

FAGNER SOUTO DIAS

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO E DA DENSIDADE DE
SEMEADURA SOBRE O DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

D541i
2017 Dias, Fagner Souto, 1985-
 Influência do espaçamento e da densidade de semeadura
sobre o desempenho de híbridos de milho / Fagner Souto Dias. –
Viçosa, MG, 2017.
 vii, 49f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Rodrigo Oliveira de Lima.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.38-49.

1. Zea mays. 2. Milho híbrido. 3. Semeadura.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

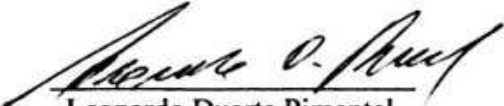
CDD 22 ed. 633.15

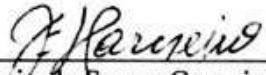
FAGNER SOUTO DIAS

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO E DA DENSIDADE DE
SEMEADURA SOBRE O DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO**

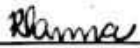
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2017.


Leonardo Duarte Pimentel


José Eustáquio de Souza Carneiro


José Ivo Ribeiro Júnior


Rodrigo Oliveira de Lima
(Orientador)

À minha mãe Alzira Souto Dias, pelo seu incondicional amor e exemplo de dedicação, força, coragem e humildade. Ao meu pai Ataíde Martins Dias Filho, por todo carinho e amizade. Ao meu amigo e colega Leonardo Lemos Karsburg (in memoriam).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir chegar até esse momento, pela proteção e dádiva da vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e à Fundação Arthur Bernardes (Funarbe), pelo financiamento dos projetos, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Rodrigo Oliveira de Lima, pela amizade, apoio, ensinamentos e instruções na execução desse trabalho e pela orientação.

Ao Prof. José Ivo Ribeiro Júnior, pela coorientação, pelos ensinamentos e contribuições na elaboração desse trabalho.

Aos Profs. José Eustáquio da Silva Carneiro e Leonardo Duarte Pimentel, pela participação na banca de defesa e pelas contribuições.

À equipe do Programa Milho-UFV, estagiários, bolsistas de iniciação científica e pós-graduandos, pela amizade, pelo imenso empenho e ajuda, sem eles não seria possível a realização desse trabalho.

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra, pela amizade, dedicação e suporte na condução dos experimentos.

À minha irmã Ariane Souto Dias, aos meus tios Luis Antônio Oliveira e Almerinda Souto Oliveira, aos familiares e amigos que mesmo de longe me apoiaram e me incentivaram durante essa jornada.

Aos amigos Willian Ludke, Jeferson Giehl, Ricardo Cabral, Rafael Tassinari e Micheli Possobom, pela valiosa amizade, companheirismo, incentivo, ajuda e por todos os bons momentos compartilhados durante essa etapa de minha vida.

Enfim, a todas aquelas pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meu muito obrigado.

BIOGRAFIA

FAGNER SOUTO DIAS, filho de Ataíde Martins Dias Filho e Alzira Souto Dias, nasceu em São Sepé - RS, em 16 de agosto de 1985.

Em 2010, ingressou na Universidade Federal de Santa Maria - RS, onde se graduou em Agronomia, obtendo o título em dezembro de 2014.

Em março de 2015, iniciou o Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa - MG, com área de concentração em produção vegetal, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. Introdução	1
2. Objetivos.....	3
3. Revisão de Literatura.....	3
3.1 Cultivo do milho: primeira e segunda safras	3
3.2 Espaçamento entre linhas de plantio.....	6
3.3 Densidade de semeadura.....	10
3.4 Híbridos	15
4. Material e Métodos	16
4.1 Material Genético	16
4.2 Execução Experimental	16
4.3 Caracteres Avaliados	18
4.3.1 Arquitetura de plantas	18
4.3.2 Produtividade de grãos e seus componentes	19
4.4 Análises Estatísticas.....	19
5. Resultados e Discussão.....	20
5.1 Primeira Safra	20
5.1.1 Arquitetura de plantas	20
5.1.2 Produtividade de grãos e seus componentes	24
5.2 Segunda Safra	29
5.2.1 Arquitetura de plantas	29
5.2.2 Produtividade de grãos e seus componentes	31
5.3 Desempenho da primeira e segunda Safras	35
6. Conclusões	37
7. Referências	38

RESUMO

DIAS, Fagner Souto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Influência do espaçamento e da densidade de semeadura sobre o desempenho de híbridos de milho.** Orientador: Rodrigo Oliveira de Lima.

O espaçamento e a densidade de semeadura estão entre as práticas culturais que mais influenciam na produtividade de grãos na cultura do milho. No entanto, existem poucos trabalhos na literatura que relatam a resposta de híbridos de milho com estruturas genéticas distintas submetidos a diferentes arranjos espaciais de plantas. Diante disso, os objetivos desse trabalho foram estudar os efeitos do espaçamento entre linhas de plantio e da densidade de semeadura no desempenho agrônomo de três híbridos de milho, em diferentes épocas de plantio. Para isso, foram conduzidos dois experimentos na Estação Experimental de Coimbra, Coimbra-MG, na safra 2015/2016 e na safrinha de 2016 (segunda safra). O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de parcelas subsubdivididas, com três repetições. As parcelas foram compostas por quatro espaçamentos (0,45; 0,60; 0,75; e 0,90 m entre linhas de plantio), as subparcelas, por três híbridos comerciais de milho (DKB390PRO2, híbrido simples; BG7049YH, híbrido triplo; e BR206, híbrido duplo), e as subsubparcelas, por quatro densidades de semeadura (60.000, 70.000, 80.000 e 90.000 plantas ha⁻¹). Foram avaliados 14 caracteres, que incluíram produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de arquitetura de planta. Concluiu-se que a redução do espaçamento entre linhas de plantio não influencia na arquitetura das plantas e na produtividade e seus componentes em condições de safra e safrinha. Portanto, podem ser recomendados espaçamentos entre 0,45 e 0,90 m para a cultura do milho na semeadura de primeira e segunda safras. A densidade de semeadura é o fator que mais influenciou no desempenho dos híbridos. Em condições de primeira safra, recomenda-se o híbrido simples. Já em condições de segunda safra, recomenda-se o híbrido triplo.

ABSTRACT

DIAS, Fagner Souto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Influence of spacing and sowing density on the performance of maize hybrids.** Advisor: Rodrigo Oliveira de Lima.

Spacing and sowing density are among the cultural practices that most influence crop productivity in maize. However, there are few papers in the literature that report a response of maize hybrids with different genetic structures submitted to different spatial arrangements of plants. Therefore, the objectives of this work were studied the effects of spacing between planting lines and sowing density on the agronomic performance of three maize hybrids at different plan seasons. For that, two experiments were conducted at the Experimental Station of Coimbra, Coimbra-MG, in the 2015/2016 harvest and in the second crop year of 2016 (second harvest). The experimental design was used for randomized blocks under subdivided plots scheme, with three replications. As the plots were composed of four spaces (0.45, 0.60, 0.75, and 0.90 m between planting lines), as subplots of three commercial maize hybrids (DKB390PRO2-single-hybrid, BG7049YH-hybrid Triple and double-BR206-hybrid) and sub-subplots of four sowing densities (60,000, 70,000, 80,000 and 90,000 ha⁻¹ plants). We evaluated 14 characters, which include the production of grains and their components and the characteristics of the plant architecture. It was concluded that reduction of spacing between planting lines does not influence plant architecture and production and its components under crop and off-season conditions. Therefore, one can choose freely between 0.45 and 0.90 m as recommended spaces for a maize crop in the first and second crops. Seed density was the factor that most influenced the performance of the hybrids. In first crop conditions the simple hybrid is recommended. Already, under conditions of Monday it is recommended the triple hybrid.

1. Introdução

O milho destaca-se por ser o cereal com maior volume de produção no mundo. Estima-se que, na safra 2016/2017, a produção mundial de milho possa ultrapassar 1 bilhão de toneladas (USDA, 2016). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás somente dos Estados Unidos da América (EUA) e da China. Na safra 2016/17, estima-se que serão cultivados cerca de 16 milhões de hectares de milho no Brasil, com uma produção de aproximadamente 83,8 milhões de toneladas (CONAB, 2016). O milho tem sua importância econômica caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vão desde a indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis, fonte de bioenergia, caso do etanol, até a alimentação humana e animal. Aproximadamente 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, podendo esse percentual, em países desenvolvidos, chegar a 85%. De modo geral, cerca de 20% da produção mundial se destina ao consumo humano de forma direta ou indireta (PAES, 2006).

Entre as práticas e técnicas de manejo utilizadas para um melhor aproveitamento dos recursos ambientais e incremento na produtividade de grãos em milho, destaca-se a escolha adequada da densidade de plantas. O milho é a gramínea mais sensível à alteração na densidade de plantas. Isso acontece devido ao fato de que, diferentemente de outras Poáceas, o milho não apresenta um mecanismo eficiente de compensação de espaços, em virtude de apresentar baixa prolificidade, perfilhar pouco e ter limitada capacidade de expansão (STRIEDER et al., 2007).

Em decorrência das alterações introduzidas nos híbridos de milho mais modernos, tais como menor esterilidade de plantas, menor duração do subperíodo pendoamento–espigamento, menores alturas de planta e de espiga, folhas mais eretas e elevado potencial produtivo, justifica-se reavaliar as recomendações de espaçamento entre linhas de plantio e densidade de semeadura no milho (ARGENTA et al., 2001). Porém, existem poucos trabalhos na literatura que relatam a resposta de híbridos de diferentes estruturas genéticas a diferentes arranjos espaciais de plantas de milho.

Prática de manejo adotada por alguns agricultores, a redução do espaçamento entre linhas de plantio na cultura do milho tem sido objeto de pesquisas por parte da comunidade científica. Há pesquisas sobre esse tema sendo desenvolvidas em vários países. No entanto, os resultados ainda não são consensuais, uma vez que os híbridos e as condições de ambiente variam em função dos locais de estudo. Além disso, muitos

agricultores que cultivam milho apresentam dúvidas quanto à efetividade dessa prática de manejo para elevar a produtividade de grãos, ou ainda, em proporcionar outros benefícios, como, por exemplo, facilitar o manejo de plantas daninhas (BALBINOT & FLECK, 2005).

A redução do espaçamento entre linhas de plantio diminui a competição intraespecífica no sulco e proporciona à planta um arranjo mais equidistante, permitindo mais espaço às raízes para a exploração de água e nutrientes (BANDY, 2014). No entanto, poucos trabalhos na literatura descrevem que, com a redução da competição intraespecífica e com um arranjo mais equidistante entre as plantas, são obtidos incrementos na produtividade de grãos. A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel desempenha grande influência sobre a produtividade de grãos na cultura do milho, e a escolha adequada do arranjo de plantas é um modo de aumentar a eficiência de interceptação de radiação e, por consequência, a produtividade de grãos. Embora muitos agricultores tenham usado espaçamento reduzido entre linhas de plantio, muitos não têm usado maior densidade de plantas e podem estar perdendo em lucratividade (SILVA et al., 2002).

As vantagens da utilização de espaçamentos reduzidos entre linhas de plantio estão relacionadas com melhorias na qualidade de semeadura, pela menor velocidade de rotação dos sistemas de distribuição de sementes e maximização da utilização de semeadoras, tendo em vista que diferentes culturas poderão ser semeadas com o mesmo espaçamento, ocasionando maior praticidade e ganho de tempo, cobertura mais rápida do solo, beneficiando maior supressão das plantas daninhas e, consequente, diminuição de reinfestação (TECNOLOGIAS, 2003).

Ultimamente, nos programas de melhoramento de milho, têm sido procurados híbridos com alta resposta produtiva em espaçamentos entre linhas de plantio mais reduzidos, de 0,40 a 0,60 m, e em elevadas densidades de semeadura, de 80.000 a 100.000 plantas ha⁻¹ (DOURADO NETO et al., 2003), mas pouco tem sido estudado sobre os efeitos, na produtividade, da redução do espaçamento entre linhas de plantio e do aumento da densidade de semeadura em híbridos de diferente estrutura genética nos períodos de primeira e segunda safras.

2. Objetivos

Estudar os efeitos do espaçamento entre linhas de plantio e da densidade de semeadura no desempenho de três híbridos de milho, em diferentes épocas de plantio.

Avaliar caracteres de arquitetura de plantas que colaboram para maior produtividade de grãos em espaçamentos reduzidos e elevadas densidades de semeadura em híbridos de milho com diferentes estruturas genéticas.

3. Revisão de Literatura

3.1 Cultivo do milho: primeira e segunda safras

Na safra 2015/16, foram cultivados 5,4 milhões de hectares de milho na primeira safra e 10,5 milhões de hectares de milho foram plantados na “safrinha” ou segunda safra. Assim, na segunda safra foi cultivada uma área 94,5% maior que a área da primeira safra. A introdução da segunda safra pelos agricultores objetivou ter mais uma alternativa para o período de inverno. Em algumas regiões, ela se tornou tão importante que substituiu quase que totalmente o cultivo do trigo. Alguns fatores explicam esse atual cenário agrícola de cultivo do milho no Brasil. Entre esses fatores, destaca-se o aumento da importância da soja, nos últimos anos, no mercado internacional, que passou, consequentemente, a concorrer com o milho por áreas no cultivo de verão. Assim, a maioria dos produtores optou pelo cultivo da soja no verão e do milho na segunda safra. Além disso, a crescente pressão de demanda por milho, no período da “entressafra”, ocasionou elevação do seu preço nesse período (MIRANDA et al., 2012). Ao mesmo tempo, a sucessão soja milho apresentou bastante aceitação pela consolidação do plantio direto e por proporcionar redução do tempo entre a colheita da soja e a semeadura do milho (DUARTE et al., 2015), bem como pela produção de cobertura morta para o solo no sistema de plantio direto. Assim, o milho segunda safra, na maioria dos casos, passou a ser plantado em sucessão à soja, logo após sua colheita (MIRANDA et al., 2012).

A oferta de milho o ano todo com consequente redução da sazonalidade dos preços durante o ano e a boa remuneração da cultura da soja inviabilizaram a produção comercial de milho em lavouras de baixa produtividade na primeira safra, as quais ainda persistem somente para consumo de grãos na propriedade ou para produção de silagem em regiões produtoras de leite como o norte do Paraná. Desse modo, o milho primeira safra ficou concentrado em regiões de elevada altitude, onde as temperaturas são mais

amenas e o estresse hídrico/térmico é menos frequente. Embora existam algumas variações nas diferentes regiões brasileiras, normalmente a semeadura ocorre entre os meses de setembro e novembro, a partir do início e estabilização das chuvas, o que possibilita temperaturas amenas nos estádios iniciais de desenvolvimentos das plantas e o início do enchimento de grãos antes do período de grande nebulosidade. Nessas condições, têm sido obtidas as maiores médias de produtividade brasileiras (DUARTE et al., 2015). Na segunda safra, o milho normalmente é semeado de janeiro a abril, após o feijão das águas ou a soja precoce. No entanto, assim como acontece com o milho primeira safra, a época adequada de semeadura da segunda safra é variável nas diferentes regiões brasileiras (GALVÃO et al., 2015). No Brasil, esse período de cultivo do milho segunda safra se caracteriza pelas condições de estresse em boa parte das regiões produtoras em virtude da escassez de chuvas, menor disponibilidade de radiação e temperaturas consideradas não ideais para a cultura.

Percebe-se que o aumento na produtividade de milho na primeira safra ocorre pela concentração da produção em regiões e épocas mais favoráveis, pelo lançamento de cultivares de alto potencial produtivo e também pela modernização das práticas culturais, com destaque para a densidade de plantio com pelo menos 65.000 plantas ha⁻¹, proteção efetiva das plantas contra pragas e doenças, aumento das doses na adubação, principalmente da nitrogenada, e melhoria na uniformidade de distribuição das sementes (DUARTE et al., 2015). Em relação à produtividade agrícola da segunda safra, seu aumento tem sido garantido ao longo dos últimos anos (GALVÃO et al., 2015). Essa elevação expressiva na produtividade do milho segunda safra ocorreu a partir do começo desse século, pela antecipação da colheita da soja e, conseqüentemente, da semeadura do milho segunda safra (DUARTE et al., 2015) e também pela expansão da cultura para o estado do Mato Grosso, que oferece maior tecnificação e melhores condições para o cultivo dessa segunda safra (GALVÃO et al., 2015). Segundo a CONAB, na safra 2015/2016, a média de produtividade do milho primeira safra foi de 4.799 kg ha⁻¹, com um volume de produção de, aproximadamente, 25,8 milhões de toneladas, enquanto o milho segunda safra obteve uma produtividade média de 3.865 kg ha⁻¹ e um volume de produção em torno de 40,7 milhões de toneladas.

O comportamento dos cultivares em diferentes espaçamentos e densidades não é coincidente em diferentes condições climáticas. Conseqüentemente, destaca-se a importância de avaliações de espaçamentos e densidades de semeadura para a cultura do milho, em diferentes condições climáticas (RESENDE et al., 2002). O surgimento de

novos híbridos, cada vez mais produtivos, determina a necessidade de avaliá-los em grande amplitude de condições edafoclimáticas (CARDOSO et al., 2003), demandando por práticas de manejo mais apropriadas para maximizar o potencial produtivo da cultura. Quanto maior a disponibilidade dos recursos, disponibilidade hídrica e de nutrientes, maior poderá ser a densidade recomendada. Tende-se a utilizar menor densidade de semeadura no cultivo de milho segunda safra em condições hídricas desfavoráveis. Atualmente, os cultivares disponíveis no mercado, que estão sendo amplamente semeados em cultivo de segunda safra, tendem a suportar maiores densidades em relação aos cultivares mais antigos. Apesar disso, ainda não se igualam às densidades utilizadas no cultivo de primeira safra, uma vez que os recursos disponíveis (água, luz e temperatura) tendem a ser em menor número (GALVÃO et al., 2015). Cruz et al. (2011), em um estudo sobre sistemas de produção de elevadas produtividades de milho segunda safra, constataram que em propriedades com alta produtividade ($> 5000 \text{ kg ha}^{-1}$) predominam as densidades de 51.000 a 55.000 plantas ha^{-1} . Com relação ao espaçamento entre linhas de plantio, os mesmos autores perceberam que o espaçamento convencional (0,70 a 0,90 m) ainda é o mais frequente no cultivo da segunda safra.

Na primeira safra, num levantamento feito por pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo em 2008, observou-se que 43% dos produtores que obtiveram produtividade superior a 8.000 kg ha^{-1} utilizavam o espaçamento entre linhas de plantio igual ou superior a 0,70 m. No entanto, a redução do espaçamento é um fato real, pois cerca de 40% desses produtores semearam suas lavouras com 0,40 a 0,60 m entre linhas de plantio (CRUZ et al., 2008). Os dados de pesquisa ainda não são conclusivos em relação ao arranjo de plantas, sendo muito variável a produtividade de grãos de um ano agrícola para o outro em função de diferentes arranjos. No entanto, existe um consenso de que a maior equidistância entre as plantas de milho acarretaria melhor aproveitamento da radiação e menor competição entre as plantas cultivadas. Além disso, ocasiona alta taxa de cobertura do solo, o que poderia limitar o desenvolvimento de plantas daninhas e conservar um microclima ideal para ao desenvolvimento da cultura (GALVÃO et al., 2015).

3.2 Espaçamento entre linhas de plantio

Para possibilitar o adequado funcionamento dos equipamentos habituais à semeadura, tratos culturais e colheita, a cultura do milho é tradicionalmente semeada no Brasil com espaçamentos entre linhas de plantio entre 0,80 e 0,90 m, denominado de espaçamento convencional (MATTOSO et al., 2006). No entanto, o chamado espaçamento reduzido, espaçamento entre linhas de plantio que varia de 0,40 a 0,60 m, representa uma grande vantagem ao produtor, em virtude de ser o mesmo espaçamento utilizado nas culturas da soja e feijão. Portanto, essa é uma tendência que ocorre em todo Brasil tanto na primeira como na segunda safra e, assim, o produtor não necessita alterar a distância entre as hastes sulcadoras da semeadora no momento do plantio de ambas as culturas (CRUZ, 2011). Além disso, a semeadura em espaçamento reduzido oferece outras vantagens como melhor plantabilidade, melhoria no aproveitamento de água, nutrientes e radiação solar pela planta, melhor controle de plantas daninhas e maior controle de erosão. Porém, vale destacar que essa tecnologia é mais vantajosa especialmente para aqueles agricultores que têm uma produtividade maior e usam híbridos de milho mais modernos, de maior potencial produtivo, que permitem o plantio em maiores densidades. Aqueles agricultores que ainda semeiam com densidades de 40.000 a 50.000 plantas ha⁻¹ têm como vantagens o controle de plantas daninhas, da erosão, entre outros fatores já citados anteriormente, porém em algumas ocasiões isso não acarreta aumento de produtividade, ou seja, essa tecnologia depende fundamentalmente do nível tecnológico que o agricultor emprega (CRUZ, 2011).

Quando os demais fatores ambientais são favoráveis, a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelas plantas manifesta grande influência sobre sua performance. Em condições de campo, a eficiência de utilização da radiação solar é muito baixa. Assim, um arranjo de plantas adequado pode melhorar a interceptação da radiação, a eficiência de seu uso e a produtividade de grãos das culturas, pois há uma melhor distribuição de folhas no dossel e no índice de área foliar (ARGENTA et al., 2001). Convém destacar também que, em espaçamentos reduzidos, ocorrem maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na faixa do vermelho extremo (VE), sendo essa característica extremamente importante para o milho em elevadas densidades, tendo em vista que, nesses casos, as plantas recebem mais VE refletida, aumentando a relação VE/V. O acréscimo da relação VE/V causa alterações no desenvolvimento das plantas, como folhas mais compridas e mais finas e maior

elongação do colmo (KASPERBAUER & KARLEN, 1994). Em trigo, o aumento da relação VE/V decorrente de elevadas densidades de plantas estimula a dominância apical e suprime o desenvolvimento de perfilhos (ALMEIDA et al., 2002). Como as espigas de milho são formadas na extremidade de ramificações laterais, morfológicamente equivalentes aos perfilhos do trigo, infere-se que as modificações na qualidade da luz causadas pelo acréscimo da densidade também colaboram para a maior esterilidade feminina do milho em elevadas densidades (SANGOI, 2001). Entretanto, o desenvolvimento de genótipos com folhas mais eretas, menor número de folhas e menor área foliar minimiza a competição entre plantas, o que reduz a quantidade de vermelho extremo refletida pela comunidade (ALMEIDA et al., 2000). Consequentemente, pode-se obter uma relação VE/V mais baixa em elevadas densidades, quando confrontada com os híbridos antigos, dotados de folhas maiores, mais numerosas e decumbentes.

Para alcançar altas produtividades de grãos, é necessário maximizar a duração da interceptação da radiação, utilizar com eficiência a energia interceptada, distribuir os novos assimilados na proporção ótima para formação de colmo, folhas, raízes e de estruturas reprodutivas e sustentar estes processos com custo mínimo para a planta (LOOMIS & AMTHOR, 1999). Esses processos são bastante complexos, o que torna a maximização simultânea do uso desses fatores extremamente difícil. Farnham (2001) mostrou que uma lavoura com 79.000 plantas ha⁻¹ em espaçamento de 0,76 m entre linhas de plantio resultou em uma distância de 16,5 cm entre as sementes na linha de plantio, enquanto a mesma densidade, com 0,51 m de espaçamento entre linhas de plantio, resultou em 24,9 cm de espaçamento entre as sementes na linha de plantio, o que proporcionou maior distância entre as plantas dentro da linha de plantio. Assim, a tendência atual é de redução do espaçamento entre linhas de plantio, de maneira a alterar o comportamento da planta e melhorar a eficácia de emprego dos recursos do meio.

Em relação ao aproveitamento de água, a redução do espaçamento proporciona menor perda de água pelo solo, pois permite cobertura mais rápida e maior sombreamento do solo nos estádios iniciais da cultura (KARLEN; CAMP, 1985). Esse fato se torna importante principalmente em condições de baixa umidade do solo, por favorecer a manutenção de água no solo e propiciar condições mais favoráveis para as plantas de milho realizarem fotossíntese e demais processos de crescimento (LAUER, 1994). Outra vantagem da redução do espaçamento seria a secagem mais rápida dos grãos na lavoura pelo maior arejamento do dossel. Farnham (2001) e Widdicombe e

Thelen (2002) alcançaram 0,1 e 0,4% menos umidade de grãos, respectivamente, no espaçamento de 0,38 m em comparação com 0,76 m.

Embora haja várias vantagens em fazer o plantio de milho em espaçamento reduzido, existem algumas limitações na adoção dessa redução. Uma das principais dificuldades na utilização de espaçamentos reduzidos se refere à disponibilidade de uma plataforma específica para fazer a colheita. Existem atualmente plataformas fabricadas para colher milho em espaçamentos de 0,40 a 0,50 m, no entanto, apresentam custo elevado (BALBINOT & FLECK, 2005). Além disso, o uso de linhas de plantio estreitas exige compras adicionais de equipamentos, tais como pneus de tratores mais estreitos e, também, menor tempo disponível para operações de manejo como adubações de cobertura e aplicações de defensivos, em virtude do risco de causar danos às plantas.

Em contrapartida, a colheita não se torna um problema para os agricultores que cultivam áreas pequenas e fazem a colheita manual. No caso do milho silagem de planta inteira, se a colheita for feita com ensiladeira de fileiras individuais, é necessário levar em conta que, ao reduzir o espaçamento, aumenta-se o número de linhas de plantio e com isso também o tempo gasto para fazer a colheita. Do mesmo modo, deve-se ponderar que a maior distância percorrida pelo trator para fazer a colheita provoca maior compactação do solo (BALBINOT & FLECK, 2005). Porém, ao considerar os requisitos de outras culturas, essas limitações não são tão grandes. Por exemplo, para produtores que cultivam soja, pode ser uma vantagem reduzir linhas de plantio, tendo em vista que essa cultura tem espaçamento entre linhas de plantio semelhante, o que pode compensar o custo do investimento em novos equipamentos (PORTER et al., 1997).

O comprimento da estação de crescimento e a época de semeadura também interferem na escolha do arranjo de plantas de milho. No fim do inverno e começo da primavera (semeaduras do cedo), especialmente em regiões temperadas e subtropicais, tais como norte dos Estados Unidos (ANDERSON, 1995) e sul do Brasil (MEROTTO JR. et al.; 1997; ALMEIDA et al., 2000), habitualmente são requeridas maiores densidades de plantas. Atribuem-se a isso o menor crescimento das plantas sob temperaturas baixas e a menor radiação solar disponível (SANGOI, 2000). A maior produtividade de milho em regiões temperadas é obtida quando ocorre elevada radiação incidente sob temperaturas médias amenas (DIDONET et al., 2002). Nessas condições, por permitir melhor distribuição espacial das plantas e, por conseguinte, maior

interceptação da radiação solar, a adoção de espaçamentos reduzidos entre linhas de plantio pode aumentar a produtividade de grãos na cultura do milho.

Sangoi et al. (2001), em trabalho desenvolvido com um híbrido simples e um híbrido duplo em três espaçamentos entre linhas de plantio (1,00; 0,75 e 0,50 m), em duas épocas de semeadura uma época antecipada (1º de outubro) e uma normal (15 de novembro), descrevem que melhores respostas em produtividades de grãos com diminuição do espaçamento em semeaduras no cedo (01/10) ocorrem em virtude dos efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas de milho. Durante os estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, foram encontradas menores temperaturas do ar e do solo, quando os híbridos foram semeados no começo de outubro. A menor quantidade de unidades de calor acumuladas por dia proporcionou aumento no número de dias para o híbrido atingir o florescimento, pois as plantas cresceram mais lentamente. Esse modelo de crescimento e desenvolvimento mais lento induziu produção de folhas menores e em menor quantidade por plantas. Consequentemente, houve redução na área foliar e no índice de área foliar na semeadura de outubro quando, comparada com a semeadura feita em novembro. Os autores relatam que as baixas temperaturas registradas no começo da primavera diminuem a velocidade de crescimento das plantas, restringem a interceptação de luz, consequentemente, tornam o controle de plantas daninhas mais difícil e favorecem a erosão. Assim, a adoção de espaçamentos reduzidos pode ser uma maneira de minimizar esses problemas.

Contudo, os resultados dos estudos sobre a redução do espaçamento entre linhas de plantio na cultura do milho não são consensuais. Kappes et al. (2011) avaliaram cinco híbridos de milho em dois espaçamentos entre linhas de plantio, 0,45 e 0,90 m, e não observaram nenhum incremento na produtividade de grãos com a redução do espaçamento. Em outro trabalho, Widdicombe e Thelen (2002) constataram diferenças na produtividade de grãos entre linhas de plantio convencionais e reduzidas. Segundo os autores, em condição de espaçamento reduzido, houve aumento de 2% na produtividade de grãos em relação ao espaçamento convencional.

Desse modo, a escolha do melhor arranjo de plantas é influenciada pela época de semeadura, comprimento do período de crescimento, forma de uso do milho pelo produtor, nível tecnológico e pelo cultivar. O arranjo de plantas pode ser manipulado por mudanças no espaçamento entre linhas de plantio, distribuição de plantas na linha de plantio, densidade de plantas e pela variabilidade entre plantas (emergência desuniforme) (ARGENTA et al., 2001).

3.3 Densidade de semeadura

A densidade de semeadura no milho, isto é, o número de plantas por hectare é extremamente importante na cultura do milho, tendo em vista que os mecanismos de compensação que essa planta tem quando são semeadas poucas sementes são muito menores do que outras culturas como trigo, arroz, soja e feijão. Essas outras culturas podem perfilhar, caso do trigo e do arroz, ou podem produzir mais ramos, casos da soja e do feijão (CRUZ, 2011). No milho, esses mecanismos de compensação são bastante restritos e se reduzem a alterações no tamanho da espiga e na quantidade de espigas por planta. Consequentemente, enquanto 50.000 plantas ha^{-1} de soja ou de feijão podem não significar grandes alterações na produtividade, certamente na cultura do milho uma variação de 10.000 a 15.000 plantas ha^{-1} pode resultar em grande diferença na produtividade final de grãos (CRUZ, 2011).

A densidade ideal de plantas varia de acordo com as características do híbrido e com a finalidade da cultura (grãos ou forragem), disponibilidade de água e nutrientes, radiação solar, temperatura, entre outros fatores (OLIVEIRA, 1984). No caso da produção de forragem, o estabelecimento da densidade de semeadura ideal deve proporcionar alta produção de matéria seca por hectare (FONSECA, 2000). Entre as aproximadamente 400 cultivares de milho disponível no mercado brasileiro de sementes, a densidade de semeadura recomendada varia de 40.000 a 80.000 plantas ha^{-1} . Geralmente, as variedades de polinização aberta são recomendadas em uma densidade menor, que varia de 40.000 a 50.000 plantas ha^{-1} , os híbridos duplos, em uma densidade de 50.000 a 60.000 plantas ha^{-1} , e os híbridos triplos e simples são recomendados em densidades a partir de 60.000 plantas ha^{-1} e para alguns híbridos a recomendação pode chegar a 80.000 plantas ha^{-1} (CRUZ, 2011).

As diferentes densidades de semeadura proporcionam alteração na produtividade de grãos conforme o grau de competição intraespecífica, ou seja, o número ideal de plantas por área é variável (SILVA et al., 1999). A definição de densidade ótima de plantio para determinada cultivar seria aquela que, com menor número de plantas por área, seja capaz de proporcionar maior produção, em um solo com determinado índice de fertilidade (VIANA et al., 1983).

Em elevadas densidades, aumenta-se a competição intraespecífica por luz, água e nutrientes (SANGOI, 2000), o que afeta o rendimento final, tendo em vista que induz a esterilidade, estimula a dominância apical, decresce o número de espigas produzidas

por planta e o número de grãos por espiga (SANGOI & SALVADOR, 1998). Altas densidades beneficiam o acamamento e provocam redução da produção pela ocorrência de espigas pequenas, além de eventualmente atrasarem o florescimento feminino, o que prejudica a polinização e, consequentemente, a granação da planta de milho (ARGENTA, 2001). A competição intraespecífica em altas densidades de plantas induz um estresse gradual na planta, que pode alterar o período de crescimento (BORRAS et al., 2003). Normalmente, com aumento da densidade de plantas, a taxa de crescimento da planta durante estádios reprodutivos pode ser reduzida (ECHARTE et al., 2000; GAMBIN et al., 2006; ROSSINI et al., 2011), o que gera atraso na polinização e espigamento (TOKATLIDIS & KOUTROUBAS, 2004).

Ganhos de produtividade nos últimos 70 anos se devem a mudanças nas práticas culturais e contribuições do melhoramento de plantas (DUVICK, 1997; DUVICK et al., 2004; DUVICK, 2005). O advento de novos cultivares de milho de estatura reduzida, mais precoces, folhas mais eretas e em menor número elevou o potencial de resposta da cultura à densidade de semeadura (ALMEIDA et al., 2000). Entre as práticas culturais que mais mudaram, destaca-se a densidade de semeadura. Quando o milho é cultivado em densidades baixas, o rendimento é limitado pelo número insuficiente de plantas, porém, em altas densidades, o rendimento é limitado pelo aumento do número de grãos abortados e caules estéreis (HASHEMI et al., 2005).

Antes da introdução dos híbridos simples nos EUA, a densidade de semeadura recomendada era de aproximadamente 3 plantas m^{-2} (RUSSEL, 1991). A partir da década de 60, a densidade de plantas começou a aumentar em virtude das alterações inseridas na planta pelo melhoramento genético e do manejo da cultura. Atualmente, a recomendação é de 9 plantas m^{-2} , para condições de alto nível tecnológico (OLSON & SANDERS, 1988). No Estado do Rio Grande do Sul, a densidade de plantas recomendada varia de 2 a 7 plantas m^{-2} e varia em função das condições de manejo e do tipo de cultivar (EMATER/RS, 1999). Em trabalhos desenvolvidos na região sul do Brasil para determinar a densidade ótima de semeadura em híbridos de milho com elevada produtividade de grãos, as densidades iguais ou superiores a 8 plantas m^{-2} obtiveram as maiores produtividades de grãos, assim essa recomendação de densidade pode ser ampliada (MUNDSTOCK, 1977; SILVA et al., 1999; ALMEIDA et al., 2000). De modo geral, no Brasil, produtividades elevadas de milho têm sido obtidas com a utilização de 55.000 a 72.000 plantas ha^{-1} e 3,5 a 5 plantas por metro linear, com arranjo adequado para evitar a competição por fatores de produção (FANCELLI, 2000).

Stanger e Lauer (2006) realizaram testes de campo destinados a estudar a resposta de híbridos transgênicos Bt e suas versões convencionais em elevadas densidades, uma vez que híbridos Bt são em hipótese mais eficientes na absorção de água e nutrientes do solo (BANDY, 2014). Os autores verificaram que a densidade ótima para híbridos transgênicos Bt está em torno de 105.000 plantas ha⁻¹, enquanto a densidade de semeadura para híbridos convencionais está por volta de 99.000 plantas ha⁻¹. Entretanto, Coulter et al. (2010), em trabalho semelhante, concluíram que a produtividade de grãos respondeu bem à densidade com ou sem proteção contra insetos. É importante destacar que, no estudo de Coulter et al. (2010), a pressão de insetos foi relativamente baixa e que o benefício integral da característica Bt pode não ter sido alcançado nesta situação. Caracteres genéticos por si só não são os únicos fatores que afetam a densidade de plantas. Fatores como clima e fertilidade do solo também contribuem para a escolha ideal de densidade de plantas. Nesse sentido, é fundamental que os produtores e empresas de sementes de milho híbrido avaliem continuamente as potenciais alterações nas densidades populacionais ótimas (COX, 1996; WIDDICOMBE & THELEN, 2002; STANGER & LAUER, 2006).

Resende (2003) observou que as densidades de 70.000 e 90.000 plantas ha⁻¹ obtiveram melhor desempenho para produtividade de grãos, em relação à densidade de 55.000 plantas ha⁻¹, independentemente do espaçamento utilizado. No entanto, existe o desafio de identificar as densidades ótimas para os híbridos de milho mais modernos (SARLANGUE et al., 2006). Desse modo, torna-se necessário o estudo da densidade ideal para explorar o máximo de seu potencial produtivo sem que haja problemas com estresses por competição intraespecífica e com sanidade de plantas. Geralmente esses híbridos modernos têm tolerado maior densidade de semeadura em relação aos híbridos antigos (TOLLENAAR & AGUILERA, 1992), e essa capacidade de tolerar o aumento de densidade é atribuída a melhorias na tolerância a estresses bióticos e abióticos (TOLLENAAR & WU, 1999).

Com relação ao estresse hídrico, Cox (1996) mostrou que os híbridos podem não tolerar altas densidades em condições de seca. Da mesma forma, as condições de seca proporcionaram produtividade limitada em altas densidades de semeadura em Illinois (NAFZIGER, 1994). Almeida (2000) estudou a densidade de semeadura em milho de 57.000 plantas ha⁻¹ a 82.000 plantas ha⁻¹ e não obteve acréscimo na produção de grãos em função do déficit hídrico na época de condução dos experimentos. Da mesma forma, as condições de seca proporcionaram produtividade limitada em altas densidades de

semeadura em Illinois (NAFZIGER, 1994). Almeida (2000) estudou a densidade de semeadura em milho de 57.000 plantas ha⁻¹ a 82.000 plantas ha⁻¹ e não obteve acréscimo na produção de grãos em função do déficit hídrico na época de condução dos experimentos. Shoup et al. (2015) desenvolveram um estudo de dois anos para determinar a produtividade de híbridos tolerantes e não tolerantes à seca em várias densidades de plantas. Em 2013, ocorreu menor produtividade, e o híbrido com tolerância à seca teve a maior produtividade de grãos, 5.962 kg ha⁻¹, em uma densidade de semeadura de 54.000 plantas ha⁻¹, enquanto a maior produtividade entre os híbridos não tolerantes à seca foi de 5.648 kg ha⁻¹ em uma densidade de semeadura de 34.000 plantas ha⁻¹. Em 2014, a produtividade foi significativamente maior. O híbrido com tolerância à seca obteve a maior produtividade, 10.921 kg ha⁻¹, na maior densidade de semeadura, 89.000 plantas ha⁻¹, e a maior produtividade entre os híbridos não tolerantes à seca foi de 10.607 kg ha⁻¹ em uma densidade de plantas de 74.000 plantas ha⁻¹. As excelentes condições em 2014 resultaram em uma produtividade acima da média. Portanto, em anos secos, não se recomendam altas densidades de semeadura, tendo em vista a redução de rendimento e o custo adicional com sementes (STANGER & LAUER, 2006).

Enquanto em condições irrigadas França et al. (1990) encontraram diferenças significativas entre híbridos e densidades para a produtividade de grãos quando avaliaram o desempenho de três cultivares precoces de milho submetidas a quatro densidades de semeadura (40.000, 60.000, 80.000 e 100.000 plantas ha⁻¹), consequentemente, constatou-se que depende do híbrido utilizado a resposta ao acréscimo da densidade de semeadura. Em outro trabalho, Penariol et al. (2002) obtiveram aumento linear na produtividade de grãos com aumento na densidade de semeadura, ao utilizar densidades de 40.000, 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹. O estresse hídrico, quando ocorre nas fases críticas do desenvolvimento da planta de milho, no pré-florescimento e no enchimento de grãos, causa grande redução na produtividade. Quando existe grande possibilidade de falta de umidade nessas fases, deve-se reduzir a densidade para que o solo possa suprir a demanda da planta com suas reservas hídricas (MUNDSTOCK, 1977). Alguns trabalhos descrevem que densidades elevadas somente devem ser recomendadas em condições de alta precipitação pluvial ou irrigação e com alto nível de manejo (PEIXOTO, 1996), pois, com maior densidade, eleva-se o índice de área foliar e, portanto, o consumo de água (TETIOKAGHO & GARDNER, 1988).

Lashkari et al. (2011) verificaram que o número de grãos por fileira, o número de grãos por planta e o diâmetro da espiga diminuíram à medida que a densidade de semeadura aumentou. Kunz (2005) corrobora essa análise, pois, embora ocorra perda nos demais componentes da produção, o número de grãos por metro quadrado aumentou de forma linear com o aumento da densidade no espaçamento de 0,90 m e de forma quadrática no espaçamento de 0,45 m, portanto as maiores densidades levaram a maior produtividade de grãos. Esse acréscimo de produtividade é esperado, uma vez que a produtividade de grãos é determinada fundamentalmente pelo número de grãos por área e, em menor escala, pela massa individual dos grãos (RICHARDS, 2000).

Trachsel et al. (2015) avaliaram sete híbridos de milho em condição ótima de cultivo em seis ambientes e em condições de adubação deficiente em quatro ambientes para avaliar o efeito da densidade de semeadura na produtividade de grãos e no índice de colheita. A produtividade de grãos aumentou 40,4% e 21,8% em condições de boa adubação e adubação deficiente, respectivamente, quando a densidade de semeadura foi aumentada em relação à menor densidade. O índice de colheita aumentou de 0,42 em 5 plantas m⁻² para 0,45 em 11 plantas m⁻² em boas condições de adubação e diminuiu de 0,44 em 5 plantas m⁻² para 0,42 em 9 plantas m⁻² em condições deficientes de adubação. O índice de colheita foi maximizado na densidade de semeadura de 8,33 plantas m⁻² e 5,30 plantas m⁻² em condições de boa adubação e adubação deficiente, respectivamente. A produtividade de grãos foi maximizada em 9,93 plantas m⁻² e 7,89 plantas m⁻². Segundo esses autores, a ótima densidade de semeadura, que maximiza a produtividade de grãos e o índice de colheita, é superior às densidades utilizadas atualmente em germoplasma tropical, podendo-se concluir que a produtividade de milho tropical pode ser incrementada em 40,4% em manejo intensivo e 21,8% em manejo de baixo investimento com o aumento da densidade de semeadura acima da utilizada atualmente na agricultura familiar da América Latina e África Subsaariana.

Desse modo, a produtividade do milho tende a se elevar linearmente com o aumento do número de plantas por área até certo ponto, considerado a densidade ótima de semeadura. A partir desse ponto, a produtividade decresce com o aumento da densidade.

3.4 Híbridos

Em um breve histórico da utilização de híbridos na produção de milho, vale destacar que em 1930 surgiram os primeiros híbridos comerciais nos EUA. A introdução de híbridos duplos na década de 1930 foi uma das maiores conquistas da agricultura moderna (CROW, 1998) e, ainda, no fim dessa década em 1939, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) produziu o primeiro híbrido duplo no Brasil. Já na década de 1960, melhoristas de milho selecionaram linhagens com maior rendimento, o que permitiu substituir os híbridos duplos por híbridos simples (CROW, 1998). Em consequência disso, desde a metade da década de 1960, os híbridos simples foram substituindo os híbridos duplos nos EUA. Atualmente, a quase totalidade dos híbridos cultivados são do tipo simples. Na safra (2016/17), dos 315 cultivares de milho ofertados no mercado de sementes aos agricultores brasileiros, 6,02% foram de híbridos duplos, 17,46% de híbridos triplos e, a grande maioria, 70,78% de híbridos simples (FILHO & BORGHI, 2016).

Os cultivares de milho disponíveis atualmente no mercado estão classificados com relação ao seu ciclo basicamente em três categorias: superprecoces, precoces e de ciclo normal. Essa classificação é feita levando em consideração o número de unidades de calor (UC) que cada genótipo exige da emergência ao florescimento (SANGOI, 1993; FEPAGRO/EMATER/FECOTRIGO, 1998). Os materiais genéticos de ciclo mais tardio precisam de maior soma calórica para atingir o pendramento-espigamento do que os materiais precoces. Híbridos que apresentam baixa estatura e ciclo superprecoce respondem com maior intensidade à redução do espaçamento, já os híbridos de elevada estatura e ciclo normal apresentam menor resposta nessas condições (ARGENTA et al., 2001a; ARGENTA et al., 2001b; FLESCHE & VIEIRA, 2004). Os híbridos precoces e superprecoces, pelas suas características morfológicas, geralmente demandam maior densidade de semeadura para a maximização da produtividade de grãos, em virtude de necessitarem de mais indivíduos por área capazes de potencializar a interceptação da radiação solar (SANGOI, 2000). Entretanto, Kunz (2005) não encontrou relação entre característica fenotípica (arquitetura de planta) ou genética (híbrido simples, triplo, duplo ou variedade) das cultivares com o aumento da produtividade em função de uma melhor distribuição espacial de plantas. Para o autor, a arquitetura de plantas e a diferenciação genética não são referências de resposta direta dos cultivares para a mudança do espaçamento entre linhas de plantio.

4. Material e Métodos

4.1. Material Genético

Para a realização desse trabalho, foram utilizados três híbridos comerciais de milho: DKB390PRO2, BG7049YH e BR206 (Tabela 1). A escolha dos híbridos se deu em função das suas diferentes estruturas genéticas e por serem muito plantados na região da Zona da Mata de Minas Gerais, local onde o trabalho foi desenvolvido.

Tabela 1. Características agronômicas dos três híbridos comerciais de milho utilizados nos experimentos

Híbridos	Transgênico/ Convencional.	Evento transgênico	Tipo de híbrido	Ciclo	Densidade recomendada (plantas ha ⁻¹)	Uso
DKB 390	Transgênico	PRO2	Simples	Precoce	60.000 - 65.000	Grãos
BG 7049	Transgênico	YH	Triplo	Precoce	50.000 - 65.000	Grãos/Silagem
BR 206	Convencional	-	Duplo	Precoce	50.000	Grãos

Fonte: Adaptada de Embrapa Milho e Sorgo (2016).

4.2. Execução Experimental

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Coimbra, Coimbra, MG (20°50'30"S, 42° 48'30"W, altitude de 720 m), pertencente à Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia. Os três híbridos comerciais de milho foram avaliados em quatro espaçamentos entre linhas de plantio (0,45; 0,60; 0,75; e 0,90 m) e quatro densidades de semeadura (60.000, 70.000, 80.000 e 90.000 plantas ha⁻¹), na primeira safra de 2015/2016 e na safrinha de 2016 (segunda safra). Nos dois experimentos, foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, e os tratamentos foram dispostos em parcelas subsubdivididas, com os espaçamentos nas parcelas, os híbridos nas subparcelas e as densidades nas sub-subparcelas (Figuras 1 e 2). A parcela foi constituída por uma área total de 192 m², a subparcela, por uma área de 64 m², e a subsubparcela, por uma área de 16 m². Para as avaliações, foi considerada uma área útil de 4 m² dentro de cada subsubparcela. As combinações possíveis entre todos os níveis dos três fatores estudados totalizaram 48 tratamentos. Por fim, em função das três repetições, foram obtidas 144 unidades experimentais em cada experimento.

No espaçamento de 0,45 m, cada subsubparcela foi composta por oito linhas com quatro metros cada, e foram consideradas para as avaliações as quatro linhas centrais com 2,22 m cada. No espaçamento de 0,60 m, cada subsubparcela foi formada por seis linhas com quatro metros cada, e foram consideradas para as avaliações as

quatro linhas centrais com 1,67 m cada. Já no espaçamento de 0,75 m, cada sub-subparcela foi composta por cinco linhas com quatro metros cada, e foram consideradas para as avaliações as três linhas centrais com 1,78 m cada. No espaçamento de 0,90 m, cada subsubparcela foi composta por quatro linhas com quatro metros cada, e foram consideradas para as avaliações as duas linhas centrais com 2,22 m cada. Em todas as subsubparcelas as extremidades foram desconsideradas.

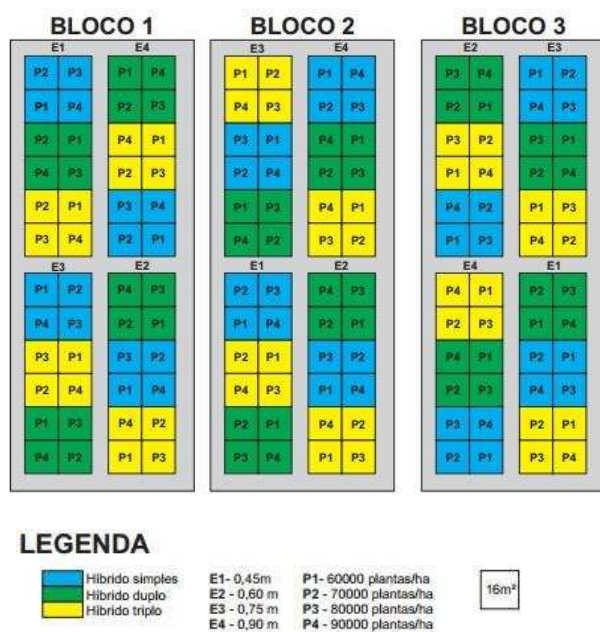


Figura 1. Croqui do experimento conduzido na primeira safra de 2015/2016.

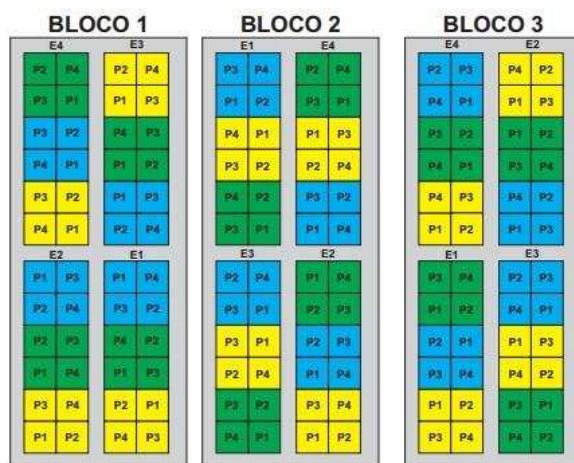


Figura 2. Croqui do experimento conduzido na segunda safra de 2016.

A semeadura foi manual e acrescido o dobro de sementes além do necessário. Posteriormente, foi feito o desbaste para a obtenção de cada densidade desejada. O

experimento relativo à primeira safra foi semeado em 14/11/2015, enquanto o de segunda safra foi semeado dia 22/02/2016. A adubação de plantio foi feita com base na análise química do solo, tabela 2, e conforme as recomendações técnicas para a cultura do milho (ALVES et al., 1999). A adubação de semeadura foi feita com 196 kg ha⁻¹ de MAP (mono-amônio-fosfato, que contém 50% de P₂O₅ e 10% de N) no sulco de plantio. As adubações de cobertura foram feitas no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas (V4), com a aplicação de 300 kg ha⁻¹ do formulado 20-00-20 (NPK), e no estágio de sete folhas completamente desenvolvidas (V7), com a aplicação de 222 kg ha⁻¹ de ureia. Os demais tratos culturais foram feitos conforme as recomendações técnicas para a cultura do milho (GALVÃO et al., 2015).

Tabela 2. Resultado da análise química do solo na área dos experimentos, na camada até 0,20 m de profundidade

pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	MO	SB	CTC	V	
		cmolc	dm ⁻³		mg	dm ⁻³	dag	kg ⁻¹	cmolc	dm-3	%
5,2	3,80	0,0	2,4	1,3	135	26,1	3,35	4,05	7,85	52	

4.3 Caracteres Avaliados

Foram avaliados dois grupos de caracteres: arquitetura de plantas e produtividade de grãos e seus componentes.

4.3.1 Arquitetura de plantas

Para arquitetura de plantas, foram avaliados os seguintes caracteres em oito plantas da área útil: altura de plantas (AP, cm), determinada pela distância entre a superfície do solo até a inserção da folha bandeira (última folha); altura de inserção da primeira espiga (AE, cm), determinada pela distância entre a superfície do solo e a inserção da primeira espiga (espiga mais alta); diâmetro de colmo (DC, mm), obtido no primeiro entrenó acima do colo da planta, medido com paquímetro digital; área foliar (AF, cm²), estimada a partir do comprimento e da largura da folha, conforme a expressão $AF = C \times L \times 0,75$ (TOLLENAAR, 1992), em que C e L representam, respectivamente, comprimento e largura média em centímetros da folha da primeira espiga; número de nós abaixo (NNBE) e acima da primeira espiga da planta (NNAE); e teor de clorofila na folha (SPAD), estimado pelo medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development), 15 dias após o florescimento feminino.

4.3.2 Produtividade de grãos e seus componentes

Para a produtividade de grãos e seus componentes, foram avaliados os seguintes caracteres em oito plantas da área útil: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), feita pela colheita manual de todas as espigas da área útil, tendo os dados sido corrigidos para 13% de umidade; prolificidade (PRL), obtida pela relação entre o número de espigas e a densidade de plantas, determinada no momento da colheita; massa de 1.000 grãos (M1000, g); profundidade de grãos (PF, mm), obtida pela metade da diferença entre o diâmetro da espiga menos o diâmetro do sabugo (porção mediana da espiga e do sabugo), mensurado por paquímetro digital na altura do meio da espiga e do sabugo; massa hectolitro (PHE, g L⁻¹); número de fileiras de grãos (NF); e comprimento de espiga (CE, cm), das espigas despalhadas da base até a ponta.

4.4 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram feitas separadamente para as duas safras, e os resultados apresentados e discutidos separadamente, a fim de estabelecer conclusões mais específicas, visto serem elas igualmente importantes para a cultura do milho. Para comparar os dois experimentos, foram feitas análises descritivas por meio de gráficos estratificados por safra.

Em cada experimento, separadamente, foram feitas, para cada caractere avaliado, análise de variância com posterior aplicação do teste de Tukey (1953) para os três híbridos e análise de regressão múltipla para os espaçamentos e densidades de acordo com as significâncias das interações duplas e triplas, a 1% de probabilidade. Os coeficientes de regressão foram testados pelo teste t de Student.

Nos experimentos com parcela subsubdividida, os níveis do primeiro fator em estudo são alocados nas unidades principais (parcelas) dentro de cada bloco, os níveis do segundo fator em estudo são alocados nas subparcelas dentro de cada parcela e os níveis do terceiro fator em estudo são alocados nas subsubparcelas dentro de cada subparcela.

Assim, a análise de variância em parcela subsubdividida seguiu o seguinte modelo (PIMENTEL-GOMES, 2009):

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + T_j + BT_{ij} + H_k + TH_{jk} + BTH_{ijk} + D_l + TD_{il} + HD_{jl} + THD_{ijkl} + \epsilon_{ijkl}$$

, em que Y_{ijkl} é o valor observado; μ , a média geral; B , o efeito do bloco; T_i , o efeito do espaçamento; BT_{il} o erro a, erro entre parcelas; H_j , o efeito do híbrido; TH_{ij} , o efeito

da interação espaçamento x híbrido; BTH_{ijk} , o erro b, erro na subparcela; D_k , o efeito da densidade; TD_{ik} , o efeito da interação espaçamento x densidade; HD_{jk} , o efeito da interação híbrido x densidade; THD_{ijk} , o efeito da interação espaçamento x híbrido x densidade; e ξ_{ijkl} , erro c, erro na subsubparcela. As análises estatísticas foram feitas com auxílio do pacote “agricolae”, implementado no programa R (MENDIBURU, 2016)

5. Resultados e Discussão

Na primeira safra, a PG média foi de 11.854 kg ha⁻¹, enquanto a segunda safra apresentou PG média de 5.922 kg ha⁻¹, ou seja, uma redução de 50% na PG, o que confirma as condições edafoclimáticas mais favoráveis para o cultivo do milho na primeira safra. Na primeira safra, o coeficiente de variação (CV) variou de 2,39% a 17,99% para os caracteres de arquitetura de plantas. Para os caracteres de produtividade de grãos e seus componentes, o CV oscilou de 1,59 a 10,25%. Em condições de segunda safra, para os caracteres de arquitetura de plantas, o CV variou de 2,20 a 17,34%, e nos caracteres avaliados para a produtividade de grãos e seus componentes, o CV oscilou de 4,55 a 12,55%. Segundo Fritsche-Neto et al. (2012), esses valores do CV são classificados de médio a baixo, o que mostra boa precisão experimental nos dois experimentos.

5.1. Primeira Safra

5.1.1. Arquitetura de Plantas

Quase todos os caracteres de arquitetura de plantas foram influenciados pelo tipo de híbrido, à exceção de AE, e pela densidade de semeadura, exceto para NNBE e NNAE. O efeito da interação espaçamentos x densidades foi significativo ($P < 0,01$) apenas para AP. Em relação às demais fontes de variação, não houve efeito ($P > 0,01$) para espaçamentos, interações duplas espaçamentos x híbridos, híbridos x densidades e a interação tripla híbridos x espaçamentos x densidades, para todos os caracteres avaliados (Tabela 3). Não houve diferença ($P > 0,01$) entre os híbridos para AE, cujo resultado está de acordo com os encontrados por Demétrio et al. (2008), que avaliaram dois híbridos de milho em três espaçamentos entre linhas de plantio e quatro densidades de semeadura e não verificaram diferenças entre os híbridos em relação à AE. Modolo

et al. (2010) também não observaram diferenças em relação à AE entre os híbridos avaliados.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os caracteres de arquitetura de plantas: área foliar (AF, cm²), altura de plantas (AP, cm), altura de espiga (AE, cm), diâmetro de colmo (DC, mm), número de nós abaixo (NNBE) e acima da espiga (NNAE) e teor de clorofila na folha (SPAD). Semeadura em 14/11/2015 (primeira safra)

FV	GL	QM ^{1/}						
		AF	AP	AE	DC	NNBE	NNAE	SPAD
Bloco	2	759	0,0100	0,0049	3,50	0,12	0,10	183,57**
Esp	3	8,352	0,0162	0,0221	12,80	0,12	0,12	11,60
Res(a)	6	3,375	0,0679	0,0573	1,88	0,09	0,09	7,31
CV _% (a)		7,23	10,86	17,99	5,37	3,55	4,76	4,74
Hib	2	287.159**	0,2778**	0,0176	43,01**	45,06**	9,93**	378,90**
Esp x Hib	6	823	0,0164	0,0038	3,31	0,05	0,14	4,00
Res(b)	16	1,072	0,0067	0,0035	1,76	0,06	0,04	4,30
CV _% (b)		4,08	3,41	4,45	5,19	2,90	3,89	3,64
Den	3	28.263**	0,0360**	0,0447**	75,20**	0,01	0,06	64,23**
Esp x Den	9	1,044	0,0120**	0,0050	0,63	0,03	0,03	4,73
Hib x Den	6	1,181	0,0029	0,0031	0,67	0,12	0,03	1,34
Esp x Hib x Den	18	1,169	0,0053	0,0039	0,93	0,07	0,03	1,72
Res(c)	72	1,294	0,0033	0,0025	0,60	0,07	0,03	4,32
CV _% (c)		4,48	2,39	3,76	3,03	3,13	2,75	3,65

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$).

Embora muitos milhocultores brasileiros tenham aderido a espaçamentos mais reduzidos, estudos têm mostrado que a influência do espaçamento em caracteres relacionados à arquitetura de plantas é contraditória. Silva et al. (2014) avaliaram dois híbridos de milho nos espaçamentos entre linhas de plantio de 0,45 m e 0,90 m e encontraram que DC não foi influenciado pelo espaçamento, ao passo que AP e AE foram influenciados. Em outro trabalho, Kappes et al. (2011) avaliaram cinco híbridos comerciais de milho em dois espaçamentos, 0,45 m e 0,90 m, e apenas DC foi influenciado pelo espaçamento. Os caracteres AP e AE não foram influenciados pelo espaçamento entre linhas de plantio, mas os autores também verificaram que a modificação no espaçamento foi dependente da alteração na densidade de plantio para AP. Além disso, nos dois trabalhos anteriores, os autores não encontraram interação híbridos x espaçamentos. Assim, os híbridos não tiveram seu comportamento relativo para arquitetura de plantas influenciado pela diferença no espaçamento entre linhas de plantio.

Em relação ao efeito de híbridos, houve diferença significativa, pelo teste Tukey ($P < 0,01$), entre as médias para os caracteres AF, AE, DC, NNBE, NNAE e teor de

clorofila (Tabela 4). O híbrido simples (HS) DKB390PRO2 foi superior aos demais apenas para AF (883,3 cm²), e para teor de clorofila (SPAD), apresentou média igual ao híbrido triplo (HT) BG7049YH e ambos apresentaram média superior ao híbrido duplo (HD) BR206, para esse caráter. O HD diferiu ($P < 0,01$) dos demais híbridos e apresentou as maiores médias para DC e NNBE, enquanto o HT apresentou a maior média para AP. Como os híbridos não apresentaram diferença para AE, é possível afirmar que a diferença para AP entre eles seja função da diferença na parte da planta acima da espiga.

Tabela 4. Médias dos caracteres de arquitetura de plantas: área foliar (AF, cm²), altura de plantas (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, mm), número de nós abaixo (NNBE) e acima da primeira espiga (NNAE) e teor de clorofila na folha (SPAD) avaliados nos três híbridos de milho cultivados na safra 2015/2016 (primeira safra)

Híbrido	AF	AP	DC	NNBE	NNAE	SPAD
HS (DKB390PRO2)	883,3 a	2,38 b	25,31 b	7,52 c	5,78 b	58,84 a
HT (BG7049YH)	797,3 b	2,49 a	24,74 b	8,35 b	6,57 a	58,41 a
HD (BR206)	729,0 c	2,34 b	26,59 a	9,45 a	6,56 a	53,77 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,01$).

Do mesmo modo, Kappes et al. (2011) avaliaram cinco híbridos de milho (quatro híbridos simples e um triplo), em dois espaçamentos entre linhas de plantio, 0,45 m e 0,90 m, e cinco densidades de semeadura e também verificaram maior AP no híbrido XB7253 (HT) e menor AP no híbrido AG9010 (HS), considerado um híbrido de arquitetura moderna. Segundo esses autores, esse fato está associado ao caráter genético no que se refere à característica de superprecocidade desse híbrido. Alvarez et al. (2006), ao estudarem o desempenho de três híbridos de milho de diferente estrutura genética em duas densidades de semeadura (55.000 e 75.000 plantas ha⁻¹), em dois anos agrícolas, constataram inexistência de alteração na AP com a redução do espaçamento entre linhas de plantio de 0,90 para 0,70 m. De modo geral, quanto maior a precocidade de um material, menor a sua AF, menor é o seu número de folhas expandidas na antese e mais reduzida é a estatura final da planta (ALMEIDA et al., 2000; CAPRISTO et al., 2007).

Em relação à densidade de semeadura, os caracteres AF, AP, AE, DC e teor de clorofila (SPAD) tiveram ajuste de uma equação linear (Tabela 5). O coeficiente de determinação (R^2) variou de 88 a 99%, sugerindo que a maior parte da variação observada nesses caracteres foi explicada pela variação na densidade de plantio. Desse

modo, à medida que se aumentou 1.000 plantas ha⁻¹, a AF decresceu 2,16 cm² em cada planta e com isso tem-se uma menor área verde por planta e, consequentemente, o teor de clorofila (SPAD) é reduzido em 0,10. Entretanto, embora a AF por planta seja reduzida com o aumento do número de plantas, a área foliar total por ha aumenta, pois se tem mais planta na área, sendo importante na interceptação da radiação solar. Segundo Van Roekel et al. (2012), há uma resposta linear do índice de área foliar e uma resposta quadrática de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa à densidade de plantio em milho.

Tabela 5. Estimativas da: área foliar (AF, cm²), altura de plantas (AP, cm), altura de inserção da primeira espiga (AE, cm), diâmetro de colmo (DC, mm) e teor de clorofila na folha (SPAD), em função da densidade, na primeira safra

Caractere	Equação de regressão ^{1/}	R ²
AF	$\hat{y} = 965,49 - 2,16^{**}x$	0,99
AP	$\hat{y} = 2,23 + 0,003^{**}x$	0,88
AE	$\hat{y} = 1,13 + 0,003^{**}x$	0,99
DC	$\hat{y} = 33,86 - 0,110^{**}x$	0,98
SPAD	$\hat{y} = 64,75 - 0,100^{**}x$	0,99

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$). Densidade 1.000 plantas ha⁻¹

Para os demais caracteres de arquitetura de plantas, o aumento de 60.000 para 90.000 plantas ha⁻¹ proporcionou aumento linear na AP e AE (0,003 cm para cada 1.000 plantas ha⁻¹) e redução linear do DC (Tabela 5). Respostas similares têm sido encontradas para esses caracteres em milho. Demétrio et al. (2008) verificaram que os híbridos diferiram entre si e responderam de forma linear positiva para AP e AE, ao aumento da densidade de plantas. Silva et al. (2008) verificaram aumento linear na AP à medida que se aumentou a densidade de plantas de 40.000 para 80.000 plantas ha⁻¹. Do mesmo modo, Brachtvogel et al. (2012) e Alvarez et al. (2006) verificaram maiores AP com aumento da densidade de semeadura. Esses autores sugerem uma tendência natural de aumento da AP em condições de elevada densidade. Segundo Sangoi et al. (2002) e Argenta et al. (2001b), essa resposta está associada ao efeito da competição intraespecífica por luz, com consequente estímulo da dominância apical das plantas. A AP e AE estão entre os caracteres de arquitetura de planta mais importantes do milho, pois podem comprometer a eficiência da colheita. Uma das mais importantes características agrônômicas do milho é o fato de proporcionar o armazenamento a campo, ou seja, em virtude de as espigas serem praticamente vedadas pela palha e decumbentes, as plantas de inserção de espiga mais baixa e porte menor apresentam

maior capacidade de suportar ventos fortes após sua senescência e a maturação fisiológica dos grãos, o que permite ao agricultor maior estabilidade e flexibilidade no planejamento da colheita (FOLONI et al., 2008). Com relação à AE, Demétrio et al. (2008), Alvarez et al. (2006), Brachtvogel et al. (2012) e Marchão et al. (2005) observaram elevação na AE com o aumento da densidade de plantas nos híbridos testados, o que está em consonância com os resultados obtidos nesse estudo.

Conforme já mencionado, o aumento da densidade de plantas provocou diminuição no diâmetro de colmo. Porter et al. (1997), Dourado Neto et al. (2003), Demétrio et al. (2008) e Brachtvogel et al. (2012) também constataram que quanto maior a densidade de plantas menor o DC. Kappes et al. (2011) detectaram que o aumento de 50.000 para 90.000 plantas ha⁻¹ provocou redução linear do diâmetro de colmo. Segundo Gross et al. (2006), o adensamento interfere na massa individual das plantas, obtendo-se um decréscimo de matéria seca individual, especificamente do colmo, em decorrência da competição entre elas pelos recursos do meio. Isto leva a inferir que as plantas tendem a ficar mais suscetíveis ao acamamento e quebramento com o incremento da densidade, havendo diferenças entre os genótipos. Em altas densidades, as plantas aceleram seu crescimento a fim de evitar o sombreamento e aumentar suas chances de crescer acima do dossel, o que prejudica o DC e AF (TAIZ & ZEIGER, 2004). Desse modo, verificou-se que um aumento da densidade de semeadura prejudica o desempenho da cultura do milho, principalmente, na AP, AE, DC e SPAD, sendo que, para esses caracteres, a densidade influenciou de forma linear.

5.1.2. Produtividade de grãos e seus componentes

Para a produtividade de grãos e seus componentes, houve diferença ($P < 0,01$) entre os híbridos para quase todos os caracteres avaliados, à exceção de PRL e PF (Tabela 6). Entre as densidades, PG, PRL, M1000, PF e CE apresentaram diferenças ($P < 0,01$). Entre os espaçamentos, não houve diferenças ($P > 0,01$) para todos os caracteres avaliados. As interações duplas e a interação tripla (espaçamentos x híbridos x densidades) não apresentaram efeito ($P > 0,01$). Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Demétrio et al. (2008) e Kappes et al. (2011), que também não verificaram interação tripla (espaçamentos x híbridos x densidades) para PG e seus componentes em trabalhos com milho. Lima et al. (2012) avaliaram dois híbridos

comerciais de milho em três densidades de semeadura e não encontraram interação para nenhum dos caracteres avaliados.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para os caracteres de produtividade de grãos e seus componentes: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), prolificidade (PRL), massa de 1000 grãos (M1000, g), massa hectolitro (PHE, g L⁻¹), número de fileiras de grãos (NF), profundidade de grãos (PF, mm) e comprimento de espiga (CE, cm). Semeadura em 14/11/2015 (primeira safra)

FV	GL	QM ^{1/}						
		PG	PRL	M1000	PHE	NF	PF	CE
Bloco	2	75.469	0,0039	401,50	203,49	0,37	0,62	0,86
Esp	3	704.421	0,0008	369,93	287,54	0,39	0,39	2,17
Res(a)	6	1.466.897	0,0024	968,53	848,31	0,37	0,53	1,62
CV _% (a)		10,22	4,99	10,08	3,73	3,71	3,40	7,53
Hib	2	173.988.622**	0,0043	28.685,85**	10.033,58**	117,89**	0,36	24,84**
Esp x Hib	6	2.030.366	0,0015	287,22	108,88	0,20	0,45	0,83
Res(b)	16	1.475.517	0,0018	585,09	261,93	0,31	0,31	0,56
CV _% (b)		10,25	4,33	7,83	2,08	3,38	2,63	4,40
Den	3	4.860.560**	0,0120**	6296,16**	223,12	1,29	4,76**	38,94**
Esp x Den	9	1.407.783	0,0012	252,07	129,43	0,72	0,37	1,01
Hib x Den	6	514.423	0,0014	339,55	183,81	0,37	0,28	1,01
Esp x Hib x Den	18	1.347.066	0,0025	254,57	178,96	0,37	0,33	0,40
Res(c)	72	1.024.272	0,0017	422,38	153,33	0,42	0,49	0,88
CV _% (c)		8,53	4,21	6,65	1,59	4,01	3,27	5,57

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$).

O HS e o HT apresentaram as maiores médias de PG e M1000, o HS obteve a maior média para NF, enquanto a maior média para CE foi obtida pelo HT (Tabela 7). Kappes et al. (2011) também encontraram maior CE no HT. Ao mesmo tempo, o HD apresentou as menores médias para PG e M1000. Pressupunha-se que, nos espaçamentos reduzidos, a M1000 fosse maior em razão de as plantas permanecerem equidistantes e, conseqüentemente, com uma maior capacidade de interceptação da radiação solar e ainda uma menor competição por luz, água e nutrientes. No entanto, pode-se verificar que os três híbridos tiveram o mesmo comportamento nos quatro espaçamentos para M1000. Esse resultado também é corroborado por Flesch e Vieira (2004), Amaral Filho et al. (2005), Demétrio et al. (2008), Dallastra et al. (2009), Modolo et al. (2010) e Kappes et al. (2011), que não observaram diferenças para M1000 entre as mudanças de espaçamentos nos híbridos testados.

Tabela 7. Médias dos caracteres de produtividade de grãos e seus componentes: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), massa de 1.000 grãos (M1000, g), massa hectolitro (PHE, g L⁻¹), número de fileiras de grãos (NF) e comprimento de espiga (CE, cm) avaliados nos três híbridos de milho cultivados na safra 2015/2016 (primeira safra)

Híbrido	PG	M1000	PHE	NF	CE
HS (DKB390PRO)	13.380a	316,8a	782,1a	18,00a	16,36b
HT(BG7049YH)	12.560a	328,3a	764,6b	15.24b	17,68a
HD(BR206)	9.718b	281,4b	793,2a	15,33b	16.51b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,01$).

Os híbridos diferiram entre si para CE, cujo resultado foi coerente com Kappes et al. (2011), que avaliaram quatro HS e um HT em diferentes espaçamentos e densidades, e observaram que o CE foi influenciado pelos híbridos. Para NF, nesse estudo foram observadas diferenças ($P < 0,01$) entre os híbridos utilizados, o que se contrapõe a Modolo et al. (2010), que não encontraram diferenças entre os híbridos testados. Esses resultados possivelmente podem ser explicados pelo fato de esses autores utilizarem híbridos de mesma constituição genética. Eles avaliaram híbridos simples. Em relação a PG, o HS e o HT apresentaram média superior à do HD, o que pode ser atribuído ao fato de esses híbridos terem diferentes estruturas genéticas. Os HD são mais variáveis em caracteres de plantas e de espigas em relação aos HT e HS (MÔRO & FRITSCHÉ-NETO, 2015) e, em geral, são menos produtivos quando comparados aos HT e HS, pois são provenientes de quatro genitores e têm, portanto, menor heterose.

Tabela 7. Médias dos caracteres de produtividade de grãos e seus componentes: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), massa de 1.000 grãos (M1000, g), massa hectolitro (PHE, g L⁻¹), número de fileiras de grãos (NF) e comprimento de espiga (CE, cm) avaliados nos três híbridos de milho cultivados na safra 2015/2016 (primeira safra)

Híbrido	PG	M1000	PHE	NF	CE
HS	13.380a	316,8a	782,1a	18,00a	16,36b
HT	12.560a	328,3a	764,6b	15.24b	17,68a
HD	9.718b	281,4b	793,2a	15,33b	16.51b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,01$).

Atinge-se a PG máxima com uma densidade de 78.000 plantas ha⁻¹, o que corresponde a uma PG de 12.166 kg ha⁻¹ (Tabela 8). Esse resultado concorda com trabalhos recentes que têm indicado respostas positivas ao aumento da PG pelo incremento da densidade de plantas, com PG máximas sendo atingidas entre 70.000 a

80.000 plantas ha⁻¹ e redução em densidades mais elevadas. Alvarez et al. (2006), Gross et al. (2006) e Brachtvogel et al. (2012) também verificaram padrão quadrático na PG com o aumento da densidade de semeadura. Demétrio et al. (2008) constataram que os híbridos responderam de forma quadrática ao aumento da densidade, com acréscimo de PG na densidade entre 75.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, e a partir dessa densidade, houve redução na PG. Do mesmo modo, Flesch & Vieira (2004) avaliaram quatro espaçamentos, dois híbridos e quatro densidades, e ambos os híbridos também responderam de forma quadrática ao aumento da densidade, com elevação da PG a partir de 30.000 até 70.000 plantas ha⁻¹ e com redução de 70.000 até 90.000 plantas ha⁻¹, independentemente do espaçamento utilizado.

Tabela 8. Estimativas da: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), prolificidade (PRL), massa de 1.000 grãos (M1000, g), profundidade de grãos (PF, mm) e comprimento de espiga (CE, cm), em função da densidade, na primeira safra

Caractere	Equação de regressão ^{1/}	R ²
PG	$\hat{y} = 340,80 + 300,590*x - 1,910*x^2$	0,63
PRL	$\hat{y} = 1,08 - 0,001**x$	0,86
M1000	$\hat{y} = 385,29 - 1,019**x$	0,99
PF	$\hat{y} = 12,76 - 0,028**x$	0,97
CE	$\hat{y} = 22,83 - 0,080**x$	0,98

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$). (Densidade 1.000 plantas ha⁻¹)

Os caracteres PRL, M1000, PF e CE se reduziram linearmente com o aumento da densidade (Tabela 8). Muitos estudos têm investigado o impacto do aumento da densidade de semeadura na PG e seus componentes. Resultados semelhantes foram obtidos por Kappes et al. (2011), que também observaram decréscimo linear na PRL, M1000 e CE com o incremento da densidade. Esses autores sugerem que o aumento da densidade de semeadura, ao promover maior competição intraespecífica, diminui o tamanho de determinadas estruturas das plantas de milho, caso das espigas. Além disso, o aumento da densidade altera a taxa e a duração do período de enchimento dos grãos, pois reduz a M1000. Hashemi et al. (2005) também verificaram que a massa de grãos diminuiu à medida que a densidade de plantas aumentou. Em relação ao PRL, os resultados obtidos nesse estudo comprovam que, em elevadas densidades, a competição entre as plantas por luz, água e nutrientes é alta, o que dificulta o enchimento dos grãos em mais de uma espiga por planta. Flesch & Vieira (2004) descreveram que acréscimos na densidade de semeadura de 50.000 até 90.000 plantas ha⁻¹ proporcionaram redução nos componentes da produtividade, porém a PG é compensada por aumentar o número de espigas por área. Segundo esses autores, em lavouras com alta densidade e boas

condições de cultivo, as espigas adicionais por hectare resultarão em maior PG, pelo fato de maximizarem o número de grãos por hectare, mas essa compensação ocorre até um ponto ótimo de densidade, a partir do qual um maior número de espigas por área não é suficiente para compensar a redução da massa e o número de grãos, como observado nesse estudo. Assim como para arquitetura de plantas, na produtividade e seus componentes, o espaçamento entre linhas de plantio não influenciou ($P > 0,01$) nenhum caractere avaliado (Tabela 6). A exemplo dos demais caracteres avaliados para a produtividade de grãos e seus componentes, em trabalhos semelhantes os resultados dos estudos de redução do espaçamento entre linhas de plantio na cultura do milho sobre a PG são bastante distintos. Enquanto alguns resultados não encontraram nenhuma vantagem na utilização de linhas de plantio mais próximas sobre a PG, outros indicam acréscimos substanciais na PG com a utilização de espaçamentos reduzidos. Em um experimento de dois anos, Van Roekel et al. (2012) não encontraram nenhuma diferença para PG entre os espaçamentos (0,51 e 0,76 m) entre linhas de plantio. Sangoi et al. (2011) avaliaram um híbrido em três espaçamentos entre linhas de plantio e quatro densidades e não obtiveram aumento na PG com redução do espaçamento. Shapiro & Wortmann (2006) obtiveram resultados semelhantes. Em um estudo de três anos sobre dois locais, constataram aumento de PG de 4%, quando reduziram o espaçamento de 0,76 para 0,51 m. Outro aumento de PG atribuído a linhas de plantio estreitas foi descrito por Porter et al. (1997) em um estudo de três anos feito em três locais em Minnesota, tendo os autores constatado que a PG foi 7,2% superior nos espaçamentos 0,25 m e 0,50 m, quando comparada ao espaçamento de 0,75 m. O aumento de PG em espaçamento reduzido foi semelhante para todos os híbridos incluídos no estudo. Para Sangoi et al. (2002), esses resultados encontrados na literatura podem ser explicados por diversos fatores entre os quais o tipo de híbrido, a densidade de plantas, as características climáticas da região e o nível de fertilidade do solo.

Os resultados obtidos na avaliação de PG no presente estudo corroboram aqueles observados por Farnham (2001) em um estudo de três anos, em seis locais, em Iowa. O autor não observou diferenças de PG nos espaçamentos entre linhas de plantio (0,76 e 0,38 m). Destarte, redução do espaçamento não influenciou a produtividade de grãos e seus componentes.

5.2. Segunda Safra

5.2.1. Arquitetura de Plantas

Nas condições de segunda safra, os resultados obtidos para arquitetura de plantas foram semelhantes aos encontrados na primeira safra. Houve diferença ($P < 0,01$) entre os híbridos para quase todos os caracteres avaliados, exceto para DC (Tabela 9). Não houve interação ($P > 0,01$) híbridos x densidades para quase todos os caracteres avaliados, com exceção do SPAD. Além disso, não houve ($P > 0,01$) interação espaçamentos x híbridos, espaçamentos x densidades e espaçamentos x híbridos x densidades. Resultados semelhantes foram obtidos por Afférri et al. (2008), que avaliaram dois híbridos duplos, em duas densidades de semeadura, em três espaçamentos em plantio tardio, e não detectaram interação espaçamentos x densidades e espaçamentos x híbridos x densidades. Penariol et al. (2003) avaliaram um híbrido simples modificado e uma variedade, em três espaçamentos e três densidades de semeadura em duas segundas safras (2000/2001) e também não verificaram interações para caracteres de arquitetura de plantas: espaçamentos x híbridos, espaçamentos x densidades e espaçamentos x híbridos x densidades.

Tabela 9. Resumo das análises de variância para os caracteres de arquitetura de plantas: área foliar (AF, cm²), altura de plantas (AP, cm), altura de inserção da primeira espiga (AE, cm), diâmetro de colmo (DC, mm), número de nós abaixo (NNBE) e acima da primeira espiga (NNAE) e teor de clorofila na folha (SPAD). Semeadura em 22/02/2016 (segunda safra)

FV	GL	QM ^{1/}						
		AF	AP	AE	DC	NNBE	NNAE	SPAD
Bloco	2	24.710	385,20	246,30	7,68	0,49	15,94**	0,04
Esp	3	2.769	337,30	807,40	2,73	0,83	1,65	24,54**
Res(a)	6	11.327	403,30	142,50	9,74	0,65	0,83	1,66
CV _% (a)		14,28	8,69	8,98	17,34	10,69	14,17	2,44
Hib	2	270.773**	3.965,00**	1.192,80**	6,50	13,50**	6,12**	198,63**
Esp x Hib	6	6.906	182,00	54,50	1,57	0,23	0,04	9,51
Res(b)	16	10.003	98,00	87,70	3,06	0,07	0,02	5,01
CV _% (b)		13,42	4,29	7,04	9,72	3,51	2,20	4,24
Den	3	63.627**	21,58	83,74	29,87**	0,08	0,10	38,82**
Esp x Den	9	8.495	61,25	23,50	0,10	0,05	0,03	5,91
Hib x Den	6	9.530	21,91	58,51	0,69	0,14	0,08	12,16**
Esp x Hib x Den	18	9.109	38,56	32,34	0,75	0,03	0,11	5,29
Res(c)	72	8.566	60,99	32,07	0,87	0,08	0,06	3,87
CV _% (c)		12,42	3,38	4,26	5,18	3,75	3,81	3,72

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$).

Na segunda safra, o HS foi superior aos demais para SPAD. E para AF, apresentou média igual ao HT e ambos apresentaram média superior ao HD (Tabela 10). O HS apresentou as menores médias para NNBE e NNAE, assim como na primeira

safrã, ou seja, esse híbrido apresentou um menor número de folhas e, consequentemente, uma menor massa vegetativa, característica fundamental para a tolerância ao adensamento. Para AP, os HS e HT apresentaram média superior ao HD. No caráter AE, o HS foi superior aos demais. Esses resultados provavelmente podem ser explicados pela diferente estrutura genética desses híbridos. Foloni et al. (2008) avaliaram 20 híbridos de milho de diferentes constituições genéticas em espaçamento reduzido (0,45 m) na segunda safrã e também encontraram diferenças entre os híbridos estudados para AP e AE. Penariol et al. (2003) verificaram diferenças entre os cultivares estudados para AP e AE. No entanto, Afférri et al. (2008) não detectaram efeito dos híbridos de mesma estrutura genética sobre AP e AE.

Tabela 10. Médias dos caracteres de arquitetura de plantas:  rea foliar (AF, cm²), altura de plantas (AP, cm), altura de inserção da primeira espiga (AE, cm), número de nós abaixo (NNBE) e acima da primeira espiga (NNAE) e teor de clorofila na folha (SPAD) avaliados nos três híbridos de milho cultivados na safrinha 2016 (segunda safrã)

Híbrido	AF	AP	AE	NNBE	NNAE	SPAD
HS (DKB390PRO2)	793,40 a	2,37 a	137,5 a	7,09 c	6,02 c	55,01 a
HT (BG7049YH)	783,70 a	2,36 a	133,4 ab	7,42 b	6,68 a	52,47 b
HD (BR206)	658,70 b	2,20 b	127,6 b	8,13 a	6,58 b	50,99 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,01$).

Entre as densidades, apenas AF, DC e SPAD apresentaram diferenças ($P < 0,01$) (Tabela 11). Nas equações lineares, para cada um desses caracteres os coeficientes de determinação (R^2) variaram de 79 a 95%, indicando que a maioria da variação observada foi explicada pela regressão linear. Em outras palavras, grande parte da variação em AF, DC e SPAD foi explicada pela variação na densidade de plantio. Desse modo, um aumento de 1.000 plantas ha⁻¹ proporciona uma redução de 3,10 cm² em AF. Esses resultados sobre a AF estão de acordo com os dados obtidos na primeira safrã, ou seja, em virtude de haver mais plantas na área, a AF total por ha aumenta, apesar de a AF por planta diminuir com o acréscimo do número de plantas. Nessas condições, o DC também diminui 0,06 mm em cada planta,   medida que se aumenta o stand em 1.000 plantas ha⁻¹. Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Afférri et al. (2008), que, apesar de não verificarem em milho da segunda safrã efeito da densidade de semeadura em AP e AE, observaram que o aumento na densidade de plantas resultou em diminuição do DC. Fontoura et al. (2006) também observaram redução no DC com o aumento da densidade de plantas e que a AP não sofreu influência da densidade na

segunda safra de 2004. Do mesmo modo, Penariol et al. (2003) encontraram redução no DC com o aumento da densidade de plantas.

Tabela 11. Estimativas do: área foliar (AF, cm²), diâmetro de colmo (DC, mm) e teor de clorofila na folha (SPAD) em função da densidade, na segunda safra

Caractere	Equação de regressão ^{1/}	R ²
AF	$\hat{y} = 977,06 - 3,100^{**}x$	0,90
DC	$\hat{y} = 22,70 - 0,063^{**}x$	0,79
SPAD	$\hat{y} = 58,70 - 0,078^{**}x$	0,95

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$). Densidade 1.000 plantas ha⁻¹

Em relação ao espaçamento, nas condições de segunda safra para arquitetura de plantas, os resultados assemelham-se aos da primeira safra. Logo, a redução do espaçamento não teve efeito sobre quase todos os caracteres avaliados, à exceção do SPAD. Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Schwantes et al. (2007), em um trabalho com quatro híbridos e dois espaçamentos entre linhas de plantio (0,38 e 0,76 m) na segunda safra, que também não verificaram influência da redução do espaçamento nos caracteres AP, AE e DC. No entanto, Penariol et al. (2003) observaram que a redução do espaçamento não afetou o DC, mas diminuiu a AP e AE. Afférri et al. (2008) não detectaram diferenças entre os espaçamentos para AE e observaram maiores AP e aumento de DC com a redução do espaçamento, ou seja, os resultados entre esses trabalhos são bastante divergentes. Nesse estudo, a redução de espaçamento não influenciou a arquitetura de plantas nas condições de segunda safra.

5.2.2 Produtividade de grãos e seus componentes

A exemplo do que ocorreu com os caracteres avaliados da arquitetura de plantas, na segunda safra para a produtividade de grãos e seus componentes os resultados obtidos também foram parecidos com os da primeira safra. Houve diferença ($P < 0,01$) entre os híbridos para quase todos os caracteres avaliados, à exceção de CE (Tabela 12). A interação híbridos x densidades não ocorreu ($P > 0,01$) para quase todos os caracteres avaliados, à exceção de PRL. As interações espaçamentos x híbridos, espaçamento x densidade e a interação tripla (espaçamento x híbrido x densidade) não apresentaram efeito ($P > 0,01$).

Tabela 12. Resumo das análises de variância para os caracteres de produtividade de grãos e seus componentes: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), prolificidade (PRL), massa de 1000 grãos (M1000, g), massa hectolitro (PHE, g L⁻¹), número de fileiras de grãos (NF), profundidade de grãos (PF, mm) e comprimento de espiga (CE, cm). Semeadura em 22/02/2016 (segunda safra)

FV	GL	QM ^{1/}						
		PG	PRL	M1000	PHE	NF	PF	CE
Bloco	2	2.662,223	0,0058	154,08	6.743,91	2,06	1,36	3,75
Esp	3	1.652.722	0,0113	443,74	2.359,12	0,33	1,84	0,46
Res(a)	6	520.110	0,0023	776,28	1.978,45	1,26	0,67	2,06
CV _% (a)		12,18	5,21	9,89	5,87	7,29	8,99	10,51
Hib	2	35.128.415**	0,0941**	68.214,11**	12.917,43**	54,56**	5,81**	3,00
Esp x Hib	6	530.516	0,0019	556,09	1.446,59	0,47	0,48	0,66
Res(b)	16	475.984	0,0019	467,82	2.013,69	0,49	0,34	1,09
CV _% (b)		11,65	4,74	7,68	5,92	4,55	6,41	7,65
Den	3	2.314.487**	0,0420**	1.360,68	4.721,54	1,76	2,51**	19,37**
Esp x Den	9	432.148	0,0045	262,47	2.380,94	0,52	1,20	1,40
Hib x Den	6	1.098.614	0,0110**	530,19	583,02	0,40	0,61	0,69
Esp x Hib x Den	18	965.051	0,0018	230,49	1.261,88	0,64	0,33	0,78
Res(c)	72	561.599	0,0035	414,01	1.825,29	0,52	0,59	0,93
CV _% (c)		12,65	6,43	7,22	5,63	4,69	8,44	7,06

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$).

O HS apresentou a maior média para NF, o HD apresentou a menor média para PG e M1000, corroborando os resultados obtidos na primeira safra em relação a esses caracteres. Além disso, o HD apresentou a menor média para PRL (Tabela 13). Desse modo, os híbridos apresentaram diferenças em relação a PG, PRL, M1000, NF e PF. Esses resultados estão de acordo com os de Schwantes et al. (2007), que detectaram diferenças entre os híbridos na PG. Afférri et al. (2008) também observaram diferenças na PG entre os híbridos estudados, independentemente do espaçamento e da densidade adotados, assim como nesse trabalho.

Tabela 13. Médias dos caracteres de produtividade de grãos e seus componentes: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), prolificidade (PRL), massa de 1.000 grãos (M1000, g), número de fileiras de grãos (NF) e profundidade de grãos (PF, mm) avaliados nos três híbridos de milho cultivados na safrinha 2016 (segunda safra)

Híbrido	PG	PRL	M1000	PHE	NF	PF
HS (DKB390PRO2)	6.040b	0,94a	274,5b	742,2b	16,60a	8,86b
HT (BG7049)	6.723a	0,96a	322,6a	757,0ab	14,95b	9,50a
HD (BR206)	4.985c	0,87b	248,2c	776,3a	14,61b	8,95b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,01$).

É importante destacar que o HT, diferentemente da primeira safra, apresentou a maior média para M1000. Nem sempre híbridos que apresentam grãos mais pesados são

mais produtivos. No entanto, grande parte dos híbridos que têm M1000 elevada são superiores em PG (FOLONI et al., 2008). Nesse caso, em condições de segunda safra, o HT apresentou maior média de PG em relação aos demais. Ribeiro et al. (2000) avaliaram 20 genótipos de milho, de diferente estrutura genética, em três municípios de Minas Gerais, adotando quatro diferentes níveis de fertilidade e três épocas de semeadura, e observavam que a PG média dos HT foi superior em relação aos HD, HS e variedades de polinização aberta, em todos os níveis de fertilidade. Esse desempenho do HT provavelmente se deve ao fato de haver mais parentais na sua constituição genética e com isso ter maior estabilidade sob diferentes condições ambientais.

Em diferentes condições ambientais, quando se avaliam diferentes tipos de genótipos, HS, HT e HD, por exemplo, um questionamento que surge concerne à maior ou menor estabilidade dos materiais em função do grupo a que pertencem (RIBEIRO et al., 2000). Allard & Bradshaw (1964) descrevem que o fator estabilidade pode ser estudado, considerando duas condições: estabilidade individual (homeostase individual) e estabilidade populacional (homeostase populacional). A homeostase individual é fundamentada na capacidade do indivíduo responder a variações de ambiente por meio de modificações estruturais ou fisiológicas. Já a homeostase populacional corresponde à propriedade de a população equilibrar sua composição genética e resistir a variações bruscas no ambiente, sendo também descrita como poder tamponante da população (BORÉM & MIRANDA, 2013). Nesse contexto, Ribeiro et al. (2000) relatam que em populações de base genética ampla estão presentes os dois tipos de homeostase e que populações de base genética estreita dependem mais da homeostase individual para conservar seus caracteres. Nesse caso, deve haver maior homeostase populacional em uma variedade composta por uma mistura de genótipos, ao passo que um híbrido simples deve ter maior homeostase individual em razão de grande parte dos locos estar em heterozigose (BRAMEL-COX, 1996). Nesse sentido, Becker & Léon (1988) descrevem que em genótipos heterozigotos existe menor suscetibilidade às variações ambientais em relação aos homozigotos e que populações homogêneas sejam menos tolerantes que as heterogêneas. Os autores relatam ainda que uma variedade de polinização aberta, por ser composta por uma mistura de genótipos, apresenta maior heterogeneidade que um híbrido simples. No entanto, a heterozigosidade pode ser máxima em híbridos simples. Nesse contexto, provavelmente pode ser explicado outro resultado do presente estudo, isto é, o HD, que, apesar de existirem quatro parentais em

sua constituição genética, apresentou as menores médias de PG nas duas safras. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de esse híbrido ter menor heterose.

Quanto às densidades, na análise de regressão, assim como na primeira safra, a PG obteve ajuste pelo modelo quadrático (Tabela 14). Já os caracteres PRL, PF e CE obtiveram ajuste no modelo linear. Desse modo, em condições de segunda safra, a PG máxima estimada foi de 7.502 kg ha⁻¹ em uma densidade de 71.000 plantas ha⁻¹. Segundo Sangoi (2000), existe uma densidade em que a PG é máxima, para cada sistema de produção, e isso depende fundamentalmente do ciclo e da estrutura genética do cultivar, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, época de semeadura e espaçamento entre linhas de plantio. Para os demais caracteres, constatou-se que, à medida que se aumenta o stand em 1.000 plantas ha⁻¹, o PRL decresce 0,002, a PF diminui 0,019 cm e o CE se reduz em 0,056 cm em cada planta. Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Penariol et al. (2003), que não detectaram entre as densidades diferença significativa para M1000 e observaram que o PRL foi afetado pela densidade e os menores índices foram verificados nas maiores densidades de semeadura. Fornasieri Filho (1992) descreve que elevadas densidades de plantas podem causar alterações fisiológicas e morfológicas, entre elas, o aumento de plantas sem espiga. Outros trabalhos diferem dos resultados desse estudo, Fontoura et al. (2006) observaram que, na segunda safra de 2005, a M1000 foi maior na menor densidade de plantas. Afférri et al. (2008) não verificaram influência da densidade sobre o CE. Portanto, para a produtividade de grãos e seus componentes em condições de segunda safra, o aumento da densidade de semeadura não influenciou a M1000, PHE e o NF, mas prejudicou o desempenho da PRL, PF e CE.

Tabela 14. Estimativas de produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), prolificidade (PRL), profundidade de grãos (PF, mm) e comprimento de espiga (CE, cm), em função da densidade de plantas de milho, na segunda safra

Caractere	Equação de regressão ^{1/}	R ²
PG	$\hat{y} = -1.369 + 210,770 * x - 1,480 * x^2$	0,64
PRL	$\hat{y} = 1,12 - 0,002 ** x$	0,96
PF	$\hat{y} = 10,60 - 0,019 ** x$	0,95
CE	$\hat{y} = 17,89 - 0,056 ** x$	0,99

^{1/}**Significativo pelo teste F ($P < 0,01$), *($P < 0,05$). Densidade 1.000 plantas ha⁻¹

Do mesmo modo como ocorreu na primeira safra, o espaçamento não afetou nenhum caractere avaliado na produtividade de grãos e seus componentes. Existem poucos trabalhos sobre o desempenho de híbridos de milho em diferentes espaçamentos

entre linhas de plantio e densidades de semeadura em condições de segunda safra, e os resultados são bastante distintos. Afférri et al. (2008) e Penariol et al. (2003) encontraram aumento de PG com redução do espaçamento. Schwantes et al (2007) não observaram influência na PG com redução do espaçamento. No presente estudo, em condições de segunda safra, a redução do espaçamento não influenciou a produtividade de grãos e seus componentes.

5.3 Desempenhos da primeira e segunda safras

Em relação aos híbridos, na primeira safra as PG médias do HS, HT e HD, respectivamente, foram 13.382, 12.560 e 9.718 kg ha⁻¹. Ao passo que na segunda safra a PG média atingida foi de 6.040, 6.723 e 4.985 kg ha⁻¹ para os HS, HT e HD, respectivamente (Figura 2). Com base nesses resultados, pode-se constatar que o HD apresentou desempenho inferior em relação aos demais híbridos em ambas as safras. Portanto, esse tipo de híbrido, em geral, é o menos produtivo quando comparado com HS e HT.

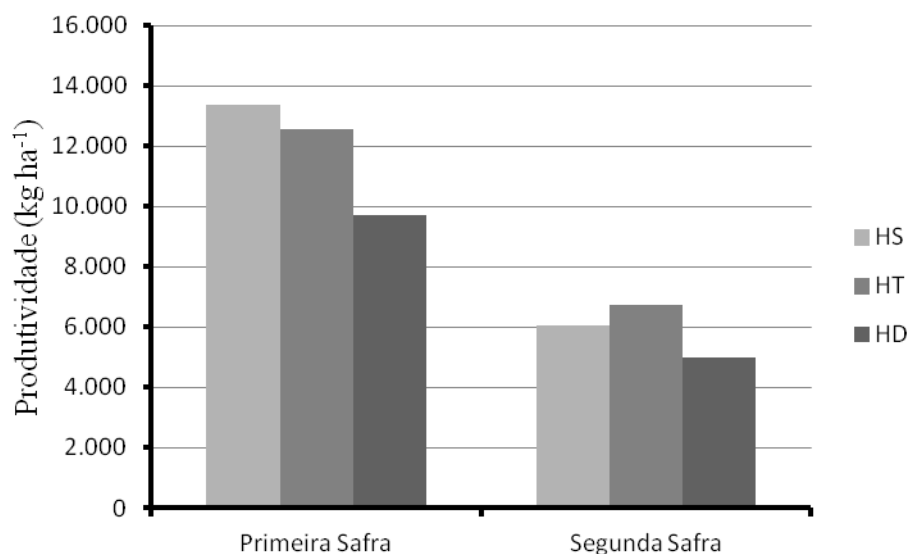


Figura 3. Desempenho do híbrido simples (HS), híbrido duplo (HD) e híbrido triplo (HT) em relação à produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), nas duas safras.

Quanto aos HS e HT, o HS apresentou desempenho superior na primeira safra, sendo, em geral, mais produtivo que o HD ou HT (BORÉM & MIRANDA, 2013). Esse tipo de híbrido é considerado mais uniforme, apresenta maior custo de sementes e é recomendado para sistemas de produção que utilizam alta tecnologia, tendo em vista seu maior potencial produtivo (MÔRO & FRITSCHÉ-NETO, 2015). No entanto, na

segunda safra, o HS apresentou desempenho inferior em relação ao HT. Segundo Paterniani e Campos (2005), caso esse tipo de híbrido seja plantado em condições de estresses bióticos ou abióticos, essa mesma uniformidade genética, favorável em determinado ambiente, poderá ser desvantajosa. Assim, em condições de segunda safra, o HT pode ser recomendado para produtores de média a alta tecnologia, uma vez que apresenta desempenho superior, tem menor custo de semente e, conseqüentemente, proporciona redução no custo de produção da lavoura, embora tenha menor homogeneidade em relação ao HS. Entre os espaçamentos e as densidades, verificou-se que esses fatores mantiveram o mesmo comportamento para a PG em ambas as safras (Figura 4).

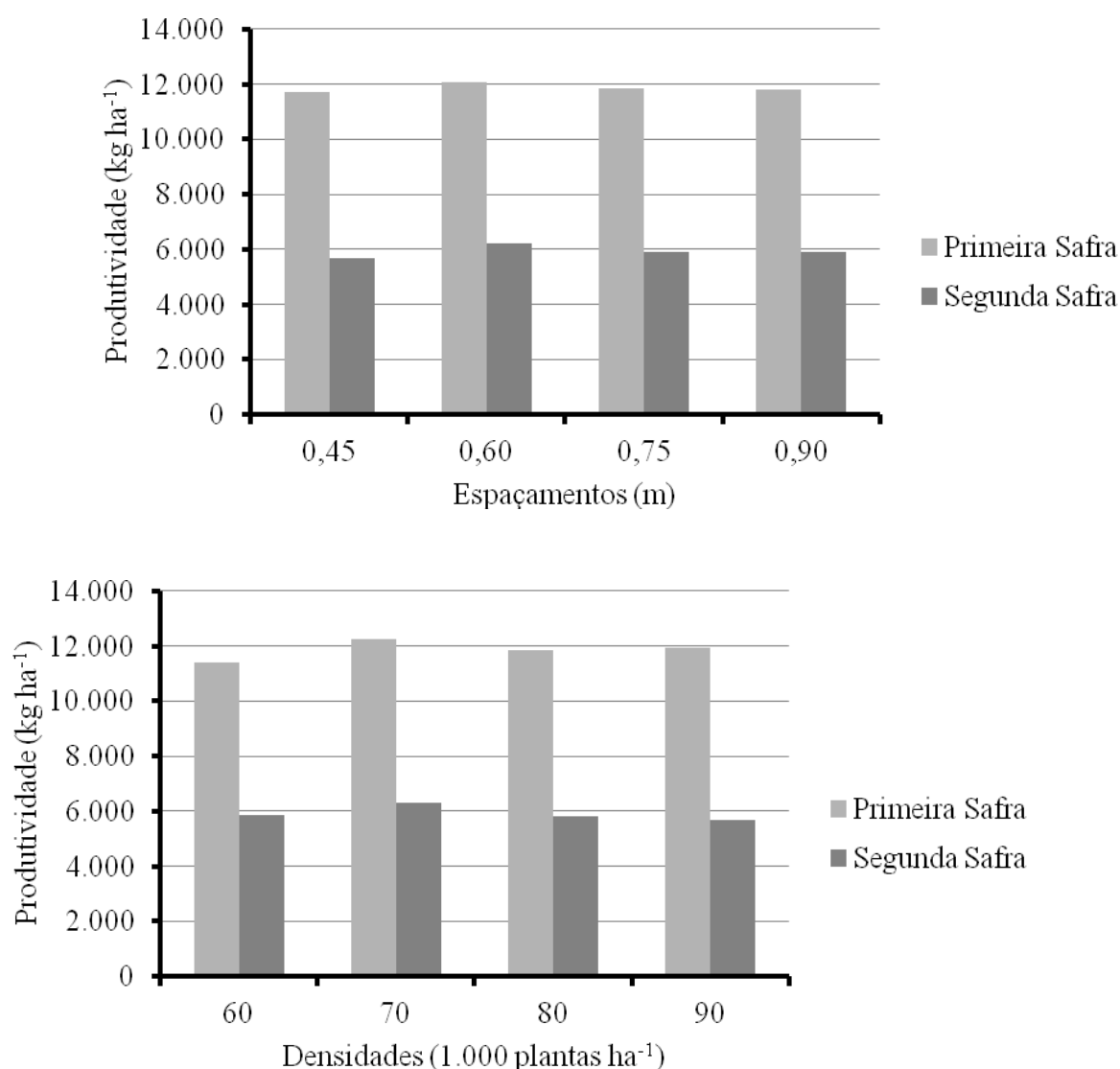


Figura 4. Desempenho dos espaçamentos e densidades em relação à produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), nas duas safras.

6. Conclusões

A redução do espaçamento entre linhas de plantio não influencia na arquitetura de plantas e na produtividade de grãos e seus componentes em condições de safra e safrinha. Portanto, podem ser escolhidos livremente espaçamentos entre 0,45 e 0,90 m para a cultura do milho na semeadura de primeira e segunda safras.

A densidade de semeadura é o fator que mais influenciou no desempenho dos híbridos.

Entre os híbridos avaliados, são recomendados, na primeira safra, os híbridos simples DKB390PRO2 e híbrido triplo BG7049YH, na densidade de semeadura de 78.000 plantas ha⁻¹ e espaçamento entre linhas de plantio entre 0,45 e 0,90 m; na segunda safra, o híbrido triplo BG7049YH, na densidade de semeadura 71.000 plantas ha⁻¹ e espaçamento entre linhas de plantio entre 0,45 e 0,90 m.

7. Referências

- AFFÉRRI, F.S.; MARTINS, E.P; PELUZIO, J.M.; FIDELIS, R.R.; RODRIGUES, H.V.M. Espaçamento e densidade de semeadura para a cultura do milho, em plantio tardio, no Estado do Tocantis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia v. 38, n. 2, p. 128-133, 2008.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept./Oct. 1964.
- 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.
- ALVAREZ, C.G.D.; PINHO, R.G.; BORGES, I.D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragens e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.402-408, 2006.
- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRAÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- AMARAL FILHO, J. P. R. do.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 03, p. 467-473, 2005.
- ANDERSON, I.C. **Crop management**. Ames: Iowa State University, 52p. 1995.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; NETO, V. B. 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.S.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, v.31,p.1075 - 1084, 2001b.

BALBINOT, A.A.; FLECK, N.G. Benefício e limitações da redução do espaçamento entre linhas. **Revista Plantio Direto**, v.5, p.37- 41, 2005.BANDY, B. J. **Response to planting density for corn hybrids grown under narrow and conventional row spacing**. Master Thesis in Crop Science - Illinois University, Urbana 2014.

BECKER, H. C.; LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, n. 1, p. 1-23, Apr. 1988.

BOOMSMA, C.R., SANTINI, J.B., TOLLENAAR, M., VYN, T.J. Maize per-plant and canopy-level morpho-physiological responses to the simultaneous stresses of intense crowding and low nitrogen availability. **Agronomy Journal**, 101, 1426–1452. 2009.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 523 p.

BORRAS, L., G.A. MADDONNI, M.E. OTEGUI. Leaf senescence in maize hybrids: Plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research** 82:13–26. 2003.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S; CRUZ, S.C.S.; ABREU, M.L.; BICUDO, S.J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Trópica**, v. 6, n. 1, p.75, 2012.

BRAMEL-COX, P. J. Breeding for reliability of performance across unpredictable environments. In: KANG, M. S.; GAUCH Jr., H. G. **Genotype by environment interaction**. New York: CRC Press, 1996. 416 p.

CAPRISTO, P.; RIZZALLI, R.; ANDRADE, F. Ecophysiological yield of maize hybrids with contrasting maturity. **Agronomy Journal**, 99, p.1111-1118, 2007.

CARDOSO, M.J.; CARVALHO, H.W.L.; SANTOS, M.X.; LEAL, M.L.S.; OLIVEIRA, A.C. Desempenho de híbridos de milho na região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.43-52, 2003.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos. safra 2016/17**. terceiro levantamento, Brasília, DF. Dezembro de 2016. Disponível em :

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_14_11_29_29_boletim_graos_dezembro_2016.pdf. Acesso em: 15 Dez. 2016.

COQUE, M., GALLAIS, A. Genetic variation among European maize varieties for nitrogen use efficiency under low and high nitrogen fertilization. **Maydica**, 52, 383–397. 2007.

COULTER, J.A., E.D. NAFZIGER, M.R..Response of Bt and near-isoline corn hybrids to plant density. **Agronomy Journal**, 102:103-111, 2010.

COX, W.J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, 88:489-496, 1996.

CROW, J.F. 90 years ago: the beginning of hybrid maize. **Genetics**, 148:923-928. 1998.

CRUZ, J.C. Densidade e espaçamento de plantio. **Embrapa Milho e Sorgo**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=OKOMGBV4rwY>. Acesso em: 19 Jul. 2016, 2011.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; ALVARENGA, R.C.; GONTIJO NETO, M.M.; VIANA, J.H.M.; OLIVEIRA, M.F. de; SANTANA, D.P. Manejo da cultura do milho. In: CRUZ, J.C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M.A.R.; MAGALHÃES, P.C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, Cap. 8, p. 171-197, 2008.

CRUZ, J.C.; SILVA, G.H; PEREIRA FILHO, I.A.; GONTIJO NETO, M.M.; MAGALHÃES, P.C. Sistema de produção de milho safrinha de alta produtividade: Safras 2008 e 2009, 10p. (Circular Técnica, 160), 2011.

DALLASTRA, A.; FAGUNDES, R.S.; SCHEK, G.; FACCHI, L.; PEREIRA, F.R.L.. Produtividade de variedades de milho sobre influência do espaçamento entre linhas e densidade populacional. **Cultivando o saber**, Cascavel, v. 02, n. 02, p. 128-136, 2009.

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, v.43, n.12, p.1691-1697, 2008.

DIDONET, A. G.; RODRIGUES, O.; MARIO, J. L.; IDE, F. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.7, p. 933-938, 2002.

DING, L., WANG, K.J., JIANG, G.M., BISWAS, D.K., XU, H., LI, L.F., LI, Y.H. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. **Annals of Botany**. 96, 925–930. 2005.

DOURADO NETO, D.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**, v.2, p.63-77, 2003.

DUARTE, A.P.; KAPPES, C. Evolução dos sistemas de cultivo de milho no Brasil. **Informações Agronômicas**. Nº 152, 2015.

DUVICK, D.N. Genetic progress in yield of united states maize (zea mays L). **Maydica** 50:193-202, 2005.

DUVICK, D.N. What is yield? In G.O. Edmeades et al. (ed.) **Developing drought and low N-tolerant maize**. Proceedings of a Symposium, CIMMYT, El Batan, Mexico. 25–29,1997.

DUVICK, D.N., J.C.S. SMITH, M. COOPER. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. **Plant Breeding Reviews**, 24:109–151, 2004.

ECHARTE, L., S. LUQUE, F.H. ANDRADE, V.O. SADRAS, A. CIRILO, M.E. OTEGUI, C.R.C. VEGA. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**. 68:1–8. 2000.

EMBRAPA. Cultivares de Milho Disponíveis no Mercado Brasileiro na Safra 2016/2017. Disponível: <http://www.apps.agr.br/site/Conteudo/4322>Erro! A referência de hiperlink não é válida.. Acesso em: 10 de dezembro 2016.

FANCELLI, A.L. DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: E. Agropecuária, 360p, 2000.

FARNHAM, D.E. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. **Agronomy Journal**, Madison n.93, p. 1049-1053, 2001.

FEPAGRO/EMATER/FECOTRIGO. **Recomendações técnicas para a cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:148p.(Boletim Técnico,5), 1998.

FILHO, I. A. P; BORGHI, E. **Embrapa Milho e Sorgo**. Mercado de Sementes de Milho no Brasil Safra 2016/2017. Disponível em: <http://www.apps.agr.br/site/Conteudo/4322>. Acesso: 23 nov, 2016.

FLESCHE, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamento e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p. 25-31, jan./fev. 2004.

FOLONI, J.S.S.; SANTOS, D.H.; BRIANCINI, R. Competição de cultivares de milho em espaçamento reduzido no ambiente safrinha do oeste paulista. **Colloquium Agrariae**, v. 4, n. 2, p. 01-08, 2008.

FONSECA, A. H. **Características químicas e agronômicas associadas a degradabilidade da silagem de milho**. 2000. 93 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.

FRANÇA, G. E.; REZENDE, M.; ALVES, V. M. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Comportamento de cultivares de milho sob irrigação com diferentes densidades de plantio e doses de nitrogênio. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 18., 1990.

FRITSCH-NEITO, R.; VIERA, R.A.; SCAPIM, C.A; MIRANDA, G.V.; REZENDE, L.M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá v. 34, n. 1, p.99-101, 2012.

GALVÃO, J.C.C; BORÉM, A, PIMENTEL, M.A. (Ed.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. 351 p.

GALVÃO, J.C.C.; TROGELLO, E., PEREIRA, L.P.L. Milho Segunda Safra. In: GALVÃO, J.C.C; BORÉM, A, PIMENTEL, M.A. (Ed.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p. 224-241.

GAMBIN, B.L., L. BORRAS, AND M.E. OTEGUI. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. **Field Crop Research**. 95:316–326. 2006.

GROSS, M.R.; PINHO, R.G.; BRITO, A.H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.387-393, 2006.

HASHEMI, A.M., S.J. HERBERT, D.H. PUTNAM. Yield response of corn to crowding stress. **Agronomy Journal**, 97:839-846, 2005.

KAPPES, C.; ANDRADE, J.A.C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A.G.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, Campinas v. 70, n. 2, p.334-343, 2011.

KARLEN, D. L.; CAMP, C. R. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in Atlantic coastal plain. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n.3, p. 393-398, mar. 1985.

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, n.6, p. 1564-1569, 1994.

KUNZ, R. P. **Influência do arranjo de plantas e da população em características agrônomicas e produtividade do milho**. 2005, 115 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

LASHKARI, M., H. MADANI, M.R.A.F. GOLZARDI, AND K. ZARGARI. Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Am.-Eurasian J. Agric. Environmental Science* 10:450–457. 2011.

LAUER, J. Should I be planting corn at 30 inch row spacing? **Wisconsin Crop Manager**, Madison, v.1, n. 6, p. 6-8, apr. 1994.

LIMA, C.F.; ARNHOLD, E.; ARAUJO, B.L.; OLIVEIRA, G.H.F.; JÚNIOR OLIVEIRA, E.A. Avaliação de híbridos de milho sob três densidades populacionais em fronteira agrícola no Maranhão. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 1, p.30-34, 2012.

LOOMIS, R.S., AMTHOR, J.S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1584-1596, 1999.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n. 2, p.93-101, 2005.

MARTINS, P.E.; COSTA, A.J.A. Comportamento de um milho híbrido hiperprecoce em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas. **Cultura Agronômica**, v.12, p.77-88, 2003.

MASSIGNAM, A.M., CHAPMAN, S.C., HAMMER, G.L., FUKAI, S. Physiological determinants of maize and sunflower grain yield as affected by nitrogen supply. **Field Crops Research**, 113, 256–267. 2009.

MATTOSO, M.J.; GARCIA, L.C.; DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, v.27, p.95-104, 2006.

DE MENDIBURU, F. Statistical Procedures for Agricultural Research. Package ‘agricolae’, 2016.

MEROTTO Jr., A., ALMEIDA., M.L. de, 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.

MIRANDA, R.A., DUARTE, J.O., GARCIA, J.C. Cultivo do milho. In: **Sistema de produção** 1. 8. ed. Outubro 2012. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/mercado.htm. Acesso em: 20 Dez, 2016.

MODOLO, A.J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E.M.; TROGELLO, E.; SGARBOSSA, M. Desempenho de híbridos de milho na região sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Ciência Agronômica**, Fortaleza v. 41, n. 3, p.435-441, 2010.

MÔRO, G.V; FRITSCHÉ-NETO, R. Cultivares. In: GALVÃO, J.C.C; BORÉM, A, PIMENTEL, M.A. (Ed.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p. 137-153.

MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura no milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : UFRGS/ASCAR, 35p, 1977.

NAFZIGER, E.D. Corn planting date and plant population. **Journal of Production Agriculture**. 7:59-62, 1994.

OLIVEIRA, J. M. VAZ. **O milho**. Lisboa: Clássica, 218 p. 1984.

OLSON, R.A., SANDERS, D.H. Maize production. In: SPRAGUE, G.F. DUDLEY, J.W. **Corn and corn improvement**. Madison: American Society of Agronomy, Cap.11, p.639-686, 1988.

O'NEILL, P.M., SHANAHAN, J.F., SCHEPERS, J.S., CALDWELL, B. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. **Agronomy Journal**.96, 1660–1667. 2004.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, p. 1-6 (Circular Técnica, 75), 2006.

PATERNIANI, E.E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento de milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. p. 491-552.

PAULO, E.M.; ANDRADE, J.A.C. Comportamento de um milho híbrido hiperprecoce em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas. **Cultura Agrônômica**, v.12, p.77-88, 2003.

PEIXOTO, C.M. **Resposta de genótipos de milho à densidade de plantas, em dois níveis de manejo**. Porto Alegre, 1996, 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

PENARIOL, F. G.; BORDIN, L.; COICEV, L.; FARINELLI, R.; FORNASIERI FILHO, D. Comportamento de genótipos de milho em função do espaçamento e da densidade de populacional nos períodos de safrinha e safra. In: **Congresso Nacional De Milho E Sorgo**, 24., 2002.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D., COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeados em diferentes

espaçamentos entre linha e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira Milho e Sorgo**, v. 02, n. 02, p. 52-60, 2003.

PEREIRA, FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; RAMALHO, M. P. Produtividade e prolificidade de três cultivares de milho em sistema de consórcio com o feijão comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 5, p. 745-751, maio 1993.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009, 451 p.

PORTER, P.M.; HICKS, D.R.; LUISCHEN, W.E.; FOND, J.H.; WARNES, D.D.; HOVERSTAD, T.R. Corn response to row width and plant population in the northern corn belt. **Journal of Production Agriculture**, v.10, p.293-300, 1997.

PROGRAMA MULTIINSTITUCIONAL DE DIFUSÃO DE TECNOLOGIA EM MILHO DO RIO GRANDE DO SUL. **Recomendações técnicas para a cultura do milho no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : FEPAGRO; EMATER/RS; FECOAGRO/RS, 146p. (Boletim Técnico, 6), 1999.

RESENDE, S.G.; **Alternativas de espaçamentos entre fileiras e densidades de plantas no cultivo do milho**. 2003. 55 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RESENDE, S. G.; PINHO, R. G. V.; 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**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 34-42, 2003.

RIBEIRO, P.H.E.; RAMALHO, M.A.P; FERREIRA, D.F.F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2213-2222, 2000.

RICHARDS, R. A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grains crops. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 51, p. 447-458, 2000.

ROSSINI, M.A., G.A. MADDONNI, M.E. OTEGUI. Interplant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: Variability in plant and ear growth. **Field Crops Research**, 121:373–380. 2011.

RUSSEL, W.A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, Cambridge, v.46, n.1, p.245-298, 1991.

SANGOI, L. Aptidão dos campos de Lages (SC) para produção de milho em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.51-63, 1993.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; BOGO, A.; KOTHE, D.M. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados com diferentes densidades de plantas. **Ciência Rural**, v.30, p.17-21, 2000.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development : na important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2000.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, AL 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. 6, p. 861-869, jun. 2001.

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., SALVADOR, R.J. Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p.297-306, 1998.

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**, v. 01, n. 02, p. 63-72, 2002.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P.R.F; SCHMITT , A.; VARGAS, V. P.; CASA, R.T.; SOUZA, C.A. Perfilamento área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.6, p.609-616, 2011.

SARLANGUE, T., F.H. ANDRADE, P.A. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? **Agronomy Journal**, 99:984-991, 2006.

SCHWANTES, D.O.; SCHUELTER, A.R.; FONTOURA, D.; MAROCHIO, J. Características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas: safrinha de 2005. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.3, p.343-349, 2007.

SHAPIRO, C.A., AND C.S. WORTMANN. Corn response to nitrogen rate, row spacing, and plant density in eastern Nebraska. **Agronomy Journal**, 98:529-535, 2006.

SHOUP, D. E.; ADEE, E. A.; CIAMPITTI, I. A. "Corn Yield Response to Plant Populations," **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 1: Iss. 2**, 2015.

SILVA, A.F.; SCHONINGER, E.L.; CAIONE, G.; KUFFEL, C.; CARVALHO, M.A.C. Produtividade de híbridos de milho em função do espaçamento e da população de plantas em sistema de plantio convencional. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n. 2, p.162-173, 2014.

SILVA, A.G.; CUNHA JUNIOR, C.R.; ASSIS, R.L.; IMOLES, A.S. Influência da população de plantas e do espaçamento entre linhas nos caracteres agronômicos do híbrido de milho P30K75 em Rio Verde, Goiás. **Bioscience Journal**, v.24, p.89-96, 2008.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; CARDOSO, E. T.; FORSTHOFER, E.; SUHRE, E. Resposta de dois híbridos de milho ao arranjo de plantas. **In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 24., Florianópolis, 2002.

STANGER, T.F., J.G. LAUER. Optimum plant population of Bt and non-Bt corn in Wisconsin. **Agronomy Journal**, 98:914-921, 2006.

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 entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, v.37, p.634-642, 2007.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre: Armed, 2004. 710p.
- TECNOLOGIAS integradas : soluções técnicas para a agricultura. Barueri: DUPONT, Santa Cruz do Sul : PIONEER, 19 p. 2003.
- TETIO-KAGHO, F., GARDNER, F.P. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustments. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.5, p.935-940, 1988.
- TOKATLIDIS, I.S., S.D. KOUTROUBAS. A review of maize hybrids dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. **Field Crops Research**, 88:103–114. 2004.
- TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, v.37, p.305-311, 1992.
- TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A. Radiation use efficiency of na old and new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 3, p. 536-541, 1992.
- TOLLENAAR, M., J. WU. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, 39:1597-1604,1999.
- TRACHSEL, S. F. M. SAN VICENTE, E. A. SUAREZ, C. S. RODRIGUEZ AND G. N. ATLIN. Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays L.*). **Journal of Agricultural Science**, p.1-16, 2015.
- USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos). **Safra Mundial de Milho 2015/2016** - 6º Levantamento. 2016.
- VAN ROEKEL, R.J., & J.A. COULTER. Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. **Agronomy Journal**,104:612-620,2012.
- VIANA, A. C.; SILVA, A. F. da; MEDEIROS, J. B. de; CRUZ, J. C.; CORREA, L. A. Práticas culturais. In: EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Cultura do Milho. Brasília, p. 87-89, 1983.WIDDICOMBE, W.D., K.D. THELEN. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern Corn Belt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 1020-1023, 2002.