrelinhas (100cm). No Experimento II, a densidade de

plantas incrementou o rendimento de grãos do híbrido “Garra” em 0,8, 0,7 e 0,8t  $ha^{-1}$  para cada aumento de 1,0 plantas  $m^{-2}$  nos espaçamentos de 60, 80 e 100cm, respectivamente (Figura 3G), enquanto no espaçamento de 40cm houve resposta quadrática com a densidade de plantas, atingindo rendimento máximo na densidade de 7,4 plantas  $m^{-2}$ . No híbrido “Penta”, o rendimento de grãos variou com a densidade apenas no espaçamento de 80cm (Figura 4H), incrementando 0,3t  $ha^{-1}$  para cada aumento de 1,0 plantas  $m^{-2}$  na densidade de plantas.

Nos dois anos da pesquisa, os incrementos no rendimento de grãos devidos à redução do espaçamento entrelinhas, na mesma densidade de plantas, podem ser atribuídos à melhor distribuição das plantas na área, que minimiza a concorrência por luz na linha, sobretudo sob altas densidades de plantas. Entretanto, esses ganhos no rendimento com redução do espaçamento entrelinhas apenas ocorreram nos híbridos “Flash” e “Garra”, que possuem folhas eretas. Esse tipo de cultivar apresenta crescimento mais lento, demora mais para ocupar os espaços disponíveis e muitas vezes não sombreia toda a área das entrelinhas (ARGENTA et al., 2001b; SANGOI, 2001). Os dados obtidos no trabalho reforçam a tese de que a redução do espaçamento entrelinhas para 40 a 60cm, em relação aos espaçamentos tradicionais de 80 a 100cm, apenas se justifica para alguns híbridos, quando os tetos de rendimentos de grãos são superiores a 8 a 9t  $ha^{-1}$  e quando a densidade usada é maior que 4,5 plantas  $m^{-2}$ . Com rendimento e densidades inferiores, os benefícios da redução do espaçamento entrelinhas na produtividade da cultura são menores que as limitações impostas por outros fatores, como fertilidade do solo, potencial do genótipo, falta ou excesso hídrico e realização de práticas de manejo fora dos estádios de desenvolvimento mais indicados.

Os maiores benefícios do incremento na densidade de plantas e da redução do espaçamento entrelinhas no rendimento de grãos seriam esperados utilizando híbridos com arquitetura de planta compacta (folhas eretas), desde que não houvesse estresse hídrico e/ou nutricional (ARGENTA et al., 2001a; SILVA et al., 2006). Os dados obtidos confirmaram essa tese, pois os híbridos “Flash” e “Garra”, de folhas eretas, apresentaram rendimentos de grãos superiores aos verificados nos híbridos “Attack” e “Penta”, de folhas decumbentes, quando submetidos à redução do espaçamento entrelinhas e ao aumento na densidade de plantas. Além disso, o comportamento do rendimento de grãos também demonstrou que híbridos com folhas decumbentes, como o “Attack” e o “Penta”, são mais flexíveis em variações nas densidades de semeadura e espaçamento entrelinhas. Isso ocorre

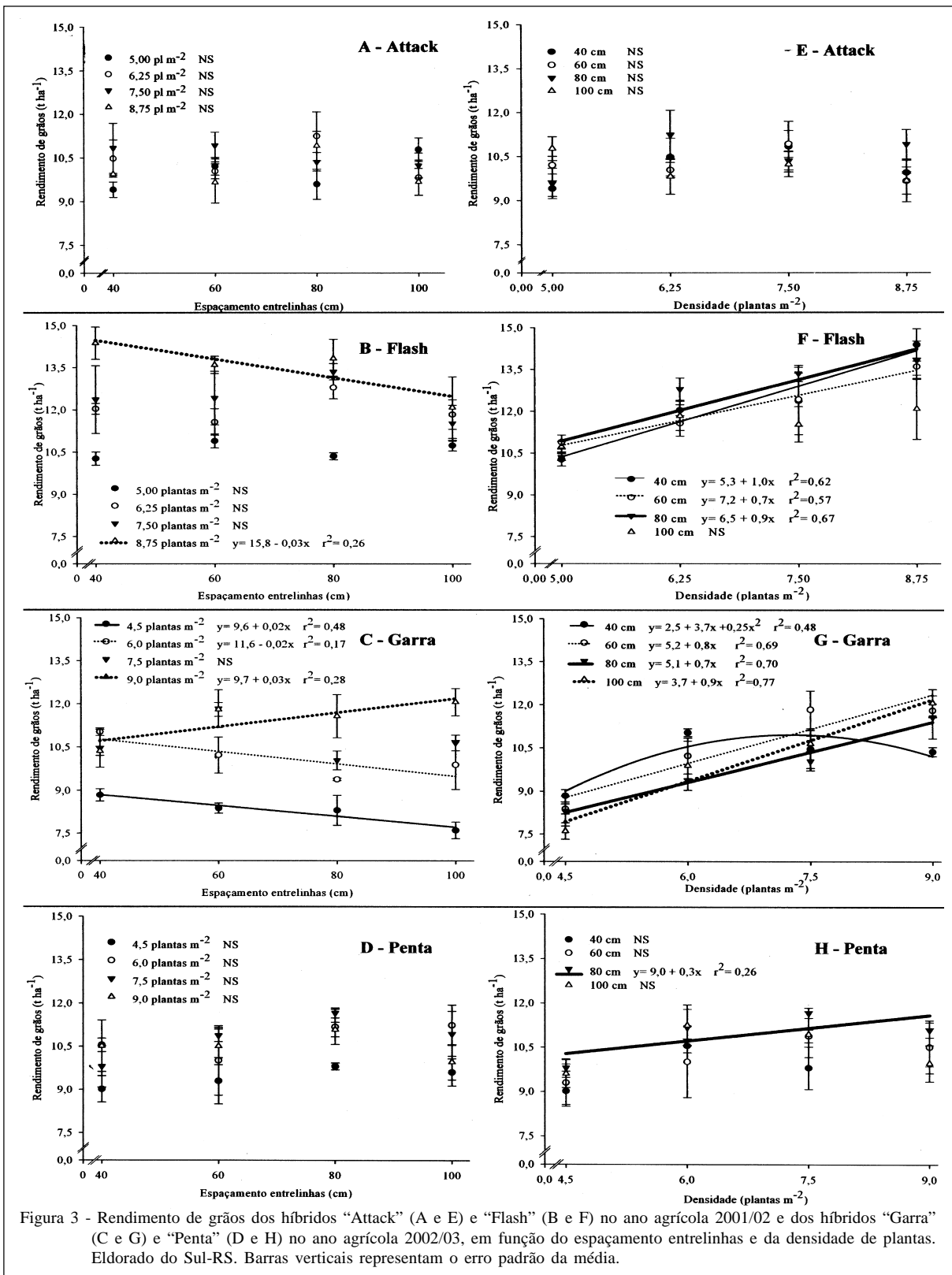


Figura 3 - Rendimento de grãos dos híbridos “Attack” (A e E) e “Flash” (B e F) no ano agrícola 2001/02 e dos híbridos “Garra” (C e G) e “Penta” (D e H) no ano agrícola 2002/03, em função do espaçamento entrelinhas e da densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS. Barras verticais representam o erro padrão da média.

porque híbridos de folhas mais eretas possuem menor sobreposição foliar e, assim, menor grau de

sombreamento intra-específico, aumentando a área foliar efetivamente ativa na interceptação de radiação

solar incidente. Por outro lado, genótipos com folhas decumbentes apresentam maior área foliar sombreada, principalmente nos extratos inferiores do dossel, contribuindo menos para interceptação de radiação solar e na síntese de fotoassimilados.

Em estudos conduzidos com milho submetido a diferentes arranjos de plantas, MADONNI et al. (2001) verificaram que a orientação foliar no plano horizontal (distribuição azimutal) pode ser alterada pelo arranjo de plantas. Com base nessas evidências, os autores classificaram as cultivares de milho em “plásticas”, que apresentam habilidade de modificar a orientação das folhas, e “rígidas”, que não possuem esta característica. Nesse sentido, os híbridos “Flash” e “Garra” são provavelmente genótipos plásticos, conseguindo distribuir melhor as folhas nos espaços entre plantas e/ou linhas, quando submetidos à alta densidade de plantas e/ou a espaçamento entrelinhas reduzido. Isso explica parte dos incrementos no rendimento de grãos, pois esses híbridos evidenciaram ter maior habilidade de interceptar radiação solar. A distribuição foliar mais uniforme diminui o sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores, aumenta a área foliar ativa na interceptação de radiação solar incidente e pode melhorar a eficiência de conversão da radiação solar interceptada em rendimento de grãos (MADONNI et al., 2001).

No presente estudo, a maior parte das respostas obtidas ao incremento na densidade de plantas foi linear, demonstrando ser possível incrementar o rendimento de grãos dos híbridos testados com uso de densidades superiores às utilizadas no milho. Esses resultados contrastam com outros estudos, que verificaram resposta quadrática do rendimento para diferentes genótipos, atingindo-se um platô por volta de 8,0 plantas m<sup>2</sup> e declínio em densidades mais altas (COX, 1996; FLESCHE & VIEIRA, 2004). Apesar dos resultados obtidos, SILVA et al. (1999; 2006) advertem que densidades superiores a 8,0 plantas m<sup>2</sup> devem ser usadas apenas em condições de alta tecnologia, sem restrições hídricas e de fertilizantes. Os resultados obtidos demonstram que a indicação de densidade proposta na Reunião Técnica Anual de Pesquisa de Milho e Sorgo do RS (REUNIÃO, 2005) pode ser ampliada para valores maiores em híbridos tolerantes, desde que as condições ambientais sejam favoráveis à obtenção de altos tetos de rendimento.

Mesmo que os incrementos no rendimento de grãos promovidos pela redução do espaçamento entrelinhas dependam do híbrido e da densidade de plantas, esta prática apresenta outras vantagens potenciais que podem justificar seu uso. Entre estas, pode-se citar: menor desenvolvimento de plantas

daninhas (JOHNSON et al., 1998); redução da dose de herbicida aplicado no seu manejo (FORCELLA et al., 1992; TEASDALE, 1995; BALBINOT Jr. & FLECK, 2005a); sombreamento antecipado da superfície do solo com o espaçamento entrelinhas reduzido e/ou com aumento na densidade de plantas, que diminui a evaporação de água no início do desenvolvimento da planta (BALBINOT Jr. & FLECK, 2005b). A cobertura foliar antecipada do solo ainda é importante quando há pouco ou nenhum resíduo da cultura anterior, pois auxilia na sua proteção e diminui a ocorrência de escoamento superficial e a erosão. Quanto à mecanização agrícola, apesar de requerer aquisição de máquinas novas ou adaptação das existentes, a redução do espaçamento entrelinhas aumenta a eficiência de uso de semeadoras-adubadoras, pois possibilita uso da mesma regulagem nas principais culturas de verão (milho e soja) (SILVA, 2005). Menores espaçamentos entrelinhas ainda melhoram a distribuição de sementes e adubo no sulco de semeadura, aumentam a eficiência de uso dos fertilizantes e reduzem os efeitos salinos fitotóxicos à semente.

## CONCLUSÕES

O aumento da densidade de plantas incrementa o rendimento de grãos de híbridos de milho de folhas eretas, independentemente do espaçamento entrelinhas. Já em híbridos de milho de folhas decumbentes, o rendimento de grãos não é afetado pelo espaçamento entrelinhas, independentemente da densidade de plantas.

Variações no arranjo de plantas interferem mais no rendimento de grãos de híbridos de milho com arquitetura de planta ereta em relação aos com folhas decumbentes.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de produtividade de pesquisa, de pós-graduação e de iniciação científica. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pela bolsa de iniciação científica. À Empresa Syngenta Seeds Ltda., pelo apoio financeiro.

## 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*, Santa Maria, v.30, n.1, p.23-29, 2000.
- ARGENTA, G. et al. 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 de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.71-78, 2001b.
- BALBINOT, Jr., A.A.; FLECK, N.G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.245-252, 2005a.
- BALBINOT Jr., A.A.; FLECK, N.G. Benefícios e limitações da redução do espaçamento entrelinhas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.5, n.1, p.37-41, 2005b.
- BUGBEE, B.G.; SALISBURY, F.B. Exploring the limits of crop productivity. I. Photosynthetic efficiency of wheat in high irradiance environments. **Plant Physiology**, Rockville, v.88, p.869-878, 1988.
- BULLOCK, D.G. et al. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. **Crop Science**, Madison, v.28, p.254-258, 1988.
- COX, W.J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.489-496, 1996.
- DUVICK, D.N.; CASSMAN, K.G. Post-green revolution in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1622-1630, 1999.
- EVANS, L.T.; FISCHER, R.A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1544-1551, 1999.
- FLÉNET, F. et al. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.185-190, 1996.
- FLESCHE, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaços 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.
- FORCELLA, F. et al. Effect of row width on herbicide and cultivation requirements in row crops. **American Journal of Alternative Agriculture**, Arlington, v.7, p.161-167, 1992.
- JOHNSON, G.A. et al. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p.40-46, 1998.
- KASPERBAUER, M.J.; KARLEN, D.L. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1564-1569, 1994.
- LOOMIS, R.S.; AMTHOR, J.S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1584-1596, 1999.
- MADONNI, G.A. et al. Plant population density, row spacing and hybrid affects on maize canopy architecture and light attenuation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.71, p.183-193, 2001.
- MELGES, E. et al. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.9, n.6, p.1073-1080, 1989.
- MURPHY, S.D. et al. Effect of planting patterns on inter-row cultivation on competition between corn (*Zea mays*) and late emerging weeds. **Weed Science**, Lawrence, v.44, p.856-870, 1996.
- OTTMAN, M.J.; WELCH, L.F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.167-174, 1989.
- RAMALHO, M.A.P. Contribuições do melhoramento genético vegetal na produção de grãos. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 5., 2005, Chapecó. **Resumos expandidos...** Chapecó: Epagri/Cepaf, 2005. p.20-26.
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO DO RS (50 e 33). **Indicações técnicas para cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul 2005/2006**. Porto Alegre: FEPAGRO/Emater-RS/ASCAR, 2005. 155p.
- RITCHIE, S.W. et al. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 21p. (Special Report, 48). Capturado em 15 ago. 2005. Online. Disponível na internet <http://maize.agron.iastate.edu/corntitle.html>
- 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.
- SINCLAIR, T.R. Crop yield potential and fairy tales. In: BUXTON, D.R. et al. (Ed). **International Crop Science I**. Crop Science Society of America, 1993. Cap.52, p.707-711.
- SILVA, A.K. Redução do espaçamento entrelinhas na cultura do milho. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO e FEIJÃO, 5., 2005, Chapecó. **Resumos expandidos...** Chapecó: Epagri/Cepaf, 2005. p.27-30.
- SILVA, P.R.F. et al. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.585-592, 1999.
- SILVA, P.R.F. et al. **Importância do arranjo de plantas na definição da produtividade do milho**. Porto Alegre: Depto de Plantas de Lavoura da UFRGS: Evangraf, 2006. 64p.
- SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. Is there a niche for physiology in future genetic improvement of maize yields? In: SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. (Ed). **Physiological bases for maize improvement**. Binghamton, Haworth, 2000. p.1-14.
- TEASDALE, J.R. Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Lawrence, v.9, n.1, p.113-118, 1995.