

DESEMPENHO PRODUTIVO DO MILHO HÍBRIDO SIMPLES EM FUNÇÃO DE ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS E POPULAÇÕES DE PLANTAS

MAURÍCIO FUMAGALLI¹, ROGÉRIO ALESSANDRO FARIA MACHADO¹,
IVAN VILELA ANDRADE FIORINI¹, CASSIANO SPAZIANI PEREIRA¹,
LUIZ PAULO MIRANDA PIRES² e HÉLCIO DUARTE PEREIRA²

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Sinop, MT, Brasil

mauriciofumagalli@hotmail.com; rogeriomachado@yahoo.com.br; ivanvaf@yahoo.com.br; caspaziani@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil – luizpaulo_vortex@hotmail.com; hhelciopassos@yahoo.com.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.16, n.3, p. 426-439, 2017

RESUMO - O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho produtivo do milho submetido a diferentes espaçamentos entre fileiras e populações de plantas, nas condições da segunda safra de 2010, em Ipiranga do Norte, na região norte de Mato Grosso. O experimento foi implantado no dia 26 de janeiro, com o híbrido simples Pioneer 30S31, em sistema convencional de preparo do solo após a colheita da soja precoce. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. Os tratamentos foram representados por três espaçamentos entre fileiras de 0,5; 0,7 e 0,9 m nas parcelas principais e quatro populações de 50.000, 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ nas subparcelas. Todos os parâmetros avaliados foram influenciados pelas populações de plantas. Os espaçamentos entre fileiras influenciaram o número de fileiras de grãos, a massa de mil grãos e a produtividade de grãos do milho. Ocorreu interação significativa entre os fatores de estudo para todos os componentes de produção, exceto quanto ao comprimento de espigas. O aumento das populações até 80.000 plantas ha⁻¹, associado à redução do espaçamento entre fileiras, resultou na combinação mais eficiente com maior produtividade de grãos. Com o aumento do espaçamento entre fileiras, a população ótima ficou abaixo de 70.000 plantas ha⁻¹ nos espaçamentos de 0,7 e 0,9 m entre fileiras.

Palavras-chave: Arranjo de plantas, densidade de plantas, distribuição espacial, *Zea mays* L.

MAIZE PRODUCTIVITY PERFORMANCE OF SIMPLE HYBRID IN FUNCTION OF THE ROW SPACING AND PLANT POPULATIONS

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the maize productivity performance under different row spacing and plant populations, in conditions of off-season, crop year 2010, in Ipiranga do Norte, in the northern region of the State of Mato Grosso, Brazil. The experiment was implanted on 26 January, with a simple hybrid maize Pioneer 30S31, in a conventional system, after soybean crop. The experimental design was randomized blocks in split plots with four replications. The treatments were three row spacing between rows of 0.5, 0.7 and 0.9 m in main plots and four populations of 50.000, 60.000, 70.000 and 80.000 plants ha⁻¹ in subplots. Plant populations influenced all parameters. The spacing between rows influenced the number of rows of grain, the thousand-grain weight and yield grains. The interaction was significant between row spacing and plant populations for all parameters, except for ear length. The increase in populations to 80.000 plants ha⁻¹, associated with a reduced spacing between rows, proved to be the most effective resulting in highest grains yield. With increasing spacing between rows, the optimum population was below 70.000 plants ha⁻¹ in the row spacing's of 0.7 and 0.9 m between lines.

Keywords: Plant arrangement, plants density, space distribution, *Zea mays* L.

O milho (*Zea mays* L.) é produzido no território brasileiro em diversas épocas de semeadura, condições ambientais e de manejo, fazendo-se necessária a obtenção de híbridos com diferentes performances. Para os híbridos modernos, o ciclo e a arquitetura foliar são de suma importância para os programas de melhoramento. É uma espécie cultivada de alta relevância na agricultura brasileira, sendo uma cultura estratégica dos pontos de vista de segurança alimentar e desenvolvimento regional (Tonin et al., 2009).

Na safra 2016/17, o Brasil se destacou como terceiro maior produtor de milho, atingindo 96,0 milhões de toneladas do grão, atrás dos Estados Unidos da América (EUA) e da China que produziram aproximadamente 384,8 e 219,6 milhões de toneladas, respectivamente. No Brasil, estima-se atingir na segunda safra de milho 2017 cerca de 61 milhões de toneladas, com praticamente 60% da produção de milho no País. O Estado do Mato Grosso destaca-se na produção de milho, principalmente nas condições ambientais de clima de segunda safra (“safrinha”) em sucessão principalmente após a cultura da soja precoce. É o estado que apresenta o maior acréscimo em produção de milho segunda safra, que será 64% maior que na safra 2015/16, passando de 15 milhões de toneladas para 24,7 milhões na safra 2016/17, fato justificado pela área cultivada e produtividades alcançadas. O Mato Grosso é responsável por quase 40,5% da produção de milho na segunda safra no Brasil (CONAB, 2017).

Na cultura do milho, a produtividade de grãos é uma variável complexa e depende de fatores genéticos, ambientais e de manejo. Dessa forma, o potencial produtivo do milho pode ser mais bem explorado pela adoção de novas tecnologias referentes à escolha de genótipos adaptados às condições de cultivo, manejo adequado do solo, adubação de acordo com o nível tecnológico do agricultor, adequadas épocas de

semeadura, escolha das populações de plantas corretas, espaçamentos e arranjos de plantas compatíveis com a tecnologia empregada nos híbridos, entre outros fatores. O uso de espaçamentos e populações de plantas de acordo com a disponibilidade de recursos, como água, nutrientes e luz, de forma a propiciar o melhor aproveitamento deles na área, contribui para a melhoria no desempenho da cultura (Demétrio et al., 2008).

Desta forma, híbridos modernos, com arquitetura foliar ereta, podem apresentar resultados diferentes dos genótipos (híbridos) já estudados, sobretudo em espaçamentos reduzidos e com maiores populações de plantas. Somado a isso, existe a carência de pesquisas para a segunda safra de milho na região, fato que estimulou a realização do estudo em questão.

Objetivou-se avaliar o desempenho produtivo de um híbrido simples de milho com arquitetura de folhas semieretas submetido a diferentes espaçamentos entre fileiras e populações de plantas, cultivado na segunda safra, em Ipiranga do Norte, na região norte de Mato Grosso.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de 26 de janeiro a abril de 2010 em uma área comercial da Fazenda Canaã II, localizada no município de Ipiranga no Norte-MT, com latitude 11°50'50,8"S e longitude 56°08'42,9". O clima da região é caracterizado como tropical chuvoso (tipo AW - classificação de Köppen) com estação seca e temperatura média anual de 26 °C. A precipitação anual oscila entre 2.000 e 2.200 mm (Souza et al., 2013). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (Santos et al., 2013). Os dados climáticos de precipitação pluviométrica e tempera-

turas mínimas, médias e máximas durante o período da condução do experimento estão na Figura 1.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas, com os tratamentos constituídos de três espaçamentos entre fileiras nas parcelas e quatro populações de plantas nas subparcelas, com quatro repetições. Os espaçamentos entre fileiras nas parcelas foram de 0,5 m; 0,7 m e 0,9 m, e as populações nas subparcelas foram de 50.000, 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha^{-1} . Cada parcela experimental foi constituída de seis fileiras, na respectiva população de plantas, com seis metros de comprimento cada. As avaliações das características componentes da produção do milho foram efetuadas na área útil das parcelas, considerando-se as duas fileiras centrais das parcelas experimentais.

Foi utilizado o híbrido simples Pioneer 30S31, de ciclo semiprecoce, alto potencial produtivo, arquitetura de folhas semieretas, tolerância a diversas doenças, e recomendado para a safrinha no Centro-Oeste.

O experimento foi instalado em sucessão à cultura da soja precoce, sobre sistema de preparo convencional do solo com uma aração e duas gradagens. De acordo com a análise química do solo, realizada 6 meses antes do preparo físico, não foi necessária a calagem (Tabela 1). Na adubação de semeadura foram aplicados 500 $kg\ ha^{-1}$ do formulado N-P-K 00-18-18 e 200 $kg\ ha^{-1}$ do formulado N-P-K 1616-16, visando alta produtividade de grãos de milho com expectativa de rendimento acima de 10 $t\ ha^{-1}$. A adubação em relação aos micronutrientes foi aplicada via foliar no estágio V_6 . Foram realizadas duas adubações de

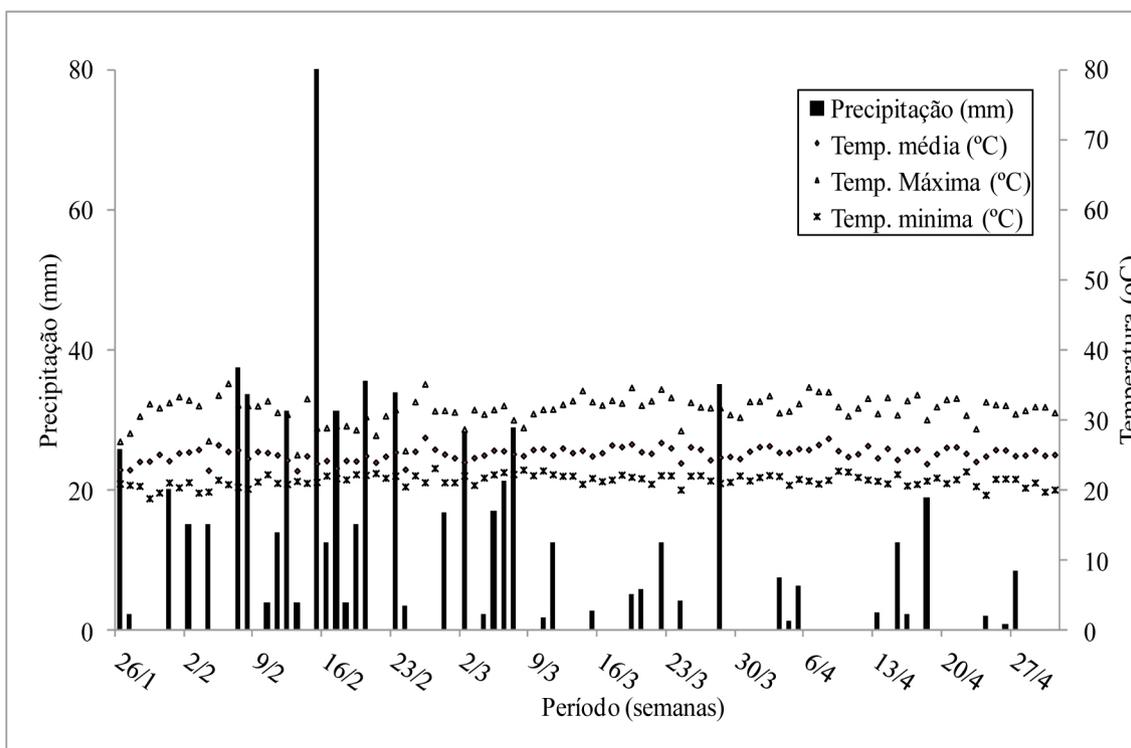


Figura 1. Precipitação Pluvial (mm) e Temperaturas mínimas, médias e máximas (°C) por semana, durante o período de condução do experimento. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/10.

nitrogênio em cobertura, nos estádios V_4 e V_8 , utilizando 90 kg ha^{-1} de N em cada aplicação com a ureia como fonte. A semeadura foi realizada no dia 26 de janeiro de 2010, utilizando uma semeadora que era previamente ajustada ao espaçamento entre fileiras do tratamento a ser implantado. Aos 15 dias após a semeadura, foram realizados desbastes das plantas excedentes com intuito de atingir as populações desejadas de cada tratamento. As sementes foram tratadas com o inseticida Fipronil, à base de pirazol, na dose do produto comercial de $50 \text{ mL para } 100 \text{ kg}^{-1}$ de sementes. Para o controle de plantas daninhas, utilizaram-se os herbicidas Sanson, à base de nicosulfuron, e Atrazine, à base de atrazina, nas doses dos produtos comerciais de $1,25 \text{ L ha}^{-1}$ e $3,5 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, aplicados no estádio V_4 . Foram realizadas três aplicações no estádio V_6 para controle de *Spodoptera frugiperda*, utilizando Metomil e Teflubenzurom nas doses dos produtos comerciais de 600 mL ha^{-1} e 100 mL ha^{-1} , respectivamente.

As avaliações dos componentes da produção do milho iniciaram-se após os grãos atingirem a maturidade fisiológica e apresentarem umidade próxima a 180 g kg^{-1} de água, sendo coletadas seis espigas representativas na área útil da parcela experimental.

Foi realizada a colheita manual de todas as espigas da área útil da parcela (duas fileiras centrais) e posteriormente foram debulhadas com um debulhador manual. Os dados da produtividade de grãos obtidos de cada parcela foram corrigidos para a umidade padrão de 13% e foram convertidos para kg ha^{-1} .

Não havendo nenhuma restrição às pressuposições da análise da variância, os dados obtidos foram submetidos a análises de variância pelo teste F ($p < 0,05$). As variáveis quantitativas foram submetidas à análise de regressão e os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão e no valor do coeficiente de determinação (R^2). Para as análises estatísticas foi utilizado o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

Resultados e Discussão

De acordo com os valores de F obtidos na análise de variância, observou-se efeito significativo das populações de plantas para as características comprimento de espiga, diâmetro de espiga e número de grãos por fileiras. O número de fileiras de grãos, a massa de mil grãos e produtividade de grãos do milho foram influenciadas pelos espaçamentos entre fi-

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo na área experimental, na profundidade 0-20 cm. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T ¹	V		
(H ₂ O)	-----mg dm ⁻³ -----			----- cmolc dm ⁻³ -----				%		
6,0	6,1	37	2,33	1,45	0,0	3,38	7,3	53,4		
Zn	Cu	Fe	Mn	B	S	Areia	Silte	Argila	M.O.	
-----mg dm ⁻³ -----						-----g kg ⁻¹ -----				
4,0	0,5	95	6,5	0,35	9,5		430	117	453	20

¹ CTC a pH 7,0

leiras, populações de plantas e pela interação desses fatores (Tabela 2).

Evidencia-se na Figura 2 uma redução no comprimento de espiga, em função do aumento das populações de plantas para os três níveis estudados do fator espaçamento entre fileiras. O mesmo resultado foi obtido por Brachtvogel et al. (2009), com relação a espaçamentos e populações de plantas, em que não se notou diferença no comprimento de espiga para o espaçamento entre fileiras. Entretanto, tais autores observaram uma redução no comprimento de espiga com a elevação das densidades de plantas e conseqüentemente das populações de plantas, que é caracterizado segundo vários autores pelo aumento na competição intraespecífica por água, nutrientes e luminosidade (Sangoi et al., 2010, 2016, 2011a, 2011b; Rambo et al., 2011).

Entre esses fatores ambientais que levam à maior competição intraespecífica com redução no comprimento de espiga, podemos dar destaque à água e ao nitrogênio no solo (Sangoi et al., 2010, 2011b; Rambo et al., 2011). Foi relatado por Pereira et al. (2008) que o excesso de plantas, em relação à disponibilidade de água, resulta em reduzido desenvolvimento de espiga, podendo ter reflexo

na diminuição do comprimento dela. Blanco et al. (2009), avaliando lâminas de irrigação na produção de milho verde, também notaram uma redução no comprimento de espiga nas menores lâminas utilizadas. Ragagnin et al. (2010), em avaliação de doses de nitrogênio, obtiveram efeito das doses de nitrogênio em cobertura para comprimento de espiga. Nesse contexto, a redução no comprimento de espiga deve-se principalmente à competição por água e nitrogênio em condições de altas densidades de plantas.

As equações de regressão linear para os níveis de populações de plantas dentro de cada espaçamento demonstram que, de um modo geral, com o aumento das populações de plantas, o diâmetro de espiga decresceu para os espaçamentos, com maior redução para o espaçamento 0,9 metros entre fileiras (Figura 3). Os resultados foram similares aos apresentados por Marchão et al. (2005) e Brachtvogel et al. (2009). A redução acentuada do diâmetro de espiga apresentado pela maior população no maior espaçamento indica o efeito da interação de espaçamentos e populações de plantas, que pode ter resultado na maior competição intraespecífica, principalmente por água, nutrientes e radiação.

Tabela 2. Valores de F calculados para comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de grãos por fileiras (NGF), número de fileiras de grãos (NFG), massa de mil grãos (MM) e produtividade (PROD) de plantas de milho em diferentes espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010.

FV	CE	DE	NGF	NFG	MM	PROD
Blocos	0,362	2,29	0,096	1,727	3,105	23,058
Espaçamentos (E)	6,666	6,928	4,084	8,273 *	793,141 **	417,55 **
CV 1 (%)	2,72	2,15	2,51	1,25	0,55	1,19
Populações (P)	274,61 **	113,95 **	335,436 **	36,365 **	131,184 **	168,93 **
E x P	1,38	3,629 *	2,82 *	19,603 **	10,475 **	46,398 **
CV 2 (%)	8,21	11,21	11,3	12,00	8,37	14,53

*p<0,05 ou **p<0,01 significativos pelo teste F, respectivamente.

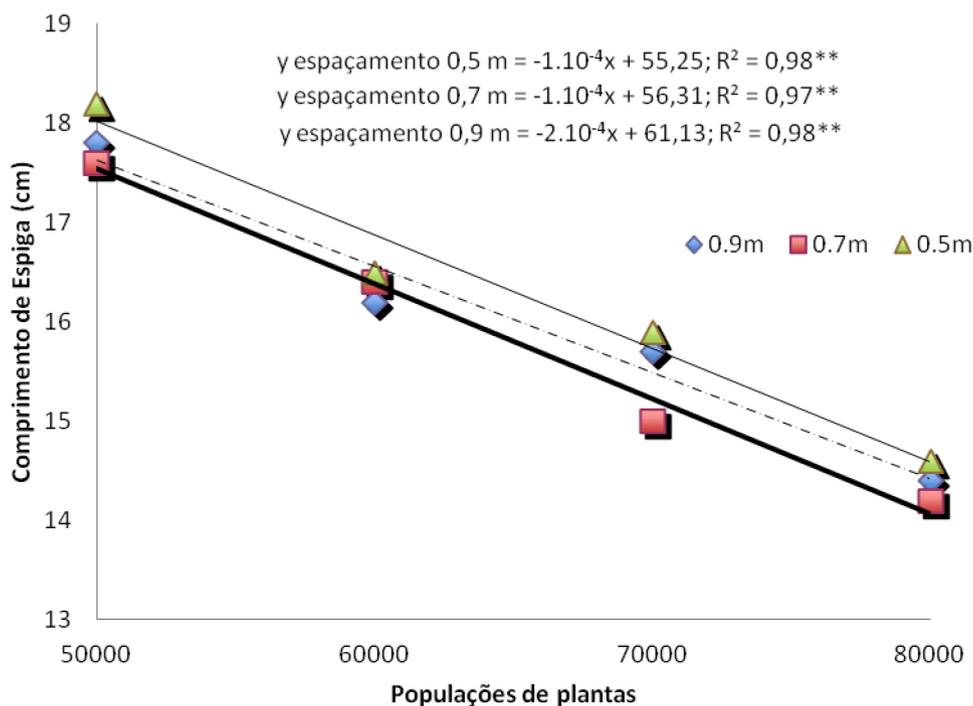


Figura 2. Comprimento de espiga em três espaçamentos entre fileiras e quatro populações de plantas. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010. $**p < 0,01$ pelo teste F.

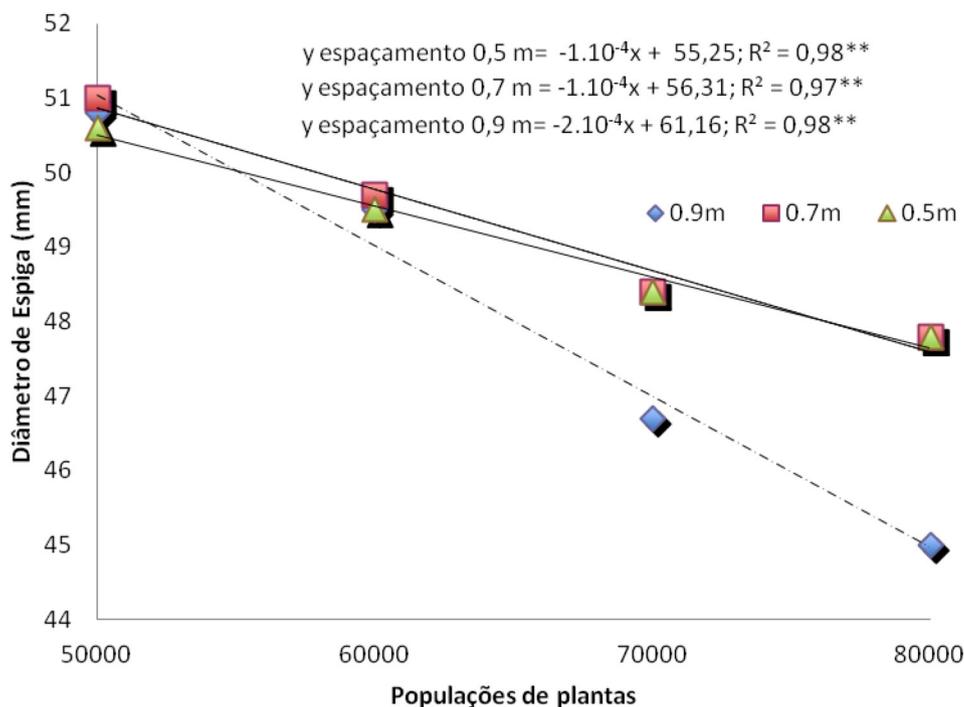


Figura 3. Diâmetro de espiga em três espaçamentos entre fileiras e quatro populações de plantas. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010. $**p < 0,01$ pelo teste F.

Para o número de grãos por fileiras, a regressão para os níveis de populações de plantas dentro de cada espaçamento entre fileiras indicou o melhor ajuste dos dados com o modelo quadrático (Figura 4). No desdobramento de médias do espaçamento dentro de cada população, a maior população no menor espaçamento apresentou o menor número de fileiras de grãos. A redução no número de grãos por fileira com o aumento da densidade de plantas resulta em diminuição no número de grãos por espiga, fato esse já observado por vários autores (Brachtvogel et al., 2009; Marchão et al., 2005; Sangoi et al., 2010, 2011b; Rambo et al., 2011).

Segundo Cantarero et al. (1999), o rendimento de grãos do milho está diretamente associado às variações no número de grãos por espiga, o qual dependerá das taxas de crescimento pela cultura durante o florescimento. O atraso na transformação das rami-

ficações laterais em primórdios de espiga, observado em altas densidades de plantas, pode afetar o número final de grãos por espiga pelas alterações morfofisiológicas impostas à inflorescência feminina antes do florescimento, durante a fertilização e no início do enchimento de grãos. O aumento na defasagem entre antese e espigamento, ocorrido quando se incrementa a densidade de plantas, tem sido frequentemente reportado na literatura.

De acordo com Sangoi et al. (2007), o período de liberação de pólen da planta é curto e definido, a assincronia entre antese e espigamento, promovida por densidades elevadas, contribui substancialmente para reduzir o número de espiguetas fertilizadas, sendo decisiva para a redução no rendimento potencial da cultura. O número de grãos por espiga em densidades elevadas também pode ser reduzido pelo aborto de óvulos recentemente fertilizados no início do

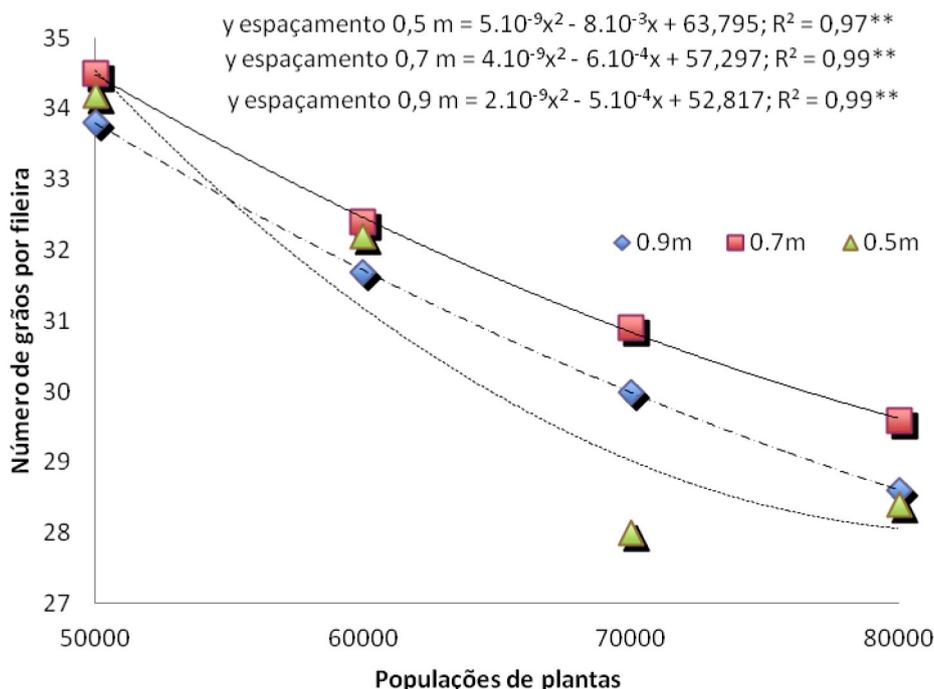


Figura 4. Número de grãos por fileiras em três espaçamentos entre fileiras e quatro populações de plantas. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010. $**p < 0,01$ pelo teste F.

enchimento de grãos. A disponibilidade adequada de açúcares solúveis e nitrogênio nas espigas e órgãos próximos no período compreendido entre a antese e o início da fase de dilatação dos grãos é fundamental para que a intensa atividade mitótica verificada nos óvulos recém-fertilizados possa ser mantida. Assim, a utilização de altas densidades promove limitações no suprimento de carbono e nitrogênio nas espigas logo após a fertilização, favorecendo o aborto de grãos no início de formação. Isso ocorre com frequência nos grãos localizados no ápice da espiga, os quais são os últimos a serem fertilizados, tendo, por conseguinte, menor poder de demanda dentro da espiga por carboidratos e compostos nitrogenados.

Nesse sentido, a presença de plantas com menor número de folhas, folhas mais eretas e menor produção de fitomassa reduz o nível de interferência de uma planta sobre a outra. Com isso, pode-se utilizar maior número de indivíduos por área, aumentando a eficiência de interceptação da radiação solar e possibilitando taxas fotossintéticas mais altas. Com maiores taxas fotossintéticas há maior disponibilidade de fotoassimilados para que a comunidade de plantas possa produzir mais massa seca e sustentar um desenvolvimento harmonioso das inflorescências masculina e feminina. A planta atende adequadamente às demandas do pendão e das espigas, levando a um maior sincronismo entre antese e espigamento e a maior número de grãos produzidos por espiga. Dessa forma, a maior eficiência da fonte em suprir os drenos da planta em períodos críticos para a definição do número de grãos por espiga é importante para maior adaptação dos híbridos modernos de milho a elevadas densidades de plantas (Sangoi et al., 2011a, 2011b).

Quanto ao número de fileiras de grãos, para os espaçamentos de 0,5 m e 0,7 m entre fileiras, o melhor ajuste dos dados foi obtido pelo modelo de

regressão linear (Figura 5). Para o espaçamento de 0,9 m, entre fileiras, o modelo quadrático foi de melhor ajuste, com o ponto de máximo estimado pela equação de regressão na população de 62,5 mil plantas ha⁻¹. Na sua maior população de plantas, apresentou número de fileiras de grãos inferiores às menores populações estudadas, indicando efeito da interação do espaçamento com as populações ou densidades de planta. Redução no número de fileiras de grãos nos maiores espaçamentos também é citada por Pereira et al. (2008). Neste caso, os autores avaliaram dois híbridos em dois espaçamentos entre fileiras e duas densidades de plantas obtendo maiores reduções no número de fileiras de grãos em um dos híbridos, sendo que no maior espaçamento essa redução foi de maior magnitude.

O estudo do número de fileiras de grãos em ensaios de espaçamentos entre fileiras e densidades de plantas gera resultados contraditórios, visto que Brachtvogel et al. (2009) notaram redução no número de fileiras de grãos com o aumento da densidade de plantas. Porém, Marchão et al. (2005) não notaram diferença neste parâmetro com o aumento das densidades de plantas. Existe influência do genótipo e do ambiente, assim como suas interações, no resultado do número de fileiras de grãos.

Segundo Sangoi et al. (2007), o número de fileiras de grãos e o número de grãos na espiga são definidos próximos ao estágio V3 (três folhas totalmente expandidas) na escala fenológica de Ritchie et al. (2003). Nesse caso, o número de fileiras de grãos pode ser influenciado pelo genótipo e suas condições ambientais, principalmente água, nitrogênio, integridade foliar e eficiência de absorção de radiação. Nesse contexto, o aumento no número de fileiras de grãos nas maiores densidades e principalmente nos menores espaçamentos pode ser explicado pela me-

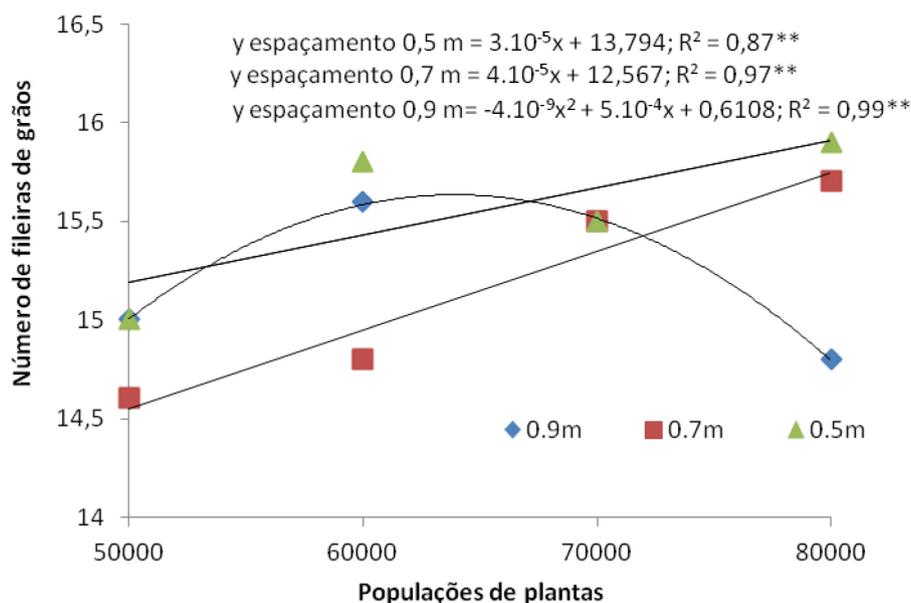


Figura 5. Número de fileiras de grãos em três espaçamentos entre fileiras e quatro populações de plantas. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010. $^{**}p < 0,01$ pelo teste F.

nor ocorrência de plantas daninhas. Apesar da aplicação de herbicidas recomendados para a cultura, o controle de plantas daninhas não foi totalmente efetivo em função das condições de clima favoráveis ao desenvolvimento delas, e apesar de não ter sido quantificada, era visível a diferença no controle de plantas daninhas entre os diferentes tratamentos, o que pode ter influenciado o número de fileiras de grão, pela maior competição interespecífica.

Observa-se efeito do aumento da densidade de plantas, causando redução linear na massa de mil grãos, para todos os espaçamentos entre fileiras avaliados nas populações de plantas (Figura 6). Nos maiores espaçamentos entre fileiras de 0,7 e 0,9 metros, houve reduções mais acentuadas da massa de mil grãos. No menor espaçamento de 0,5 m, mesmo na maior densidade de plantas, a massa de mil grãos sofreu ligeira redução. Outros autores também encontraram redução na massa de mil grãos com o aumento da densidade de plantas (Brachtvogel et

al., 2009; Sangoi et al., 2010, 2011b; Rambo et al., 2011).

Segundo Sangoi et al. (2016), a maior duração da atividade fotossintética das folhas pelo “stay green”, assim como a distribuição de folhas de modo a não promover o autosombreamento da cultura, resulta em maior absorção de nutrientes no período de enchimento de grãos. O incremento da densidade de plantas aumenta a competição entre indivíduos por água, luz e nutrientes, reduzindo a disponibilidade de fotoassimilados para atender a demanda de enchimento dos grãos e a manutenção das demais estruturas da planta. Após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente ao enchimento de grãos. Quando o aparato fotossintético não produz fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos, a maior demanda exercida pelos grãos por esses produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões. A menor atividade

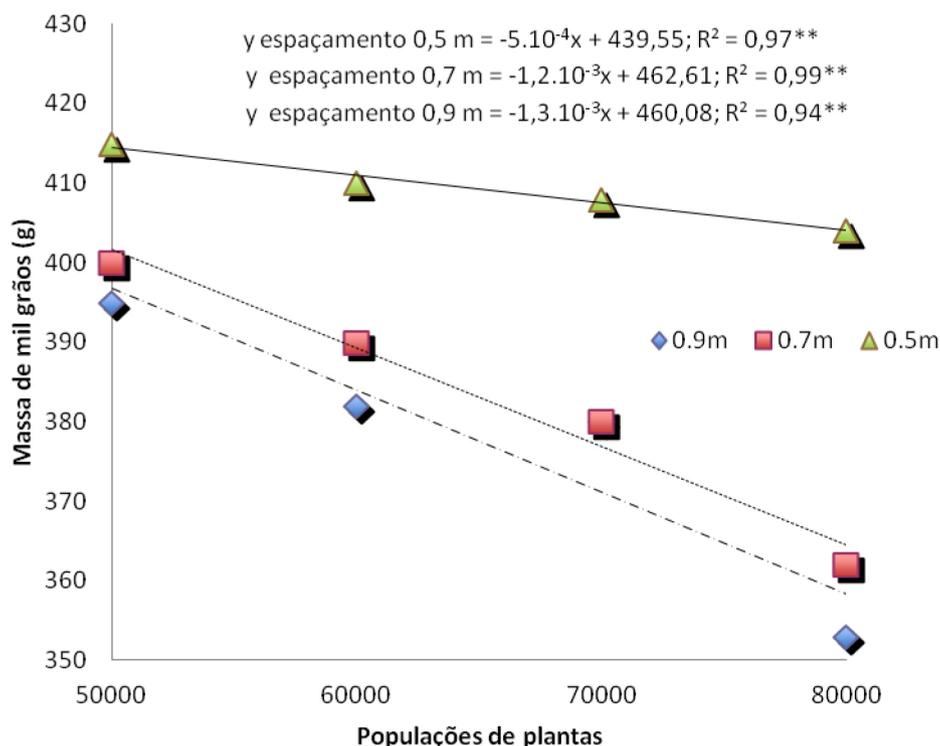


Figura 6. Massa de mil grãos em três espaçamentos entre fileiras e quatro populações de plantas. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010.** $p < 0,01$ pelo teste F.

fotossintética das folhas, causada pelo sombreamento da cultura em altas densidades e menores espaçamentos entre fileiras, reduz o suprimento de carboidratos às raízes, o qual é fundamental para a absorção do nitrogênio e de outros nutrientes na fase reprodutiva da cultura. Coletivamente, a sequência de eventos acelera a senescência foliar, encurtando o período de enchimento de grãos e levando à produção de grãos mais leves.

A Figura 7 demonstra que para a produtividade de grãos o aumento das populações de plantas nos espaçamentos entre fileiras de 0,7 m e 0,9 m resultou em modelos quadráticos de regressão com os pontos de máxima produtividade estimados para as populações de plantas de 64,5 e 66,9 mil plantas ha^{-1} , respectivamente para esses espaçamentos. Já para o espaçamento de 0,5 m o modelo linear foi o

de melhor ajuste ($R^2=0,98$). A partir da população de 60.000 plantas ha^{-1} o aumento na população proporcionou diferentes respostas em função do espaçamento, indicando o efeito da interação espaçamentos com as populações de plantas. O efeito do espaçamento entre fileiras na produtividade foi evidente, demonstrando consequência do espaçamento equidistante no aumento do rendimento de grãos. O aumento da produtividade com a redução no espaçamento também foi notado por Dourado Neto et al. (2003), em um híbrido de folhas eretas com diferenças significativas entre o maior e menor espaçamento na população de 90.000 plantas ha^{-1} . O aumento da produtividade com redução do espaçamento nas maiores densidades (populações) de plantas foi superior a 22%.

Alvarez et al. (2006) notaram que a produção de grãos obtida no espaçamento de 0,7 m foi maior

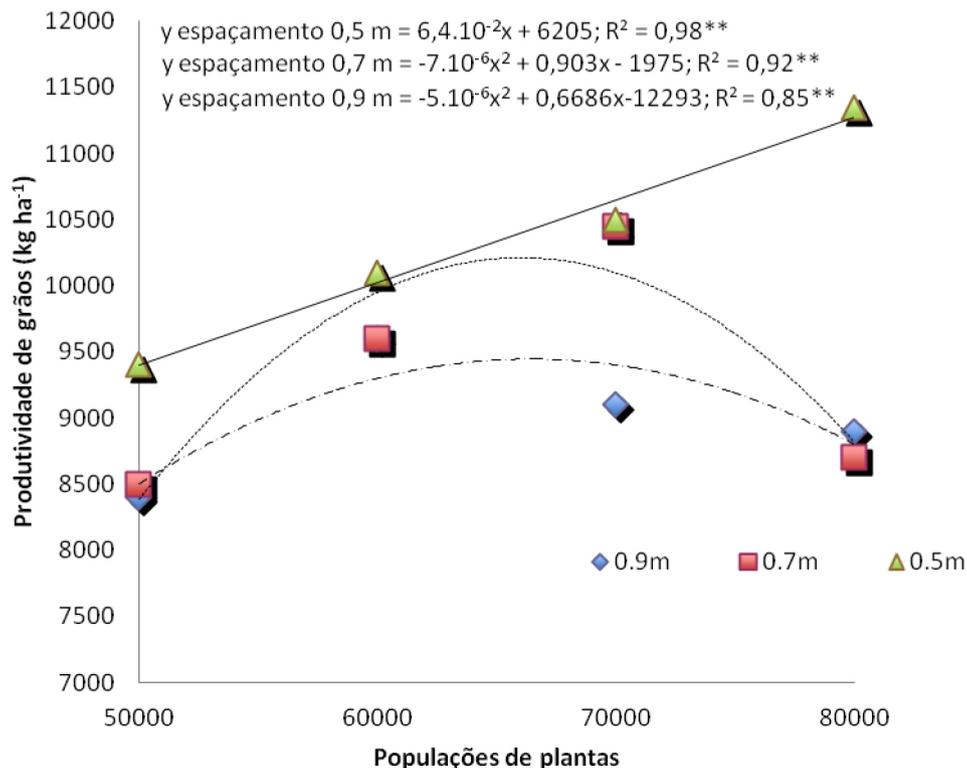


Figura 7. Produtividade de grãos de milho em três espaçamentos entre fileiras e quatro populações de plantas. Ipiranga do Norte-MT, 2010. Ano agrícola 2009/2010. $**p < 0,01$ pelo teste F.

do que a obtida no espaçamento de 0,9 m, produzindo aproximadamente 500 kg ha⁻¹ a mais de grãos. Trabalhos realizados no cerrado brasileiro mostram que os benefícios pela redução no espaçamento entre fileiras são percentualmente maiores que no Sul do País, oscilando de 9% a 41%, dependendo da densidade, da cultivar e do ano agrícola (Silva et al., 2010).

O milho é uma planta de metabolismo fotossintético C4 altamente eficiente na conversão da energia luminosa em energia química. Assim, os incrementos no rendimento de grãos propiciados pela redução no espaçamento entre fileiras têm sido atribuídos ao maior aproveitamento da energia radiante disponível, decorrente da distribuição mais equidistante das plantas. Já na safrinha, existem maiores restrições hídricas e edáficas ao desenvolvimento do

milho na região de estudo, por causa da redução na precipitação pluvial registrada a partir de abril e do menor investimento em fertilizantes. Neste caso, a manutenção da palhada na superfície do solo (sistema plantio direto) torna-se fundamental. Nessa época de semeadura, a redução no espaçamento entre fileiras pode propiciar aumentos na produtividade principalmente por causa da distribuição mais homogênea do sistema radicular, ocupando maior volume de solo, favorecendo o aproveitamento da água e nutrientes (Silva et al., 2010).

De modo geral, conforme se aumentou o espaçamento entre fileiras menor foi a capacidade de suportar altas populações, visto que as máximas populações ótimas de plantas nos espaçamentos entre fileiras de 0,5; 0,7 e 0,9 m foram de 80.000 plantas

ha⁻¹, 64.500 plantas ha⁻¹ e 66.860 plantas ha⁻¹, respectivamente. Do ponto de vista prático, as densidades ótimas dos últimos espaçamentos não diferem entre si. O fato de o menor espaçamento de 0,5 m ter suportado maiores populações de plantas, refletindo na maior produtividade, indica que o espaçamento mais equidistante de plantas resultou em menor competição intraespecífica por água, luz e nutrientes. As altas produtividades alcançadas são resultado do genótipo, associado ao melhor aproveitamento dos fertilizantes empregados, da precipitação pluvial e radiação solar pela melhor distribuição e número de plantas na área.

As populações de plantas ótimas obtidas em todos os espaçamentos são superiores às populações indicadas por catálogos de sementes para a safrinha. Nessa situação, as populações indicadas geralmente são inferiores a 55.000 plantas ha⁻¹. Nesse contexto, as populações de plantas ideais dependem de nutrição das plantas, precipitação pluviométrica, genótipo utilizado e seu espaçamento entre fileiras. Baixas densidades de plantas reduzem a interceptação da radiação solar por área, favorecendo a produção de grãos por planta, mas reduzindo a produtividade por área (Sangoi et al., 2016). Com o aumento das populações de plantas, houve redução no tamanho das espigas, diminuindo também seu índice por planta, entretanto, houve compensação na produção, pelo aumento do número de plantas por área. Por outro lado, o adensamento excessivo associado a maiores espaçamentos incrementa a competição intraespecífica, o que estimula a dominância apical, aumentando a esterilidade feminina, reduzindo o índice de espigas, ou prolificidade, e limitando a produção de grãos por área.

Observa-se no experimento que o espaçamento de 0,5 m entre fileiras respondeu ao aumento da densidade de plantas de forma linear. Marchão et al. (2005), utilizando espaçamento reduzido (0,45 m)

e diferentes populações de plantas (40, 53, 71, 84 e 97 mil plantas ha⁻¹), observaram produtividade linear conforme o aumento da densidade de plantas para alguns híbridos, assemelhando-se com o resultado obtido no presente estudo. Os autores concluíram que, dependendo do híbrido, é possível aumentar o rendimento de grãos com o incremento da densidade de plantas sob espaçamento reduzido.

Maior resposta ao aumento da população de plantas em espaçamentos reduzidos foi também observada por Scheeren et al. (2004), em que o maior número de plantas no menor espaçamento resultou na maior produtividade. Os mesmos autores citaram que, apesar dos componentes do rendimento (NGF, MM, CE, DE) apresentarem redução com o aumento da densidade, a produtividade aumentou até uma população máxima, indicando que o maior número de espigas por hectare é o principal componente do rendimento para as altas populações. Piana et al. (2008) verificaram que o aumento da densidade de plantas provocou redução dos componentes do rendimento. Porém, as reduções foram compensadas pelo aumento do número de plantas, pois não foi afetado o rendimento de grãos.

O aumento da produtividade de grãos com o aumento da densidade de plantas e a redução no espaçamento entre fileiras foi notado por Strieder et al. (2007) para híbridos com folhas eretas. Esse fato leva a acreditar que a utilização de cultivares de milho, associada ao espaçamento reduzido entre fileiras, deve ser acompanhada do incremento na densidade de plantas, especialmente em lavouras de alto nível de manejo e em regiões com características climáticas favoráveis. Destaca-se que são também necessários mais estudos com diferentes híbridos em diferentes arranjos, populações de plantas, espaçamentos em diferentes locais e condições de clima.

Conclusões

O aumento da população de plantas para a maioria dos componentes de rendimento da cultura do milho tem efeito positivo principalmente em espaçamentos reduzidos.

A distribuição mais equidistante das plantas possivelmente minimiza a competição intraespecífica, suportando maiores populações de plantas, resultando em maiores produtividades de grãos no espaçamento de 0,5 m entre fileiras.

As maiores produtividades de grãos nos espaçamentos de 0,7 e 0,9 m entre fileiras são propiciadas por populações em torno de 65.000 plantas ha⁻¹. Para o espaçamento 0,5 m entre fileiras a população de plantas de 80.000 plantas ha⁻¹ propiciou a maior produtividade de grãos.

Referências

- ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características agrônomicas 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. DOI: [10.1590/S1413-70542006000300003](https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000300003).
- BLANCO, F. F.; VELOSO, M. E. C.; CARDOSO, M. J. Crescimento e produção do milho verde sob lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 1640-1645, 2009. Suplemento.
- BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. da S.; CRUZ, S. C. S.; BICUDO, S. J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2334-2339, 2009. DOI: [10.1590/S0103-84782009005000193](https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000193).
- CANTARERO, M. G.; CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Night temperature at silking affects kernel set in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 3, p. 703-710, 1999. DOI: [10.2135/cropsci1999.0011183X003900020017x](https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900020017x).
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2016/2017: 8º levantamento da safra 2016/2017**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf>. Acesso em: 12 maio 2017.
- DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008. DOI: [10.1590/S0100-204X2008001200008](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001200008).
- DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; ROMANO, M. R. 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. DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v2n3p63-77](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n3p63-77).
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011. DOI: [10.1590/S1413-70542011000600001](https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001).
- MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônomicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, maio/ago. 2005.
- PEREIRA, F. R. da S.; CRUZ, S. C. S.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; SILVA, E. T. Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 69-74, 2008. DOI: [10.1590/S1415-43662008000100010](https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000100010).

- PIANA, A. T.; SILVA, P. R. F.; BREDEMEIER, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; SERPA, M. da S.; JANDREY, D. B. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2608-2612, 2008. DOI: [10.1590/S0103-84782008005000023](https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000023).
- RAGAGNIN, V. A.; JÚNIOR, D. G. de S.; KLEIN, V.; LIMA, R. S.; COSTA, M. M.; OLIVEIRA NETO, O. V. de O. Adubação nitrogenada em milho safrinha sob plantio direto em Jataí- GO. **Global Science and Technology**, Goiânia, v. 3, n. 2, p. 70-77, 2010.
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A.; VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 4, p. 390-397, 2011. DOI: [10.1590/S0100-204X2011000400008](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000400008).
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 103, p. 1-20, set. 2003.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Florianópolis: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010. 84 p.
- SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHIMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T.; SOUZA, C. A. Perfilhamento, área foliar e produtividade de milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 6, p. 609-616, 2011a. DOI: [10.1590/S0100-204X2011000600006](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000600006).
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2007. 95 p.
- SANGOI, L.; VARGAS, V. P.; SCHIMITT, A.; PLETSCH, A.; VIEIRA, J.; SIEGA, E.; CARNIEL, G.; MENGARDA, R.; PICOLI JÚNIOR, G. A disponibilidade de nitrogênio afeta a sobrevivência e a contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos de milho. **Revista de Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 183-191, 2011b.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P.; HORN, D. 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. 1, 2016.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SCHEEREN, B. R.; BAZONI, R. B.; BONO, J. A.; ARIAS, S. S.; OLIVEIRA, R.; SALOMÃO, L. Arranjo populacional para a cultura do milho na região central do Estado do Mato Grosso de Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 55-60, 2004. DOI: [10.4025/actasciagron.v26i1.1957](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v26i1.1957).
- SILVA, P. R. F.; PIANA, A. T.; MAASS, L. B.; SERPA, M. S.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; ENDRIGO, P. C.; JANDREY, D. B. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, p. 48-57, 2010.
- SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013. DOI: [10.14583/2318-7670.v01n01a07](https://doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07).
- STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A. da; ENDRIGO, P. C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entre linhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007. DOI: [10.1590/S0103-84782007000300006](https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000300006).
- TONIN, J. M.; BRAGA, M. J.; COELHO, A. B. Efetividade de hedge do milho com contratos futuros da BM&F: uma aplicação para a região de Maringá, PR. **Revista de Economia**, Curitiba, v. 35, n. 3, p. 115-140, 2009. DOI: [10.5380/re.v35i1.17053](https://doi.org/10.5380/re.v35i1.17053).