

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Vinícius dos Santos Cunha

**ASPECTOS AGRONÔMICOS E ECONÔMICOS DA DISTRIBUIÇÃO
DE PLANTAS NA CULTURA DA SOJA**

**Santa Maria, RS
Brasil 2018**

Vinícius dos Santos Cunha

**ASPECTOS AGRONÔMICOS E ECONÔMICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE
PLANTAS NA CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, da Universidade Federal de Santa
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a
obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Thomas Newton Martin

Santa Maria, RS

2018

Cunha, Vinícius

ASPECTOS AGRONÔMICOS E ECONÔMICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE
PLANTAS NA CULTURA DA SOJÔ / Vinícius Cunha.- 2018.

96 p.; 30 cm

Orientador: THOMAS MARTIN

Coorientador: ARNO HELDWEIN

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2018

1. Glycine max 2. VARIABILIDADE DE DISTRIBUIÇÃO 3.
COMPENSAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS 4. RESSEMEADURA 5.
COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA I. MARTIN, THOMAS II.
HELDWEIN, ARNO III. Título.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Vinícius dos Santos Cunha. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte. Endereço: Avenida Castelo Branco, n. 1863, Bairro Cidade Alta, Itaquí, RS, 97650-000.

Fone: +55 55 9 9637-7006; E-mail: vinicius_scunha@hotmail.com

Vinicius dos Santos Cunha

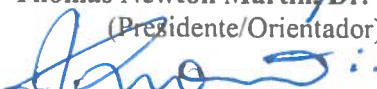
**ASPECTOS AGRONÔMICOS E ECONÔMICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS
NA CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada ao Curso Pós-Graduação em
Agronomia, da Universidade Federal de Santa
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a
obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Aprovado em 2 de Março de 2018:



Thomas Newton Martin, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Alessandro Dal'Col Lucio, Dr. (UFSM)



João Leonardo Fernandes Pires, Dr. (Embrapa)



Mércio Luiz Strieder, Dr. (Embrapa)



Alcir José Modolo, Dr. (URFPR)

Santa Maria, RS
2018

DEDICATÓRIA

À minha mãe Carla Cristina, à meu pai José Mauro, às minhas avós Célia e Maria Herondida, por serem/terem sido provedores de apoio, suporte, carinho, amizade e exemplos de honestidade, simplicidade, bondade e dedicação, de todo o meu coração, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, por iluminar meus passos, dando-me saúde, fazendo com que cada coisa aconteça no seu tempo e colocando em meu caminho pessoas que me acompanharam e/ou acompanham nessa terrena caminhada.

À minha família (mãe, pai e avós), por ajudar a me colocar de volta no chão nos momentos de euforia e me manter em pé nos momentos de dificuldade.

Aos meus tios Rosane e Beto, pois sempre que precisei me acolheram e acolhem em sua casa, quase que como sendo seu terceiro filho.

Aos amigos e amigas, pela companhia nos momentos de descontração, pelo ombro amigo nos momentos de tristeza e pelo refúgio nos momentos de angústia e estresse.

Ao professor Dr. Thomas Martin pela orientação, pela parceria iniciada em 2012 e que se converteu em uma relação de confiança e amizade. Obrigado, professor!

Ao professor Dr. Arno Heldwein, pela colaboração, na condição de coorientador e pela atenciosa disponibilidade sempre que solicitado. Da mesma maneira, ao pesquisador Dr. João Leonardo Pires.

À todos os colegas que participam e/ou participaram do Grupo de Pesquisa em Manejo de Grande Culturas, principalmente aos que colaboraram ativamente na execução deste trabalho, como Glauber Fipke, Anderson Rossatto, José Luiz Manfio dos Santos, Eduardo Winck, Luiz Fernando Grando, Tânia Muller, Gersa Conceição, Lucas Bruning, Guilherme da Rosa, Evandro Deak, Jéssica Stecca, Giovane Burg, dentre outros.

À UFSM por todo o suporte acadêmico e estrutural, fundamental para realização do trabalho. Ao PPG em Agronomia e à CAPES, pela concessão da bolsa e pela oportunidade em participar do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior, que possibilitou estágio de doutorado sanduíche na University of Kentucky.

À todas as instituições parceiras do Grupo de Pesquisa em Grandes Culturas, pela disponibilização de recursos como sementes, fertilizantes, produtos fitossanitários, combustível, dentre outros.

Aos demais membros das bancas de exame de qualificação e defesa de tese, pela disponibilidade em prestar sua colaboração ao trabalho. São eles: Prof. Dr. Alessandro Dal'Col Lucio, Prof. Dr. Enio Marchesan, Prof. Dr. Antônio Santi, Prof. Dr. Alcir Modolo e Pesquisador Dr. Mércio Strieder.

EPÍGRAFE

“Não precisa ser herói
Para lutar pela terra
Por que quando a fome dói
Qualquer homem entra em guerra
É preciso ter cuidado
Para evitar essa luta
Pois cada pai é um soldado
Quando é o pão que se disputa
Basta um pedaço de terra
Para a semente ser pão
Enquanto a fome faz guerra
A paz espera no chão”.

(Dante Ramon Ledesma)

RESUMO

ASPECTOS AGRONÔMICOS E ECONÔMICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DA SOJA

AUTOR: Vinícius dos Santos Cunha
ORIENTADOR: Thomas Newton Martin

O modo como as plantas são distribuídas modifica a competição intraespecífica. Essa competição deve ser a menor possível, de modo a propiciar melhor aproveitamento de recursos do meio. Porém, é preciso adequar a competição intraespecífica ao sistema de produção em que a cultura está inserida. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a resposta da soja quando submetida a diferentes cenários de distribuição de plantas. O estudo foi dividido em três experimentos, com objetivos específicos distintos: E1) caracterizar o comportamento e a relação que variáveis relacionadas a uniformidade de distribuição de plantas dentro da fileira de semeadura apresentam com a produtividade de grãos de soja e identificar similaridades entre tratamentos compostos por diferentes municípios, irrigação e cultivares; E2) identificar a relação entre redução aleatória no estande de plantas com os componentes da produtividade e produtividade de grãos de soja e identificar se há necessidade de ressemeadura da soja; E3) avaliar a influência de diferentes espaçamentos entre fileiras sobre variáveis morfológicas e produtividade de grãos de soja. Para E1, foram utilizadas lavouras comerciais nos municípios de Cruz Alta, Restinga Seca e São Gabriel e uma área experimental na Universidade Federal de Santa Maria. No total, foram colhidas 275 amostras de um metro linear de soja, que foram debulhadas e sua massa corrigida para 13% de umidade e extrapoladas para kg ha^{-1} . Em cada amostra mediu-se o espaçamento entre as plantas e gerou-se as seguintes variáveis: população de plantas, % de espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos. Para E2 e E3, foram conduzidos experimentos na mesma área experimental de Santa Maria, nas safras 2014/15 e 2015/16 em delineamento de blocos ao acaso. Utilizou-se as cultivares BMX Tornado RR (indeterminada) e FPS Urano RR (determinada), ambas de grupo de maturidade 6.2, em ambos experimentos. E2 constituiu-se de dois espaçamentos entre fileiras (Convencional e Reduzido) e quatro níveis de retirada aleatória da população ideal de plantas: 0, 25, 50 e 75%. E3 contou com quatro espaçamentos entre fileiras (Convencional, Cruzado, Pareado e Reduzido) implantados em duas épocas de semeadura (novembro e dezembro). A população de plantas é a variável que apresenta a melhor correlação linear de Pearson com a produtividade de grãos, em todos os tratamentos e grupos de tratamentos formados. O percentual de espaçamentos falhos é a única variável que apresenta relação negativa com a produtividade, mas com valores de correlação linear de Pearson menores que $|0,50|$. A produtividade de grãos decresce 1,75% a cada 10% de redução no estande ideal de plantas. Quando o preço do bushel de soja é inferior a US\$ 10,50, nenhum dos percentuais de retirada de plantas até 75% alcança prejuízo econômico que compense nova semeadura. O espaçamento reduzido é o único a apresentar superioridade, quanto a produtividade de grãos, sobre o convencional, quando a semeadura é realizada em dezembro, não diferindo quando a semeadura se dá dentro do mês de novembro. Espaçamento pareado apresenta desempenho similar ao convencional, mas nunca superior, enquanto que espaçamento cruzado apresenta o pior desempenho entre todos os espaçamentos testados.

Palavras-Chave: *Glycine max* (L) Merrill. Variabilidade na distribuição de plantas. Compensação da produtividade de grãos. Ressemeadura. Competição intraespecífica.

ABSTRACT

AGRONOMIC AND ECONOMIC ASPECTS OF PLANT DISTRIBUTION IN SOYBEAN

AUTHOR: Vinícius dos Santos Cunha

ADVISOR: Thomas Newton Martin

The way in which plants are distributed modifies intraspecific competition. This competition must be as small as possible, to provide better use of resources in the environment. However, intraspecific competition must be adapted to the production system in which the crop is inserted. The objective of this study was to evaluate the response of soybeans when submitted to different plant distribution scenarios. The study was divided into three experiments with distinct specific objectives: E1) characterize the behavior and the relationship that plant distribution into the row has with soybean grain yield and identify similarities among treatments composed by different cities, irrigation, and cultivars; E2) identify the pattern of grain yield reduction and identify if replanting is necessary; E3) evaluate the influence of different row spacings on morphological variables and soybean grain yield. For E1, commercial fields were used in the cities of Cruz Alta, Restinga Seca and São and Gabriel and an experimental area at the Universidade Federal de Santa Maria. In total, 275 samples of a linear meter of soybean were harvested, which were threshes and their mass corrected to 13% of humidity and extrapolated to kg ha^{-1} . In each sample, the spacing between the plants was measured and the following variables were generated: plant population, % of acceptable, double and lack spacings. For E2 and E3, experiments were conducted in the same experimental area of Santa Maria, in the 2014/15 and 2015/16 growing season in randomized block design. The cultivars BMX Tornado RR (undetermined) and FPS Urano RR (determined) of maturity group 6.2 were used in both experiments. E2 consisted of two row spacings (Conventional and Narrow) and four levels of random reduction of the ideal plant population: 0, 25, 50 and 75%. E3 had four row spacings (Conventional, Cross, Twin, and Narrow) implanted in two planting dates (November and December). The plant population presents the highest Pearson's correlation with grain yield, in all treatments and groups of treatments. The percentage of lack spacings is the only variable that has a negative relationship with grain yield, but with Pearson's linear correlation values lower than $|0,50|$. The grain yield decreases 1.75% each 10% of reduction in the ideal plant population. When the soybean bushel price is less than US\$ 10.50, is unnecessary to replant soybean even plant population decreases 75%. In this case, economic loss is smaller than the costs for replanting. The Narrow row is the only one to reach more grain yield than conventional when planting is done in December and both reach the same result when planting takes place in November. The Twin row has similar grain yield to conventional, but never superior, and Cross row shows the worst performance among all row spacings tested.

Keywords: *Glycine max.* Variability of distribution. Grain yield compensation. Replanting. Intraespecific competition.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 - Análise de agrupamento, pelo método vizinho mais próximo, dos tratamentos formados pelas combinações de local/município, irrigação e cultivar para a produtividade de grãos de soja.29

CAPÍTULO II

Figura 1 - Balanço hídrico climático diário do solo, sob o cultivo de soja, ao longo dos dois anos de condução dos experimentos em Santa Maria, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. As setas indicam os momentos de ocorrência da emergência, do estágio R2, do estágio R5 e da colheita.44

Figura 2 - Produtividade de grãos de soja de acordo com o percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016 (b).45

Figura 3 - Número de legumes e de grãos planta⁻¹ de acordo com o percentual de retirada aleatória de plantas. As figuras (a) e (c) correspondem a safra 2014/2015 e (b) e (d) a safra 2015/2016.48

Figura 4 - Altura da planta de soja de acordo com a interação entre os fatores cultivar e percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016(b).50

Figura 5 - Altura de inserção do primeiro legume de acordo com o percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016 (b).51

Figura 6 - Massa de mil grãos de soja de acordo com a interação entre os fatores cultivar e percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016 (b).52

Figura 7 - Superfície de resposta referente ao rendimento econômico em relação a testemunha (US\$) com o cultivo de soja, em razão do preço pago pelo bushel de soja (US\$) e retirada aleatória de plantas (%), na safra 2014/2015 (a), na safra 2015/2016 (b) e nos espaçamentos convencional (c) e reduzido (d) na safra 2015/2016. a: $z = (((3794,5 + 5,09089x - 0,1408x^2)/27,2155)*y) - ((3794,5/27,2155)*y)$, $r^2 = 0,6497$; b: $z = (((4625 + 6,1505x)/27,2155)*y) - ((4625/27,2155)*y)$, $r^2 = 0,5173$; c: $y = (((4533,3 - 6,6942x)/27,2155)*y) - ((4533,3/27,2155)*y)$, $r^2 = 0,4084$; d: $z = (((4717,3 - 5,606x)/27,2155)*y) - ((4717,3/27,2155)*y)$, $r^2 = 0,3956$54

CAPÍTULO III

Figura 1 - Balanço hídrico climático diário do solo, sob o cultivo de soja, ao longo dos experimentos conduzidos em Santa Maria, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. As setas indicam os momentos de ocorrência da emergência, do estágio R2, do estágio R5 e da colheita.69

Figura 2 - Teste de comparação de médias da produtividade de grãos de soja de acordo com a interação de cultivares e espaçamentos entre fileiras (a), efeito principal de espaçamento entre fileiras (b), efeito principal de cultivar (c) e efeito principal de espaçamento entre fileiras (d). ..71

Figura 3 - Tempo em dias após a semeadura e porcentagem de cobertura do solo pelo dossel de acordo com a interação entre ou efeito principal dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras. A figura (a) e (b) referem-se à semeadura de novembro e as figuras (c) e (d) de dezembro, da safra 2014/15. As figuras (e) e (f) referem-se à semeadura de novembro e a figura (g) de dezembro, da safra 2015/16. As figuras (c), (d), (e) e (f) representam a interação entre cultivar e espaçamento entre fileira. A figura (b) representa o efeito principal do fator cultivar e as figuras

(a) e (g) representam o efeito principal de espaçamento entre fileiras. As figuras (c) e (e) referem-se a cultivar FPS Urano RR e (d) e (f) a BMX Tornado RR.....74

Figura 4 - Intercepção de luz no estádio R5 de acordo com o percentual de dossel atravessado pela luz. As figuras (a) e (b) referem-se a semeadura de novembro e as figuras (c) e (d) referem-se a semeadura de dezembro. A figura (a) refere-se a cultivar FPS Urano RR e (b) a BMX Tornado RR.79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1** - Coordenadas geográficas, data de colheita, semeadora, regime hídrico, espaçamento entre fileiras e cultivares utilizadas de acordo com o local.24
- Tabela 2** - Descrição dos tratamentos formados por cada combinação de local/município, irrigação e cultivar.25
- Tabela 3** - Caracterização dos valores médios em cada tratamento (TRATS) formado por local/município, irrigação e cultivar para a média da produtividade de grãos (MED, kg ha⁻¹), variância da produtividade de grãos (VAR), coeficiente de variação da produtividade de grãos (CV), valor máximo (MAX) e mínimo (MIN) da produtividade de grãos, média da população de plantas (POP, plantas m⁻²), percentual de espaçamentos aceitáveis (A), duplos (D) e falhos (F).27
- Tabela 4** - Análise de correlação linear de Pearson (r) da produtividade de grãos (kg ha⁻¹) com as variáveis população de plantas (POP, plantas m⁻²), percentual de espaçamentos aceitáveis (A), duplos (D) e falhos (F), em cada tratamento (TRAT) formado por local/município, irrigação e cultivar.28
- Tabela 5** - Análise de correlação linear de Pearson (r) da produtividade de grãos (kg ha⁻¹) com as variáveis população de plantas (POP, plantas m⁻²), percentual de espaçamentos aceitáveis (A), duplos (D) e falhos (F), em cada grupo formado após a análise de agrupamento dos tratamentos formados por local/município, irrigação e cultivar.29
- Tabela 6** - Análise de correlação linear de Pearson (r) da população de plantas (POP, plantas m⁻²) com as variáveis percentual de espaçamentos duplos (D) e falhos (F), em cada tratamento (TRAT) formado por local/município, irrigação e cultivar e cada grupo formado após a análise de agrupamento.32

CAPÍTULO II

- Tabela 1** - Tipo de interação observada, na análise de variância, entre as fontes de variação cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E) e retirada aleatória de plantas (R) para as variáveis: altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro legume (AIPL), número de legumes por planta⁻¹ (LP); número de grãos planta⁻¹ (GP); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹).45
- Tabela 2** - Teste de comparação de médias do efeito principal dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras para as variáveis altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro legume (AIPL), número de legumes por planta (LP), número de grãos por planta (GP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG).53

CAPÍTULO III

- Tabela 1** - Tipo de interação observada, na análise de variância, entre as fontes de variação cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D) e estrato da planta (EST) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); interceptação de luz pelo dossel em R2 no estrato superior (R2 Superior), estrato médio (R2 Médio) e estrato inferior (R2 Inferior); interceptação de luz pelo dossel em R5 em diferentes estratos (Interceptação); número de grãos no topo da planta (Topo da planta); número de grãos no meio superior planta (Meio superior); número de grãos no meio

inferior planta (Meio inferior); número de grãos na base da planta (Base da planta); número de legumes por planta (LP); número de grãos por legume (GL); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (PG, kg ha ⁻¹).....	70
Tabela 2 - Teste de comparação de médias da interceptação de luz no estágio R2 nos terços superior, médio e inferior de acordo com o efeito principal dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras, na semeadura de novembro, e interação entre os fatores cultivar e espaçamento entre fileiras na semeadura de dezembro, safra 2015/2016.....	76
Tabela 3 - Teste de comparação de médias do índice de área foliar da soja nos estádios R2 e R5 de acordo com o efeito principal, interação ou ausência de efeito das fontes de variação cultivar e espaçamento entre fileiras.	77
Tabela 4 - Teste de comparação de médias do número de legumes planta ⁻¹ , de grãos legume ⁻¹ e massa de mil grãos de soja de acordo com o efeito principal, interação ou ausência de efeito das fontes de variação cultivar e espaçamento entre fileiras.	81
Tabela 5 - Teste de comparação de médias do número de grãos nos estratos que representam: topo da planta, meio superior, meio inferior e base da planta com o efeito principal, interação ou ausência de efeito das fontes de variação cultivar e espaçamento entre fileiras, nas semeaduras de novembro e dezembro, safra 2015/2016.....	83

LISTA DE ANEXOS

CAPÍTULO II

ANEXO A - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), retirada aleatória de plantas (R) e bloco (BLOCO) para as variáveis: altura total da planta (AT, altura de inserção do primeiro legume (APL), número de legumes por planta (LP), número de grãos por planta (GP), massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha ⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento conduzido na safra 2014/2015, e consta no Capítulo II.	88
ANEXO B - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), retirada aleatória de plantas (R) e bloco (BLOCO) para as variáveis: altura total da planta (AT, altura de inserção do primeiro legume (APL), número de legumes por planta (LP), número de grãos por planta (GP), massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha ⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento conduzido na safra 2015/2016, e consta no Capítulo II.	89
ANEXO C - Esquema de fotos para ilustração das modificações morfológicas que ocorrem quando a soja é submetida aos diferentes tratamentos de retirada aleatória de plantas, nas diferentes combinações de cultivares e espaçamento entre fileiras. As fotos foram feitas no momento da colheita do experimento conduzido na safra 2015/2016 e que consta no Capítulo II.	90

CAPÍTULO III

ANEXO D - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); número de legumes planta ⁻¹ (LP); número de grãos legume ⁻¹ (GL); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha ⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento semeado em novembro, safra 2014/2015, e consta no Capítulo III.	91
ANEXO E - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); número de legumes por planta (LP); número de grãos por planta (GL); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha ⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento semeado em dezembro, safra 2014/2015, e consta no Capítulo III.	92
ANEXO F - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D), estrato da planta (EST) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); interceptação de luz pelo dossel em R5 em diferentes alturas (Interceptação); número de legumes por planta (LP); número de grãos por legume (GL); massa de mil grãos (MMG, g); produtividade de grãos (Produtividade, kg ha ⁻¹); número de grãos no topo da planta (Topo da planta); número de grãos no meio superior planta (Meio superior); número de grãos no meio inferior planta (Meio inferior) e número de grãos na base da planta (Base da planta). Os resultados referem-se ao experimento semeado em novembro, safra 2015/2016, e que consta no Capítulo III.....	93

ANEXO G - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D), estrato da planta (EST) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); interceptação de luz pelo dossel em R5 em diferentes alturas (Interceptação); número de legumes por planta (LP); número de grãos por legume (GL); massa de mil grãos (MMG, g); produtividade de grãos (Produtividade, kg ha⁻¹); número de grãos no topo da planta (Topo da planta); número de grãos no meio superior planta (Meio superior); número de grãos no meio inferior planta (Meio inferior) e número de grãos na base da planta (Base da planta). Os resultados referem-se ao experimento semeado em dezembro, safra 2015/2016, e que consta no Capítulo III.....94

ANEXO H - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C) e espaçamento entre fileiras (E) para a variável interceptação de luz pelo dossel em R2 nos estratos superior, médio e inferior. Os resultados referem-se ao experimento semeado em novembro e dezembro, safra 2015/2016, e que consta no Capítulo III.95

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO I: DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NA FILEIRA DE SEMEADURA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA	20
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO II: NECESSIDADE DE RESSEMEADURA DA SOJA EM DISTINTOS ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS	56
CAPÍTULO III: COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA EM ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS NA CULTURA DA SOJA	61
INTRODUÇÃO.....	62
MATERIAL E MÉTODOS.....	65
RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS	84
ANEXOS	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	96

INTRODUÇÃO GERAL

Melhorias no aproveitamento de recursos do meio como radiação solar, água e nutrientes, durante a estação de crescimento, podem ser conseguidas por meio da modificação na distribuição espacial de plantas. Essa modificação visa diminuir a competição intraespecífica, distribuindo as plantas de modo uniforme e/ou equidistante (MOORE, 1991; EGLI, 1994; TOURINO et al., 2002). Porém, o ganho advindo da diminuição na competição intraespecífica pode variar com a espécie ou mesmo com o cultivar. A que se considerar as características morfológicas de cada planta e direcionar o arranjo que melhor se adeque a determinada situação.

Usualmente, os componentes do arranjo espacial de plantas são a população de plantas (modifica o tamanho da área disponível para cada planta) e o espaçamento entre fileiras (modifica o formato da área disponível para cada planta). Também pode se incluir um terceiro componente, que seria representado pelo espaçamento médio entre as plantas dentro da fileira de semeadura. Seja qual for a população ou espaçamento entre fileiras, é desejável que o espaçamento médio entre plantas seja o mais próximo do espaçamento médio ideal entre plantas.

Contudo, o alcance de uma comunidade de plantas uniformemente espaçada dentro da fileira passa pela interação com outros fatores do sistema de produção. Tais fatores sustentam a eficiência produtiva do sistema como um todo e até mesmo podem afetar a resposta das plantas à uniformidade. Como exemplo, tem-se o momento da semeadura, que deve ser iniciada e finalizada dentro da época recomendada pelo Zoneamento de Risco Climático para a cultura. Um dos fatores que agem diretamente sobre a variabilidade de espaçamento entre plantas é a velocidade durante a operação de semeadura. Para diminuir essa variabilidade, pode-se adequar a velocidade durante essa operação, diminuindo-a para obter a uniformidade de distribuição desejada (JASPER et al., 2011). Nesse caso, a velocidade utilizada deve possibilitar que a semeadura ocorra dentro do período recomendado, sem atrasos, devido a sua relevância na construção da produtividade de grãos (SALMERON et al., 2016; SANTACHIARA et al., 2017). É dentro desse contexto que surge a dificuldade em obter distribuição uniforme, uma vez que velocidades muito reduzidas podem retardar o processo de semeadura, retardando o término do processo e em casos extremos podendo implantar o cultivo fora da época recomendada.

Com isso, torna-se importante identificar a relação que uniformidade de espaçamento entre plantas dentro da fileira tem com a produtividade de grãos. Teoricamente, quanto maior for a uniformidade de espaçamento entre plantas, maior é o potencial produtivo. Esse é o resultado

apresentado por autores como Moore (1991), Egli (1994) e Tourino et al. (2002). Ambos os trabalhos foram importantes para o entendimento do comportamento da soja em condições de uniformidade de distribuição e baixa competição intraespecífica. Porém, as cultivares utilizadas para obtenção desses resultados são diferentes das utilizadas atualmente. As cultivares atuais tem menor produção de biomassa, o que pode diminuir a necessidade de espaço físico para produzir a quantidade de biomassa necessária para alta produtividade, quando o ambiente de produção é favorável quanto a disponibilidade de recursos (SALMERON et al., 2016; SANTACHIARA et al., 2017). Esse fato pode diminuir a dependência dessas cultivares a uniformidade de espaçamento na fileira, levando a uma conclusão semelhante a de Andrade e Abate (2005).

Além disso, a morfologia de novas cultivares de soja permite que a planta se adeque ao ambiente, compensando falhas de distribuição. Quando em condições de alta disponibilidade de radiação solar, água e nutrientes, tendem a aumentar o número de nós na haste principal e, potencialmente, o número de legumes e grãos por planta (SUHRE et al., 2014; SANTACHIARA et al., 2017). Nesse caso, uma condição de desuniformidade teria maior impacto na produtividade individual das plantas, aumentando a variabilidade dentro do estande. Isso porque plantas isoladas, com maior área disponível, possivelmente serão mais produtivas que aquelas com menor área disponível. Desde que a variabilidade produtiva entre as plantas não seja um parâmetro negativo ao rendimento econômico da cultura, a desuniformidade de distribuição passa a não ser um problema, quando o sistema de produção entrega os condicionantes necessários a compensação.

Em uma situação semelhante, mas ao invés ou além de ocorrer desuniformidade no espaçamento entre as plantas dentro da fileiras, pode haver decréscimo na população de plantas. Durante e/ou após a semeadura alguns fatores podem prejudicar o alcance do estande de plantas desejado, tais como: erros na regulação do equipamento ou mesmo falha de funcionamento; velocidade excessiva do conjunto trator-semeadora; não corrigir o número de sementes a serem depositadas no sulco de acordo com o vigor do lote utilizado; chuvas intensas; falta de umidade no solo para o processo de germinação; doenças de solo e ataque de insetos; etc. Para essa situação, carece conhecimento da necessidade ou não de ressemar a cultura, de modo a mitigar a perda de rendimento, seja ele produtivo e/ou econômico.

Diferentemente da desuniformidade de distribuição, em estandes com menor número de plantas, o decréscimo na produtividade de grãos deve ocorrer, mesmo em ambientes com

disponibilidade satisfatória de recursos e mesmo que as cultivares apresentem ampla capacidade compensação (SUHRE et al., 2014). Esse decréscimo ocorre a partir de um ponto onde a compensação, por parte das plantas remanescentes, não é suficiente para sustentar a produtividade. Nesse caso, é necessário conhecer o nível de perda de plantas que indica a necessidade de realizar nova semeadura, de modo a reduzir prejuízo produtivo e/ou econômico.

Porém, em um ambiente deficiente em termos de recursos de produção, como semeaduras tardias ou fora da época recomendada, a capacidade produtiva e, conseqüentemente, de compensação, é menor (SALMERON et al., 2016; SANTACHIARA et al., 2017). É nesse contexto que o ajuste ou mesmo a modificação no arranjo pode atuar com maior importância. Dentro da época de semeadura indicada pelo Zoneamento da cultura, as condições de luminosidade e fotoperíodo tendem a ser satisfatórias, tendo como limitante regime hídrico, nutrição, cultivar e problemas fitossanitários. Nessa situação a soja é menos sensível ao modo como as plantas são distribuídas. Porém, quando cultivada fora do período indicado, a resposta tende a ser maior. Isso porque a estação de crescimento é reduzida e o melhor aproveitamento desta pode ser conseguido pela alteração do modo como as plantas são distribuídas, bem como pela interação deste com cultivares de diferentes tipos de crescimento (LEE, 2006).

Usualmente, o arranjo de plantas é em fileiras, sendo que o espaçamento entre as fileiras constitui-se no modo mais comum de modificação. Os valores de espaçamento entre fileiras, para soja, variam de 30 até 70 centímetros ou mais. Além do alargamento ou estreitamento da fileiras, existem outras maneiras de distribuir as plantas. Uma delas é a semeadura cruzada, onde a semeadura é feita em dois sentidos, variando a angulação do cruzamento. Outra é o pareamento das fileiras, que pode ser configurado de diferentes maneiras, tais como: 2x2, 3x3, 4x4, e assim sucessivamente. Isso significa que as fileiras são separadas em pares/grupos. O espaçamento dentro de um par/grupo é diferente do espaçamento entre pares/grupos. Seja qual for o espaçamento utilizado, este deve, além de propiciar retorno produtivo, ser de fácil implantação.

Em cima da distribuição espacial de plantas, o presente trabalho teve três objetivos: 1) caracterizar a relação que variáveis relacionadas a uniformidade de espaçamento entre plantas dentro da fileira apresentam com a produtividade de grãos de soja; 2) identificar o padrão de redução da produtividade de grãos e o ponto de ressemeadura econômica quando da retirada aleatória percentual de plantas de soja; 3) avaliar a influência de diferentes espaçamentos entre fileiras sobre características morfológicas e produtividade de grãos de soja.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. H.; ABBATE, P. E. Response of Maize and Soybean to Variability in Stand Uniformity. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 1263-1269, 2005.

EGLI, D. B. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 1046-1049, 1994.

JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPCÃO, P. S. M.; ROCIL, J.; GARCIA, L. C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 102-110, 2011.

LEE, C. D. Reducing Row Widths to Increase Yield: Why It Does Not Always Work. **Agronomy Journal**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2006.

MOORE, S. H. Uniformity of Plant Spacing Effect on Soybean Population Parameters. **Crop Science**, v. 31, p. 1049-1051, 1991.

SALMERON, M.; GBUR, E.; BOURLAND, F. M.; BUEHRING, N. W.; EARNEST, L.; FELIX, B. F.; GOLDEN, B.; HATHCOAT, D.; LOFTON, J.; MCCLURE, A. T.; MILLER, T. D.; NEELY, C.; SHANNON, G.; UDEIGWE, T. K.; VERBREE, D. A.; VORIES, E. D.; WIEBOLD, W. J.; PURCELL, L. C. Yield response to planting date among soybean maturity groups for irrigated production in the US Midsouth. **Crop Science**, v. 56, p. 747-759, 2016.

SANTACHIARA, G.; BORRÁS, L.; ROTUNDO, J. L. Physiological Processes Leading to Similar Yield in Contrasting Soybean Maturity Groups. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 158-167, 2017.

SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; ROWNTREE, S. C.; WILSON, E. W.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P.; CASTEEL, S. N.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D.; SPECHT, J. E.; DAVIS, V. M. Soybean Yield Partitioning Changes Revealed by Genetic Gain and Seeding Rate Interactions. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1631-1642, 2014.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

CAPÍTULO I: DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS NA FILEIRA DE SEMEADURA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA

RESUMO: A população, o modo e/ou a posição que as plantas ocupam ao longo da fileira de semeadura são afetados por fatores como: tipo de semeadora, velocidade de semeadura, quantidade de palha em superfície, qualidade de sementes, dentre outros. Objetivou-se com o presente trabalho caracterizar o comportamento e a relação que variáveis relacionadas a uniformidade de distribuição de plantas apresentam com a produtividade de grãos de soja e identificar similaridades entre tratamentos compostos por diferentes municípios, irrigação e cultivares. O estudo foi conduzido no ano agrícola 2014/15 em quatro localidades do estado do Rio Grande do Sul: Cruz Alta, Restinga Seca, Santa Maria e São Gabriel. Foram, no total, 275 pontos amostrais de soja, onde cada amostra foi composta por um metro de fileira. Como parâmetro de uniformidade de distribuição das plantas, utilizou-se seguintes variáveis: população de plantas, percentual de espaçamento aceitáveis, duplos e falhos. A produtividade foi obtida pela trilha dos grãos, pesagem e conversão da massa para kg ha^{-1} , a 13% de umidade. Como parâmetro de análise utilizou-se a correlação linear de Pearson (r). Também realizou-se a formação de grupos de tratamentos com produtividade de grãos similares, pelo método do vizinho mais próximo. A população de plantas é a variável que apresenta a melhor correlação linear de Pearson com a produtividade de grãos, em todos os tratamentos e grupos de tratamentos formados. O percentual de espaçamentos falhos é a única variável que apresenta relação negativa com a produtividade, mas com valores de correlação linear de Pearson menores que $|0,50|$.

PALAVRAS-CHAVE: variabilidade de distribuição; distribuição espacial; produtividade de grãos; *Glycine max*.

WITHIN ROW PLANTS SPACING AND RELATIONSHIP WITH SOYBEAN GRAIN YIELD

ABSTRACT: The population and position that plants occupy into the row are affected by factors such as planter, planting speed, the quantity of residue on the surface, seed quality, among others. The goal of this study was to characterize the behavior and the relationship that plant distribution into the row has with soybean grain yield and identify similarities among treatments composed by cities, irrigation, and cultivars. The study was carried out in the agricultural year 2014/15 in four sites: Cruz Alta, Restinga Seca, Santa Maria and São Gabriel. These sites are located in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. 275 sampling points were collected from soybeans. Each sample was formed by one meter of row. The parameter to classify the regularity of plant spacing into the row was the following variables: plant population, the percentage of acceptable, double, and lack spacings. Grain yield was obtained by the trashing of harvested grains, weighing and converting the mass to kg ha^{-1} , to 13% of moisture. Pearson's linear correlation (r) was used as the statistical parameter. Also, the formation of groups of treatments with similar grain yield was carried out, by the method of the nearest neighbor. The plant population is the variable that presents the best positive relation with grain yield, in all cases. The percentage of lack spacings is the only variable with negative relationship with grain yield, in all cases.

KEY-WORDS: *Glycine max.* Variability of distribution. Spatial distribution. Grain yield.

INTRODUÇÃO

A distribuição longitudinal das sementes, dentro da fileira de semeadura, é afetada pelo funcionamento e regulação da maquinaria utilizada para semeadura, que é afetada pela umidade, compactação (REYNALDO et al., 2016) e resíduo vegetal (FURLANI et al., 2010) no solo. Aumentos na velocidade do conjunto trator-semeadora tendem a diminuir a uniformidade longitudinal do espaçamento das sementes depositadas no sulco (JASPER et al., 2011; REYNALDO et al., 2016).

Além da uniformidade no espaçamento dentro da fileira, a uniformidade de emergência também pode variar. Chuvas intensas após a semeadura ou mesmo veranicos, tendem a diminuir a velocidade e aumentar a desuniformidade de emergência (EGLI; TEKRONY, 1996; NANJO et al., 2015), principalmente onde o solo é revolvido e descoberto. A desuniformidade de emergência também pode advir da utilização de semente de baixa qualidade fisiológica (KOLCHINSKI et al., 2005; SILVA et al., 2013).

Pode considerar-se uma má distribuição quando as plantas estão muito próximas ou muito

distantes umas das outras (EGLI; TEKRONY, 1996), fazendo com que o espaçamento médio (EM) entre plantas seja diferente do espaçamento médio ideal. Parâmetros estatísticos como desvio padrão e coeficiente de variação do EM entre plantas podem ser utilizados para descrever de modo quantitativo erros na distribuição de plantas dentro da fileira. A medida que há aumento nos valores desses parâmetros, maiores são os erros de distribuição. Também é possível qualificar a distribuição de plantas por meio do percentual de espaçamento falhos, aceitáveis e duplos (ABNT, 1996). Essa metodologia considera como parâmetro o EM ideal entre plantas, onde espaços duplos são aqueles onde o espaço entre plantas é 0,5 vezes menor que EM ideal e falhos 1,5 vezes maior que EM ideal. Os valores situados entre duplos e falhos são considerados como aceitáveis.

Para que possam expressar o máximo de seu potencial produtivo, as plantas necessitam estar em número e distribuídas de modo a alcançar máxima eficiência no uso dos recursos de produção (EGLI, 1994). Para isso, tanto competição inter como intraespecífica devem ser as menores possíveis (BOARD; HARVILLE, 1992). Tanto espécies como genótipos de uma mesma espécie adequam-se de maneira diferenciada a espaçamento entre fileiras e população de plantas, em resposta às suas características morfológicas (SUHRE et al., 2014).

Particularidades relacionadas ao dossel são importantes nessa adequação, pois definem o modo como cada material ocupa o espaço e intercepta radiação solar (BELLALLOUI et al., 2015). Teoricamente, para elevação da produtividade, é necessário que a distribuição das plantas seja a mais uniforme possível (MOORE, 1991; LAUER; RANKIM, 2004). Deve-se considerar que, além do espaçamento entre plantas, também é importante que haja uniformidade na emergência e desenvolvimento das mesmas. Essa condição deve proporcionar máximo aproveitamento da radiação, evitando sobreposição de folhas de plantas adjacentes. Considerando um estande com desuniformidade de emergência, plantas emergidas tardiamente podem ter dificuldade em interceptar radiação solar, diminuindo seu potencial produtivo (SANTACHIARA et al. 2017).

A relação produtividade de grãos e qualidade da distribuição de plantas dentro da fileira de semeadura tem sido alvo de estudos ao longo dos anos (LAUER; RANKIM, 2004; ANDRADE; ABATE, 2005; JASPER et al., 2011; HORBE et al., 2013; SILVA et al., 2015; STORCK et al., 2015; HORBE et al., 2016; REYNALDO et al., 2016). Porém, boa parte desses resultados são originados de trabalhos com milho (LAUER; RANKIM, 2004; HORBE et al., 2013; SILVA et al., 2015; STORCK et al., 2015; HORBE et al., 2016), e demonstram certa

sensibilidade desta cultura a erros de distribuição.

Em soja, trabalhos conduzidos em países como Estados Unidos e Argentina mostram uma certa divergência nos resultados. Moore (1991) comparando um estande totalmente uniforme com outro não-uniforme, observou aumento de produtividade em 7% em um ano agrícola e ausência de diferença em outro (SALMERON et al., 2016; ZANON et al., 2016; SANTACHIARA et al. 2017). Esse resultado é diferente do observado por Andrade e Abate (2005) e por Jasper et al. (2011). Andrade e Abate (2005) observaram que mesmo havendo alta variabilidade entre a produtividade individual de plantas de soja, em resposta a desuniformidade de distribuição na fileira, a produtividade de grãos de soja é similar a estandes uniformes e não-uniformes. Jasper et al. (2011) demonstraram que o aumento na velocidade de semeadura aumenta o percentual de espaçamento duplos e diminui aceitáveis, não havendo efeito sobre a produtividade de grãos.

A ausência de resposta da soja a erros de distribuição de plantas está relacionada a morfologia da planta, que permite maior flexibilidade em relação ao milho (ANDRADE; ABATE, 2005), por exemplo. A presença de gemas axilares ao longo da haste principal permite, de acordo com o ambiente, potencial aumento no número de grãos por planta (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; TOYOTA et al., 2017), conferindo-lhe ampla capacidade de ajuste.

Em virtude da variabilidade e menor número de resultados na literatura, torna-se importante entender a resposta da soja a irregularidade na distribuição das plantas, dentro da fileira. Também é importante concluir sobre a necessidade ou não de adoção de medidas para controlar erros de distribuição, com vistas a melhoria da produtividade de grãos e eficiência do sistema.

Objetivou-se com este trabalho caracterizar o comportamento e a relação que as variáveis população de plantas, percentual de espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos apresentam com a produtividade de grãos de soja. Também identificar similaridades quanto a resposta da produtividade de grãos às variáveis de erros de distribuição em tratamentos compostos por diferentes locais/municípios, irrigação e cultivares.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido na safra 2014/2015 em áreas comerciais de soja, localizadas nos municípios de Cruz Alta, Restinga Seca e São Gabriel e em uma área experimental

pertencente a Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria. Os municípios estão localizados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Dentro de cada localidade selecionou-se áreas uniformes quanto a declividade e fertilidade do solo, por meio de informações obtidas junto aos responsáveis técnicos de cada lavoura, para implantação dos experimentos.

Regulagem da densidade de sementes e fertilizantes, data de semeadura, aplicação de produtos fitossanitários, etc, seguiram a mesma recomendação dentro de cada localidade. Em Cruz Alta o experimento contou com três diferentes cultivares, sob irrigação ou não; em Restinga Seca e Santa Maria o experimento contou com três diferentes cultivares, sem irrigação. Em São Gabriel foi utilizada uma cultivar, sem irrigação. Então, foram formados tratamentos de acordo com cada combinação de local/município, irrigação e cultivar. Em todos os locais/municípios, os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente causalizado. A Tabela 1 apresenta as principais características de cada local.

Tabela 1 - Coordenadas geográficas, data de colheita, semeadora, regime hídrico, espaçamento entre fileiras e cultivares utilizadas de acordo com o local.

Local	Coordenadas		Data de Colheita	Tipo de Semeadora
CA*	28° 42' 35'' S	53° 37' 07'' O	2/4/2015	Vácuo
RS	29° 43' 50'' S	53° 26' 16'' O	01,10 e 17/04/2015	Disco
SM	29° 43' 04'' S	53° 44' 01'' O	23/04/2015	Disco
SG	30° 20' 08'' S	54° 22' 25'' O	25/03/2015	Disco

Local	Irrigação	Espaçamento entre fileiras	Cultivar (es)
CA	Sim/Não	45	M5917 IPRO, M5892 IPRO, BMX Vanguarda IPRO
RS	Sequeiro	45	DM 6563 IPRO, NA 5909 RG, BMX Tornado RR
SM	Sequeiro	45	BMX Ativa RR, BMX Potência RR, BMX Tornado RR
SG	Sequeiro	45	SYN 1163 RR

*CA= Cruz Alta, RS= Restinga Seca, SM= Santa Maria, SG= São Gabriel.

Em Cruz Alta, em cada combinação de local/município e cultivar, foram colhidos 12 pontos amostrais, totalizando 72 amostras. Em Restinga Seca e Santa Maria, a colheita desses 12 pontos amostrais foi realizada duas vezes, em cada uma das três cultivares descrita na Tabela 1, totalizando 72 amostras, em cada local/município. Em São Gabriel, a colheita desses 12 pontos amostrais foi realizada cinco vezes, totalizando 60 amostras. Com isso, foram formados tratamentos de 1 a 13, que encontram-se descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos formados por cada combinação de local/município, irrigação e cultivar.

Nº Tratamento	Local/município	Irrigação	Cultivar
1	Cruz Alta	Não Irrigado	M5917 IPRO
2	Cruz Alta	Irrigado	M5917 IPRO
3	Cruz Alta	Não Irrigado	BMX Vanguarda RR
4	Cruz Alta	Irrigado	BMX Vanguarda RR
5	Cruz Alta	Não Irrigado	M5892 IPRO
6	Cruz Alta	Irrigado	M5892 IPRO
7	Restinga Seca	Não Irrigado	DM6563 IPRO
8	Restinga Seca	Não Irrigado	NA 5909 RG
9	Restinga Seca	Não Irrigado	BMX Tornado RR
10	Santa Maria	Não Irrigado	BMX Tornado RR
11	Santa Maria	Não Irrigado	BMX Potência RR
12	Santa Maria	Não Irrigado	BMX Ativa RR
13	Sao Gabriel	Não Irrigado	SYN 1163 RR

Quando a soja encontrava-se no estádio R8 (FEHR; CAVINESS, 1977), com o auxílio de uma trena, foram mensuradas as distâncias entre as plantas dentro do intervalo de um metro linear. A unidade de medida da distância foi o centímetro. A partir da distância entre as plantas foram geradas quatro variáveis relacionadas a distribuição de plantas dentro da fileira de semeadura: população de plantas (Plantas m⁻²), percentual de espaçamento aceitáveis, percentual de espaçamentos duplos e percentual de espaçamentos falhos. Tomou-se como ponto amostral cada metro linear mensurado/coletado.

A definição do que é espaçamento aceitável, duplo e falho foi de acordo com o proposto pela Abnt (1996), que é balizada pelo número de plantas desejado de cada cultivar e, conseqüentemente, pelo espaçamento médio (EM) esperado entre plantas. Com isso, quando o espaço entre duas plantas é 0,5 vezes menor que o EM, tem-se um espaçamento duplo. Quando o espaço é 1,5 vezes maior que o EM, tem-se um espaçamento falho. Valores acima (duplos) e abaixo (falhos) desses limites são considerados como aceitáveis (JASPER et al., 2011). O EM ideal foi calculado para cultivar, de acordo com a população recomendada para cada material, segundo informações obtidas junto aos seus obtentores.

Após mensuração da distância entre plantas, procedeu-se a colheita de todas as plantas contidas em cada intervalo de um metro. A produtividade de grãos (kg ha⁻¹) apresentada foi obtida pela pesagem dos grãos provenientes da área colhida em cada intervalo de um metro amostral, com correção da massa para 13% de umidade.

Os dados foram submetidos aos testes de aditividade, homogeneidade, normalidade e

independência dos erros. Sendo atendidas todas essas pressuposições, procedeu-se análise de correlação linear de Pearson (r) da produtividade de grãos com as variáveis população de plantas, percentual de espaçamentos aceitáveis, percentual de espaçamentos duplos e percentual de espaçamentos falhos, em cada combinação de local/município, irrigação e cultivar. Na sequência os dados de produtividade de grãos foram submetidos a análise de variância, considerando cada combinação de local, cultivar e regime hídrico como sendo um tratamento.

A análise de variância foi feita de modo a permitir a realização de uma análise de agrupamento, utilizando para formação do dendograma o método do vizinho mais próximo, para identificar os tratamentos semelhantes quanto a produtividade de grãos. Para tanto, em cada um dos grupos foram novamente realizadas análises de correlação linear de Pearson (r) da produtividade de grãos com as variáveis população de plantas, percentual de espaçamentos aceitáveis, percentual de espaçamentos duplos e percentual de espaçamentos falhos. Todas essas análises foram realizadas utilizando o software Genes® (CRUZ, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta uma caracterização geral sobre os principais resultados encontrados nos diferentes tratamentos. A média de produtividade é superior a média brasileira ou mesmo a média do estado do Rio Grande do Sul (SENTELHAS et al., 2015), em todos os tratamentos. Assim, os dados apresentam boa representatividade das condições de cultivo onde se obtém elevadas produtividades. Isso irá colaborar para entender se a obtenção de estandes com plantas uniformemente distribuídas dentro da fileira é um parâmetro importante para alcance de elevada produtividade de grãos. Observa-se que valores de espaçamentos aceitáveis acima de 60% foram encontrados nos tratamentos de 1 a 6. Estes tratamentos estão localizados em Cruz Alta, onde foi utilizado semeadora pneumática (Tabela 1).

Tabela 3 - Caracterização dos valores médios obtidos em cada tratamento (TRAT) formado por local/município, irrigação e cultivar para produtividade de grãos (MED, kg ha⁻¹), variância da produtividade de grãos (VAR), coeficiente de variação da produtividade de grãos (CV), valor máximo (MAX) e mínimo (MIN) da produtividade de grãos, população de plantas (POP, plantas m⁻²), percentual de espaçamentos aceitáveis (A), duplos (D) e falhos (F).

TRAT	-----Produtividade de grãos-----								
	MED	VAR	CV	MAX	MIN	POP	A	D	F
1*	3991,45	5,21	21,81	5015,02	2124,44	21,48	63,25	17,33	19,07
2	5857,30	67,76	19,88	7251,72	3985,70	25,93	60,78	18,44	20,50
3	4554,89	22,50	30,16	6981,87	2762,54	20,74	64,63	15,68	19,39
4	4712,00	6,45	13,75	5601,66	3445,28	27,04	64,26	16,86	18,60
5	5537,51	18,79	34,23	8000,00	2324,44	22,59	57,83	21,11	20,55
6	4718,51	34,67	18,25	6496,74	3408,69	30,56	63,64	13,72	22,45
7	4504,94	47,45	16,62	6349,24	3418,48	24,17	50,75	30,51	18,15
8	4381,94	31,61	22,58	6690,35	2877,07	28,06	45,10	33,99	20,29
9	4462,45	58,77	13,37	5731,31	3291,66	23,06	39,44	32,25	27,47
10	3664,13	87,85	21,17	5457,22	2302,22	26,76	38,33	36,61	24,32
11	3921,22	30,03	17,48	5791,49	2870,80	41,20	46,64	32,29	20,68
12	5124,98	78,34	33,85	7817,97	1302,22	19,32	37,56	31,90	29,50
13	4340,34	25,56	18,29	5875,27	2488,85	34,00	49,97	27,49	22,10
Geral	4484,32	1246703	24,94	8000,00	1302,22	28,01	49,60	27,62	22,23

*1: Cruz Alta, Não Irrigado, M5917 IPRO; 2: Cruz Alta, Irrigado, M5917 IPRO; 3: Cruz Alta, Não Irrigado, BMX Vanguarda RR; 4: Cruz Alta, Irrigado, BMX Vanguarda RR; 5: Cruz Alta, Não Irrigado, M5892 IPRO; 6: Cruz Alta, Irrigado, M5892 IPRO; 7: Restinga Seca, Não Irrigado, DM6563 IPRO; 8: Restinga Seca, Não Irrigado, NA 5909 RG; 9: Restinga Seca, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 10: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 11: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Potência RR; 12: Santa Maria; Não Irrigado, BMX Ativa RR; 13: Sao Gabriel, Não Irrigado, SYN 1163 RR.

É possível que dentre as variáveis apresentadas nesse trabalho, a única a ter um valor mínimo para sustentar produtividade acima da média brasileira, seja a população de plantas. A população apresenta os maiores valores de correlação linear de Pearson (r), não sendo significativa em apenas dois dos tratamentos (5 e 6) (Tabela 4). Mesmo que sua correlação algumas vezes seja baixa ou mesmo não significativa, a população de plantas é um insumo básico para a produtividade e a que tem maior relação com a produtividade de grãos (LEE et al., 2008; EGLI; HATFIELD, 2014; SUHRE et al., 2014; SALMERON et al., 2016; SANTACHIARA et al., 2017). Essa importância da população pode ser mascarada pela capacidade compensatória proporcionada pela plasticidade fenotípica da soja (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; TOYOTA et al., 2017). Com isso, pode haver a possibilidade de que o sistema de produção avance para uma racionalização ou mesmo uma releitura da população de novas cultivares, de acordo com a capacidade produtiva do solo e/ou do ambiente (EGLI; HATFIELD, 2014). Para as demais variáveis, os valores de r são em sua maioria abaixo de |0,50|, sendo que somente em alguns

tratamentos o percentual de espaçamentos duplos (Tratamento 2 e 4) e falhos (Tratamento 1, 3, 9 e 12) são maiores que $|0,50|$. Essa baixa correlação indica que a soja, em termos de produtividade de grãos, tem baixa sensibilidade a essas variáveis.

Tabela 4 - Análise de correlação linear de Pearson (r) da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) com as variáveis população de plantas (POP, plantas m^{-2}), percentual de espaçamentos aceitáveis (A), duplos (D) e falhos (F), em cada tratamento (TRAT) formado por local/município, irrigação e cultivar.

TRAT	1*	2	3	4	5	6	
POP	0,69**	0,68**	0,62**	0,69**	0,27ns	0,40ns	
A	0,46ns	-0,27ns	0,49ns	-0,27ns	0,17ns	-0,14ns	
D	0,02 ns	0,58**	0,20ns	0,59**	-0,005ns	0,44ns	
F	-0,67**	-0,40ns	-0,59**	-0,23ns	-0,2ns	-0,42ns	
TRAT	7	8	9	10	11	12	13
POP	0,64**	0,46**	0,63**	0,69**	0,10**	0,47**	0,40**
A	0,08ns	0,38ns	0,58**	-0,11ns	-0,13**	0,32ns	0,51ns
D	-0,50ns	-0,15ns	0,35ns	0,22ns	-0,03**	0,36ns	0,30**
F	-0,50ns	-0,32ns	-0,62**	-0,11ns	0,21**	-0,55**	-0,36**

*1: Cruz Alta, Não Irrigado, M5917 IPRO; 2: Cruz Alta, Irrigado, M5917 IPRO; 3: Cruz Alta, Não Irrigado, BMX Vanguarda RR; 4: Cruz Alta, Irrigado, BMX Vanguarda RR; 5: Cruz Alta, Não Irrigado, M5892 IPRO; 6: Cruz Alta, Irrigado, M5892 IPRO; 7: Restinga Seca, Não Irrigado, DM6563 IPRO; 8: Restinga Seca, Não Irrigado, NA 5909 RG; 9: Restinga Seca, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 10: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 11: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Potência RR; 12: Santa Maria; Não Irrigado, BMX Ativa RR; 13: Sao Gabriel, Não Irrigado, SYN 1163 RR.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Pela análise de agrupamento, é possível a formação de três grupos de tratamentos, onde dentro de cada grupo a produtividade de grãos é similar entre tratamentos. No grupo 1 tem-se os tratamentos 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12 e 13; no grupo 2 o tratamento 12 e no grupo 3 os tratamentos 2 e 5 (Figura 1). O grupo 1 tem a média produtiva mais baixa, sendo de 4292 kg ha^{-1} , tendo o grupo 2 média de $5124,98 \text{ kg ha}^{-1}$ e o grupo 3 de $5697,40 \text{ kg ha}^{-1}$. Dessa maneira, torna-se mais fácil a visualização de como as variáveis de distribuição se relacionam com a produtividade de grãos quando o nível de produtividade é maior ou menor.

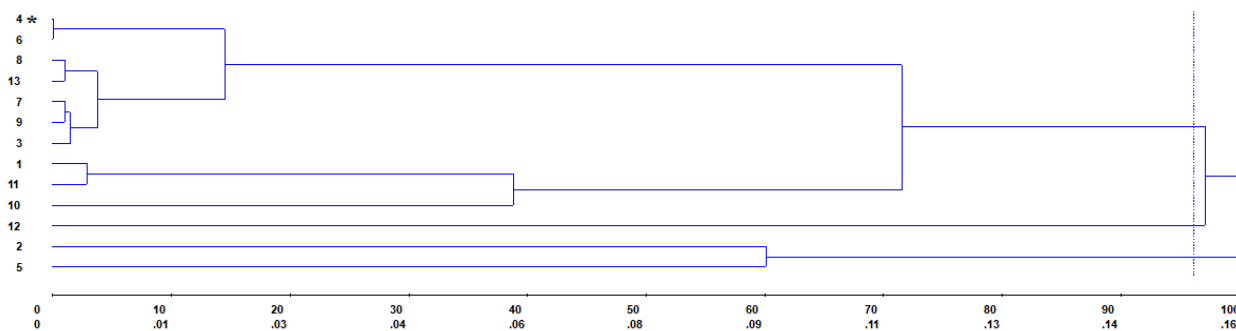


Figura 1 - Análise de agrupamento, pelo método vizinho mais próximo, dos tratamentos formados pelas combinações de local/município, irrigação e cultivar para a produtividade de grãos de soja.

*1: Cruz Alta, Não Irrigado, M5917 IPRO; 2: Cruz Alta, Irrigado, M5917 IPRO; 3: Cruz Alta, Não Irrigado, BMX Vanguarda RR; 4: Cruz Alta, Irrigado, BMX Vanguarda RR; 5: Cruz Alta, Não Irrigado, M5892 IPRO; 6: Cruz Alta, Irrigado, M5892 IPRO; 7: Restinga Seca, Não Irrigado, DM6563 IPRO; 8: Restinga Seca, Não Irrigado, NA 5909 RG; 9: Restinga Seca, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 10: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 11: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Potência RR; 12: Santa Maria; Não Irrigado, BMX Ativa RR; 13: Sao Gabriel, Não Irrigado, SYN 1163 RR.

Dentre as variáveis, a única a ser significativa em todos os grupos e apresentar aumento de r a medida em que há aumento no nível de produtividade de grãos é a população de plantas. Pela Tabela 5 observamos que o menor valor de r entre população de plantas e produtividade está no grupo 1, onde tem-se a menor média produtiva. O valor quase dobra do grupo 1 para o grupo 2, tendo um leve aumento do grupo 2 para o grupo 3. Com isso, é possível inferir que quando se deseja aumentar a produtividade de grãos, esse aumento tem maior dependência da população de plantas. Evidentemente que a população de plantas apresenta um intervalo satisfatório, onde a partir de um limite inferior e superior não há aumento na produtividade de grãos. Atribui-se a isso os baixos valores de r observados na Tabela 4. Estes limites interagem com fatores como cultivar, local e época de semeadura, sendo já documentados na literatura (LEE et al., 2008; SUHRE et al., 2014; AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; SALMERON et al., 2016; TOYOTA et al., 2017).

Tabela 5 - Análise de correlação linear de Pearson (r) da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) com as variáveis população de plantas (POP, plantas m^{-2}), percentual de espaçamentos aceitáveis (A), duplos (D) e falhos (F), em cada grupo formado após a análise de agrupamento dos tratamentos formados por local/município, irrigação e cultivar.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
POP	0,25*	0,43*	0,47*
A	0,20*	0,32ns	0,03ns
D	0,04ns	0,37ns	0,23ns
F	-0,30*	-0,55*	-0,27ns

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. **ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

As demais variáveis não apresentam tendência de aumento nos valores de r semelhante à população de plantas (Tabela 5). O percentual de espaçamentos aceitáveis, por exemplo, apresenta r positivo com a produtividade de grãos, mas sempre inferior ao r da população de plantas e não sendo significativo nos grupos 2 e 3. A falta de significância para espaçamentos aceitáveis nesses dois grupos, pode estar relacionada ao menor número de tratamentos/amostras colhidas nesses dois grupos, em relação do grupo 1. Ainda sim, mesmo havendo aumento no valor de r do grupo 1 para o grupo 2, o r no grupo 3 é 0,03. Com isso, a discussão feita para população de plantas não é válida para o percentual de espaçamentos aceitáveis. Não se observa que elevada da produtividade de grãos, como no grupo 3, tenha relação com o percentual de espaçamentos aceitáveis. Esse resultado não corrobora com Moore (1991), Egli (1994) e Tourino et al. (2002), os quais concluíram que condições de uniformidade/equidistância de distribuição de plantas se traduzem em aumento de produtividade. Com isso, tem-se um indício de que o espaçamento entre plantas dentro da fileira é menor importante, para as cultivares de soja em uso atualmente.

O % de espaçamento duplos não apresenta significância de r em nenhum dos grupos formados. Porém, apresenta também r positivo, indicando ter relação com aumento e não redução da produtividade de grãos. Embora não haja significância e os valores de r sejam baixos, esse resultado não era esperado (Tabela 5). Um espaçamento duplo representa duas plantas espaçadas próximas, onde a competição intraespecífica é alta e conseqüentemente o potencial produtivo é reduzido (BOARD; HARVILLE, 1992; EGLI, 1994). Porém, o resultado apresenta uma tendência oposta.

O que pode estar ocorrendo é que plantas em espaçamento duplo, por serem originadas de sementes depositadas próximas, possivelmente emergem primeiro. Essa hipótese tem uma origem física, onde duas plântulas teriam maior potencial de romper a camada de solo do que uma. Com isso, mesmo que ambas estejam submetidas a alta competição intraespecífica, por emergirem primeiro, estas cobrem mais rapidamente o solo, tendo maior capacidade de interceptar radiação. Essas plantas duplas podem atingir a mesma produtividade de uma planta em espaçamento ideal e que emergiu primeiro. Além do mais, possivelmente o aumento no percentual de espaçamentos duplos tenha relação com aumento na população de plantas, a variável que apresenta melhor relação com a produtividade de grãos (Tabelas 4 e 5).

Esse comportamento talvez mascare o efeito benéfico de uma distribuição uniforme de sementes (MOORE, 1991), principalmente quando estas sementes são de baixa qualidade fisiológica ou mesmo em solos de textura pesada (KOLCHINSKI et al., 2005). Em uma semeadura totalmente uniforme, mas com sementes de baixo vigor, haverá disparidade na emergência e o resultado pode ser semelhante a situação descrita acima. As plântulas que emergem primeiro, cobrem o solo precocemente, aumentando seu potencial de interceptar radiação. Em teoria, na distribuição uniforme não haveria espaços duplos ou falhos, porém uma planta de soja com alta disponibilidade de recursos pode atingir a mesma produtividade de duas plantas espaçadas muito próximas (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; TOYOTA et al., 2017).

Outro relato que sustenta essa hipótese está contido no trabalho de Kolchinski et al. (2005). Esses autores concluíram que a utilização de sementes de alto vigor proporciona aumento de produtividade de até 35%. Esse número reforça a hipótese de que a uniformidade de emergência, pode ter maior impacto que a uniformidade de espaçamento entre as plantas, assim como constatado por Andrade e Abate (2005) e Jasper et al. (2011).

Dentre as quatro variáveis, o percentual de espaçamentos falhos foi a única a apresentar relação negativa com a produtividade (Tabela 4), em todos os grupos e não sendo significativo no grupo 3. Esse valores são, em boa parte dos tratamentos e nos grupos 1 e 2, menores que $|0,50|$. Nesse caso, a variabilidade no espaçamento entre plantas, causando distúrbios na competição entre plantas de soja, acarreta diminuição da produtividade. este resultado é, de certa forma, esperado. Desconsiderado a capacidade de compensação da soja, a lógica da competição intraespecífica diz que tanto espaçamentos duplos como falhos reduziriam a produtividade (MOORE, 1991). Porém, a compensação existe e, possivelmente, é em virtude desta que existe variabilidade e baixo valores de r (menores que $|0,50|$).

As tendências de aumento e/ou redução da produtividade, por parte do percentual de espaçamento duplos e falhos, também estão relacionadas pela relação de ambos com a população de plantas. Maior percentual de espaçamento duplos está relacionado a maior população de plantas, enquanto que maior percentual de falhos está ligado a menor população de plantas (Tabela 6), em todos os tratamentos e grupos formados. Assim, o percentual de espaçamentos falhos tem maior efeito negativo sobre a variável que tem maior efeito positivo sobre a produtividade.

Tabela 6 - Análise de correlação linear de Pearson (r) da população de plantas (POP, plantas m⁻²) com as variáveis percentual de espaçamentos duplos (D) e falhos (F), em cada tratamento (TRAT) formado por local/município, irrigação e cultivar e cada grupo formado após a análise de agrupamento.

TRAT	1*	2	3	4	5	6	
D	0,47ns	0,86**	0,40ns	0,60**	0,11ns	0,79**	
F	-0,89**	-0,85**	-0,85**	-0,59**	-0,83**	-0,65**	
TRATS	7	8	9	10	11	12	13
D	0,47ns	-0,04ns	0,40ns	0,61**	0,45**	0,82**	0,37**
F	-0,30ns	-0,54**	-0,73**	-0,53**	-0,58**	-0,62**	-0,70**
		Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
D		0,29**		0,81**		0,60**	
F		-0,42**		-0,69**		-0,78**	

*1: Cruz Alta, Não Irrigado, M5917 IPRO; 2: Cruz Alta, Irrigado, M5917 IPRO; 3: Cruz Alta, Não Irrigado, BMX Vanguarda RR; 4: Cruz Alta, Irrigado, BMX Vanguarda RR; 5: Cruz Alta, Não Irrigado, M5892 IPRO; 6: Cruz Alta, Irrigado, M5892 IPRO; 7: Restinga Seca, Não Irrigado, DM6563 IPRO; 8: Restinga Seca, Não Irrigado, NA 5909 RG; 9: Restinga Seca, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 10: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Tornado RR; 11: Santa Maria, Não Irrigado, BMX Potência RR; 12: Santa Maria; Não Irrigado, BMX Ativa RR; 13: Sao Gabriel, Não Irrigado, SYN 1163 RR.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Um aspecto que pode estar atuando como agente redutor da produtividade de grãos por parte do percentual de espaçamentos falhos, é a metodologia empregada pela Abnt (1996) para classificar o que é uma falha que represente prejuízo para a soja. Devido a sua plasticidade, possivelmente aqueles espaçamentos considerados falhos, mas que estão próximos ao limite estabelecido pela Abnt (1996), não sejam causadores de decréscimo produtivo. Para tanto, o tamanho da falha a causar decréscimo na população de plantas deva estar longe do limite mínimo estabelecido. Assim, a falha pode alcançar um nível em que a compensação passa a ser ineficiente em manter a mesma produtividade. Nessa situação, a presença do espaçamento falho passa a ser pouco importante, pois a perda de produtividade ocorreria em função da redução na população de plantas e não ao modo como estão distribuídas/espaçadas.

A questão do espaçamento entre plantas dentro da fileira é uma dentre vários condicionantes inerentes ao sistema de produção. A importância que deve ser dada a essa questão é certamente menor. Em um sentido mais amplo, aspectos relacionados as condições de solo, regime hídrico, época de semeadura, cultivar e manejo fitossanitário, merecem maior atenção (EGLI; HATFIELD, 2014; SENTELHAS et al., 2015), pois tem maior importância para sustentar e/ou aumentar a produtividade, em relação ao níveis praticados atualmente. A separação das combinações de local, cultivar e regime hídrico em grupos, evidencia essa afirmação, pois somente a população de plantas teve aumento no r a medida em que aumenta-se a média

produtiva. De modo geral, os ambientes menos produtivos estão classificados dentro das menores faixas de correlação da população de plantas com a produtividade.

A tendência de queda ou aumento da produtividade, seja por qualquer um dos três tipos de espaçamentos entre plantas utilizados neste trabalho, é baixo. Essa baixa influência das variáveis se dá em função da morfologia plástica e capacidade de compensação da soja (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; TOYOTA et al., 2017). O alcance de estandes equidistantes quanto a espaçamento entre plantas busca minimizar ao máximo a competição intraespecífica. Essa situação de total uniformidade foi alcançada em trabalhos como o de Moore (1991), Egli (1994) e Tourino et al. (2002).

Esses autores observaram aumentos de produtividade na ordem de 7,5 % (MOORE, 1991), 9-19 % (EGLI, 1994) e 8,2 % (TOURINO et al., 2002), quando o espaçamento entre plantas foi totalmente uniforme. Essa uniformidade foi alcançada por meio de desbaste, situação nada comum em campos comerciais, mas que puderam elucidar o comportamento da soja frente a equidistância. Porém, a aplicabilidade desses resultados em nível comercial é limitada, em virtude da necessidade de máquinas para realização da semeadura, em tempo condizente com a época de semeadura. Redução da velocidade de semeadura ou mesmo utilização de semeadoras pneumáticas podem reduzir erros de distribuição, mas não necessariamente trazer aumento de produtividade (JASPER et al., 2011).

Trabalhos de Moore (1991), Egli (1994) e Tourino et al. (2002) foram importantes para o entendimento do comportamento da soja em condições de uniformidade. Porém, as cultivares em uso atualmente possuem menor sensibilidade. A produção de biomassa é menor, o que diminui a necessidade de espaço físico, principalmente quando o ambiente de produção é favorável quanto a disponibilidade de recursos (SALMERON et al., 2016; SANTACHIARA et al., 2017).

CONCLUSÃO

A população de plantas é a variável que apresenta a maior relação positiva com a produtividade de grãos, em todos os tratamentos e grupos de tratamentos similares formados.

O percentual de espaçamento falhos é a variável que apresenta a maior relação negativa com a produtividade, em todos os tratamentos e grupos de tratamentos similares formados.

As variáveis percentual de espaçamentos aceitáveis e duplos apresentam baixa relação com a produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de norma 04:015.06-004/1995. **Semeadora de precisão: ensaio de laboratório/método de ensaio**. São Paulo: ABNT, 1996. 21 p.
- AGUDAMU, T. Y.; SHIRAIWB, T. Branch development responses to planting density and yield stability in soybean cultivars. **Plant Production Science**, v. 19, n. 3, p. 331–339, 2016.
- ANDRADE, F. H.; ABBATE, P. E. Response of Maize and Soybean to Variability in Stand Uniformity. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 1263-1269, 2005.
- BELLALLOUI, N.; BRUNS, H. A.; ABBAS, H. K.; MENGISTU, A.; FISHER, D. K.; REDDY, K. N. Effects of Row-Type, Row-Spacing, Seeding Rate, Soil-Type, and Cultivar Differences on Soybean Seed Nutrition under US Mississippi Delta Conditions. **Plos One**, v. 10, n. 6, p. 1-23, 2015.
- BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Explanations for Greater Light Interception in Narrow- vs. Wide-Row Soybean. **Crop Science**, v. 32, p. 1998-2002, 1992.
- CRUZ, C.D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**, v.38, n.4, p.547-552, 2016.
- EGLI, D. B. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 1046-1049, 1994.
- EGLI, D. B.; HATFIELD, J. L. Yield and Yield Gaps in Central U.S. Corn Production Systems. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2248-2254, 2014.
- EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M. Seedbed Conditions and Prediction of Field Emergence of Soybean Seed. **Agronomy Journal**, v. 9, n. 3, p. 365-370, 1996.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).
- FURLANI, C.E.A.; JÚNIOR, A.P.; CORTEZ, J.W.; SILVA, R.P.E.; GROTTA, D.C.C. Influência do manejo da cobertura vegetal e da velocidade de semeadura no estabelecimento da soja (*Glycine max*). **Engenharia na Agricultura**, v.18, n.3, p.227-233, 2010.
- HORBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 450–465, 2013.
- HORBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; REIMCHE, G B.; SCHWALBERT, R. A.; SANTI, A. L.; NIENOW, C. Optimization of Within-Row Plant Spacing Increases Nutritional Status and Corn

- Yield: A Comparative Study. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 5, p. 1962–1971, 2016.
- JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P. S. M.; ROCIL, J.; GARCIA, L. C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 102-110, 2011.
- KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência rural**, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.
- LAUER, J. G.; RANKIM, M. Corn Response to Within Row Plant Spacing Variation. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 1464-1468, 2004.
- LEE, C. D.; EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M. Soybean Response to Plant Population at Early and Late Planting Dates in the Mid-South. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 971-976, 2008.
- MOORE, S. H. Uniformity of Plant Spacing Effect on Soybean Population Parameters. **Crop Science**, v. 31, p. 1049-1051, 1991.
- NANJO, Y.; JANG, H.; KIM, H.; HIRAGA, S.; WOO, S.; KOMATSU, S. Analyses of flooding tolerance of soybean varieties at emergence and varietal differences in their proteomes. **Phytochemistry**, v. 106, p. 25-36, 2014.
- REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D. Influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. **Engenharia na agricultura**, v. 24, n. 1, p. 63-67, 2016.
- SALMERON, M.; GBUR, E.; BOURLAND, F. M.; BUEHRING, N. W.; EARNEST, L.; FELIX, B. F.; GOLDEN, B.; HATHCOAT, D.; LOFTON, J.; MCCLURE, A. T.; MILLER, T. D.; NEELY, C.; SHANNON, G.; UDEIGWE, T. K.; VERBREE, D. A.; VORIES, E. D.; WIEBOLD, W. J.; PURCELL, L. C. Yield response to planting date among soybean maturity groups for irrigated production in the US Midsouth. **Crop Science**, v. 56, p. 747-759, 2016.
- SANTACHIARA, G.; BORRÁS, L.; ROTUNDO, J. L. Physiological Processes Leading to Similar Yield in Contrasting Soybean Maturity Groups. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 158-167, 2017.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, 1394-1411, 2015.
- SILVA, C. S.; SCHUCH, L. O. B.; OLIVO, M.; SEUS, R. Desempenho de plantas isoladas de soja, biometria e qualidade fisiológica das sementes. **RFZA**, v.19, n.1, p.1-9. 2013.
- SILVA, F. H.; CUNHA, P. C. R.; ALMEIDA, A. C. S. ARAÚJO, L. S.; JAKELAITIS, A.; SILVEIRA, P. M. Production components of corn as function of seed distribution along the planting row. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1172–1177, 2015.

STORCK, L.; MODOLO, A. J.; BRUM, B.; TROGELLO, E.; FRANCHIN, M F; ADAMI, P. F. Medida de regularidade do espaçamento de plantas de milho em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 39-44, 2015.

SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; ROWNTREE, S. C.; WILSON, E. W.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P.; CASTEEL, S. N.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D.; SPECHT, J. E.; DAVIS, V. M. Soybean Yield Partitioning Changes Revealed by Genetic Gain and Seeding Rate Interactions. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1631-1642, 2014.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

TOYOTA, M.; MAITREE, L.; CHOMSANG, K. Changes in radiation interception and R:FR over time and with canopy depth of two soybean cultivars with different branching characteristics. **Plant Production Science**, v. 20, n. 2, p. 205–214, 2017.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1447-1454, 2016.

CAPÍTULO II: NECESSIDADE DE RESSEMEADURA DA SOJA EM DISTINTOS ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS

RESUMO: A soja é o cultivo de maior expressão da agricultura brasileira e um dos maiores do mundo. Durante a estação de crescimento diversos fatores causam redução da produtividade, entre eles a redução do estande de plantas. Objetivou-se com este estudo identificar a relação entre redução aleatória no estande de plantas com os componentes da produtividade e produtividade de grãos de soja e identificar se há necessidade de ressemeadura em duas cultivares de soja cultivadas sob dois espaçamentos entre fileiras. Para tanto foi realizado um experimento em esquema fatorial 2x2x4 em blocos casualizados com quatro repetições, nas safras agrícolas 2014/2015 e 2015/2016. Utilizou-se duas cultivares de soja de tipo de crescimento contrastante (determinado e indeterminado) e mesmo grupo de maturação, dois espaçamentos entre fileiras denominados de convencional (45 centímetros) e reduzido (22,5 centímetros) e quatro percentuais de retirada aleatória de plantas (0, 25, 50 e 75% da população ideal). De modo geral, a soja apresenta capacidade de compensar a perda de plantas, de modo que o decréscimo percentual da produtividade é menor em relação ao decréscimo da população. Dentro dos níveis testados, a produtividade de grãos decresce, em média, 1,75% a cada 10% de redução no estande ideal de plantas. Ambas as cultivares apresentaram o mesmo comportamento, frente aos tratamentos. Quando o preço do bushel de soja é inferior a US\$ 10,50, nenhum dos percentuais de retirada de plantas até 75% alcança prejuízo econômico que compense nova semeadura. Ainda, os espaçamentos entre fileiras diferiram em 2015/2016, sendo o reduzido superior. Nesse espaçamento a soja tolerou maior percentual de retirada de plantas.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; compensação da produtividade de grãos; prejuízo econômico; competição intraespecífica.

REPLANTING NECESSITY OF SOYBEAN IN TWO ROWS SPACING

ABSTRACT: Soybean is the most important crop of Brazilian agriculture and has a great importance around the world. During the growing season, many situations can cause productive and economic damage to the crop. One of them is the death of plants, by diverse factors. The objective of this study was to identify the pattern of grain yield reduction and if there is a point where is recommended to perform the replanting when soybean plant population decreases. Also,

determine whether there is a need for replanting in two soybean cultivars grown under two row spacings. The experiment was carried out in a 2x2x4 factorial randomized block design with four replications, in the 2014/2015 and 2015/2016 growing seasons. It used two soybean cultivars with contrasting growth type and the same maturity group, two row spacings denominated conventional (45 cm) and narrow (22.5 cm) and four percentages of plant death (0, 25, 50 e 75% of the ideal population). In general, soybean has the capacity to compensate the plants' loss and the percentage decrease in grain yield is lower in relation to the decrease in population. Within the levels tested, the grain yield decreases, on average, 1.75% each 10% in the reduction of ideal population. When the price received for the soybean bushel is less than US\$ 10.50 any percentage of plant death up to 75% reaches economic loss that compensates the replanting. The row spacings differed in 2015/2016, where the narrow row was superior and tolerated plant death more than conventional.

KEY-WORDS: *Glycine max*; grain yield compensation; economic loss; intraspecific competition.

INTRODUÇÃO

O alcance de elevada produtividade de soja passa pela maximização dos seus componentes (EGLI, 1988). Dentre esses componentes o primeiro a ser definido é o número de plantas por área (COX et al., 2010). Este componente varia com a cultivar (grupo de maturação e tipo de crescimento), época de semeadura e região de cultivo (DE BRUIN; PEDERSEN, 2008b; LEE et al., 2008; EGLI, 2013; SALMERON et al., 2016).

O número de plantas é ajustado a priori, por meio do conhecimento da população ideal para uma dada condição (LEE et al., 2008; COULTER et al., 2011), podendo esse ajuste influenciar a definição de outros componentes. Sua definição tem como determinantes a densidade e velocidade de semeadura (JASPER et al., 2011), qualidade de sementes (COX; CHERNEY, 2011), tratamento de sementes (REZNIKOV et al., 2016), sistema de cultivo (GESCH et al., 2012), umidade e temperatura do solo (HELMS et al., 1996), dentre outros. Todos esses fatores podem atuar tanto em benefício como em prejuízo da obtenção do número de plantas desejado.

Quando há ocorrência de chuvas intensas após a semeadura, tanto em sistema convencional como em semeadura direta, pode haver formação de uma camada de solo endurecida sobre o sulco de semeadura (HYATT et al., 2007; JIA et al., 2016). Logo após a semeadura também podem ocorrer períodos com ausência de chuvas, diminuindo a umidade do solo e prejudicando o processo de germinação e emergência. O ataque de pragas ou mesmo doenças de solo também podem vir a prejudicar o estabelecimento do estande de plantas (REZNIKOV et al., 2016).

Em situações onde o número adequado de plantas não foi alcançado, tem-se como opção realizar uma nova semeadura. Essa objetiva mitigar a perda de produtividade relacionada a não maximização do primeiro componente da produtividade da soja. Porém, antes da tomada de decisão para uma nova semeadura é necessário considerar a capacidade de compensação que a soja possui (SUHRE et al., 2014; AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; TOYOTA et al., 2017).

A chamada plasticidade fenotípica da soja permite que a planta se adapte a condições de espaço disponível, modificando sua morfologia (TOYOTA et al., 2017). Essa característica permite que a soja produza estruturas vegetativas e reprodutivas em consonância com o aumento do espaço disponível para cada planta (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016). Essa capacidade se dá em virtude do aumento do número de nós, ramos, gemas axilares, flores, legumes e grãos ao longo de sua haste principal (EGLI, 2013). Uma planta de soja possui gemas axilares em cada nó, as quais podem desenvolver ramos, racemos ou mesmo permanecerem dormentes (EGLI, 1988; AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; ZHANG et al., 2016).

Quando recursos do meio como água, luz e nutrientes estão disponíveis, a planta de soja tem melhores condições para a emissão de ramos laterais, podendo emitir um número adicional de nós. Com isso, aumenta-se o número de legumes por unidade de planta, principalmente com o decréscimo da população. Essa capacidade de aumentar o número de ramos permite a soja alcançar resultados de produtividade de grãos similares, mesmo em uma ampla faixa de população de plantas.

Como forma de mitigar o prejuízo relacionado ao risco da não obtenção do estande ideal de plantas é possível modificar a distribuição espacial de plantas. A depender do local, relatos científicos demonstram aumento na capacidade produtiva da soja por meio da redução do espaçamento entre fileiras (EGLI, 1994; LEE, 2006; DE BRUIN; PEDERSEN, 2008a; WALKER et al., 2010; COX; CHERNEY, 2011; JACCOUD-FILHO et al., 2016). Esse potencial

de aumento se dá pela diminuição na competição intraespecífica, permitindo melhorias no aproveitamento de recursos como a radiação solar (EGLI, 1994). Essa redução pode permitir que o decréscimo de produtividade, relacionado a não obtenção do estande ideal, seja menor.

Parcianello et al. (2004) submeteram uma cultivar de soja de tipo de crescimento determinado a níveis de desfolha e observaram maior tolerância ao desfolhamento quando cultivada em espaçamento reduzido entre fileiras. Os autores observaram que até 90% de desfolha o espaçamento reduzido permanece mais produtivo que 0% de desfolha em espaçamento largo, considerando uma média entre os estádios V9, R2 e R5 (PARCIANELLO et al., 2004).

Ainda assim é necessário estabelecer um limite onde a não obtenção do número desejado de plantas passa a justificar uma nova semeadura. Para tanto, é necessário o conhecimento do nível de perda de plantas que ocasionará decréscimo que compense o custo de uma nova operação de semeadura. As culturas do trigo e do sorgo, por exemplo, apresentam alta capacidade de compensação da não obtenção da população ideal de plantas em função da emissão de afilhos. O trigo é capaz de compensar perdas de até 50% (MARTIN et al., 2016) e o sorgo até 40% (MONTAGNER et al., 2004) da população de plantas, sem decréscimo significativo na produtividade de grãos. No trigo, a compensação da perda de plantas é tal que uma nova semeadura é economicamente viável com perdas acima de 50% de plantas, em algumas cultivares e a depender do valor de mercado do trigo (MARTIN et al., 2016).

Por meio da morfologia e capacidade de compensação apresentada pela planta de soja é esperado resposta semelhante a do trigo, quanto à necessidade de ressemeadura. Ainda há que se considerar que o potencial produtivo da lavoura ressemeada é menor, devido a alteração da época de semeadura. No Rio Grande do Sul, por exemplo, constatou-se perda de 29 kg ha⁻¹ de grãos de soja para cada dia de atraso na semeadura após 4 de novembro (ZANON et al., 2016).

Objetivou-se com este estudo identificar a relação entre redução aleatória no estande de plantas com os componentes da produtividade e produtividade de grãos de soja e identificar se há necessidade de ressemeadura em duas cultivares de soja cultivadas sob dois espaçamentos entre fileiras.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos experimentos de campo nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 em uma área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, coordenadas geográficas 29° 43' 04'' S, 53° 44' 01'' O (Santa Maria - RS), altitude de 116 metros e topografia plana. O município está localizado na região fisiográfica da Depressão Central do Estado Rio Grande do Sul, Brasil. Segundo a classificação climática de Köppen, possui clima do tipo fundamental Cfa, mesotérmico e úmido, caracterizado como subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 19,1°C e a precipitação pluvial média anual 1.712,4 mm, bem distribuída ao longo do ano (HELDWEIN et al., 2009). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (EMBRAPA, 2013), definido como Ultisol Aeric Albaquults por Usda (2014).

Os tratamentos foram distribuídos em um esquema fatorial 2x2x4, com quatro repetições em delineamento de blocos casualizados. O primeiro fator foi composto por duas cultivares: FPS Urano RR (tipo de crescimento determinado) e BMX Tornado RR (tipo de crescimento indeterminado), ambas com grupo de maturidade relativa 6.2. O segundo fator por dois espaçamentos entre fileiras, denominados de: convencional (45 centímetros entre fileiras) e reduzido (22,5 centímetros entre fileiras). O terceiro fator por quatro níveis de retirada aleatória de plantas. Os níveis de retirada aplicados foram a testemunha sem redução (0%), 25%, 50% e 75% em relação a população indicada pelo obtentor. A população desejada de plantas para FPS Urano RR foi considerada como sendo de 30 plantas m⁻² e a de BMX Tornado RR 22 plantas m⁻².

Cada unidade experimental possuía as seguintes dimensões: 2,25 m de largura x 7,75 m de comprimento, contando com cinco (espaçamento convencional) e 10 (espaçamento reduzido) fileiras de semeadura. A área útil de cada parcela possuía 1,35 m de largura x 5 m de comprimento. A semeadura foi realizada em 10/11/2014 e 23/11/2015. A adubação foi realizada a lanço, no momento da semeadura, utilizando a formulação 05-20-20 de N-P₂O₅-K₂O. A quantidade aplicada de fertilizante foi de acordo com as Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina para as safras 2014/2015 e 2015/2016 (EMBRAPA, 2014), levando em consideração o laudo de análise de solo. O tratamento de sementes utilizado foi Piraclostrobina (25 g L⁻¹) + Tiofanato Metílico (250 g L⁻¹) + Fipronil (250 L⁻¹) e inoculante composto por estipes de *Bradyrhizobium japonicum* (100 mL 50 kg⁻¹ de semente). Os demais tratamentos fitossanitários foram realizados conforme as recomendações técnicas da cultura da soja (EMBRAPA, 2014).

Após a emergência das plântulas (VE), foi realizada uma retirada controlada de plantas para ajuste da população inicial desejada para cada cultivar. Logo em sequência foram aplicados os tratamentos de retirada aleatória para simulação da não obtenção de estande desejado. Em ambos os anos, a aplicação dos tratamentos foi realizada no estágio V1 (FEHR; CAVINESS, 1977). A retirada aleatória das plantas foi feita por meio da elaboração de uma lista de números aleatórios na proporção de redução desejada, considerando distribuição uniforme, usando a função “ALEATÓRIO” no Microsoft Excel®. Em cada fileira, as plantas eram numeradas de 1 a “n”, e sua retirada era feita manualmente, de acordo com o percentual de retirada.

As seguintes variáveis foram mensuradas: altura da planta (AP, cm), medida no momento da colheita e considerando para tanto a diferença de altura entre o solo e o último nó da haste principal com presença de legume; altura de inserção do primeiro legume (AIPL, cm) medida no momento da colheita e considerando para tanto a diferença de altura entre o solo e o primeiro nó da haste principal com presença de legume; número de legumes planta⁻¹ (LP), medido por meio de contagem direta do número de legumes em cinco plantas coletadas em sequência em uma das fileiras do centro de cada parcela; número de grãos planta⁻¹ (GP), medido por meio de contagem direta do número de legumes com 1, 2, 3 e 4 grãos em cinco plantas coletadas em sequência em uma das fileiras do centro de cada parcela; produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), medida pela colheita da área útil de cada parcela, com correção da massa para 13% de umidade e extrapolação do valor para 1 ha; massa de mil grãos (MMG, g), medida pela contagem direta e pesagem de 300 grãos, oriundos da área útil de cada parcela, com correção da massa para 13% de umidade. O valor da massa de 1.000 grãos foi obtido pela conversão dos valores da massa de 300 grãos.

Os valores de temperatura média do ar e precipitação foram coletados junto a estação meteorológica localizada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a aproximadamente 1,4 km de distância da área experimental. Com esses dados foi calculado o balanço hídrico climático diário do solo, sob o cultivo de soja, considerando a evapotranspiração da cultura (ETc), pela fórmula $ETc = ETP * Kc$, onde: ETP é a evapotranspiração potencial (ou de referência) estimada pelo método de Penman-Monteith e Kc é o coeficiente de cultura, que varia com o crescimento da mesma.

Os dados foram submetidos aos testes de aditividade, homogeneidade, normalidade e independência dos erros, conforme o modelo matemático para o delineamento de blocos ao acaso (MARTIN; STORCK, 2008). A análise da variância dos dados foi realizada pelo teste F.

Havendo efeito significativo de um ou mais fatores, procedeu-se separação de médias do efeito dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras, pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade de erro, ou análise de regressão para a retirada aleatória de plantas. Todas as análises foram realizadas utilizando o software Sisvar® (FERREIRA, 2011). Para a variável produtividade de grãos na safra 2014/2015, com o ajuste a uma equação de grau dois ($y=b_0\pm b_1x\pm b_2x^2$), foi estimada a máxima eficiência técnica (MET) pela equação $x=-b_1/2b_2$.

Foi realizada uma análise para determinar o prejuízo econômico em função da redução aleatória no estande de plantas que atinge o custo de realização de uma nova semeadura. Para tanto utilizou-se, juntamente com as produtividades obtidas nos diferentes tratamentos, o custo de produção de um hectare de soja, o custo para ressemeiar um hectare de soja e o custo para produzir um bushel de soja, obtidos junto ao Agriannual (2016), para o estado do Rio Grande do Sul. O custo de produção de um hectare foi estimado em US\$ 750,46 e o de ressemeadura em US\$ 193,55, usando como parâmetro de conversão preço do dólar comercial de US\$ 3.1567. Os valores do prejuízo econômico foram calculados com base na produtividade de grãos em função do percentual de redução do estande e do preço do bushel. Considerou-se que sempre há ausência de prejuízo econômico com 0% de retirada de plantas. O prejuízo inicia no ponto em que a média na produtividade de grãos é menor que a média de 0% de retirada de plantas. Quando há retirada de plantas com médias superiores a 0%, considera-se também como ausência de prejuízo. Com isso determinou-se o nível de perda de plantas que atinge prejuízo econômico menor, igual ou superior ao custo para ressemeadura, nos diferentes tratamentos. Esse resultado foi apresentado por meio de uma superfície de respostas, tendo como variáveis independentes o percentual de redução aleatória do estande (variável “x”) e preço pago pelo bushel de soja (variável “y”) e variável dependente o rendimento econômico em relação a testemunha (variável “z”). Nesse caso, a testemunha é o tratamento com 0% de retirada de plantas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o balanço hídrico climático com o cultivo de soja, ao longo dos experimentos. Observa-se que na safra 2014/2015 houve um período de restrição hídrica próximo ao estágio R2, reduzindo a média de produtividade do experimento. Neste estágio é onde a planta alcança o florescimento pleno, havendo aumento na sensibilidade a restrição hídrica. Nessa fase a planta inicia a redistribuição de carboidratos, para manutenção de seus drenos. Restrição que

cause deficiência hídrica causa abortamento de estruturas reprodutivas, que neste estágio limitam-se a flores. Com isso, a restrição deve ter aumentado o abortamento de flores e esta repercutiu na redução do número de legumes formados (DOGAN et al., 2007; ZHANG et al., 2016).

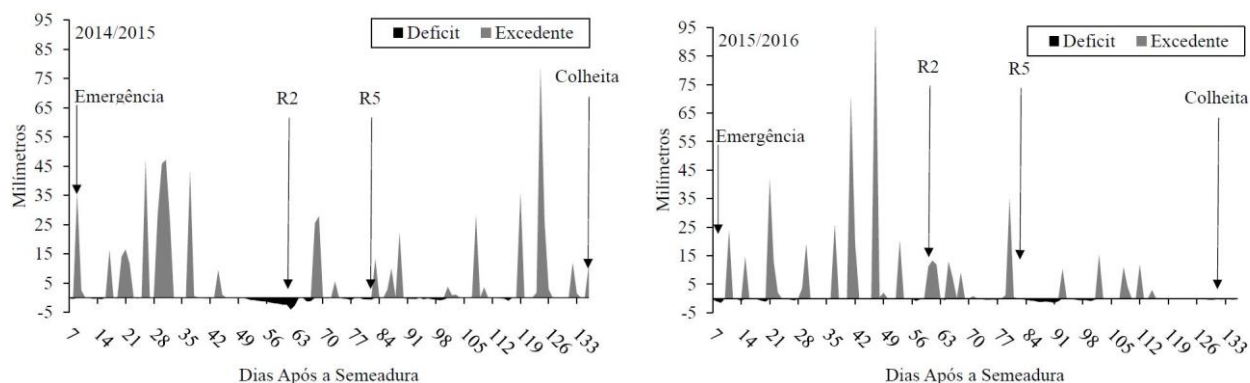


Figura 1 - Balanço hídrico climático diário do solo, sob o cultivo de soja, ao longo dos dois anos de condução dos experimentos em Santa Maria, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. As setas indicam os momentos de ocorrência da emergência, do estágio R2, do estágio R5 e da colheita.

Todos os dados dos experimentos atenderam aos pressupostos aditividade, homogeneidade, normalidade e independência dos erros, não necessitando a realização de transformação. A retirada aleatória de plantas influenciou todas as variáveis, apresentando interação com cultivar em algumas variáveis e nenhuma interação com espaçamento entre fileiras (Tabela 1). O efeito de cultivar não foi significativo em ambos os anos para produtividade de grãos, demonstrando que as cultivares utilizadas tem mesmo comportamento frente a retirada de plantas ou mesmo a espaçamento entre fileiras. O espaçamento entre fileiras apresentou efeito principal sobre a produtividade de grãos somente na segunda safra. Variáveis de crescimento, como a altura final da planta e altura de inserção do primeiro legume foram influenciadas pela cultivar e pela retirada aleatória de plantas, bem como pela interação entre ambos para altura final da planta. Quanto ao número de legumes e de grãos planta⁻¹, somente a retirada aleatória de plantas apresentou efeito significativo, nas duas safras.

Tabela 1 - Tipo de interação observada, na análise de variância, entre as fontes de variação cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E) e retirada aleatória de plantas (R) para as variáveis: altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro legume (AIPL), número de legumes por planta⁻¹ (LP); número de grãos planta⁻¹ (GP); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹).

Variáveis	Safra 2014/2015	Safra 2015/2016
AP*	CxR*	CxR
AIPL	C; R	C; R
LP	C; E; R	R
GP	C; E; R	C; R
MMG	E; CxR	E; CxR
PG	R	E; R

*C = cultivar; E = espaçamento entre fileiras; R = retirada aleatória de plantas.

Na safra 2014/2015, o único fator a influenciar a produtividade de grãos foi à redução aleatória do estande. A máxima eficiência técnica foi obtida com 18,107% de redução do estande de plantas (Figura 2). O percentual de retirada de 75% apresentou uma média 427 kg ha⁻¹ inferior ao tratamento com 0% de retirada (Figura 2). Na safra 2015/2016, essa diferença foi de 502 kg ha⁻¹, não sendo possível calcular a máxima eficiência técnica em virtude do comportamento linear de 1º grau da redução da produtividade.

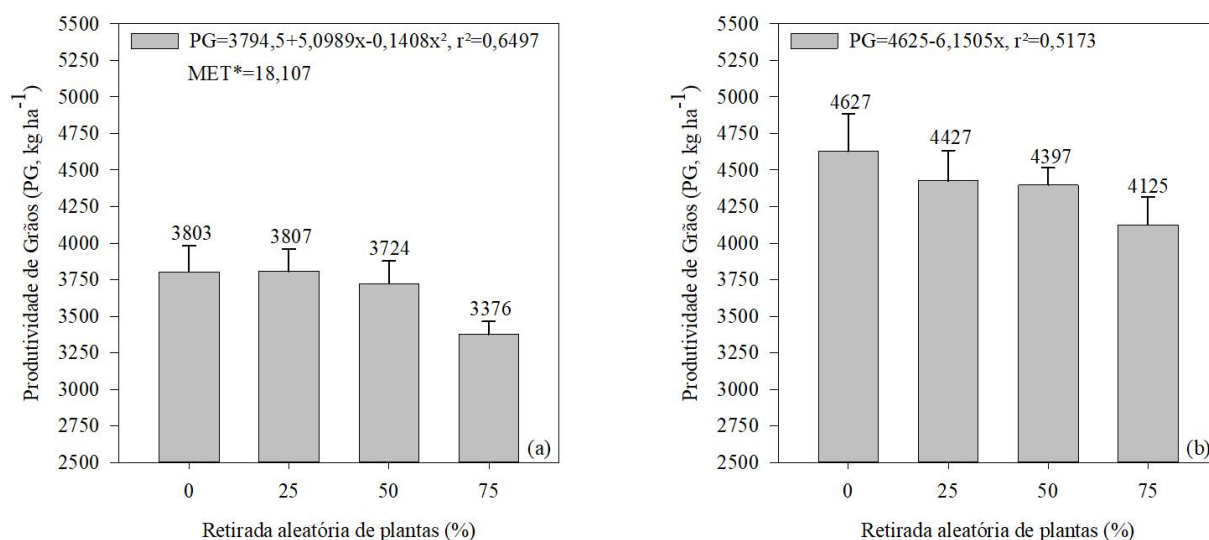


Figura 2 - Produtividade de grãos de soja de acordo com o percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016 (b).

*MET = Máxima Eficiência Técnica.

Apesar dos modelos de regressão terem sido distintos de um ano para outro, a resposta da soja frente aos percentuais de retirada de plantas foi semelhante. Se considerarmos que em

2014/2015 a produtividade decresce a partir de 25% de retirada de plantas, traçando uma equação linear a partir desse ponto tem-se redução de 8,62 kg de grãos ha⁻¹ a cada 1% de retirada de plantas. Considerando que na segunda safra essa redução é de 6,15 kg ha⁻¹, tem-se que na média dos dois anos é 7,39 kg ha⁻¹ a cada 1% de retirada de plantas. Isso implica em uma redução média de 73,90 kg ha⁻¹ a cada perda de 10% de redução no estande de plantas. Esse valor de 73,90 kg ha⁻¹, tendo o tratamento sem retirada de plantas a média produtiva de 4215 kg ha⁻¹ (3803 e 4627 kg ha⁻¹ na 1ª e 2ª safra, respectivamente), equivale a 1,75% de redução de produtividade a cada 10% de redução na população de plantas. Com isso, tem-se que a relação retirada aleatória de plantas/redução da produtividade de grãos é da ordem de 10/1,75. Além disso, há que se considerar a variabilidade dos dados, que apresentam coeficiente de determinação com precisão moderada (Figura 2a) e baixa (Figura 2b) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2009). Sendo assim, 1,75% de redução de produtividade pode ser inferior ou mesmo superior.

A diferença apesar de significativa, não acompanha a linearidade dos níveis de retirada das plantas. Contrapondo as extremidades, o número de plantas remanescentes quando da retirada de 75%, equivale a 25% do total de plantas no tratamento sem retirada. Porém, a redução na produtividade de grãos, na média das duas safras, é de aproximadamente 11% (11,22% em 2014/2015 e de 10,84% em 2015/2016). Esses resultados divergem dos observados por Cox et al. (2010), que estudaram a influência de três taxas de semeadura associadas a quatro percentuais de retirada/morte de plantas: 0, 10, 25 e 50%. Esses autores não observaram interação entre os fatores sobre variáveis morfológicas e produtivas da soja, somente efeito individual. Porém, também observaram decréscimo linear da produtividade em decorrência da retirada de plantas. Cox et al. (2010) retiram as plantas no estágio V6 (FEHR; CAVINESS, 1977), ao passo que neste estudo a retirada se deu em V1. Isso porque se considera que a probabilidade de perda de plantas é maior em momentos próximos da semeadura. Com isso, quanto mais cedo ocorrer a perda/morte de plantas, maior será a eficiência dos mecanismos que a planta utiliza para compensar a produtividade, por estar a mais tempo submetida a menor competição intraespecífica (EGLI, 1988; EGLI, 1994; EGLI; BRUENING, 2006).

Os resultados observados na cultura do milho evidenciam responsividade em relação ao número de plantas ou mesmo a sua uniformidade de distribuição (ANDRADE; ABBATE, 2005; HORBE et al., 2016; SILVA et al., 2015). Isso porque a planta de milho possui menor capacidade de aumento no número de estruturas reprodutivas (número de espigas planta⁻¹ ou número de

grãos espiga⁻¹), em comparação com a soja. Os pontos de compensação estão presentes em número maior na planta de soja (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; TOYOTA et al., 2017), o que permite maior tolerância a perda de plantas sem perda significativa de produtividade (Figura 2).

Os principais componentes a sustentar a produtividade de grãos são o número de legumes e de grãos planta⁻¹. Fazendo uma relação entre o número total de plantas com o número total de legumes e grãos planta⁻¹ é possível observar o potencial produtivo e compensador da planta de soja (Figura 3). A população de plantas ideal é quatro vezes maior que aquela onde houve redução de 75%. Porém, o número de legumes e grãos planta⁻¹ foi 1,89 e 1,93 vezes maior no tratamento com 75%, respectivamente, na safra 2014/2015. Na segunda safra essa diferença foi de 3,20 e 3,24 mais legumes e grãos planta⁻¹, respectivamente.

Os menores valores das variáveis nas Figuras 3(a) e 3(b) devem estar relacionados a menor precipitação durante os estádios R2-R5 (Figura 1), impactando no número de estruturas reprodutivas por unidade de planta. Porém, os resultados de ambos os anos tem relação com a diferença em produtividade de grãos apresentada pelos diferentes percentuais de retirada de plantas (Figura 2). Mesmo o percentual de retirada de plantas tendo sido equidistante/linear, a produtividade não diminui de maneira proporcional. Isso acontece em virtude das modificações morfológicas apresentadas quando a soja é imposta a uma condição de maior espaço disponível. Na lista de anexos consta o Anexo C, que de modo visual apresenta a capacidade que a planta de soja tem de modificar sua estrutura morfológica, aumentando a produtividade por unidade de planta, compensando a ausência das plantas vizinhas.

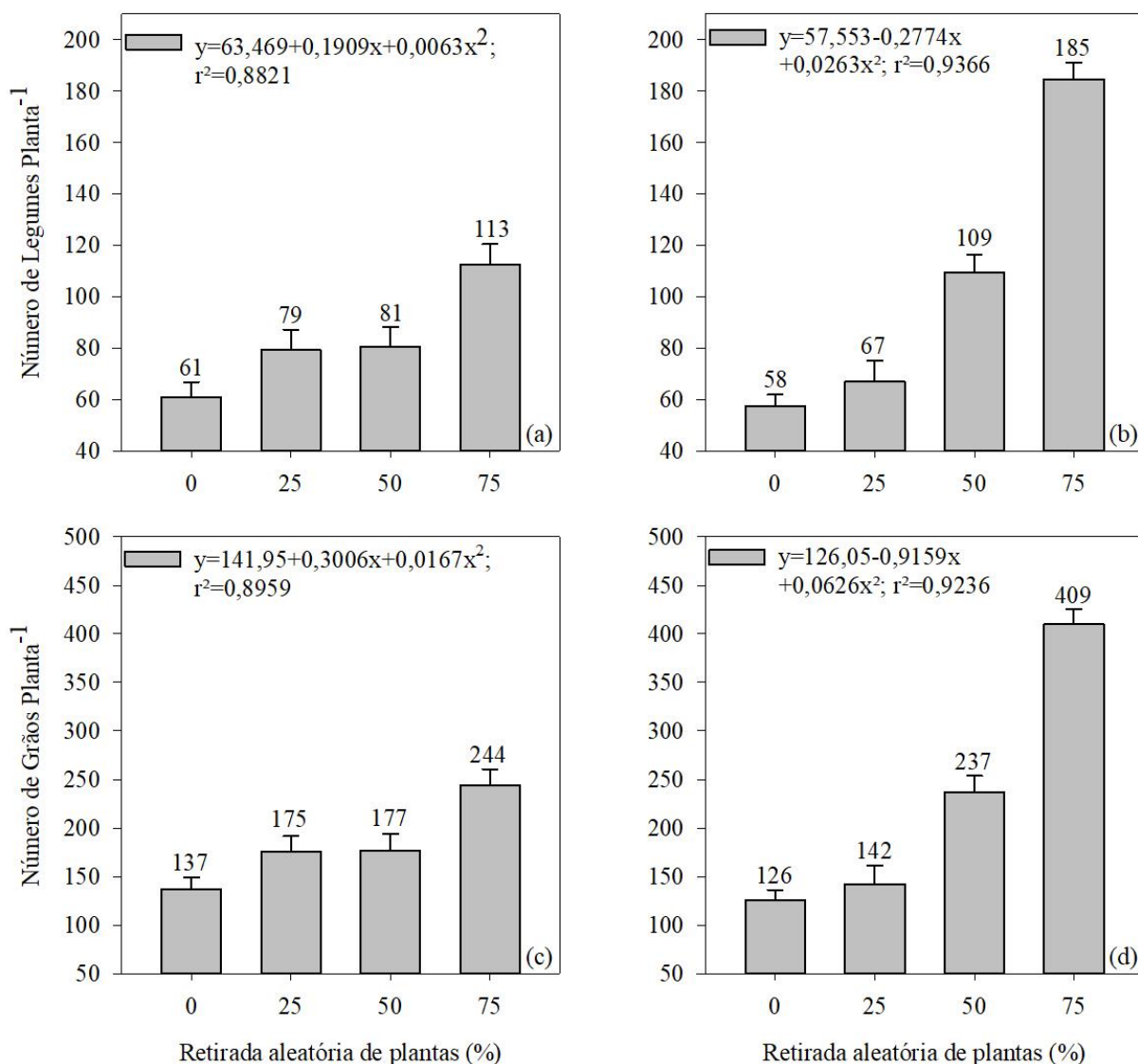


Figura 3 - Número de legumes e de grãos planta⁻¹ de acordo com o percentual de retirada aleatória de plantas. As figuras (a) e (c) correspondem a safra 2014/2015 e (b) e (d) a safra 2015/2016.

*medias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

Os resultados da Figura 3 são similares ao observado por Agudamu e Shiraiwab (2016). Estes autores investigaram o potencial de emissão de ramos laterais pela soja, atribuindo a diferença ao tipo de crescimento. Nas condições de cultivo do Japão, os autores observaram que cultivares de tipo indeterminado possuem maior potencial de engalhamento e, conseqüentemente, maior compensação da produtividade de grãos. Até uma diminuição de 25% na população de plantas Agudamu e Shiraiwab (2016) não observaram diferença entre os tipos de crescimento. A partir do nível de 25% as cultivares indeterminadas apresentaram maior capacidade de

compensação. Isso demonstra que cultivares determinadas são mais responsivas a população de plantas que as indeterminadas.

Porém, no presente estudo ambas apresentaram semelhante capacidade compensatória. Essa diferença aconteceu, possivelmente, em virtude de Agudamu e Shiraiwab (2016) terem usado a mesma população de plantas para ambas as cultivares. No presente estudo, partiu-se do princípio de que a população ideal difere com o tipo de crescimento. Em ambos os tipos de crescimento a compensação se dá em virtude de que a diminuição na população aumenta a disponibilidade de recursos por unidade de planta. Quando o aumento na disponibilidade de radiação solar é percebido pelo meristema apical, o qual possui dominância sobre as gemas axilares, ocorre aumento na emissão de ramos provindos da gema axilar (EGLI, 2013; SUHRE et al., 2014; TOYOTA et al., 2017). Com o aumento do número de ramos, pode ocorrer aumento no número de racemos, que darão origem a flores e conseqüentemente legumes e grãos.

Quanto à interação entre cultivares e retirada de plantas sobre altura da planta, ambas ajustaram-se a um modelo quadrático na safra 2014/2015 (Figura 4). Em 2015/2016 FPS Urano RR ajustou-se a um modelo linear de diminuição de altura e BMX Tornado RR manteve-se no modelo quadrático. A diminuição da altura é uma resposta da planta ao nível de competição estabelecida dentro da comunidade vegetal. Na medida em que se aumenta o percentual de retirada de plantas, a competição por elementos do meio como radiação solar, água e nutrientes, é menor (EGLI, 1994; COX et al., 2010). A baixa competição intraespecífica diminui, por parte da planta, a necessidade de crescimento em altura, para incrementar a interceptação de radiação (LEE, 2006; COX; CHERNEY, 2011; TOYOTA et al., 2017). Com isso, maior parte da produção de fotoassimilados pode ser revertida para aumento da área foliar, biomassa, número de nós e de ramos laterais (COX et al., 2010; AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016), por unidade de planta.

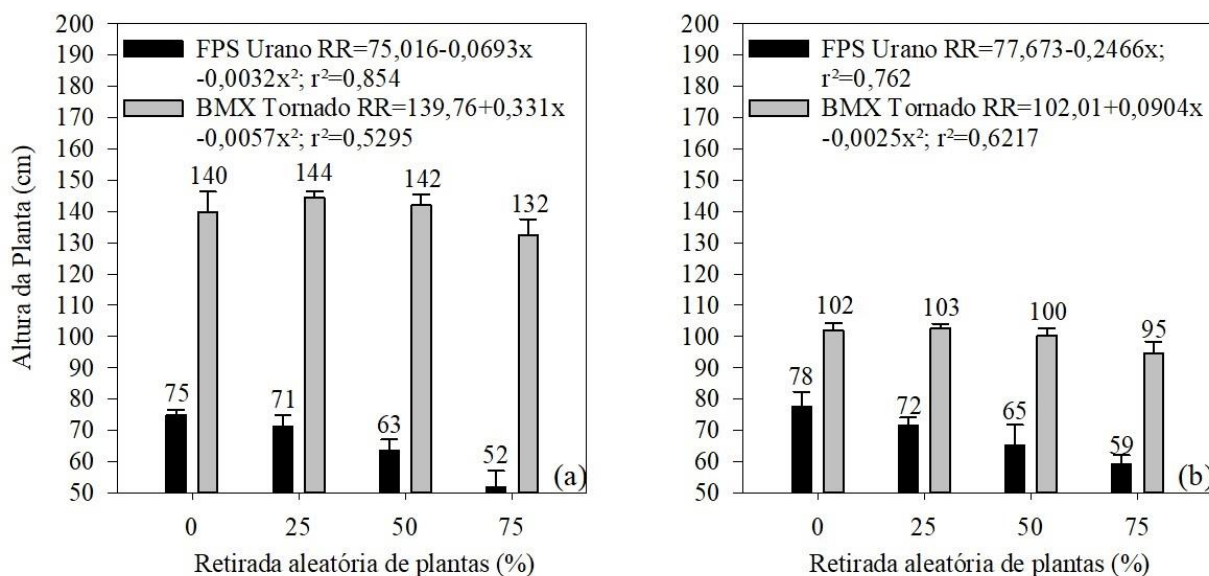


Figura 4 - Altura da planta de soja de acordo com a interação entre os fatores cultivar e percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016(b).

*medias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Letras maiúsculas diferenciam médias das cultivares e minúsculas dos percentuais de morte.

A capacidade de compensação da soja também está ligada ao índice de área foliar (IAF). Na população recomendada o IAF pode estar acima de valores críticos, diminuindo a interceptação de radiação pelas folhas da porção basal (SINGER et al., 2011; EGLI, 2013). Em populações menores o IAF tende a ser menor. Entretanto, as folhas basais recebem radiação em maior quantidade relativa, resultando em maior eficiência na produção de biomassa, aumentando a capacidade de compensação (COX et al., 2010). O observado na Figura 5, para a altura de inserção do primeiro legume, corrobora com essa teoria. À medida que a retirada de plantas foi maior, menor foi a altura de inserção do primeiro legume. Isso porque, quando da retirada de plantas, a radiação solar é melhor distribuída ao longo do dossel, permitindo que folhas da porção basal recebessem maior intensidade luminosa ao longo do ciclo. Essa maior interceptação de radiação permite que as folhas do baixeiro tenham maior capacidade de produzir fotoassimilados para a sustentação de estruturas reprodutivas (TOYOTA et al., 2017).

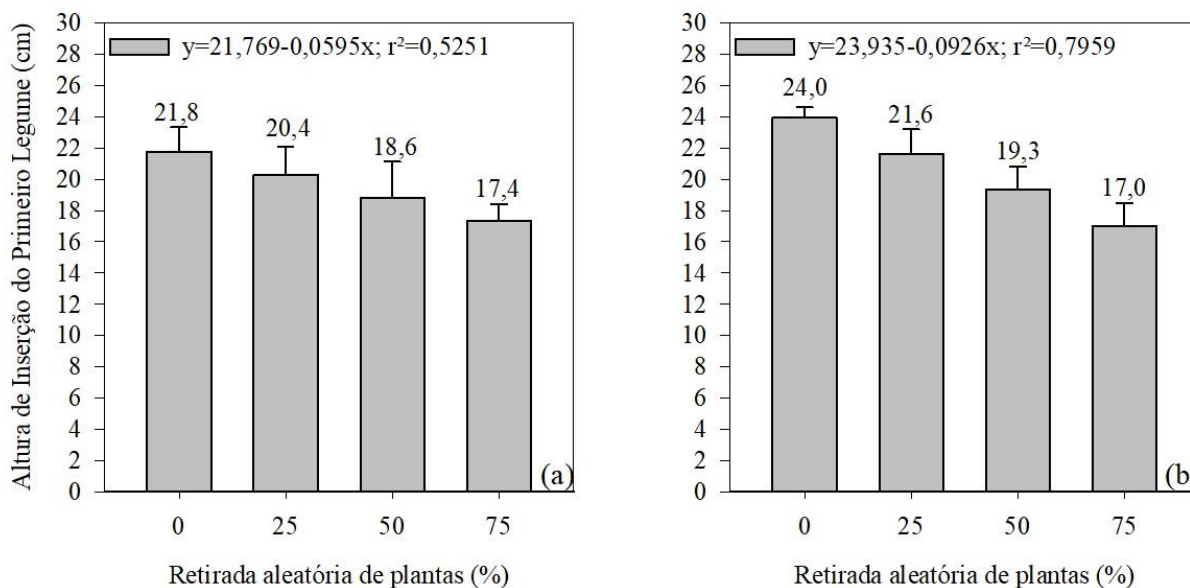


Figura 5 - Altura de inserção do primeiro legume de acordo com o percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016 (b).

*medias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

A melhoria na interceptação e distribuição da radiação é um fator importante no processo de compensação, pois contribui para que seja alcançado, por unidade de planta, desempenho mais próximo do potencial teórico/genético (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016). A planta quando submetida a menor competição intraespecífica investe menos no crescimento em altura (Figura 4). Com isso pode disponibilizar maior quantidade de fotoassimilados para a formação e manutenção de componentes que sustentam a produtividade, mesmo em porções basais (Figura 5), comumente menos produtivas.

A massa de grãos foi o componente da produtividade a apresentar resultados mais discrepantes em relação aos percentuais de retirada de plantas (Figura 6). A começar pelas cultivares, em 2014/2015 a média de FPS Urano RR foi maior que a de BMX Tornado RR, enquanto que 2015/2016 os resultados se inverteram. Quanto aos modelos de regressão, esses foram diferentes em ambos os anos, para ambas as cultivares. Em 2014/2015, BMX Tornado RR não se ajustou a nenhum modelo e em 2015/2016 a um modelo linear de perda de massa. FPS Urano RR ajustou-se a um modelo cúbico e quadrático, na primeira e segunda safra, respectivamente. Comumente a massa de grãos é um componente que varia pouco, sendo mais influenciado pelas condições a que o subperíodo de enchimento de grãos é submetido (EGLI,

2005). Com isso o seu impacto na produtividade de grãos, em anos com menor disponibilidade hídrica e de radiação solar satisfatória, é maior.

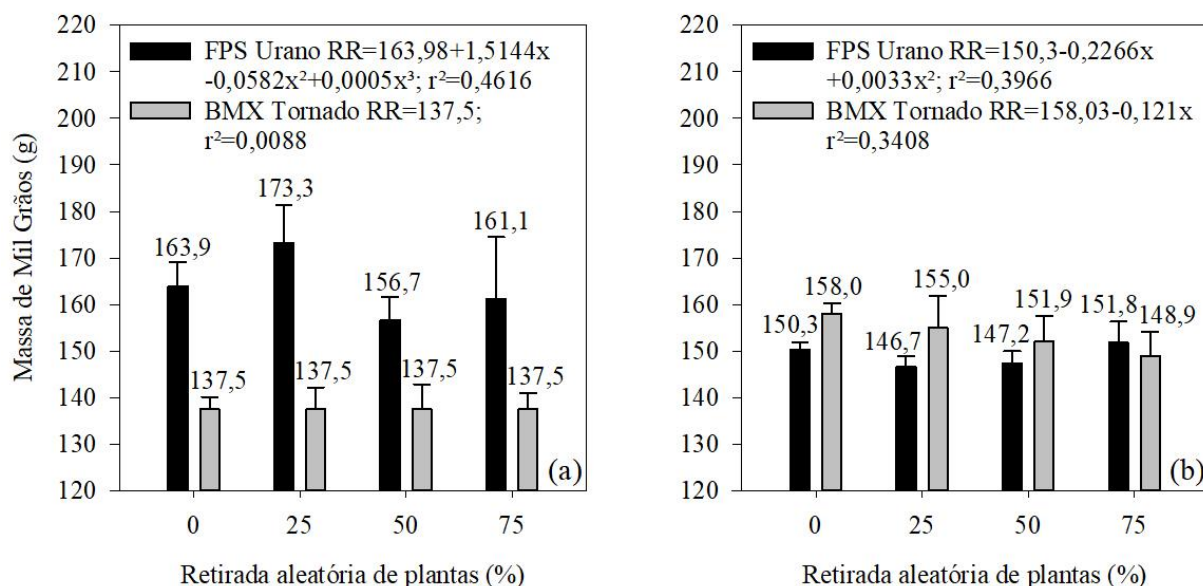


Figura 6 - Massa de mil grãos de soja de acordo com a interação entre os fatores cultivar e percentual de retirada aleatória de plantas, nas safras 2014/2015 (a) e 2015/2016 (b).

*letras maiúsculas diferenciam médias das cultivares e minúsculas dos percentuais de morte pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

Quando a planta encontra-se em satisfatória condição de produção de fotoassimilados, ela busca o alcance de certo limite de massa de grãos. Acima deste, a planta redistribui os carboidratos produzidos para a produção e manutenção de novas estruturas reprodutivas (ZHANG et al., 2016), não em aumento da massa (LIU et al., 2010). Advém disso, o fato do número de legumes e de grãos por planta ter um melhor ajuste aos percentuais de retirada de plantas do que a massa de grãos. Quando o ambiente proporciona condição favorável, à medida que se aumenta a perda de plantas, maior parte da produção de fotoassimilados é investida no aumento desses componentes (ZHANG et al., 2016).

As cultivares não se diferenciaram quanto à produtividade de grãos. BMX Tornado RR necessita de um número menor de plantas para alcançar semelhante resultado de produtividade, pois apresenta maior número de legumes e de grãos planta⁻¹ (Tabela 2) (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016).

Tabela 2 - Teste de comparação de médias do efeito principal dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras para as variáveis altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro legume (AIPL), número de legumes por planta (LP), número de grãos por planta (GP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG).

Fonte de Variação	AP**	AIPL	LP	GP	MMG	PG
-----2014/2015-----						
FPS Urano RR	65 b	13 b	79 b	160 b	170 a	3682
BMX Tornado RR	140 a	26 a	90 a	219 a	137 b	3673
Convencional	102	20	80 b	177 b	156 a	3630
Reduzido	102	19	89 a	202 a	151 b	3726
CV (%)	6,74	20,51	20,03	20,15	5,92	13,03
Média	102,58	19,53	84,50	189,72	153,54	3677,74
-----2015/2016-----						
FPS Urano RR	68 b	19 b	99	209 b	149 b	4435
BMX Tornado RR	99 a	21 a	110	248 a	153 a	4354
Convencional	83	20	102	224	150 b	4282 b
Reduzido	85	21	107	233	153 a	4507 a
CV (%)	5,19	14,45	23,23	25,17	3,08	9,27
Média	84,15	20,46	104,62	228,72	151,21	4394,67

*médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

**AP= altura da planta; AIPL= altura de inserção do primeiro legume; LP= número de legumes planta⁻¹; GP= número de grãos planta⁻¹; MMG= massa de mil grãos (g); PG= produtividade de grãos (kg ha⁻¹).

Quanto a espaçamento entre fileiras, ambos apresentaram semelhança na primeira safra, sendo o espaçamento reduzido superior estatisticamente ao convencional na segunda safra. Quanto a utilização desses espaçamentos, os resultados observados são similares aos presentes na literatura, onde o uso de espaçamento reduzido aumenta produtividade de grãos em alguns casos e em outros não (LEE, 2006). A maior produtividade de grãos em espaçamento estreitos se deve a melhoria no aproveitamento de recursos como radiação solar (EGLI, 1994; LEE, 2006; DE BRUIN; PEDERSEN, 2008a; WALKER et al., 2010; COX; CHERNEY, 2011; JACCOUD-FILHO et al., 2016).

Por estar relacionado aos valores de produtividade de grãos, o prejuízo econômico e o nível de retirada de plantas a compensar uma nova operação de semeadura foi diferente nos dois anos. Na safra 2014/2015 quando 18,107% de retirada de plantas é iniciado o declínio na curva de regressão (Figura 2). Quando o declínio alcança 36,2% de retirada de plantas é alcançado o mesmo valor médio de produtividade que 0% (ausência de prejuízo econômico). Com isso, a partir de 37% de morte de plantas é que foi possível observar decréscimos produtivos e, consequentemente, no rendimento econômico, em relação ao tratamento com 0% de retirada de plantas (Figura 7).

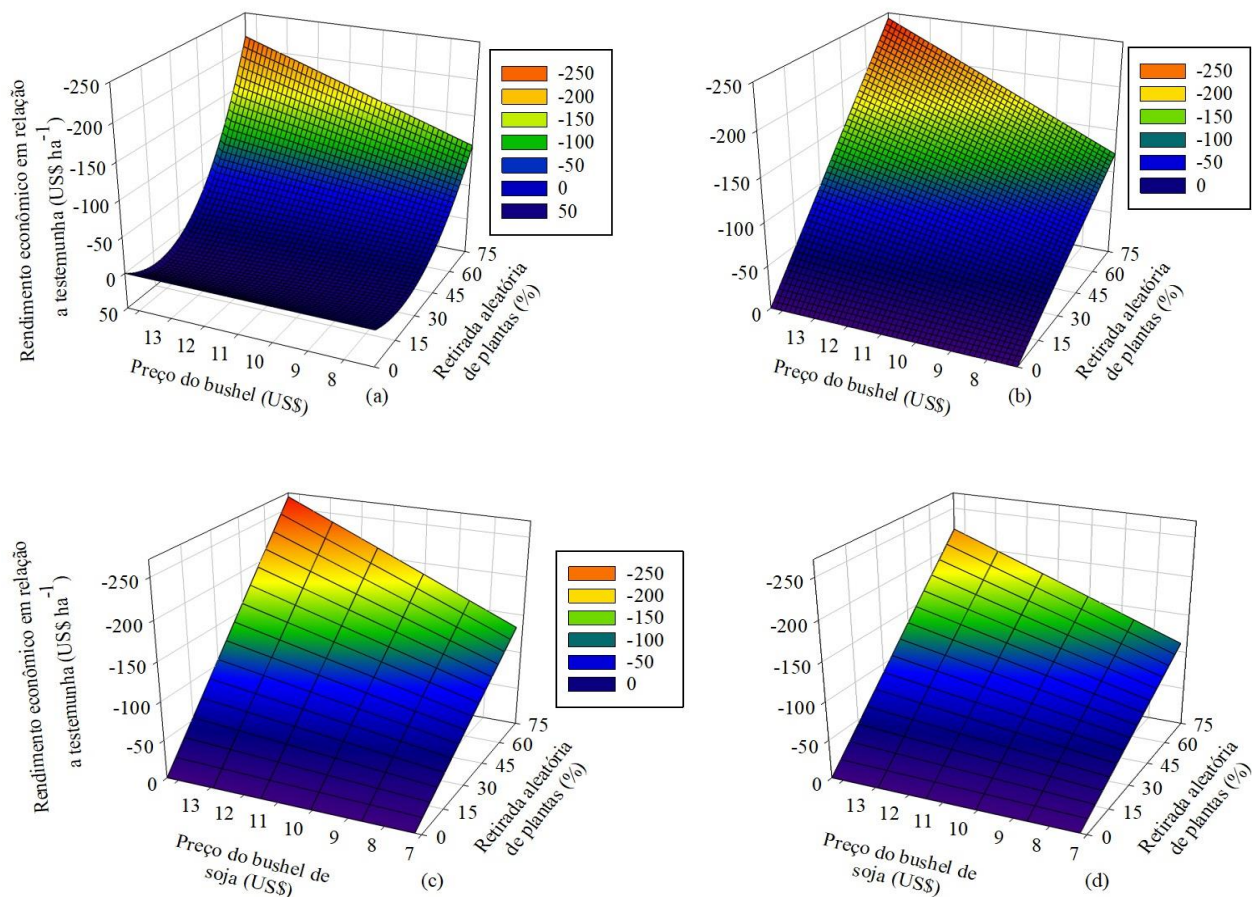


Figura 7 - Superfície de resposta referente ao rendimento econômico em relação a testemunha (US\$) com o cultivo de soja, em razão do preço pago pelo bushel de soja (US\$) e retirada aleatória de plantas (%), na safra 2014/2015 (a), na safra 2015/2016 (b) e nos espaçamentos convencional (c) e reduzido (d) na safra 2015/2016. a: $z = (((3794,5 + 5,09089x - 0,1408x^2)/27,2155) * y) - ((3794,5/27,2155) * y)$, $r^2 = 0,6497$; b: $z = (((4625 + 6,1505x)/27,2155) * y) - ((4625/27,2155) * y)$, $r^2 = 0,5173$; c: $y = (((4533,3 - 6,6942x)/27,2155) * y) - ((4533,3/21,2755) * y)$, $r^2 = 0,4084$; d: $z = (((4717,3 - 5,606x)/27,2155) * y) - ((4717,3/27,2155) * y)$, $r^2 = 0,3956$.

A partir de 37% de perda de plantas foi observado prejuízo médio de 10,53 kg de soja ha⁻¹, para cada 1% a mais de retirada de plantas. Com isso, para que uma nova semeadura fosse economicamente viável deveria ocorrer 74,47% de retirada de plantas, com o bushel de soja custando US\$ 12,87 (Figura 7a). À medida que o preço pago é maior, menor é o percentual de retirada de plantas a atingir o prejuízo equivalente ao custo pré-estabelecido para ressemeadura. Por exemplo, com o bushel de soja custando US\$ 14,37 o nível de retirada de plantas necessário

seria de 71,75%. Na safra 2015/2016, observou-se um comportamento diferente, haja visto que cada 1% de retirada de plantas equivale à perda de 6,15 kg de soja ha⁻¹ (Figura 2). Para que uma nova semeadura fosse recomendada, 75,00% das plantas deveriam ser perdidas, com o bushel de soja valendo US\$ 11,51. Com bushel valendo US\$ 12,93 ou mesmo US\$ 14,37 o percentual de perda de plantas deveria ser da ordem de 66,79 e 60,11%, respectivamente (Figura 7b).

Ainda na safra 2015/2016 observou-se efeito principal de espaçamento entre fileiras sobre a produtividade de grãos (Tabela 1). O espaçamento reduzido foi mais produtivo e tolerou melhor a perda de plantas que o convencional. No espaçamento convencional o prejuízo econômico referente ao custo de uma nova semeadura é atingido com 75% de retirada de plantas, com o bushel custando US\$ 10,50. Já no espaçamento reduzido é preciso que o bushel esteja custando US\$ 12,53 para atingir o ponto de ressemeadura, com o mesmo percentual de retirada de plantas. Caso o bushel esteja valendo US\$ 11,50, a ressemeadura no espaçamento convencional atinge o prejuízo igual ao custo de ressemeadura com 68,52% de retirada de plantas, enquanto que no reduzido nenhum valor de retirada de plantas alcança tal valor. Quanto ao custo da operação de semeadura entre os espaçamentos, este possivelmente será diferente, haja visto que o número de fileiras é maior no espaçamento reduzido. Porém, não existem conclusões científicas comparando o custo de semeadura em espaçamentos de 45 e 22,5 centímetros entre fileiras. Para efeito de comparação foram usados os mesmos valores para ambos.

Os resultados obtidos permitem afirmar que ressemeiar a cultura da soja é uma prática que poderá ser recomendada somente em situações muito extremas de perda de plantas, assim como o constatado na cultura do trigo (MARTIN et al., 2016). Isso porque, assim como para produtividade de grãos, o nível de perda de plantas deve ser muito elevado para atingir prejuízo econômico condizente com o custo para ressemeiar a lavoura. Para tanto, o preço pago pelo saco/bushel de soja deve ser também elevado ou o custo da operação de ressemeadura deve ser menor que o definido neste trabalho. Há que se considerar ainda que ao ressemeiar a lavoura o novo cultivo estará posicionado em época atrasada e conseqüentemente perderá em potencial produtivo (ZANON et al., 2016).

Portanto, para tomada de decisão, é necessário considerar que o potencial produtivo será menor. Assim, o nível de perda de plantas que justifica uma nova semeadura passa a ser teórico, pois considera uma situação totalmente otimizada e que não, necessariamente, acontece em nível comercial. A que se alcançarem níveis de perda de plantas acima dos estimados, para que no

momento da colheita o prejuízo seja zerado ou mesmo possa haver lucro. Também é necessário considerar o custo ambiental que uma nova operação de semeadura acarretaria, haja visto o revolvimento de solo e o consumo de combustível fóssil, o que não contribui para uma agricultura sustentável e eficiente (SENTELHAS et al., 2015).

A semeadura é um momento importante na obtenção de elevada produtividade e rendimento econômico (COX; CHERNEY, 2011). Tem importância na obtenção do primeiro componente da produtividade, o número de plantas por área (COX et al., 2010). Portanto, deve ser realizada com o objetivo de ser finalizada em tempo condizente com a melhor época de semeadura para cada região (DE BRUIN; PEDERSEN, 2008b). Embora a soja apresente elevada capacidade de compensação (EGLI, 2013; SUHRE et al., 2014; AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016; TOYOTA et al., 2017), a semeadura deve ter também o objetivo de ser realizada sem erros que venham causar decréscimos na população desejada. Isso porque ela poderá ser realizada uma única vez, pois dificilmente a realização de uma nova semeadura amenizará economicamente o prejuízo econômico gerado pelas falhas cometidas na primeira.

CONCLUSÃO

A redução percentual da produtividade de grãos é menos intensa que a redução percentual no estande de plantas.

A relação retirada aleatória de plantas/redução da produtividade de grãos é da ordem de 10/1,75.

O valor mínimo do bushel de soja para equilibrar o prejuízo econômico com o custo para ressemeadura é de US\$ 10,50, que equivale ao valor de R\$ 73,09 saca^{-1} de 60 kg de soja. Abaixo desse valor a realização de uma nova semeadura aumentará o prejuízo econômico e não o lucro.

A utilização de espaçamento reduzido entre fileiras (22,5 cm) pode amenizar o prejuízo econômico referente ao risco de redução do estande de plantas.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativo, 2016. 456 p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p.711-728, 2013.

AGUDAMU, T. Y.; SHIRAIWB, T. Branch development responses to planting density and yield stability in soybean cultivars. **Plant Production Science**, v. 19, n. 3, p. 331–339, 2016.

ANDRADE, F. H.; ABBATE, P. E. Response of Maize and Soybean to Variability in Stand Uniformity. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 1263-1269, 2005.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBEIRO, N. D. Medidas da precisão experimental em ensaios com genótipos de feijão e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1225-1231, 2009.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H.; SHIELDS, E. Soybeans Compensate at Low Seeding Rates but not at High Thinning Rates. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 4, p. 1238-1243, 2010.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H. Growth and Yield Responses of Soybean to Row Spacing and Seeding Rate. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

COULTER, J. A.; SHEAFFER, C. C.; HAAR, M. J.; WYSE, D. L.; ORF, J. H. Soybean Cultivar Response to Planting Date and Seeding Rate under Organic Management. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 4, p. 1223-1229, 2011.

DE BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Effect of Row Spacing and Seeding Rate on Soybean Yield. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 704-710, 2008a.

DE BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Soybean Seed Yield Response to Planting Date and Seeding Rate in the Upper Midwest. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 696-703, 2008b.

DOGAN, E.; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Fields Crop Research**, v. 103, n. 2, p. 154-159, 2007.

EGLI, D. B. Plant density and soybean yield. **Crop Science**, v. 28, p. 977–981, 1988.

EGLI, D. B. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 1046-1049, 1994.

EGLI, B. Plastochron and final node number of soybean cultivars as a function of sowing date. **Crop Science**, v. 53, p. 1668-1676, 2013.

EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M.; HEITHOLT, J. J.; RUPE, J. Air Temperature During Seed Filling and Soybean Seed Germination and Vigor. **Crop Science**, v. 45, p. 1329–1335, 2005.

EGLI, D. B.; BRUENING, W. P. Temporal patterns of pod production and pod set in soybean. **European Journal of Agronomy**, v. 24, p. 11–18, 2006.

EMBRAPA. **Indicações técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. Pelotas, Embrapa, 2014. 124 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília, DF. Embrapa, 353p, 2013.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GESCH, R.W.; ARCHER, D.W.; SPOKAS, K. Can using polymer-coated seed reduce the risk of poor soybean emergence in no-tillage soil? **Field Crops Research**, v. 125, p. 109-116, 2012.

HELMS, T. C.; DECKARD, E. L.; GOOS, R. J.; ENZ, J. W. Soil Moisture, Temperature, and Drying Influence on Soybean Emergence. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 662-667, 1996.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, v. 38, p. 43-58, 2009.

HORBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; REIMCHE, G B.; SCHWALBERT, R. A.; SANTI, A. L.; NIENOW, C. Optimization of Within-Row Plant Spacing Increases Nutritional Status and Corn Yield: A Comparative Study. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 5, p. 1962–1971, 2016.

HYATT, J.; WENDROTH, O.; EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M. Soil compaction and soybean seedling emergence. **Crop Science**, v. 47, p. 2495-2503, 2007.

JACCOUD-FILHO, D. A.; SARTORI, F. F.; MANOSSO-NETO, M.; VRISMAN, C. M.; PIERRE, M. L. C.; BERGER-NETO, A.; TÚLLIO, H. E.; JUSTINO, A.; FONSECA, A. F.; ZANON, S. Influence of row spacing and plant population density on management of "white mould" in soybean in southern Brazil. **Australian Journal of Crops Science**, v. 10, n. 2, p.161-168, 2016.

JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P. S. M.; ROCIL, J.; GARCIA, L. C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 102-110, 2011.

JIA, H.; WANG, W.; LUO, X.; ZHENG, J.; GUO, M.; ZHUANG, J. Effects of profiling elastic press roller on seedbed properties and soybean emergence under double row ridge cultivation. **Soil & Tillage Research**, v. 162, p. 34-40, 2016.

LEE, C. D. Reducing Row Widths to Increase Yield: Why It Does Not Always Work. **Agronomy Journal**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2006.

LEE, C. D.; EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M. Soybean Response to Plant Population at Early and Late Planting Dates in the Mid-South. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 971-976, 2008.

LIU, B.; LIU, X. B.; WANG, C.; LI, Y. S.; JIN, J.; HERBERT, S. J. Soybean yield and yield component distribution across the main axis in response to light enrichment and shading under different densities. **Plant, Soil and Environment**, v. 56, n. 8, p. 384–392, 2010.

MARTIN, T. N.; STORCK, L. Análise das pressuposições do modelo matemático em experimentos agrícolas no delineamento blocos ao acaso. In: Thomas Newton Martin, Magnos Fernando Ziech. (Org.). **II Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária**. 1ed. Curitiba: UTFPR, 2008, p. 177-196.

MARTIN, T. N.; FROS, L. A. S.; NUNES, U. R.; MARCHESAN, E.; STECCA, J. D. L.; CUNHA, V. S. Economic recommendations for reseeded wheat crops. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 3, p. 345-353, 2016.

MONTAGNER, D.; LOVATO, C.; GARCIA, D. C. Perdas aleatórias na população inicial e sua relação com o rendimento de grãos em sorgo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 3, p. 281-285, 2004.

PARCIANELLO, G.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; RAMBO, L.; SAGGIN, K. Tolerância da soja ao desfolhamento afetada pela redução do espaçamento entre fileiras. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 357-364, 2004.

REZNIKOV, S.; VELLICCE, G. R.; GONZÁLEZ, V.; LISI, V.; CASTAGNARO, A. P.; PLOPER, L. D. Evaluation of chemical and biological seed treatments to control charcoal rot of soybean. **Journal of General Plant Pathology**, v. 82, n. 5, p. 273-280, 2016.

SALMERON, M.; GBUR, E.; BOURLAND, F. M.; BUEHRING, N. W.; EARNEST, L.; FELIX, B. F.; GOLDEN, B.; HATHCOAT, D.; LOFTON, J.; MCCLURE, A. T.; MILLER, T. D.; NEELY, C.; SHANNON, G.; UDEIGWE, T. K.; VERBREE, D. A.; VORIES, E. D.; WIEBOLD, W. J.; PURCELL, L. C. Yield response to planting date among soybean maturity groups for irrigated production in the US Midsouth. **Crop science**, v. 56, p. 747-759, 2016.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, 1394-1411, 2015.

SILVA, F. H.; CUNHA P. C. R.; ALMEIDA, A. C. S.; ARAÚJO, L. S.; JAKELAITIS, A.; SILVEIRA, P. M. Production components of corn as function of seed distribution along the planting row. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1172–1177, 2015.

SINGER, J. W.; MEEK, D. W.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H.; HATFIELD, J. L. Variability of light interception and radiation use efficiency in maize and soybean. **Fields Crops Research**, v. 121, n. 1, p. 147–152, 2011.

SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; ROWNTREE, S. C.; WILSON, E. W.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P.; CASTEEL, S. N.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D.; SPECHT, J. E.;

DAVIS, V. M. Soybean Yield Partitioning Changes Revealed by Genetic Gain and Seeding Rate Interactions. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1631-1642, 2014.

TOYOTA, M.; MAITREE, L.; CHOMSANG, K. Changes in radiation interception and R:FR over time and with canopy depth of two soybean cultivars with different branching characteristics. **Plant Production Science**, v. 20, n. 2, p. 205–214, 2017.

USDA – United States Department of Agriculture. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2. ed. Washington DC: Ed. 436, 2014. 886 p.

WALKER, E. R.; MENGISTU, A.; BELLALLOUI, N.; KOGER, C. H.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A. Plant population and row-spacing effects on maturity group III soybean. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 821-826, 2010.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1447-1454, 2016.

ZHANG, X.; WANG, M.; WU, T.; WU, C.; JIANG, B.; GUO, C.; HAN, T. Physiological and molecular studies of staygreen caused by pod removal and seed injury in soybean. **The Crop Journal**, v. 4, p.435-443, 2016.

CAPÍTULO III: COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA EM ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS NA CULTURA DA SOJA

RESUMO: Como forma de diminuir a competição intraespecífica e aumentar a produtividade de grãos de soja, pode-se modificar o espaçamento entre fileiras, alterando o formato da área disponível para cada planta. Este experimento objetivou avaliar a influência de espaçamentos entre fileiras sobre características morfológicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos da soja. Os experimentos foram implantados em duas época de semeadura (novembro e dezembro) e em dois anos agrícolas (2014/2015 e 2015/2016), com as cultivares FPS Urano RR (determinada) e BMX Tornado RR (indeterminada). Os espaçamentos entre fileiras utilizados foram de: 45 (convencional), 45x45 (cruzado), 22,5x45 (pareado) e 22,5 (reduzido) centímetros. As avaliações realizadas durante a condução do experimento foram: percentual de cobertura do solo pelo dossel; índice de área foliar e interceptação de luz pelo dossel em R2 e R5; componentes da produtividade e produtividade de grãos. As principais diferenças entre os espaçamentos sobre a morfologia da soja se deram na cobertura do solo, onde espaçamento reduzido proporcionou cobertura mais precoce. Assim como a cobertura, o espaçamento reduzido proporcionou maior interceptação de luz nos estádios R2 e R5. Porém, o efeito da maior interceptação sobre a produtividade de grãos foi observado somente na semeadura de dezembro, onde houve diferença significativa para produtividade. Quando a semeadura da soja acontece no mês de novembro, a modificação do espaçamento não proporciona aumentos de produtividade. Esses resultados sugerem que o espaçamento convencional deve continuar ser utilizado, em virtude da facilidade de implantação e apresentar resultado inferior somente em semeadura na segunda quinzena de dezembro. A redução de espaçamento pode ser utilizada em semeaduras (tardias), a depender da sua possibilidade de implantação em escala comercial.

PALAVRAS-CHAVE: Competição intraespecífica, Produtividade de grãos, *Glycine max*.

INTRASPECIFIC COMPETITION OF ROW SPACINGS IN SOYBEAN

ABSTRACT: As a way of reducing intraspecific competition and increasing soybean yield, row spacing can be modified by changing the area available for each plant. The objective of this study was to evaluate the influence of different row spacings on morphological variables and soybean grain yield. The experiments were carried out in two sowing dates (November and December)

and two agricultural years (2014/2015 and 2015/2016), with the cultivars FPS Urano RR (determined) and BMX Tornado RR (indeterminate). The row spacings used were: 45 (Conventional), 45x45 (Cross), 22.5x45 (Twin) and 22.5 (Narrow) centimeters. The evaluations took during the experiments were: percentage of soil coverage by the canopy; leaf area index and canopy light interception in R2 and R5; yield components and grain yield. The main differences among rows spacing on soybean morphology were in soil coverage, where narrow row provided earlier shading. Like coverage, narrow row provided greater light interception at the R2 and R5 stages. However, the effect of higher interception on grain yield was observed only at December planting date, where there was a significant difference in grain yield. When we seed soybean within the of November, the row spacing modification doesn't reach grain yield increases. These results suggest that the conventional row spacing remains the most indicated, and the narrow row can be used in late planting dates, depending on its possibility of introduction in field scale.

KEY-WORDS: Intraspecific competition; Grain Yield; *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

Existe a necessidade de aumento da produção de alimentos de forma sustentável, bem como da eficiência dos insumos, sem ampliação as áreas de cultivo. Para tanto, o manejo cultural é importante e pode proporcionar melhor ambiente de desenvolvimento para a planta. Atualmente a média produtiva da soja no Brasil é 42% inferior ao seu potencial, sendo 29% devido a restrição hídrica e 13% ao manejo (SENTELHAS et al., 2015). Como mitigadores da perda de potencial tem-se a irrigação, cultivares com tolerância a déficit hídrico e ajustes quanto a época de semeadura, manejo do solo e distribuição de plantas (EGLI; HATFIELD, 2014; SENTELHAS et al., 2015).

As cultivares de soja utilizadas atualmente em comparação aquelas em uso por volta do final dos anos 90 e início dos anos 2000, evoluíram tanto genética como morfológicamente (SUHRE et al., 2014). Aquelas cultivares, as quais se pode chamar de antigas, possuíam morfologia diferente, que permitia maior sensibilidade a modificação no arranjo de plantas (EGLI, 1994; PIRES et al., 1998). A modificação no espaçamento entre fileiras é uma prática que pode contribuir para o aumento da produtividade de grãos. Por meio da alteração do espaçamento entre fileiras o formato da área disponível para cada planta é alterado, aumentando ou diminuindo a competição intraespecífica da soja (EGLI, 1994). Tal modificação deve adequar as

necessidades da cultura as condições do ambiente de cultivo. A ampliação da interceptação da radiação, por meio da melhor ocupação do espaço e expansão dos ramos, aumentam o potencial produtivo da soja (EGLI, 1994; LEE, 2006; COX; CHERNEY, 2011; YOICHI et al., 2014). Essa ampliação pode ser alcançada pela distribuição equidistante (BOARD; HARVILLE, 1992).

Nesse caso o espaçamento entre fileiras é semelhante ao espaçamento entre plantas dentro da fileira, sem aumento na população de plantas, minimizando a competição intraespecífica (EGLI, 1994; ZHOU et al., 2011; YOICHI et al., 2014). Tal minimização pode ser obtida por meio da redução no espaçamento entre fileiras, estabelecendo adequada interceptação de radiação em todos os estratos da planta (EGLI, 1994). Dessa forma, haverá redução no abortamento precoce de folhas nas porções basais da planta, em virtude do déficit de radiação fotossinteticamente ativa interceptado (BOARD; HARVILLE, 1992). Também, o número de plantas dentro da fileira é menor no espaçamento reduzido, o que deve contribuir para a melhor distribuição das raízes no solo e aproveitamento de recursos como água e nutrientes (CHEN et al., 2010). Por isso a redução de espaçamento tem elevado a produtividade de grãos da soja (EGLI, 1994; PIRES et al., 1998; RAMBO et al. 2004; LEE, 2006; DE BRUIN; PEDERSEN, 2008; WALKER et al., 2010; COX; CHERNEY, 2011; YOICHI et al., 2014; JACCOUD-FILHO et al., 2016).

Porém, modificações quanto a distribuição de plantas podem ter efeito negativo em aspectos como severidade de doenças. JACCOUD-FILHO et al. (2016) observaram que espaçamento de 35 centímetros entre fileiras aumenta a severidade de mofo branco no Paraná-BR, em relação a espaçamento de 75. Isso porque a distribuição de ramos e ocupação do espaço pela soja é diferenciada entre os espaçamentos, fazendo com que a umidade na superfície do solo seja maior. Ainda assim, o espaçamento de 35 centímetros apresentou maior produtividade de grãos. No trabalho de JACCOUD-FILHO et al. (2016) as condições climáticas não favoreceram a severidade de modo a reduzir a produtividade no espaçamento mais reduzido, assim como observado por LEE et al. (2005), em Michigan-EUA. Porém, se a redução de espaçamento ampliar o problema com o manejo de doenças, deve-se optar por espaçamento mais largos, de modo a mitigar o mesmo (LEE et al., 2005; HU; WIATRAK, 2012; JACCOUD-FILHO et al., 2016).

Com isso, a escolha do espaçamento deve ser feita de modo a adequar o cultivo a determinada condição, podendo variar entre regiões ou mesmo épocas de semeadura (LEE,

2006). No Brasil o espaçamento convencionalmente utilizado para soja é em média 45 centímetros, variando de 30 a 75 (JACCOUD-FILHO et al., 2016). Em países como Estados Unidos, China e Argentina o espaçamento entre fileiras também varia. Em sistemas norte-americanos de produção irrigados por superfície o espaçamento comumente utilizado é de 76 centímetros (LEE, 2006). Ainda nos Estados Unidos, quando a semeadura é realizada no início da época recomendada o espaçamento comumente utilizado é em média de 40-50 centímetros. Já em países como China e Argentina, o espaçamento varia em cerca de 40-50 centímetros (ZHOU et al, 2011; SANTACHIARA et al., 2017), tendo pouca variação para mais ou para menos.

Além da redução de espaçamento, é possível utilizar outras formas de distribuição espacial de plantas, como a semeadura em fileiras cruzadas ou pareadas. No espaçamento cruzado, a semeadura é realizada em dois momentos, sendo uma transversal ou perpendicular a outra. No Brasil, o sistema ficou conhecido por ter sido utilizado pelo campeão do desafio nacional de produtividade na safra 2010/2011 (PERES, 2011). Os relatos científicos existentes até o momento mostram que o sistema apresenta vantagens como fechamento precoce das entre fileiras e mesma quantidade de fungicidas depositados no terço inferior do dossel, que os demais espaçamentos (HOLTZ et al., 2014).

Porém, a necessidade de realizar a semeadura em dois momentos, onera custos com combustível e maquinaria, podendo inviabilizar seu uso (SILVA et al., 2015). No espaçamento em fileiras pareadas ou duplas tem-se um par/dupla de fileiras espaçadas cerca de 20-25 centímetros, espaçadas 40-50 centímetros da próxima dupla de fileiras. Com essa configuração busca-se aumentar a produtividade pelo efeito de borda, que pode aumentar a interceptação de radiação e o movimento de correntes de ar pelo aumento no espaçamento entre os pares de fileiras (MAEHLER et al., 2003; EGLI; BRUENING, 2005; SAUER et al., 2007; YOICHI et al., 2014). Nesse espaçamento o amassamento das plantas, em processos como a pulverização, pode ser diminuído. No Brasil, a utilização desse espaçamento não apresentou ganhos de produtividade em relação ao espaçamento convencionalmente utilizado ou mesmo ao reduzido (MAEHLER et al., 2003).

Dessa forma, passa a ser importante conhecer a resposta de novas cultivares de soja a novas configurações de distribuição de plantas, verificando se existe a necessidade de adequação de espaçamento no atual sistema de produção. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a competição intraespecífica de quatro espaçamentos entre fileiras nos componentes morfológicos

e de produtividade da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos experimentos de campo em uma área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, coordenadas geográficas 29° 43' 04'' S, 53° 44' 01'' O, altitude de 116 metros, topografia plana. O município de Santa Maria está localizado na região fisiográfica da Depressão Central do Estado Rio Grande do Sul, Brasil. Segundo a classificação de Köppen, possui clima do tipo fundamental Cfa, mesotérmico e úmido, caracterizado como subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 19,1°C e precipitação pluvial média anual 1.712,4 mm, bem distribuída ao longo do ano (HELDWEIN et al., 2009). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (EMBRAPA, 2013), definido como Ultisol Aeric Albaquults por Usda (2014).

Os experimentos foram implantados em duas épocas de semeadura, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, nas seguintes datas: 10/11/2014, 15/12/2014, 23/11/2015 e 17/12/2015, totalizando quatro experimentos. Os tratamentos foram distribuídos em um esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pelas cultivares: FPS Urano RR (tipo de crescimento determinado) e BMX Tornado RR (tipo de crescimento indeterminado), ambas de grupo de maturação 6.2. O segundo fator por quatro espaçamentos entre fileiras: convencional (espaçamento de 45 centímetros entre fileiras), cruzado (espaçamento de 45 centímetros entre fileiras com cruzamento de duas semeaduras de modo perpendicular, formando ângulo de 90° entre ambas), pareado (duas fileiras espaçadas em 22,5 centímetros com espaçamento de 45 centímetros de outras duas fileiras) e reduzido (espaçamento de 22.5 centímetros entre fileiras).

A adubação foi realizada a lanço, no momento da semeadura, utilizando a formulação 05-20-20. A quantidade aplicada de fertilizante foi de acordo com as Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina para as safras 2014/2015 e 2015/2016 (EMBRAPA, 2014). Como tratamento de sementes foi utilizado um produto comercial composto por Piraclostrobiná (25 g L⁻¹) + Tiofanato Metílico (250 g L⁻¹) + Fipronil (250 L⁻¹) e inoculante composto por estipes de *Bradyrhizobium japonicum* (100 mL 50 kg⁻¹ de semente). Os demais tratamentos fitossanitários foram realizados de forma preventiva, em todas as unidades experimentais, para isolar fatores relacionados à infestação com plantas daninhas, ataque de

insetos e severidade de doenças (EMBRAPA, 2014).

Quando as plantas de soja encontravam-se entre os estádios VE-V1, foi realizado desbaste para ajuste da população. A população final de plantas foi de 30 e 22 plantas m^{-2} para FPS Urano RR e BMX Tornado RR, respectivamente, conforme indicação do obtentor dos materiais. Cada unidade experimental tinha 2,25 m largura x 7,75 m comprimento, tendo como área útil 6,75 m^{-2} (1,35x5m).

As seguintes variáveis foram mensuradas: cobertura do solo pelo dossel (%), índice de área foliar, número de legumes planta⁻¹, número de grãos legume⁻¹, massa de mil grãos (gramas) e produtividade de grãos (kg ha⁻¹). Nos experimentos realizados na safra 2015/2016 houve a adição de duas variáveis: interceptação de luz pelo dossel e número de grãos estrato⁻¹ da planta.

A cobertura do solo pelo dossel e o índice de área foliar (IAF) foram realizados por meio de fotos digitais, adaptando a metodologia utilizada por Martin et al. (2013), utilizando o software ImageJ. Para a determinação da cobertura, é calculada a área total de uma foto e a área que está coberta pelo dossel, determinando assim o percentual ocupado pelo dossel. As fotos são retiradas logo acima do dossel. Quanto ao IAF, todas as folhas foram destacadas da planta e colocadas sobre uma lona branca para a tomada das fotos. Nesse caso o software calcula, de modo direto, a área de cada folha. Tanto para a determinação da cobertura como do IAF, é necessário que dentro da imagem haja um objeto com área ou comprimento conhecido. Para tanto, em todas as fotos aparecia uma régua de 30 centímetros de comprimento. Para a cobertura o início da tomada de fotografias se dava cinco dias após o desbaste e era realizada semanalmente, tendo como unidade o número de dias após a semeadura (DAS). O índice de área foliar foi estimado nos estádios R2 e R5, em três plantas por parcela. Todas as avaliações realizadas no estádio R5 correspondem ao estádio R5.1, de acordo com o detalhamento da escala de Fehr e Caviness (1977) proposto por Ritchie et al. (1982).

A interceptação de luz pelo dossel foi medida utilizando um luxímetro, quando as plantas encontravam-se no estádio R2 e R5. Em R2 foram feitas medidas em quatro alturas: acima do topo do dossel, no terço superior, terço médio e terço inferior. Em R5 foram feitas medidas em cinco alturas: acima do topo do dossel, 25% abaixo do topo do dossel, 50% abaixo do topo do dossel, 75% abaixo do topo do dossel e 100% abaixo do topo do dossel. A avaliação das alturas de medição foi obtida pela subtração da altura média das plantas por três (R2) e por quatro (R5). A avaliação foi feita em uma unidade experimental de cada tratamento, com 60 repetições em

cada altura. A interceptação de luz é representada como percentual do total de luz que chegava ao topo do dossel, no momento da medição de cada ponto.

A produtividade de grãos é representada pela colheita da área útil de cada parcela, com extrapolação do valor para 1 ha e correção da massa para 13% de umidade. A quantificação dos componentes da produtividade número de legumes planta⁻¹, número de grãos legme⁻¹ e massa de mil grãos foi feita por meio de cinco plantas, coletadas em sequência em uma das fileiras da área útil de cada unidade experimental. Nos experimentos semeados em 2015 (Novembro e Dezembro), estas cinco plantas coletadas foram separadas em quatro partes (estratos), para determinação do número de grãos estrato⁻¹ da planta de soja. Os locais onde ocorreram a separação da planta coincidem com o locais onde as medições de interceptação de luz foram realizadas. Cada estrato ocupa 25% do total da planta. Assim, os estratos foram nomeados da seguinte maneira: base da planta, meio inferior, meio superior e topo da planta.

Os valores de temperatura média do ar e precipitação foram coletados junto a estação meteorológica localizada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a aproximadamente 1,4 km de distância da área experimental. Com esses dados foi calculado o balanço hídrico climático diário do solo, sob o cultivo de soja, considerando a evapotranspiração da cultura (ETc), pela fórmula $ETc = ETP * Kc$, onde: ETP é a evapotranspiração potencial (ou de referência) estimada pelo método de Penman-Monteith e Kc é o coeficiente de cultura, que varia com o crescimento da mesma.

Os dados foram submetidos aos testes de aditividade, homogeneidade, normalidade e independência dos erros, conforme o modelo matemático para o delineamento de blocos ao acaso (MARTIN; STORCK, 2008). Os diferentes anos agrícolas bem como as épocas de semeadura não foram considerados como um fator para as análises estatísticas, sendo ambos avaliados como experimentos em separado. Considerou-se como fatores apenas cultivares e espaçamentos entre fileiras, ambos considerados como qualitativos. Nas variáveis cobertura do solo e interceptação de luz pelo dossel considerou-se um fator a mais, de efeito quantitativo.

A análise da variância foi realizada por meio do teste F. As médias dos efeitos principais e interação dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade de erro. As análises de regressão foram realizadas tendo como variável “x” o número de dias após a semeadura e o percentual do dossel que atravessado pela luz e “y” a cobertura do solo e o percentual de luz

interceptada. A análise de variância, o teste de Scott-Knott e a análise de regressão foram realizadas por meio do software Sisvar® (FERREIRA, 2011). Havendo significância da variável “x”, a equação de regressão foi calculada pelo software TableCurve®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 representa o balanço hídrico climático diário do solo, sob o cultivo de soja, ao longo dos quatro experimentos. Para cultivo nas condições do estado do RS, a necessidade hídrica da soja é de aproximadamente 800 mm bem distribuídos ao longo do ciclo (ZANON et al., 2016). Em 2014/2015, observa-se que houve um período de restrição hídrica próximo ao estágio R2, reduzindo a média de produtividade desse experimento. Neste estágio, a planta alcança o florescimento pleno, havendo aumento na sensibilidade à restrição hídrica. Nessa fase a planta inicia a redistribuição de carboidratos, para manutenção de seus drenos. Restrição que cause deficiência hídrica causa abortamento de estruturas reprodutivas, que neste estágio limitam-se a flores. Com isso, a restrição deve ter aumentado o abortamento de flores e esta repercutiu na redução do número de legumes formados (DOGAN et al., 2007; ZHANG et al., 2016a).

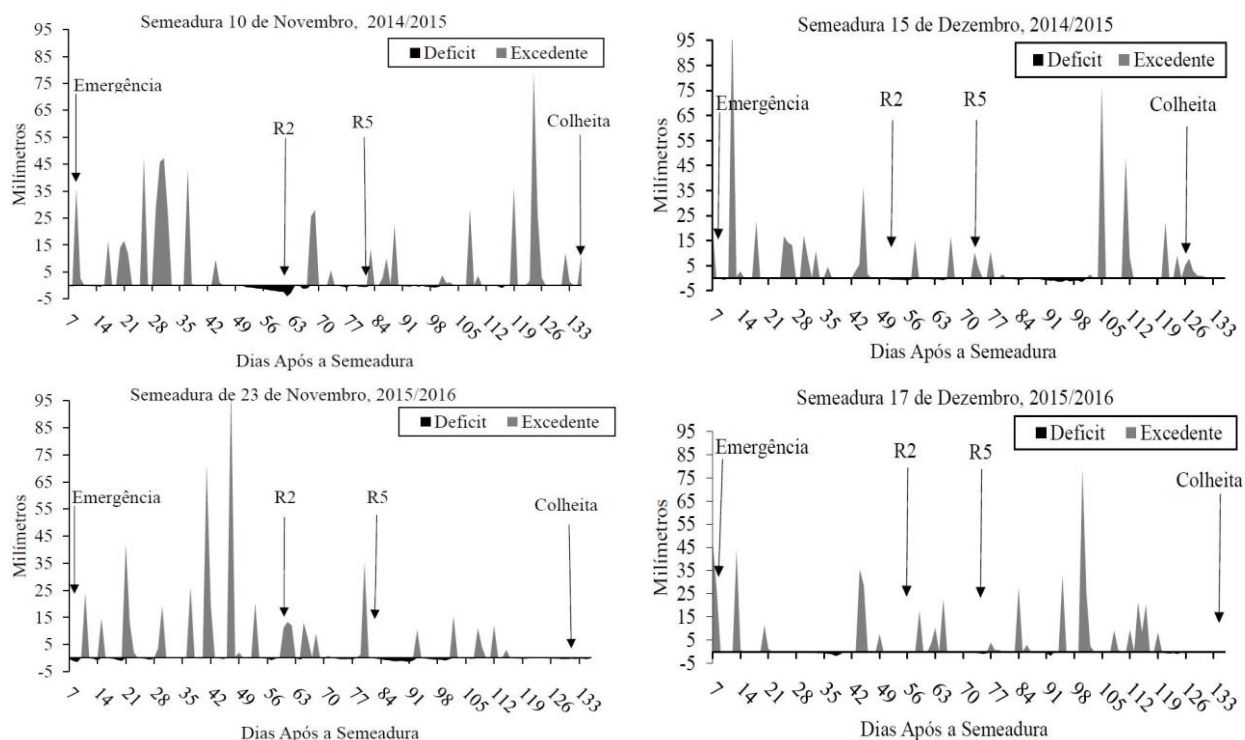


Figura 1 - Balanço hídrico climático diário do solo, sob o cultivo de soja, ao longo dos experimentos conduzidos em Santa Maria, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. As setas indicam os momentos de ocorrência da emergência, do estágio R2, do estágio R5 e da colheita.

Na Tabela 1 encontra-se o resumo do quadro de análise de variância, demonstrando o tipo de interação entre os fatores. A produtividade de grãos foi significativamente afetada pelos espaçamentos entre fileiras nos experimentos semeados em dezembro e afetada pela interação de espaçamentos e cultivares no experimento semeado em novembro da safra 2014/15. Efeito principal de cultivares foi observado somente no experimento semeado em novembro da safra 2015/16.

Tabela 1 - Tipo de interação observada, na análise de variância, entre as fontes de variação cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D) e estrato da planta (EST) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); interceptação de luz pelo dossel em R2 no estrato superior (R2 Superior), estrato médio (R2 Médio) e estrato inferior (R2 Inferior); interceptação de luz pelo dossel em R5 em diferentes estratos (Interceptação); número de grãos no topo da planta (Topo da planta); número de grãos no meio superior planta (Meio superior); número de grãos no meio inferior planta (Meio inferior); número de grãos na base da planta (Base da planta); número de legumes por planta (LP); número de grãos por legume (GL); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹).

Variáveis	Novembro Ano1	Dezembro Ano 1	Novembro Ano2	Dezembro Ano 2
Cobertura	CxE; CxD; ExD*	CxExD	CxExD	CxE; ExD
IAF R2	CxE	CxE	CxE	CxE
IAF R5	C	C	C	C; E
R2 Superior	-.**	-	C	CxE
R2 Médio	-	-	C; E	CxE
R2 Inferior	-	-	C; E	CxE
Intercep. R5	-	-	CxExEST	ExEST; CxEST
Topo da planta	-	-	C	C
Meio Superior	-	-	NS	C
Meio Inferior	-	-	NS	C
Base da planta	-	-	CxE	CxE
LP	C	C	C	E
GL	C	C	C	C
MMG	C	CxE	C	C
PG	CxE	E	C	E

*C = cultivar; E = espaçamento; D = dias após a semeadura; EST = estrato da planta. **avaliação não realizada.

Em termos de produtividade de grãos, o espaçamento reduzido é o que mais se aproxima do espaçamento convencional. Este espaçamento alcançou a maior produtividade nos experimentos semeados em dezembro, não diferindo em novembro (Figura 2). O espaçamento pareado foi estatisticamente inferior ao convencional no experimento semeado em novembro de 2014, na cultivar BMX Tornado RR. Nos demais experimentos, espaçamentos convencional e pareado apresentaram mesmo resultado em termos de produtividade de grãos, assim como observado por Maehler et al. (2003). O espaçamento cruzado não apresentou ganho em produtividade em nenhum dos experimentos. Além de ter apresentado produtividade inferior ao espaçamento convencional, a semeadura cruzada possui alto custo operacional, sendo até 34% maior que o da semeadura convencional (SILVA et al., 2015). Também o tempo gasto na realização da semeadura cruzada aumenta necessidade de tratores e semeadoras, para que a semeadura seja completada no mesmo tempo.

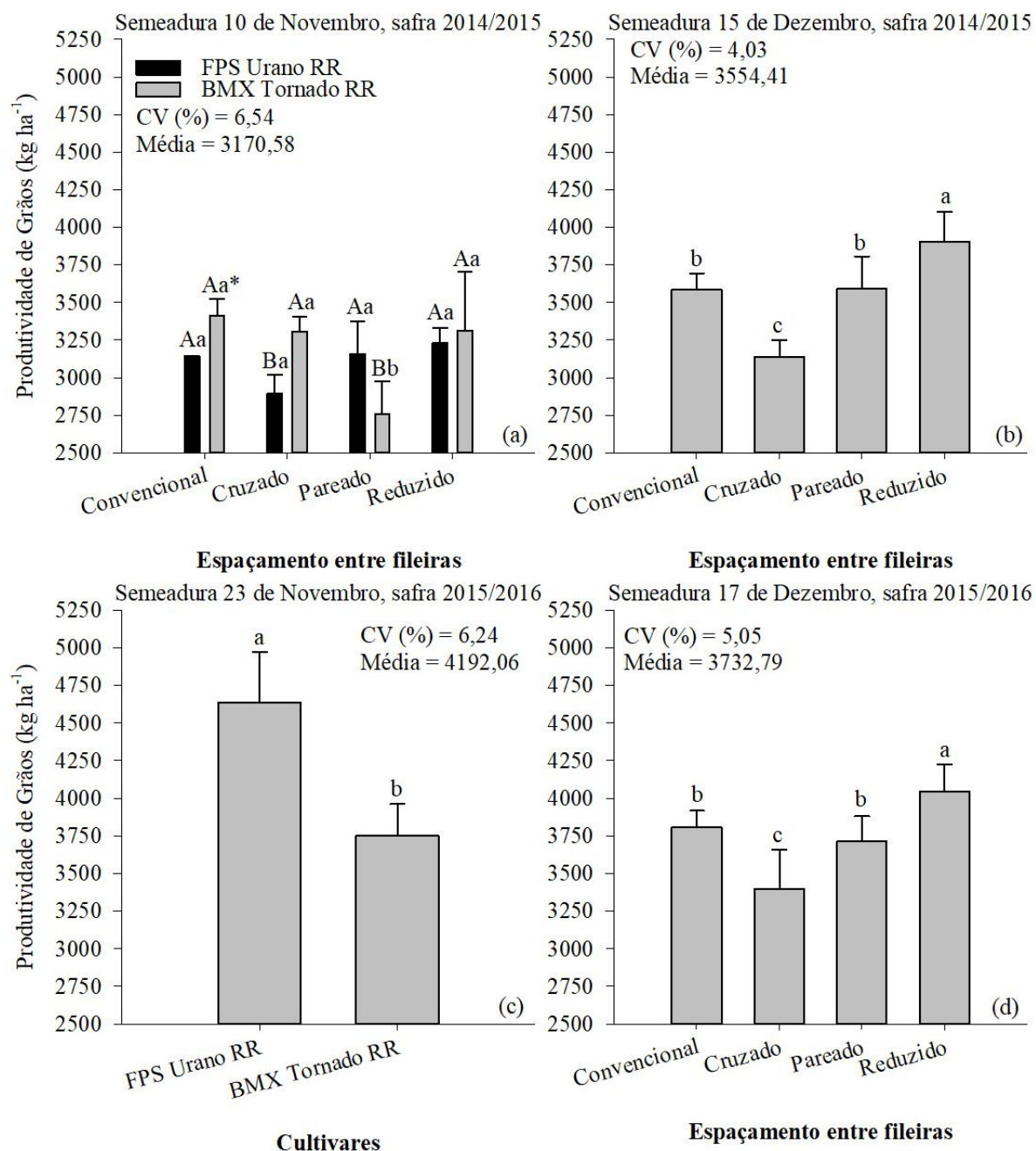


Figura 2 - Teste de comparação de médias da produtividade de grãos de soja de acordo com a interação de cultivares e espaçamentos entre fileiras (a), efeito principal de espaçamento entre fileiras (b), efeito principal de cultivar (c) e efeito principal de espaçamento entre fileiras (d).

*Letras minúsculas diferenciam as médias dos espaçamentos e maiúsculas das cultivares pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A diminuição na competição intraespecífica imposta pelo espaçamento reduzido não aumenta produtividade quando a sementeira é realizada no período recomendado. De acordo com

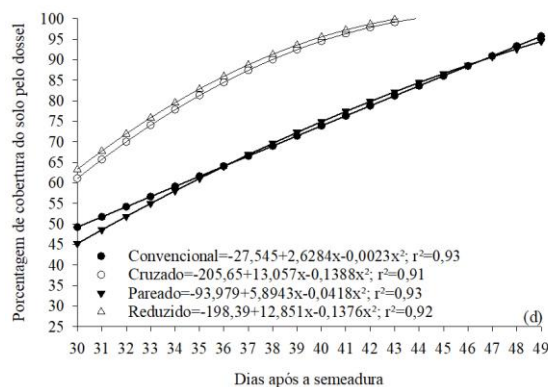
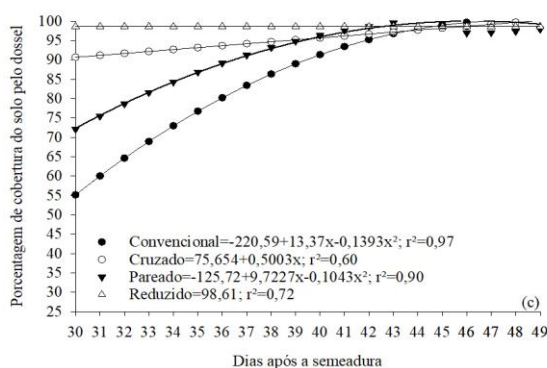
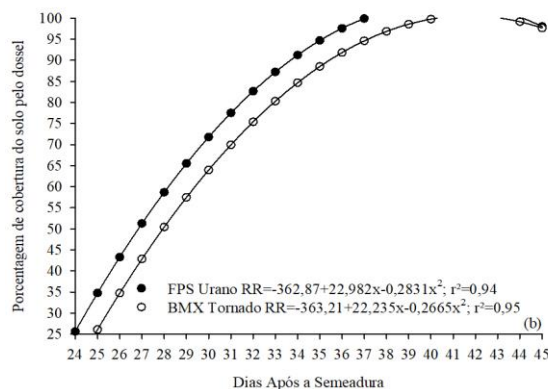
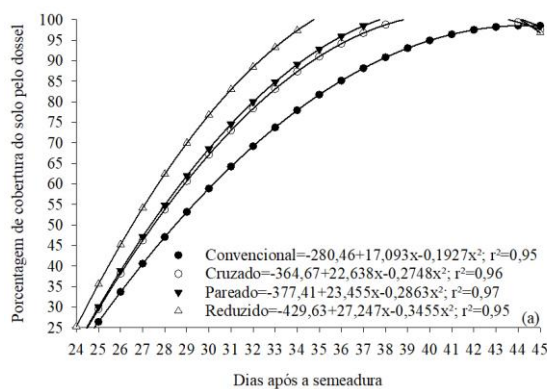
o Zoneamento Agroclimático da Soja para o Rio Grande do Sul, este período está entre outubro e novembro. Aumento de produtividade com a redução de espaçamento usualmete acontece em semeaduras tardias (LEE, 2006). As causas estão relacionadas a interação entre interceptação de luz e desenvolvimento do dossel no início do período reprodutivo, entre os estádios R1-R2.

Nas semeaduras realizadas em novembro, a disponibilidade de radiação durante o período vegetativo permite formação de um dossel capaz de interceptar maior quantidade de radiação no período reprodutivo. Nesses casos, ambos os espaçamentos entre fileiras possuem capacidade suficiente de aproveitamento dos recursos para obtenção de produtividade similar (HANNA et al., 2008; WALKER et al., 2010; YOICHI et al., 2014). Em épocas de semeadura onde a disponibilidade de radiação, fotoperíodo e unidades de calor são menores, a probabilidade de aumento de produtividade com redução de espaçamento é maior (BOARD; HARVILLE, 1992; EGLI, 1994; PIRES et al., 1998; DE BRUIN; PEDERSEN, 2008; COX; CHERNEY, 2011; HU; WIATRACK, 2012; JACCOUD-FILHO et al., 2016).

O ganho proporcionado pelo espaçamento reduzido em relação ao convencional foi de 320,50 kg ha⁻¹ (8,93 %) e 234,55 kg ha⁻¹ (6,16%), em 2014/15 e 2015/16, respectivamente. Esses valores resultam um aumento médio de 277,52 kg ha⁻¹ (7,54%). Além da diferenciação estatística, é necessário observar as implicações impostas pela redução de espaçamento dentro do sistema de produção. O número de fileiras que uma semeadora necessitaria para realizar o processo seria o dobro, o que pode elevar o custo para realização da semeadura. Para semeadura cruzada, foi constatado aumento de 54% no custo dessa operação (SILVA et al., 2015). A depender do aumento no custo para semear o espaçamento reduzido, o aumento de produtividade observado pode não representar aumento no ganho econômico.

Porém, existe a possibilidade de utilizar a mesma semeadora utilizada para semeadura de cereais de inverno. De Bruin e Pedersen (2008) fizeram um levantamento sobre a possibilidade de compra deste tipo de semeadora, para semear soja. Os autores concluíram que a compra é viável economicamente em áreas maiores que 144 ha, onde 30% ou mais seja ocupado pela oleaginosa, no estado de Iowa-EUA. Porém, é necessário investigar se para as condições brasileiras essa opção é viável, caso persista o incremento de produtividade de grãos observado na Figura 2. Também é conveniente que a população de plantas não seja maior quando se reduz espaçamento. Nesse caso haverá aumento na competição intraespecífica, podendo não haver aumento na produtividade de grãos (JACCOUD-FILHO et al., 2016).

A cobertura do solo foi influenciado pelos espaçamentos entre fileiras em todos os experimentos, havendo interação de espaçamentos e cultivares na semeadura de dezembro de 2014 e novembro de 2015. Ao longo dos quatro experimentos, foi necessário cerca de 45 dias após a semeadura (DAS) para que todos os espaçamentos estivessem cobrindo o solo em valores próximos a 95% (Figura 3). O espaçamento reduzido alcançou valores de cobertura do solo próximos a 95% mais precocemente, necessitando de 32-40 DAS para tanto. Somente na Figura 3 (c) é que a curva do espaçamento reduzido apresenta valores próximos da curva do espaçamento cruzado. O espaçamento convencional é o que levou mais tempo para atingir valores de cobertura, necessitando 38-48 DAS para sombrear 95% do solo. Espaçamento pareado e cruzado apresentam valores intermediários de cobertura do solo, sendo que por vezes o pareado alcança valores de cobertura mais rapidamente que o cruzado (Figura 3 (a), (d), (e) e (f)) e outras não (Figura 3 (b), (c) e (f)). Embora o espaçamento reduzido tenha atingido valores próximos a 95% de cobertura do solo por volta de 40 dias após a semeadura, só obteve maior produtividade de grãos na semeadura de dezembro.



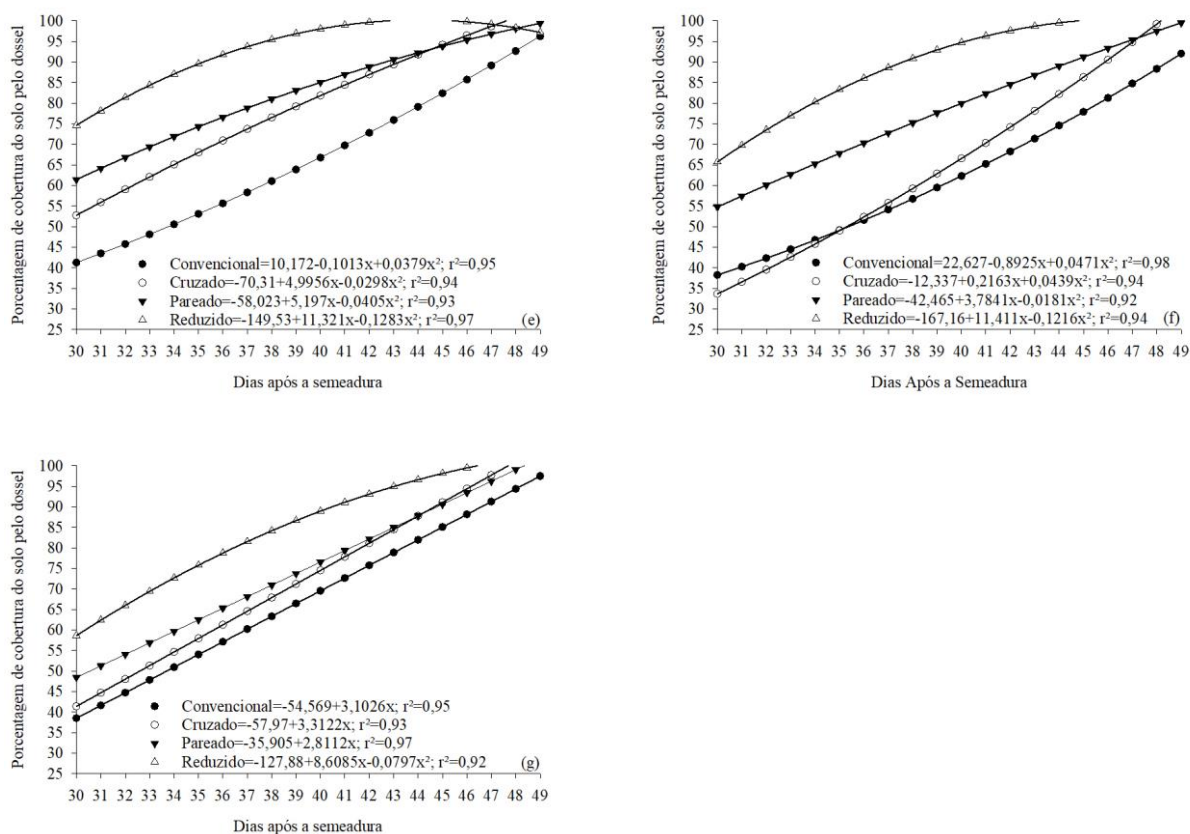


Figura 3 - Tempo em dias após a semeadura e porcentagem de cobertura do solo pelo dossel de acordo com a interação entre ou efeito principal dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras. A figura (a) e (b) referem-se à semeadura de novembro e as figuras (c) e (d) de dezembro, da safra 2014/15. As figuras (e) e (f) referem-se à semeadura de novembro e a figura (g) de dezembro, da safra 2015/16. As figuras (c), (d), (e) e (f) representam a interação entre cultivar e espaçamento entre fileira. A figura (b) representa o efeito principal do fator cultivar e as figuras (a) e (g) representam o efeito principal de espaçamento entre fileiras. As figuras (c) e (e) referem-se a cultivar FPS Urano RR e (d) e (f) a BMX Tornado RR.

A precocidade em alcançar valores de cobertura do solo próximos a 95% é importante para ampliar a interceptação de radiação (LEE, 2006; SANTACHIARA et al., 2017). Durante o período vegetativo é importante que a planta intercepte maior quantidade de radiação acumulando carboidratos em folhas, caules e haste (HU; WIATRAK, 2012). Essa biomassa servirá de fonte para sustentação das estruturas reprodutivas que começam a surgir por ocasião do florescimento (R1/R2). Usualmente, quanto maior o tempo que as plantas levam para cobrir o solo ou quanto menor for o acúmulo de carboidratos até o início do florescimento, menor é o potencial de produção da soja (LEE, 2006; SALMERON et al., 2006). A soja quando semeada em novembro, mesmo que leve mais tempo para cobrir o solo, recebe radiação em maior

quantidade (ZANON et al., 2016), não havendo diferença de produtividade entre espaçamentos (Figura 2).

Porém, com o atraso da semeadura é necessário melhor desenvolvimento do dossel, que pode ser alcançado pela redução de espaçamento entre fileiras (LEE, 2006). Além da menor disponibilidade de radiação e da duração do fotoperíodo diário, semeaduras tardias podem apresentar maior severidade de doenças. No caso do sul do Brasil, semeaduras de dezembro apresentam maiores problemas com a severidade de doenças como ferrugem asiática e mofo branco (JACCOUD-FILHO et al., 2016). É importante que o dossel formado não seja denso de modo a favorecer o desenvolvimento do fungo (JACCOUD-FILHO et al., 2016). Com isso, quando se utilizar de redução do espaçamento, é importante manter a população de plantas, assim como neste trabalho. Esse manejo permite rápido desenvolvimento do dossel, que radiação fotossinteticamente ativa alcance estratos inferiores (EGLI, 1994), sem comprometer a aplicação de fungicidas (HANNA et al., 2008; HOLTZ et al., 2014).

A interceptação de luz em R2 teve efeito principal de espaçamento entre fileiras e cultivares no experimento semeado em novembro e interação dupla em dezembro. Na semeadura de novembro todos os espaçamentos interceptaram valores próximos a 92%, no terço inferior. Na semeadura de dezembro esses valores caíram para menos de 89%. A interceptação de luz em R2 na semeadura de dezembro é maior nos espaçamentos reduzido e cruzado, onde ambos interceptam valores acima de 88%, cerca de 2% a mais que espaçamento convencional e pareado (Tabela 3). Essa diferença na interceptação de radiação no estágio R2 foi favorável para o espaçamento reduzido, mas não para o espaçamento cruzado.

Tabela 2 - Teste de comparação de médias da interceptação de luz no estádio R2 nos terços superior, médio e inferior de acordo com o efeito principal dos fatores cultivar e espaçamento entre fileiras, na semeadura de novembro, e interação entre os fatores cultivar e espaçamento entre fileiras na semeadura de dezembro, safra 2015/2016.

Semeadura de Novembro						
	Terço Superior		Terço Médio		Terço Inferior	
FPS Urano RR	75,74 A*		88,72 A		92,28 A	
BMX Tornado RR	74,02 B		87,82 B		92,07 B	
Convencional	74,45		88,02 B		91,97 B	
Cruzado	75,15		87,75 B		92,14 B	
Pareado	74,57		88,48 A		92,20 B	
Reduzido	75,38		88,82 A		92,39 A	
CV (%)	2,3		1,38		0,37	
Média	74,88		88,27		92,18	
Semeadura de Dezembro						
	Terço Superior		Terço Médio		Terço Inferior	
	Urano**	Tornado***	Urano	Tornado	Urano	Tornado
Convencional	70,66 Ab	69,51 Bc	80,08 Ab	79,55 Bc	85,77 Ab	85,65 Ac
Cruzado	72,12 Aa	72,47 Aa	82,50 Aa	82,09 Aa	88,30 Aa	88,14 Aa
Pareado	70,37 Ab	70,54 Ab	80,02 Ab	80,30 Ab	85,91 Bb	86,23 Ab
Reduzido	72,38 Aa	72,11 Aa	82,31 Aa	82,47 Aa	88,23 Aa	88,29 Aa
CV (%)	1,11		0,62		0,29	
Média	71,27		81,17		87,07	

*Letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal diferenciam as médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Ausência de letras ao lado da média significa que não houve efeito de nenhuma das fontes de variação, não havendo diferença entre as médias. **Urano= FPS Urano RR. ***Tornado= BMX Tornado RR.

A distribuição das plantas na semeadura cruzada possivelmente não favorece a produção de biomassa, mesmo com alta interceptação de luz. É possível que haja maior variabilidade entre plantas no espaçamento cruzado, com alta competição intraespecífica nos pontos de intersecção do cruzamento das fileiras (SILVA et al., 2015). O cruzamento das fileiras também deve dificultar a circulação de ar, impactando negativamente no processo de produção de biomassa via evapotranspiração (SAUER et al., 2007; CHEN et al., 2010; ZHOU et al., 2011). No espaçamento reduzido o estande de plantas tende a ser mais uniforme, em virtude da distribuição mais próxima da equidistância (BOARD; HARVILLE, 1992; ZHOU et al., 2011; YOICHI et al., 2014), não havendo prejuízo ao acúmulo de carboidratos. É semelhante ao que ocorre com espaçamento convencional e pareado, que interceptaram menor quantidade de radiação no florescimento mas foram mais produtivos que o cruzado. Mesmo que a competição intraespecífica não seja a menor, a disposição das plantas permite melhor fluxo de ar e consequente acúmulo de biomassa (SAUER et al., 2007; JACCOUD-FILHO et al., 2016).

O índice de área foliar é também influenciado por cultivares e distribuição espacial de plantas (Tabela 3). Em função da disponibilidade de horas de luz e temperatura, comumente a soja atinge maiores valores desse índice quando semeada em novembro, em comparação a dezembro (EGLI; BRUENING, 2000; EGLI et al., 2005; DOGAN et al., 2007). Porém, na safra 2014/2015, os valores de índice de área foliar em R2 e R5 foram próximos em ambas épocas de semeadura. De acordo com a Figura 2, observa-se restrição hídrica próxima ao estádio R2 (FEHR; CAVINESS, 1977). Um dos impactos da deficiência hídrica nas plantas se dá sobre a expansão foliar (DOGAN et al., 2007; HOSSAIN et al., 2014). Provavelmente essa restrição diminuiu o índice de área foliar, em ambos os estádios, na semeadura de novembro de 2014/2015, colaborando para redução de produtividade de grãos (Figura 1).

Tabela 3 - Teste de comparação de médias do índice de área foliar da soja nos estádios R2 e R5 de acordo com o efeito principal, interação ou ausência de efeito das fontes de variação cultivar e espaçamento entre fileiras.

Espaçamentos	Novembro 2014/15		Dezembro 2014/15		Novembro 2015/16		Dezembro 2015/16	
	Urano**	Tornado***	Urano	Tornado	Urano	Tornado	Urano	Tornado
	-----R2-----							
Convencional	2,98 Ab	3,49 Aa	3,51 Aa	2,79 Bb	5,78	5,47	3,83 Ab	3,81 Aa
Cruzado	2,40 Bc	3,29 Aa	3,24 Ba	3,71 Aa	5,38	5,90	2,65 Ac	2,74 Ab
Pareado	3,02 Bb	3,59 Aa	3,39 Aa	3,59 Aa	6,60	5,71	4,58 Aa	3,63 Ba
Reduzido	3,15 Aa	3,32 Aa	3,66 Aa	3,41 Aa	6,05	5,68	5,03 Aa	3,63 Ba
CV (%)	7,54		5,92		11,33		9,94	
Média	3,20		3,41		5,82		3,74	
	-----R5-----							
Convencional	4,36 B	6,62 A	4,69 B	5,86 A	7,02 Aa	8,11 Aa	4,83 B	7,16 A
Cruzado	5,18 B	6,77 A	4,45 B	6,15 A	5,38 Bb	6,81 Ab	5,51 B	7,18 A
Pareado	4,16 B	6,28 A	4,85 B	6,03 A	6,72 Aa	8,00 Aa	5,05 B	7,93 A
Reduzido	4,61 B	6,69 A	4,36 B	5,98 A	6,65 Aa	7,79 Ab	6,18 B	8,27 A
CV (%)	10,07		10,70		12,58		13,90	
Média	5,62		5,31		7,08		6,51	

*Letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal diferenciam as médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Ausência de letras ao lado da média significa que não houve efeito de nenhuma das fontes de variação, não havendo diferença entre as médias. **Urano= FPS Urano RR. ***Tornado= BMX Tornado RR.

O índice de área foliar em R2 e R5 apresenta boa correlação com a produtividade de grãos (COX; CHERNEY, 2011), porém nem sempre maior índice de área foliar se traduz em maior produtividade (EGLI, 1994; DOGAN et al., 2007). O ângulo e formato de folhas devem permitir interceptação e absorção da radiação solar incidente no topo do dossel em todas as partes da planta (EGLI, 1994; HU; WIATRAK, 2012). Em casos de índices de área foliar elevados

algumas folhas podem comportar-se como dreno de fotoassimilados (EGLI; BRUENING, 2005), reduzindo produtividade devido a cobertura. A auto cobertura prejudica a chegada de radiação nas folhas da porção basal. É em virtude disso que em alguns casos um mesmo valor de índice de área foliar não significa a mesma quantidade de fotoassimilados para ser translocada aos grãos (PROLUX; NAEVE, 2009).

Fotoassimilados são também armazenados em outras partes da planta, como pecíolos, ramos e haste (ZHANG et al., 2016b). Em situações onde o índice de área foliar é igual, diferenças de produtividade estão relacionadas à eficiência em acumular e particionar fotoassimilados (EGLI, 1994; ZHANG et al., 2016b). Quando a semeadura é realizada em um período com adequada disponibilidade hídrica e de radiação solar, a capacidade de produção e translocação de carboidratos é maior. Porém, quando a disponibilidade é menor, a capacidade de translocação também é menor (EGLI; BRUENING, 2005; PROLUX; NAEVE, 2009). A inexistência de diferença significativa entre espaçamentos no índice de área foliar em R5, na semeadura de dezembro, é um indicativo de que a planta de soja cultivada em espaçamento reduzido tem maior eficiência na produção e translocação de carboidratos (EGLI, 1994). Essa diferença também é observada entre cultivares. Usualmente, cultivares de tipo determinado tem valor de índice de área foliar em R5 inferior ao de cultivares de tipo indeterminado. Porém, muitas vezes essa diferença não repercute na produtividade (SUHRE et al., 2014; SANTACHIARA et al., 2017).

A interceptação de luz pelo dossel em R5 é outra variável afetada por cultivares e espaçamentos (Figura 4). Mesmo quando da interação tripla na semeadura de novembro (Tabela 1) observa-se que em termos totais BMX Tornado RR apresenta valores de interceptação superiores a FPS Urano RR (Figuras 4a e 4b). Esse resultado tem relação com o índice de área foliar, que foi mais alto na cultivar de tipo de crescimento indeterminado (Tabela 2). A diferença quanto ao índice de área foliar entre as cultivares é relativamente maior que a diferença entre a interceptação de luz. Essa proximidade nos resultados de interceptação deve-se ao ajuste na arquitetura das cultivares, permitindo maior interceptação de luz com índice de área foliar mais baixo (EGLI, 1994; COX; CHERNEY, 2011; ZHOU et al., 2011; SALMERON et al., 2016; SANTACHIARA et al., 2017).

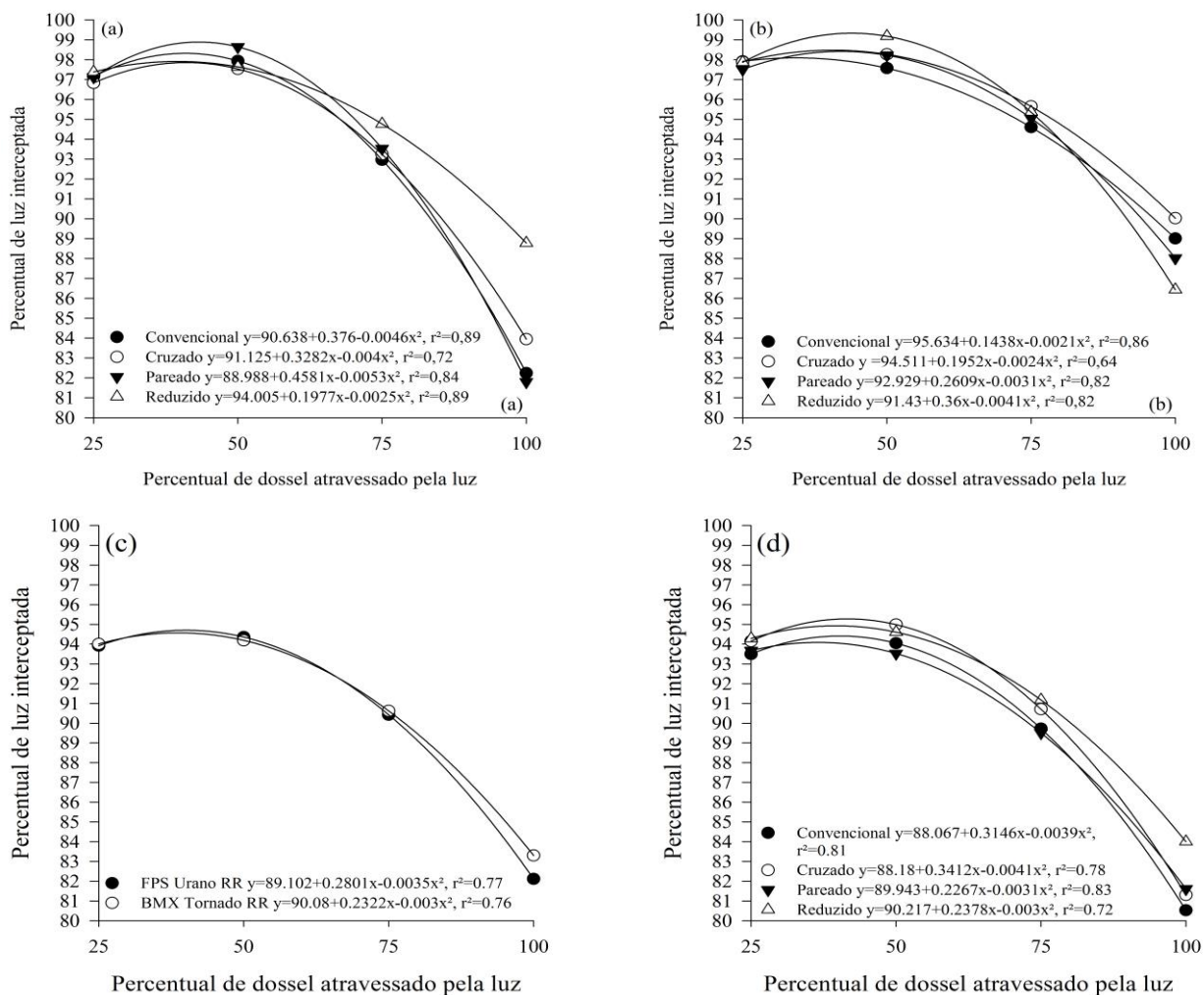


Figura 4 - Intercepção de luz no estádio R5 de acordo com o percentual de dossel atravessado pela luz. As figuras (a) e (b) referem-se a semeadura de novembro e as figuras (c) e (d) referem-se a semeadura de dezembro. A figura (a) refere-se a cultivar FPS Urano RR e (b) a BMX Tornado RR.

Contraopondo os espaçamentos convencional e reduzido observa-se que a intercepção de luz em R5 também é maior no reduzido, assim como no estádio R2. A intercepção de luz durante o período reprodutivo é importante para ampliar o acúmulo de biomassa da soja por ocasião do início do enchimento de grãos. A intercepção entre o início do florescimento e início do enchimento de grãos foi reportada como um dos mecanismos para aumento da produtividade em soja (SANTACHIARA et al., 2017). Quando não há diferenças de acúmulo de biomassa por ocasião do início do florescimento, os autores observaram que quanto maior a intercepção de radiação entre R1-R5, maior é o acúmulo de biomassa e maior a produtividade

de grãos.

Como já mencionado sobre índice de área foliar e arquitetura de planta, o espaçamento reduzido possibilita melhor arranjo quanto à angulação das folhas, permitindo melhor aproveitamento da luz solar, principalmente quando de sua menor disponibilidade. Esse resultado corrobora com Egli (1994), Lee (2006), De Bruin e Pedersen (2008), Walker et al. (2010), Cox e Cherney (2011) e Yoichi et al. (2014), que encontraram e/ou dissertaram sobre a maior eficiência na interceptação de radiação em espaçamentos estreitos em semeaduras tardias e/ou mesmo em locais com menor disponibilidade de luz solar. Zhou et al. (2011) observaram que as maiores diferenças, quanto a interceptação de radiação, entre espaçamentos variando de 18 a 54 centímetros, se dá nos horários de maior disponibilidade de radiação, por volta das 12:00, nas condições de cultivo da China. Nesse caso, o espaçamento mais estreito intercepta cerca de 90% da radiação, enquanto que no mais largo a interceptação é menor que 80%.

Dentre os componentes da produtividade, o número de plantas área^{-1} é o único passível de ser ajustado por ação direta, por meio da densidade de semeadura. O componente mais maleável e que apresenta, normalmente, maior proximidade com a produtividade de grãos é o número de legumes planta^{-1} ou mesmo de grãos planta^{-1} (NAVARRO JUNIOR; COSTA, 2002). Os menores valores do número de legumes planta^{-1} foram na semeadura de dezembro (Tabela 4), onde também se observou o menor índice produtivo (Figura 2). Quanto aos espaçamentos, nem sempre o número de legumes planta^{-1} foi o componente com maior influência na diferença de produtividade.

Tabela 4 - Teste de comparação de médias do número de legumes planta⁻¹, de grãos legume⁻¹ e massa de mil grãos de soja de acordo com o efeito principal, interação ou ausência de efeito das fontes de variação cultivar e espaçamento entre fileiras.

Espaçamentos	1ª época 2014/2015		2ª época 2014/2015		1ª época 2015/2016		2ª época 2015/2016	
	Urano**	Tornado***	Urano	Tornado	Urano	Tornado	Urano	Tornado
-----Número de Legumes Planta ⁻¹ -----								
Convencional	42,40 B	63,27 A	49,55 B	52,65 A	61,62	62,18	44,83 Ba	60,00 Ab
Cruzado	36,20 B	63,85 A	47,65 B	57,25 A	57,10	54,89	40,17 Ba	53,50 Ab
Pareado	39,30 B	58,30 A	46,10 B	58,65 A	64,87	56,63	43,14 Ba	57,25 Ab
Reduzido	38,35 B	63,10 A	41,55 B	54,75 A	60,59	67,4	51,10 Ba	69,75 Aa
CV (%)	7,74		10,39		13,23		10,81	
Média	50,59		51,01		60,65		52,49	
-----Número de Grãos Legume ⁻¹ -----								
Convencional	1,93 B	2,36 A	2,27 B	2,49 A	2,23 B	2,47 A	2,27 B	2,55 A
Cruzado	1,98 B	2,34 A	2,18 B	2,44 A	2,29 B	2,55 A	2,29 B	2,47 A
Pareado	2,02 B	2,40 A	2,23 B	2,56 A	2,27 B	2,51 A	2,23 B	2,51 A
Reduzido	2,04 B	2,32 A	2,23 B	2,51 A	2,26 B	2,53 A	2,26 B	2,53 A
CV (%)	2,54		3,17		3,29		3,17	
Média	2,17		2,36		2,39		2,39	
-----Massa de Mil Grãos-----								
Convencional	191,51 A	147,31 B	129,26 Bc	136,41 Aa	141,04 B	148,22 A	143,61 A	133,54 B
Cruzado	179,02 A	144,46 B	129,58 Ac	129,08 Ab	146,11 B	153,63 A	140,45 A	130,08 B
Pareado	172,47 A	154,13 B	132,95 Ab	130,63 Ab	142,16 B	151,09 A	139,23 A	130,46 B
Reduzido	174,71 A	160,19 B	137,78 Aa	133,89 Ba	139,73 B	151,19 A	146,80 A	133,80 B
CV (%)	9,87		1,62		3,44		3,40	
Média	165,47		132,45		146,65		137,18	

*Letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal diferenciam as médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Ausência de letras ao lado da média significa que não houve efeito de nenhuma das fontes de variação, não havendo diferença entre as médias. **Urano= FPS Urano RR. ***Tornado= BMX Tornado RR.

Na semeadura de dezembro da safra 2014/2015 a massa de mil grãos foi superior no espaçamento reduzido, sendo este o componente que teve maior influência sobre a diferença de produtividade. Diferenças quanto a massa de grãos, em experimentos, são comumente encontradas quando da comparação de materiais genéticos (SUHRE et al., 2014; SANTACHIARA et al., 2017) ou mesmo quando condições de estresse são impostas durante o enchimento de grãos (EGLI; BRUENING, 2005; ZHANG et al., 2016a). A maior massa de grãos, nesse caso, pode estar relacionada a fatores como: maior tempo de duração do enchimento de grãos no espaçamento reduzido (EGLI, 1994), temperatura mais amena proporcionada pelo dossel (EGLI et al., 2005) e/ou mesmo maior eficiência na translocação de carboidratos para os grãos (ZHANG et al., 2016b). Porém, na semeadura de dezembro de 2015/16 as diferenças quanto à massa de mil grãos não se repetiram e o número de legumes planta⁻¹ foi o componente mais importante na definição da produtividade. Nessa ocasião os espaçamentos não diferenciaram-se em FPS Urano RR e espaçamento reduzido teve os maiores valores na cultivar BMX Tornado RR (Tabela 4).

No que tange cultivares, essas possuem um ajuste diferenciado de seus componentes (NAVARRO JUNIOR; COSTA, 2002). A população de plantas recomendada pelos obtentores dos dois materiais é diferente, haja visto a sua capacidade de emitir ramificações (SUHRE et al, 2014). Cultivares de tipo indeterminado possuem maior estabilidade de produção. BMX Tornado RR manteve-se com um número de legumes planta⁻¹ em valores próximos a 60, o que mantém seu nível produtivo com valores acima de 3500 kg ha⁻¹. FPS Urano RR quando esteve alocada em um ambiente que lhe proporcionou melhores condições de crescimento (Figura 1), alcançou valores de número de legumes⁻¹ próximos aos da BMX Tornado RR, elevando seu nível de produtividade (Figura 2).

A estratificação do dossel em quatro partes possibilitou observar onde concentram-se as diferenças quanto ao número de grãos (Tabela 5). O menor número está localizado na base da planta e a maior no meio inferior. Os dois últimos estratos, posicionados na parte superior do dossel, pouco se diferenciam. Quanto aos espaçamentos, as diferenças no número de grãos se deram somente no primeiro estrato, onde o espaçamento reduzido apresentou maior número de grãos na semeadura de dezembro. De certa forma esse resultado diverge do observado por Rambo et al. (2004), que, separando as plantas em terços, observou diferença no terço médio. Essa diferença pode estar relacionada com a arquitetura que as cultivares em uso atualmente possuem. As cultivares em uso na época do trabalho de Rambo et al. (2004) possuíam índice de área foliar que permitiam menor interceptação de radiação na parte inferior do dossel, mesmo com alteração do espaçamento entre fileiras. As cultivares atuais permitem maior entrada de radiação e, como observado na Figura 4, quando o espaçamento é alterado a interceptação de luz ao longo do dossel pode ser ainda maior.

Tabela 5 - Teste de comparação de médias do número de grãos nos estratos que representam: topo da planta, meio superior, meio inferior e base da planta com o efeito principal, interação ou ausência de efeito das fontes de variação cultivar e espaçamento entre fileiras, nas semeaduras de novembro e dezembro, safra 2015/2016.

	Topo da planta		Meio superior		Meio inferior		Base da planta	
	Urano***	Tornado***	Urano	Tornado	Urano	Tornado	Urano	Tornado
-----Semeadura em novembro-----								
Convencional	28,81 B	32,60 A	35,02	33,63	41,37	40,85	7,02 Ba	15,33 Ab
Cruzado	26,10 B	32,01 A	35,63	30,31	39,69	36,8	4,50 Aa	8,7 Ab
Pareado	32,28 B	37,31 A	39,91	29,63	42,42	37,76	3,40 Ba	10,30 Ab
Reduzido	27,30 B	35,13 A	37,25	35,58	41,28	43,7	4,05 Ba	22,26 Aa
CV	19,49		23,34		21,90		46,99	
Média	31,32		34,49		40,36		9,44	
-----Semeadura em dezembro-----								
Convencional	22,28 B	36,21 A	27,48 B	34,38 A	29,42 B	41,85 A	2,30 Ba	9,91 Ab
Cruzado	18,14 B	28,26 A	25,25 B	29,12 A	27,26 B	35,65 A	3,12 Ba	12,78 Ab
Pareado	19,56 B	37,88 A	24,17 B	28,95 A	28,86 B	38,01 A	4,84 Ba	10,34 Ab
Reduzido	23,02 B	36,79 A	31,36 B	36,86 A	34,94 B	44,73 A	3,36 Ba	23,14 Aa
CV	25,43		22,7		21,58		42,36	
Média	27,77		29,69		35,09		8,72	

*Letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal diferenciam as médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Ausência de letras ao lado da média significa que não houve efeito de nenhuma das fontes de variação, não havendo diferença entre as médias. **Urano= FPS Urano RR. ***Tornado= BMX Tornado RR.

Haja visto que o espaçamento reduzido foi o que apresentou os mais altos valores de interceptação de luz na base da planta, na semeadura de dezembro, decorre disso o maior número de grãos e consequentemente a maior produtividade nessa época de semeadura. Em novembro FPS Urano RR apresentou mesmo número de grãos no meio inferior e meio superior e menor no topo da planta, fazendo com que ambas apresentem similaridade no valor total de grãos, elevando a produtividade dessa cultivar em virtude de sua maior população de plantas. Já na semeadura de dezembro, BMX Tornado RR manteve, em todos os estratos, número de grãos superior a FPS Urano RR, alcançando mesmo índice de produtividade de grãos.

CONCLUSÃO

O espaçamento reduzido proporciona maior cobertura do solo pelo dossel até 40 dias após a semeadura, bem como maior interceptação de luz em R2 e R5.

O espaçamento cruzado reduz a produtividade de grãos de soja, em relação aos demais.

O espaçamento pareado apresenta produtividade semelhante ou inferior ao convencional.

Maior produtividade de grãos foi obtida pelos espaçamentos convencional e reduzido.

O espaçamento reduzido aumenta produtividade de grãos de soja, em relação aos demais espaçamentos, nas semeaduras realizadas em dezembro (tardia para a região alvo do trabalho).

O espaçamento convencional deve continuar sendo priorizado quando a semeadura se dá dentro de épocas com adequada disponibilidade hídrica, de radiação solar e fotoperíodo.

O espaçamento reduzido é uma opção para situações onde a semeadura tenha que ser realizada fora da época recomendada.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p.711-728, 2013.

BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Explanations for Greater Light Interception in Narrow- vs. Wide-Row Soybean. **Crop Science**, v. 32, p. 1998-2002, 1992.

CHEN, S.; ZHANG, X.; SUN, X.; REN, T.; WANG, Y. Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 8, p. 1126-1132, 2010.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H. Growth and Yield Responses of Soybean to Row Spacing and Seeding Rate. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

DE BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Effect of Row Spacing and Seeding Rate on Soybean Yield. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 704-710, 2008.

DOGAN, E.; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Fields Crop Research**, v. 103, n. 2, p. 154-159, 2007.

EGLI, D. B. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 1046-1049, 1994.

EGLI, D. B.; BRUENING, W. P. Potential of Early-Maturing Soybean Cultivars in Late Plantings. **Agronomy Journal**, v.92, n.3, p.532-537, 2000.

EGLI, D. B.; BRUENING, W. P. Shade and temporal distribution of pod production and pod set in soybean. **Crop Science**, v. 45, n. 5, p. 1764-1769, 2005.

EGLI, D. B.; HATFIELD, J. L. Yield and Yield Gaps in Central U.S. Corn Production Systems. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2248-2254, 2014.

EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M.; HEITHOLT, J. J.; RUPE, J. Air Temperature During Seed

Filling and Soybean Seed Germination and Vigor. **Crop Science**, v. 45,1329–1335, 2005.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília, DF. Embrapa, 353p, 2013.

EMBRAPA. **Indicações técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. Pelotas, Embrapa, 2014. 124 p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

HANNA, S. O.; CONLEY, S. P.; SHANER, G. E.; SANTINI, J. B. Fungicide Application Timing and Row Spacing Effect on Soybean Canopy Penetration and Grain Yield. **Agronomy Journal**, v.100, n.5, p.1488-1492, 2008.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, v. 38, p. 43-58, 2009.

HOLTZ, V.; COUTO, R. F.; OLIVEIRA, D. G.; REIS, E. F. Deposição da calda de pulverização e produtividade da soja cultivada em diferentes arranjos espaciais. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1371-1376, 2014.

HOSSAIN, M. M.; LIU, X.; QI, X.; LAM, H.; ZHANG, J. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. **The Crop Journal**, v. 2, n. 6, p. 366–380, 2014.

HU, M.; WIATRAK, P. Effect of Planting Date on Soybean Growth, Yield, and Grain Quality: Review. **Agronomy Journal**, v. 4, n. 3, p. 785-790, 2012.

JACCOUD-FILHO, D. A.; SARTORI, F. F.; MANOSSO-NETO, M.; VRISMAN, C. M.; PIERRE, M. L. C.; BERGER-NETO, A.; TÚLLIO, H. E.; JUSTINO, A.; FONSECA, A. F.; ZANON, S. Influence of row spacing and plant population density on management of "white mould" in soybean in southern Brazil. **Australian Journal of Crops Science**, v. 10, n. 2, p.161-168, 2016.

LEE, C. D.; RENNER, K. A.; PENNER, D.; HAMMERSCHMIDT, R.; KELLY, J. D. Glyphosate-Resistant Soybean Management System Effect on Sclerotinia Stem Rot. **Weed Technology**, v. 19, n. 3, p. 580–588, 2005.

LEE, C. Reducing Row Widths to Increase Yield: Why It Does Not Always Work. **Agronomy Journal**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2006.

MAEHLER, A. R.; PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; FERREIRA, F. G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, v. 38, n. 2, p. 225-231, 2003.

MARTIN, T. N.; STORCK, L. Análise das pressuposições do modelo matemático em experimentos agrícolas no delineamento blocos ao acaso. In: Thomas Newton Martin, Magno Fernando Ziech. (Org.). **II Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária**. 1ª ed. Curitiba: UTFPR, 2008, p. 177-196.

MARTIN, T. N.; MARCHESE, J. A.; SOUSA, A. K. F.; CURTI, G. L.; FOGOLARI, H.; CUNHA, V. S. Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciencia (Caracas)**, v. 38, n. 12, p. 843-848, 2013.

SALMERON, M.; GBUR, E.; BOURLAND, F. M.; BUEHRING, N. W.; EARNEST, L.; FELIX, B. F.; GOLDEN, B.; HATHCOAT, D.; LOFTON, J.; MCCLURE, A. T.; MILLER, T. D.; NEELY, C.; SHANNON, G.; UDEIGWE, T. K.; VERBREE, D. A.; VORIES, E. D.; WIEBOLD, W. J.; PURCELL, L. C. Yield response to planting date among soybean maturity groups for irrigated production in the US Midsouth. **Crop science**, v. 56, p. 747-759, 2016.

NAVARRO JUNIOR, H. M.; COSTA, J. A. Contribuição relativa dos componentes de rendimento para a produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 269-274, 2002.

PERES, M. Soja. Diário de Cuiabá. Disponível em: <http://sistemafamato.org.br/portal/famato/noticia_completa.php?codNoticia=230166>. Acesso em: 19 de junho de 2017.

PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; THOMAS, A. L. Rendimento de grãos de soja influenciado pelo arranjo de plantas e níveis de adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 4, n. 2, p. 183-188, 1998.

PROLUX, R. A.; NAEVE, S. L. Pod removal, shade, and defoliation effects on soybean yield, protein, and oil. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 4, p. 971-978, 2009.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, v. 34, n.1, p. 33-40, 2004.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. **How a soybean plant develops**. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension, 1982. 20 p. (Special Report, n. 53).

SANTACHIARA, G.; BORRÁS, L.; ROTUNDO, J. L. Physiological Processes Leading to Similar Yield in Contrasting Soybean Maturity Groups. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 158-167, 2017.

SAUER, T. J.; SINGER, J. W.; PRUEGER, J. H.; DESUTTER, T. M.; HATFIELD, J. L. Radiation balance and evaporation partitioning in a narrow-row soybean canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, 206–214, 2007.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, 1394-1411, 2015.

SILVA, P. R. A.; TAVARES, L. A. F.; SOUSA, S. F. G.; CORREIA, T. P. S.; RIQUETTI, N. B. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.293–297, 2015.

SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; ROWNTREE, S. C.; WILSON, E. W.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P.; CASTEEL, S. N.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D.; SPECHT, J. E.; DAVIS, V. M. Soybean Yield Partitioning Changes Revealed by Genetic Gain and Seeding Rate Interactions. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1631-1642, 2014.

USDA – United States Department of Agriculture. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2. ed. Washington DC: Ed. 436, 2014. 886 p.

WALKER, E. R.; MENGISTU, A.; BELLALLOUI, N.; KOGER, C. H.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A. Plant population and row-spacing effects on maturity group III soybean. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 821-826, 2010.

YOICHI, F.; MAKOTO, H.; YASUHIRO, H.; YOSHIFUMI, N.; HISASHI, H. Growth and Yield in Ridge-making Narrow Row Culture of Soybean Cultivar "Tachinagaha" with Lodging Resistance and its Weeding Effect. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 83, n. 3, p. 216-222, 2014.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1447-1454, 2016.

ZHANG, L.; ZHU, L.; YU, M.; ZHONG, M. Warming decreases photosynthates and yield of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in the North China Plain. **The Crop Journal**, v. 4, p.139-146, 2016a.

ZHANG, X.; WANG, M.; WU, T.; WU, C.; JIANG, B.; GUO, C.; HAN, T. Physiological and molecular studies of staygreen caused by pod removal and seed injury in soybean. **The Crop Journal**, v. 4, p.435-443, 2016b.

ZHOU, X. B.; CHEN, Y. H.; OUYANG, Z. Row spacing effect on leaf area development, light interception, crop growth and grain yield of summer soybean crops in Northern China. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 6, p. 1430-1437, 2011.

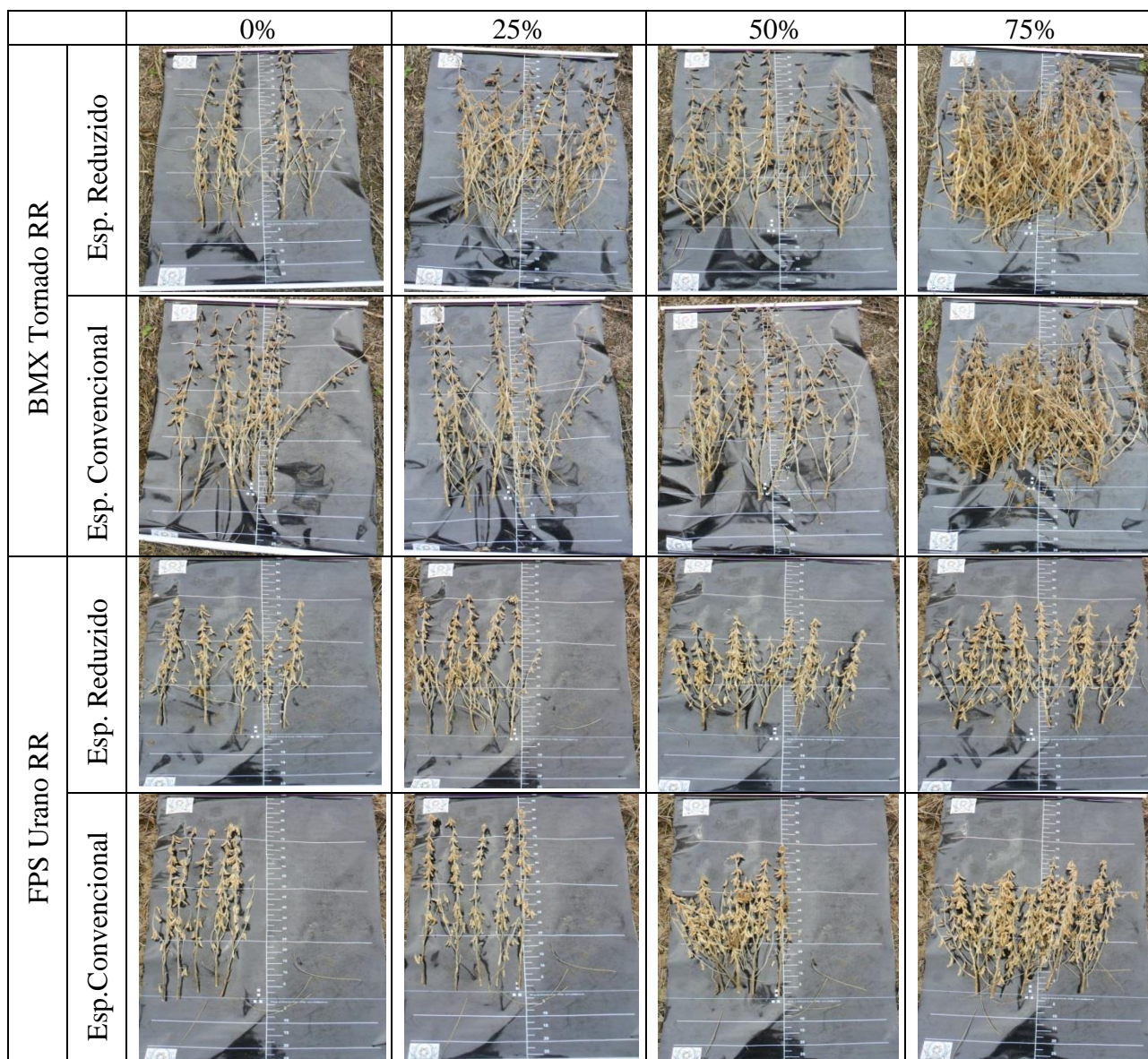
ANEXOS

ANEXO A - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), retirada aleatória de plantas (R) e bloco (BLOCO) para as variáveis: altura total da planta (AT, altura de inserção do primeiro legume (APL), número de legumes por planta (LP), número de grãos por planta (GP), massa de mil grãos (MMG, m) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento conduzido na safra 2014/2015, e consta no Capítulo II.

	AT	APL	Leg Planta ⁻¹	Grão Planta ⁻¹	MMG	Produtividade
FV	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,940
E	0,988	0,242	0,028	0,008	0,039	0,428
R	0,000	0,018	0,000	0,000	0,031	0,044
C*E	0,116	0,813	0,349	0,254	0,359	0,73
C*R	0,002	0,132	0,728	0,776	0,031	0,682
E*R	0,807	0,381	0,403	0,309	0,845	0,25
C*E*R	0,342	0,781	0,759	0,521	0,739	0,386
BLOCO	0,196	0,591	0,646	0,746	0,054	0,825
CV %	6,74	20,51	19,97	20,15	5,92	13,05
Média	102,58	19,53	84,53	189,72	153,54	3677,74

ANEXO B - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), retirada aleatória de plantas (R) e bloco (BLOCO) para as variáveis: altura total da planta (AT), altura de inserção do primeiro legume (APL), número de legumes por planta (LP), número de grãos por planta (GP), massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento conduzido na safra 2015/2016, e consta no Capítulo II.

	AT	APL	Leg Planta ⁻¹	Grão Planta ⁻¹	MMG	Produtividade
FV	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	0,000	0,010	0,100	0,010	0,000	0,432
E	0,159	0,152	0,429	0,522	0,015	0,032
R	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,011
C*E	0,090	0,101	0,483	0,539	0,229	0,685
C*R	0,003	0,089	0,578	0,186	0,013	0,468
E*R	0,181	0,270	0,676	0,709	0,392	0,938
C*E*R	0,147	0,806	0,271	0,287	0,815	0,855
BLOCO	0,120	0,222	0,287	0,241	0,002	0,782
CV %	5,19	14,45	23,23	25,17	3,08	9,27
Média	84,15	20,46	104,62	228,72	151,21	4394,67



ANEXO C - Esquema de fotos para ilustração das modificações morfológicas que ocorrem quando a soja é submetida aos diferentes tratamentos de retirada aleatória de plantas, nas diferentes combinações de cultivares e espaçamento entre fileiras. As fotos foram feitas no momento da colheita do experimento conduzido na safra 2015/2016 e que consta no Capítulo II.

ANEXO D - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); número de legumes planta⁻¹ (LP); número de grãos legume⁻¹ (GL); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento semeado em novembro, safra 2014/2015, e consta no Capítulo III.

FV	Cobertura		IAF R2	IAF R5		
	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc		
C	1	0,000	0,022	0,000		
E	3	0,000	0,001	0,064		
D	3	0,000	-	-		
C*E	3	0,012	0,000	0,522		
C*D	3	0,000	-	-		
E*D	9	0,000	-	-		
C*E*D	9	0,429	-	-		
BLOCO	3	0,034	0,694	0,583		
CV %		5,73	7,54	10,07		
Média		73,02	3,20	5,62		
FV	LP		GL	MMG	Produtividade	
	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0,0000	0,0000	0,0001	0,0860	
E	3	0,2448	0,1655	0,7680	0,0200	
C*E	3	0,1500	0,0607	0,2569	0,0010	
BLOCO	3	0,6623	0,6233	0,1854	0,9440	
CV (%)		7,74	2,54	9,87	6,54	
Média		50,59	2,17	165,47	3170,58	

ANEXO E - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); número de legumes por planta (LP); número de grãos por planta (GL); massa de mil grãos (MMG, g) e produtividade de grãos (Produtividade, kg ha⁻¹). Os resultados referem-se ao experimento semeado em dezembro, safra 2014/2015, e consta no Capítulo III.

FV*	Cobertura		IAF R2	IAF R5		
	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc		
C	1	0,583	0,318	0,000		
E	3	0,000	0,003	0,357		
D	3	0,000	-	-		
C*E	3	0,000	0,000	0,207		
C*D	3	0,000	-	-		
E*D	9	0,000	-	-		
C*E*D	9	0,000	-	-		
BLOCO	3	0,000	0,265	0,441		
CV %		4,720	5,920	10,700		
Média		86,570	3,410	5,310		
FV	LP		GL	MMG	Produtividade	
	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0,000	0,000	0,889	0,272	
E	3	0,351	0,158	0,000	0,000	
C*E	3	0,239	0,565	0,000	0,228	
BLOCO	3	0,301	0,958	0,007	0,031	
CV (%)		10,39	3,17	1,620	4,030	
Média		51,01	2,36	132,450	3554,410	

ANEXO F - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D), estrato da planta (EST) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); interceptação de luz pelo dossel em R5 em diferentes alturas (Interceptação); número de legumes por planta (LP); número de grãos por legume (GL); massa de mil grãos (MMG, g); produtividade de grãos (Produtividade, kg ha⁻¹); número de grãos no topo da planta (Topo da planta); número de grãos no meio superior planta (Meio superior); número de grãos no meio inferior planta (Meio inferior) e número de grãos na base da planta (Base da planta). Os resultados referem-se ao experimento semeado em novembro, safra 2015/2016, e que consta no Capítulo III.

		Cobertura	IAF R2	IAF R5	Interceptação
FV*	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0,0000	0,0219	0,0000	0,0000
E	3	0,0000	0,001	0,0640	0,0001
D	3	0,0000	-	-	-
C*E	3	0,0008	0,0000	0,5224	0,0001
C*D	3	0,0000	-	-	-
E*D	9	0,0000	-	-	-
C*E*D	9	0,0021	-	-	-
ESTR	3	-	-	-	0,0000
E*ESTR	9	-	-	-	0,0026
C*ESTR	3	-	-	-	0,0000
C*E*ESTR	9	-	-	-	0,0000
BLOCO	3	0,9507	0,6936	0,583	-
CV %		7,77	7,54	10,07	0,73
Média		64,18	3,20	5,62	98,03
		LP	GL	MMG	Produtividade
FV	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
E	3	0,2448	0,1655	0,7680	0,1097
C*E	3	0,1500	0,0607	0,2569	0,1414
BLOCO	3	0,6623	0,6233	0,1854	0,1353
CV (%)		7,74	2,54	9,87	5,81
Média		50,59	2,17	165,47	4192,06
		Topo da planta	Meio superior	Meio Inferior	Base da Planta
FV	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0.0126	0.0988	0.7143	0
E	3	0.2936	0.8601	0.7479	0.0163
C*E	3	0.958	0.5899	0.8804	0.0254
BLOCO	3	0.5078	0.8735	0.8214	0.3623
CV (%)		19.49	23.34	21.9	46.99
Média		31.32	34.49	40.36	9.44

ANEXO G - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C), espaçamento entre fileiras (E), dias após a semeadura (D), estrato da planta (EST) e bloco (BLOCO) para as variáveis: cobertura do solo pela soja (Cobertura); índice de área foliar nos estádios R2 (IAF R2) e R5 (IAF R5); interceptação de luz pelo dossel em R5 em diferentes alturas (Interceptação); número de legumes por planta (LP); número de grãos por legume (GL); massa de mil grãos (MMG, g); produtividade de grãos (Produtividade, kg ha⁻¹); número de grãos no topo da planta (Topo da planta); número de grãos no meio superior planta (Meio superior); número de grãos no meio inferior planta (Meio inferior) e número de grãos na base da planta (Base da planta). Os resultados referem-se ao experimento semeado em dezembro, safra 2015/2016, e que consta no Capítulo III.

		Cobertura	IAF R2	IAF R5	Interceptação
FV	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0,0015	0,0003	0,0010	0,0000
E	3	0,0000	0,0000	0,0021	0,0000
D	3	0,0000	-	-	-
C*E	3	0,0157	0,0013	0,6845	0,0000
C*D	3	0,2633	-	-	-
E*D	9	0,0000	-	-	-
C*E*D	9	0,0800	-	-	-
ESTR	3	-	-	-	0,0000
E*ESTR	9	-	-	-	0,0163
C*ESTR	3	-	-	-	0,0341
C*E*ESTR	9	-	-	-	0,0914
BLOCO	3	0,8575	0,4044	0,7139	-
CV %		9,03	9,24	11,76	0,7
Média		60,62	3,74	6,85	97,14
		LP	GL	Massa de 1000	Produtividade
FV	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0,2301	0,0000	0,0000	0,3674
E	3	0,0002	0,4233	0,1012	0,0000
C*E	3	0,1870	0,9805	0,8848	0,2934
BLOCO	3	0,3332	0,9027	0,8880	0,6679
CV (%)		11,21	3,29	3,40	5,05
Média		58,68	2,39	137,18	3732,79
		Topo da planta	Meio superior	Meio Inferior	Base da Planta
FV	GL	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
C	1	0,0000	0,0386	0,0013	0,0000
E	3	0,2376	0,1207	0,1776	0,0051
C*E	3	0,7190	0,9744	0,955	0,0045
BLOCO	3	0,4588	0,2510	0,2094	0,0753
CV (%)		25.43	22.7	21.58	42.36
Média		27.77	29.69	35.09	8.72

ANEXO H - Resumo do quadro de análise de variância para as fontes de variação (FV) cultivar (C) e espaçamento entre fileiras (E) para a variável interceptação de luz pelo dossel em R2 nos estratos superior, médio e inferior. Os resultados referem-se ao experimento semeado em novembro e dezembro, safra 2015/2016, e que consta no Capítulo III.

Semeadura de novembro							
FV	GL	Superior		Médio		Inferior	
		QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc
C	1	70,89844	0,0000	19,21565	0,0005	1,079504	0,0033
E	3	14,51984	0,1886	5,304254	0,0171	0,715815	0,0008
C*E	3	9,700671	0,3574	3,467284	0,0792	0,256004	0,0965
CV (%)		2,3		1,38		0,37	
Média Geral		74,88		88,27		92,18	
Semeadura de dezembro							
FV	GL	Superior		Médio		Inferior	
		QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc
C	1	1,235334	0,1624	0,378759	0,2245	0,014751	0,6265
E	3	32,65455	0,000	44,69828	0,0000	44,7068	0,0000
C*E	3	2,67584	0,007	0,996543	0,0110	0,285201	0,0048
CV (%)		1,11		0,62		0,29	
Média Geral		71,27		81,17		87,07	

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em face dos resultados obtidos e das informações discutidas nesse trabalho, os parâmetros relacionados a distribuição espacial de plantas que realmente impactam sobre a produtividade de grãos são a população de plantas o espaçamento entre fileiras. Como observado no capítulo 1, a população de plantas apresenta a melhor relação com a produtividade de grãos, quando em comparação com as demais variáveis. Resultado semelhante é observado no capítulo 2, onde a redução de produtividade ocorreu devido a redução na população. Porém, a redução percentual da produtividade não acompanha a redução percentual da população de plantas, sendo então menos intensa. Os espaçamentos entre fileiras diferenciam-se principalmente quando a semeadura é realizada em época tardia, podendo em situações desse tipo migrar do espaçamento de 45 para o de 22,5 centímetros entre fileiras, mantendo a mesma população de plantas.

O espaçamento entre plantas dentro da fileira não se caracteriza um parâmetro da mesma relevância que população de plantas e espaçamento entre fileiras. Dentre as variáveis utilizadas para descrever a uniformidade de distribuição de plantas dentro da fileira, a que apresentou maior impacto sobre a produtividade é o percentual de espaçamentos falhos. Porém, como evidenciado na discussão do capítulo 1, essa variável tem influência sobre a população de plantas. Com isso, trabalhos futuros deveriam readequar a metodologia utilizada e definir esse espaçamento, caracterizando o tamanho da falha que é aceitável e a partir de qual tamanho a falha passa a ser prejudicial ao rendimento da cultura.