



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

FLÁVIA WERNER

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE
SOJA EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE
PLANTAS**

Londrina
2016

FLÁVIA WERNER

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE
SOJA EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE
PLANTAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Agronomia da
Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto de
Aguilar e Silva

Coorientador: Dr. Alvadi Antonio Balbinot
Junior

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Werner, Flávia.

Crescimento e produtividade de cultivares de soja em diferentes arranjos espaciais de plantas / Flávia Werner. - Londrina, 2016.
83 f.

Orientador: Marcelo Augusto de Aguiar e Silva.

Coorientador: Alvadi Antonio Balbinot Junior.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Soja - Teses. 2. Tipo de crescimento indeterminado - Teses. 3. Densidade de semeadura - Teses. 4. Espaçamento entre fileiras - Teses. I. Aguiar e Silva, Marcelo Augusto de. II. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

FLÁVIA WERNER

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA EM
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto de
Aguilar e Silva
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Coorientador: Dr. Alvadi Antonio Balbinot
Junior
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA Soja

Dra. Marizangela Rizzatti Ávila
Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR

Prof. Dr. Mauro Cezar Barbosa
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 26 de Fevereiro de 2016.

Dedico

Aos meus pais, Clarice e Alceu, pelo apoio incondicional na minha formação profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus e a Santa Paulina, por sempre terem me dado força para enfrentar todas as situações, por mais difíceis que fossem, foi através da fé que tenho que segui em frente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva, pela orientação, pela dedicação, paciência, pelo apoio, pelo exemplo, conhecimento e ensinamentos transmitidos.

Ao meu coorientador Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior, pela disponibilidade, exigência, dedicação, pelo exemplo profissional e pela fé em mim depositada. Agradeço, sobretudo, por ter me oferecido a oportunidade inicial para que eu seguisse na carreira acadêmica.

A Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do Mestrado.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos.

A Embrapa Soja pela infraestrutura oferecida.

Aos pesquisadores da Embrapa Soja, Julio Cezar Franchini e Henrique Debiasi pelo apoio, ensinamentos e incentivo. Também, aos pesquisadores Fernando Augusto Henning, Liliane Márcia Mertz Henning e Estela de Oliveira Nunes pelo apoio e amizade.

Ao pessoal de apoio da área de manejo do solo e da cultura da Embrapa Soja: Agostinho, Éverson, Póla, Duda, Gustavo, Ildefonso e Eliseu. Também ao Claudinei e ao Rodrigo pela ajuda em algumas análises.

Aos meus pais, Alceu José Werner e Clarice Helena Cerbato Werner pela educação e os princípios a mim transmitidos. Obrigada pela confiança, e por todo o esforço que vocês fizeram para me ajudar a conquistar meus objetivos. Não há palavras que consigam expressar minha gratidão.

A todos os meus familiares que sempre me incentivaram a seguir em frente, especialmente minhas irmãs Ana Maria e Marina.

Aos meus colegas de trabalho Willian, Roni, Antonio e Isabela por toda ajuda durante a condução dos experimentos.

Ao André por toda ajuda na condução dos experimentos e apoio durante o mestrado.

A Julia e ao Cristian Rafael pela amizade, incentivo, compreensão, pelo exemplo e principalmente pelo apoio incondicional para a realização do mestrado em Londrina, sem vocês eu não teria conseguido.

Aos meus amigos, José, Ronan, Jaqueline, Rafaela e Adriana pela amizade, força, compreensão nos momentos difíceis, por estarem sempre me motivando e me fazendo seguir em frente e pelos momentos alegres proporcionados.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

WERNER, Flávia. **Crescimento e produtividade de cultivares de soja em diferentes arranjos espaciais de plantas**. 2016. 83f. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento, o desempenho agrônômico e a produtividade de duas cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado em diferentes arranjos espaciais de plantas, compostos por diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja) em Londrina, Paraná, nas safras 2013/14 e 2014/15. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 x 3, com três repetições. Os tratamentos constituíram-se da combinação de duas cultivares: BRS 359 RR e BMX Potência RR, de quatro espaçamentos entre fileiras: 20 cm (reduzido); 20/80 cm (fileira dupla); 50 cm (usual) e 50 x 50 cm (cruzado) e três densidades de semeadura: 150, 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹. As parcelas foram constituídas de 10,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, totalizando 50,0 m², sendo sua área útil de 15,0 m² (10,0 m de comprimento por 1,5 m de largura). Foram avaliados a densidade inicial de plantas, massa seca de caules e de folhas, índice de área foliar (IAF), porcentagem da cobertura do solo com plantas, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), densidade final de plantas, altura de plantas, número de ramos por planta, altura da inserção da primeira vagem, diâmetro do caule, índice de colheita aparente e produtividade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A cultivar BRS 359 RR apresenta maior NDVI, produtividade e índice de colheita aparente em relação a cultivar BMX Potência RR por possuir menor ciclo de desenvolvimento. O espaçamento reduzido (20 cm) proporciona menor NDVI no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, entretanto apresenta maior massa seca de folhas e de caules no início do ciclo e diâmetro do caule. Todos os espaçamentos apresentam o total fechamento do dossel no final do ciclo, com exceção do espaçamento em fileira dupla (20/80 cm). O espaçamento usual (50 cm) confere maior produtividade de grãos. A densidade de 150 mil sementes viáveis ha⁻¹ ocasiona menor NDVI e cobertura do dossel no início do ciclo, entretanto no final do ciclo essa diferença se dissipa e todas as densidades apresentam pleno fechamento do dossel. A densidade de 450 mil sementes viáveis ha⁻¹ apresenta maiores altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, massa seca de folhas e caules no início do ciclo da cultura e produtividade de grãos e menores diâmetro do caule e número de ramos por planta.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Tipo de crescimento indeterminado. Espaçamento entre fileiras. Densidade de semeadura. Biomassa vegetal.

WERNER, Flávia. **Growth and yield of soybean in different spatial arrangements of plants.** 2016. 83p. Dissertation (Master Science in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the growth, agronomic performance and yield of two soybean cultivars with indeterminate growth habit in different spatial plant arrangements, composed of different row spacing and plant densities. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Brazilian Agricultural Research Company (Embrapa Soja) in Londrina, Paraná, Brazil during 2013/14 and 2014/15 growing seasons. The experimental design was a randomized block, in a factorial 2 x 4 x 3, with three replications. The treatments consisted of the combination of two soybean cultivars (BRS 359 RR and BMX Potência RR), four row spacing: 20 cm (reduced); 20/80 cm (double row); 50 cm (standard) and 50 x 50 cm (crossed lines) and three sowing densities (150, 300 and 450 000 viable seeds ha⁻¹). The plots consisted of 10.0 m long and 5.0 m wide, totaling 50.0 m² and a floor area of 15.0 m² (10.0 m long by 1.5 m wide). We evaluated the initial plant density, dry mass of stems and leaves, leaf area index (LAI), percentage of soil cover with plants, vegetation index (NDVI), final plant density, plant height, number of branches per plant, first pod height, stem diameter, apparent harvest index and yield. The data were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey test at 5% probability. The BRS 359 RR has higher NDVI, grain yield and apparent harvest index in relation to BMX Potência RR for having a shorter development cycle. The reduced spacing (20 cm) provides lower NDVI early in the development cycle of culture, however has a higher dry matter of leaves and stems at the beginning of the cycle and stem diameter. All spacing present the total closure of the canopy at the end of the cycle, with the exception of spacing in double rows (20/80 cm). The usual spacing (50cm) provides higher grain yield. The density of 150 thousands viable seeds ha⁻¹ leads to lower NDVI and canopy cover early in the cycle. On the other hand, at the end of the cycle this difference vanishes and all densities have full canopy closure. The density of 450 thousands viable seeds ha⁻¹ presents greater plant height, first pod height, dry mass of leaves and stems at the beginning of the crop cycle and grain yield and lower stem diameter and number of branches per plant.

Keywords: *Glycine max* L. Indeterminate growth habit. Row spacings. Seeding rates. Plant biomass.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 3.1** – Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial com CAD de 75 mm e temperaturas máxima, mínima e média (°C) durante a condução dos experimentos nas safras 2013/14 (A) e 2014/15 (B). Londrina, PR.....38
- Figura 4.1** – Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial com CAD de 75 mm e temperaturas máxima, mínima e média (°C) durante a condução dos experimentos nas safras 2013/14 (A) e 2014/15 (B). Londrina, PR.....59

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura (médias de duas cultivares), safra 2013/14.....41
- Tabela 3.2** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27 e 35 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras e duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura), safra 2013/14.42
- Tabela 3.3** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27, 35, 43, 49 e 82 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.42
- Tabela 3.4** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27, 35, 43, 49 e 82 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2013/14.43
- Tabela 3.5** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura (médias de duas cultivares), safra 2014/15.....44
- Tabela 3.6** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33, 57 e 91 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.44
- Tabela 3.7** – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33, 57 e 91 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2014/15.....45

Tabela 3.8 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33, 57 e 91 dias após a semeadura (DAS), em duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.	46
Tabela 3.9 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 27, 35, 43 e 49 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.	46
Tabela 3.10 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 27, 35, 43 e 49 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2013/14.	47
Tabela 3.11 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 33 e 57 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.	47
Tabela 3.12 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 33 e 57 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2014/15.	48
Tabela 3.13 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 33 e 57 dias após a semeadura (DAS), em duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.	49
Tabela 4.1 – Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹), número de ramos por planta e altura da inserção da primeira vagem (cm), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.	63
Tabela 4.2 – Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹), número de ramos por planta, altura da inserção da primeira vagem (cm) e diâmetro do caule (cm), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2013/14.	64

Tabela 4.3 – Diâmetro do caule (cm) e produtividade de grãos (kg ha ⁻¹), em diferentes densidades de semeadura e duas cultivares de soja (médias de quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.	65
Tabela 4.4 – Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) em diferentes espaçamentos entre fileiras e duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura), safra 2013/14.	66
Tabela 4.5 – Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹), massa seca de folhas aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m ⁻²), índice de área foliar (IAF), massa seca de caules aos 62 DAS (g m ⁻²), massa seca de folhas aos 62 DAS (g m ⁻²), densidade final (mil plantas ha ⁻¹), altura da inserção da primeira vagem (cm) e diâmetro do caule (cm) em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.	67
Tabela 4.6 – Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹), massa seca de folhas aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m ⁻²) e densidade final (mil plantas ha ⁻¹), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2014/15.	68
Tabela 4.7 – Massa seca de folhas aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m ⁻²), massa seca de caules aos 62 DAS (g m ⁻²), número de ramos por planta e produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de duas cultivares de soja (médias de quatro espaçamentos entre fileiras e de três densidades de semeadura), safra 2014/15.	69
Tabela 4.8 – Massa seca de caules aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m ⁻²), índice de colheita aparente e diâmetro do caule (cm) em diferentes espaçamentos entre fileiras e duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura), safra 2014/15.	70

Tabela 4.9 – Massa seca de caules aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m ⁻²), índice de colheita aparente, altura da inserção da primeira vagem(cm) e altura de plantas (cm)em diferentes densidades de semeadura e duas cultivares de soja (médias de quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.	71
Tabela 4.10 – Número de ramos por planta e altura da inserção da primeira vagem (cm) em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura (médias de duas cultivares), safra 2014/15.	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	A CULTURA DA SOJA	16
2.2	DENSIDADES DE SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA.....	18
2.3	ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS NA CULTURA DA SOJA	20
2.4	CONDIÇÕES AMBIENTAIS PARA O CULTIVO	22
2.4.1	Necessidades hídricas.....	22
2.4.2	Temperatura	23
2.4.3	Fotoperíodo.....	24
2.5	CULTIVARES.....	24
	REFERÊNCIAS	27
3	ARTIGO A: DINÂMICA DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS	33
3.1	RESUMO.....	33
3.2	ABSTRACT	34
3.3	INTRODUÇÃO.....	35
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.4.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	39
3.4.2	Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel	39
3.4.3	Análise Estatística.....	40
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.6	CONCLUSÕES.....	49
3.7	REFERÊNCIAS	50
4	ARTIGO B: DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS	54

4.1	RESUMO	54
4.2	ABSTRACT	55
4.3	INTRODUÇÃO.....	56
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.4.1	Densidade inicial de plantas	60
4.4.2	Índice de área foliar (IAF).....	60
4.4.3	Massa seca de caules e de folhas	60
4.4.4	Densidade final de plantas.....	61
4.4.5	Altura de plantas	61
4.4.6	Altura da inserção da primeira vagem.....	61
4.4.7	Diâmetro do caule	61
4.4.8	Número de ramos por planta	61
4.4.9	Índice de colheita aparente	62
4.4.10	Produtividade de grãos	62
4.4.11	Análise Estatística.....	62
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.6	CONCLUSÕES.....	73
4.7	REFERÊNCIAS	74
ANEXOS		79
Anexo 4.1 -	Resumo da análise de variância para as características agronômicas avaliadas em plantas de soja, em função das cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades de semeadura na safra 2013/2014 em Londrina-PR.	79
Anexo 4.2 -	Resumo da análise de variância para as características agronômicas avaliadas em plantas de soja, em função das cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades de semeadura na safra 2013/2014 em Londrina-PR.	80
Anexo 4.3 -	Resumo da análise de variância para as características agronômicas avaliadas em plantas de soja, em função das cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades de semeadura na safra 2014/2015 em Londrina-PR.	81
Anexo 4.4 -	Resumo da análise de variância para as características agronômicas avaliadas em plantas de soja, em função das	

cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades
de semeadura na safra 2014/2015 em Londrina-PR82

5 CONCLUSÕES GERAIS83

1 INTRODUÇÃO

A soja é a cultura agrícola que mais cresceu no Brasil nas últimas décadas, muitos fatores contribuíram para que esse crescimento ocorresse. Dentre eles cita-se a facilidade de mecanização da cultura, grande aporte tecnológico, empreendedorismo dos agricultores, adequada aptidão da espécie às condições edafoclimáticas brasileiras e incentivos fiscais.

O complexo agroindustrial da soja é destaque na economia nacional. O grão de soja é amplamente utilizado na alimentação animal para a fabricação de rações, biodiesel e vem apresentando uso crescente para a alimentação humana. Atualmente, o Brasil é o principal exportador de grãos de soja e seus derivados e o segundo maior produtor mundial.

Devido à importância mundial da cultura da soja, foram desenvolvidas novas tecnologias para aprimorar a produção mundial, como o caso da resistência ao glyphosate e a introdução da soja-BT, portadora de genes oriundo da bactéria *Bacillus thuringiensis*, os quais sintetizam toxinas letais a várias espécies de lagartas.

A introdução de cultivares com tipo de crescimento indeterminado, de ciclo precoce, nova arquitetura de plantas, maior potencial de produção de grãos, folíolos menores e com inclinação vertical tem levantado vários questionamentos quanto ao manejo da cultura da soja, especialmente no que tange ao ajuste de espaçamento e da densidade de plantas.

Novos sistemas de produção vêm sendo testados, como é o caso da semeadura cruzada, que consiste na dupla semeadura das sementes de soja, a primeira é semeada no sentido ao que o agricultor vem realizando na lavoura e a segunda no sentido transversal à primeira semeadura, formando um quadriculado. Utilizando essa técnica alguns produtores observaram um aumento de produtividade, o que levantou dúvidas sobre o porquê desse sistema causar esse resultado. Apesar disso não há muitas informações na literatura que indiquem qual é o efeito dessa técnica sobre a cultura da soja.

Outro sistema de produção de soja é o de fileiras duplas que consiste na semeadura de duas fileiras de semeadura mais próximas umas das outras do que utilizado usualmente e de outra fileira dupla mais distante da outra

fileira dupla, sistema esse muito utilizado nos Estados Unidos, inclusive adotado pelo recordista mundial de produtividade de soja.

O sistema de produção de soja em espaçamento reduzido consiste na semeadura mais próxima das linhas de semeadura do que o utilizado usualmente e vem sendo estudado no Brasil por demonstrar melhorias no âmbito econômico e ambiental.

No entanto, é necessário um estudo mais aprofundado sobre a utilização de novas cultivares, a interação da população de plantas, sua disposição na área e qual o efeito disso no rendimento final de grãos.

Cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado, seriam melhor adaptadas aos novos sistemas de produção (espaçamento reduzido, em fileiras duplas e semeadura cruzada), permitindo também o aumento da densidade de plantas. Nesses sistemas a interceptação da radiação solar seria maior nas fases iniciais de desenvolvimento da soja, quando em comparação ao sistema tradicional, por apresentar maior rapidez do fechamento entrelinhas.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento, o desempenho agrônômico e a produtividade de duas cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado em diferentes arranjos espaciais de plantas, compostos por diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura, visando assim o desenvolvimento de novos sistemas que proporcionem um aumento significativo na produtividade da cultura da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja é uma planta leguminosa pertencente à família Fabaceae (Leguminosae), do gênero *Glycine*, espécie *Glycine Max*. Foi domesticada a cerca de 1100 a.C., na região nordeste da China, sendo considerada, juntamente com o arroz, o trigo, a cevada e o milheto um dos cinco grãos sagrados (NOGUEIRA et al., 2009).

Essa leguminosa é uma das culturas mais antigas, e já era cultivada há pelo menos cinco mil anos. Sua propagação pelo mundo deu-se por intermédio de viajantes ingleses e por imigrantes japoneses e chineses (MISSÃO, 2006).

No Brasil sua introdução data de 1882 no estado da Bahia, porém o primeiro cultivo comercial realizado foi no estado do Rio Grande do Sul em 1914. Entretanto, foi somente a partir dos anos 40 que o seu cultivo adquiriu importância econômica, sendo cultivada em uma área de 640 ha com produção de 450 toneladas apresentando o primeiro registro estatístico nacional. Após, foi instalada a primeira indústria processadora de soja do país, figurando assim no cenário internacional como produtor de soja (CISOJA, 2015).

Em todos os países onde a soja possui posição de destaque sendo cultivada em larga escala há a formação de uma complexa estrutura de produção, armazenamento, processamento e de comercialização. A grande demanda no mercado internacional proporcionou rápida expansão dessa cultura no Brasil, que ocorreu pela tomada de áreas cultivadas com outras culturas e, principalmente, da conquista de novas fronteiras agrícolas (REZENDE; CARVALHO 2007).

O sucesso da cultura da soja no país deve-se principalmente aos avanços tecnológicos ligados ao uso de cultivares adaptadas que apresentam altas produtividade, a mecanização e o conhecimento de estratégias adequadas de manejo cultural e fitossanitário e a ampliação da área cultivada. Neste âmbito, a soja foi uma das culturas agrícolas que possibilitou a exploração agrícola do Cerrado brasileiro. A partir deste processo houve o desenvolvimento de regiões que até alguns anos atrás eram de baixo desenvolvimento econômico e, conseqüentemente,

pouco povoadas. Atualmente, muitas dessas regiões se destacam em termos de produção de soja e vem contribuindo para consolidação do país como um dos maiores produtores mundiais de soja (ANDRADE et al., 2014).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, ficando atrás somente dos Estados Unidos. A soja se destaca no cenário nacional dentro das culturas de grãos, sendo a primeira colocada em área cultivada (LUDWIG et al., 2011). Na safra de 2014/2015 foram cultivados no país 32,1 milhões de hectares de soja, que produziram 96,3 milhões de toneladas de grãos.

Neste cenário, os estados do Mato Grosso, do Paraná e do Rio Grande do Sul possuem destaque, produzindo 28,3, 17,2 e 14,8 milhões de toneladas, respectivamente, representando 62,6% do total produzido. A perspectiva da produção brasileira para a safra 2015/2016 é em torno de 102 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2016). O maior produtor de soja, os Estados Unidos, atingiu na safra 2014/2015 um total de 106,9 milhões de toneladas de grãos em uma área de 33,4 milhões de hectares (USDA, 2016).

A obtenção de uma boa lavoura de soja depende de diversos fatores, como o bom manejo do solo, semeadura na época indicada e com disponibilidade hídrica, correta utilização de agroquímicos, regulagem da semeadora (densidade, espaçamento e profundidade) e sementes que possuam uma boa qualidade genética, física, sanitária e fisiológica (VAZQUEZ; CARVALHO; BORBA, 2008).

A cultura da soja tem sido alvo de intensa atividade de pesquisa dirigida à obtenção de informações que possibilitem aumentos na produtividade e redução nos custos de produção. Isso requer a constante reformulação e adaptação de novas técnicas de cultivo. Ecofisiologicamente, a cultura da soja durante seu desenvolvimento e crescimento é exigente em diversos fatores, como o fotoperíodo, a temperatura e a disponibilidade hídrica (BARBOSA et al., 2013).

A análise do crescimento pode ser realizada com base na quantificação da matéria seca, que é considerado um importante método para compreender o comportamento de diferentes materiais genéticos; a maioria dos processos fisiológicos que afetam a produtividade de uma cultura está relacionada com esse caráter (BENINCASA, 2003). A restrição de fotoassimilados influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas, refletindo em menor estatura e conseqüentemente em um menor número de nós (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

2.2 DENSIDADES DE SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA

A interação entre a planta, o ambiente de produção e o manejo cultural define a produtividade das culturas. Dentre as práticas de manejo, a época de semeadura, a escolha da cultivar, os espaçamentos e a densidades de semeadura são fatores que influenciam o rendimento da soja e seus componentes da produção (MAUAD et al., 2010).

A variação na densidade de semeadura e no espaçamento entre fileiras altera o arranjo de plantas, modificando assim a área disponível para cada planta, refletindo assim em uma competição intraespecífica diferenciada (RAMBO et al., 2003).

A máxima produtividade só é alcançada com um estande de plantas ajustado (MATTIONI; SCHUCH; VILLELA, 2013). O máximo potencial de produção da cultura começa no estabelecimento inicial da mesma, sendo assim, uma formação adequada da população e do espaçamento de plantas é primordial para o desenvolvimento vegetativo vigoroso, proporcionando a produção de maior número de estruturas reprodutivas (PIRES et al., 1998).

A densidade de semeadura é fator determinante para o arranjo das plantas no ambiente de produção e interfere no crescimento e desenvolvimento da soja. Dessa maneira, uma adequada população de plantas possibilita maior rendimento, altura de planta e de inserção da primeira vagem, ausência de acamamento de plantas, adequando assim à colheita mecanizada, diminuindo as perdas na colheita (GAUDÊNCIO et al., 1990). No entanto, se o ajuste da densidade ocasionar poucas plantas por hectare, estas irão apresentar menor crescimento em altura e maior número de ramificações laterais, fenômeno conhecido como plasticidade fenotípica, contudo isto aumentará a probabilidade de maiores perdas na colheita, restringindo a produção (HEIFFIG et al., 2006).

Até a década de 1980, a densidade utilizada para a cultura da soja era de 400 mil plantas ha^{-1} , com o intuito de que uma maior quantidade de plantas proporcionasse maior competição entre as plantas e, portanto ocasionasse um aumento na altura e sombreamento do solo mais rápido e uniforme, competindo assim com as plantas daninhas e suprimindo o seu desenvolvimento. Todavia, com o advento de novas tecnologias como os herbicidas de pós-emergência e cultivares

resistentes ao uso dessas substâncias, essa razão teve sua importância minimizada (VAZQUEZ; PERES; TARSITANO, 2014).

Com o desenvolvimento de cultivares de maior porte e a melhoria dos atributos do solo possibilitaram para que houvesse a redução da densidade de plantas, permitindo utilizar 300 mil plantas ha^{-1} e, em condições que favorecessem ao acamamento das plantas, de 200 mil a 250 mil plantas ha^{-1} (EMBRAPA, 2011). França Neto, Krzyzanowski e Henning (2010) relatam que as cultivares modernas de soja possuem alta produtividade, mesmo em baixas densidades (180 a 250 mil plantas ha^{-1}).

Conforme Caliskan et al. (2007), não existe uma densidade de plantas e um espaçamento ideais para todas as cultivares de soja e ambientes, sendo pertinente a consideração da interação entre o espaçamento e densidade de plantas para cada condição de cultivo. Norsworthy e Shipe (2005) reiteram essa afirmação, sugerindo a necessidade de se agrupar genótipos que respondam ou não à redução do espaçamento, otimizando o potencial da cultivar. Segundo Edwards, Purcell e Karcher (2005), cultivares que possuam plantas compactas (baixa capacidade de ramificação e baixa estatura) e que alcançam o pleno enchimento dos grãos antes de 90 dias após a semeadura necessitam de maiores densidades de plantas em relação a cultivares mais tardias, que apresentam maior ramificação e maior estatura.

Pricinotto e Zucareli (2014) utilizando duas populações de plantas de soja (250 e 450 mil plantas ha^{-1}) observaram que a maior população resultou em maior altura de plantas, maior acamamento e menor produtividade de grãos. Por outro lado Kuss et al. (2008) avaliando o desempenho da soja em duas densidades de semeadura (250 e 400 mil plantas ha^{-1}) em diferentes níveis de irrigação constataram que a população de 400.000 plantas ha^{-1} aumentou a produtividade de grãos da soja não irrigada, podendo ser uma alternativa para reduzir as perdas por estresse hídrico em soja, também a maior densidade de semeadura proporcionou maior massa seca de parte aérea.

Linzmeier Junior et al. (2008) avaliando duas densidades de semeadura (140 e 180 mil plantas ha^{-1}) observaram que a menor densidade promove menor altura de plantas e maior diâmetro do caule, assim como maior massa seca de parte aérea, entretanto as densidades não ocasionam diferenças na área foliar e na produtividade. Thompson et al. (2015) avaliando diferentes

densidades de semeadura utilizando cultivares com grupos de maturidade distintos não observaram aumento no rendimento de grãos.

2.3 ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS NA CULTURA DA SOJA

Diversos fatores estão associados aos resultados positivos alcançados com os ajustes no arranjo de plantas das culturas, como a maior eficiência do uso da água, devido ao rápido fechamento do dossel e, conseqüentemente maior redução de perdas por evaporação, maior cobertura do solo, melhor disposição horizontal de raízes, diminuição da competição intraespecífica, maior aproveitamento dos nutrientes presentes na solução do solo e um aumento da interceptação da radiação solar pelas culturas (RAMBO et al., 2004; BALBINOT JUNIOR; FLECK, 2005).

Com a finalidade de aumentar a produtividade de grãos, novas técnicas de semeadura de soja estão sendo propostas e avaliadas no Brasil e no exterior. A semeadura em fileiras duplas ou em fileiras pareadas é utilizada frequentemente nos Estados Unidos, sendo esta técnica utilizada pelo recordista mundial de produtividade de soja. Nesse sistema de arranjo de plantas é possível aumentar a penetração de luz e agroquímicos no dossel, aumentando a taxa fotossintética, a sanidade e a longevidade das folhas próximas ao solo, podendo ocasionar um aumento na produtividade de grãos (BRUNS, 2011).

Recentemente, outra técnica de semeadura denominada 'semeadura cruzada' vem sendo testada, na qual uma operação de semeadura é realizada posicionando metade das sementes na fileira de semeadura, seguida de outra operação similar no sentido perpendicular à primeira, formando um quadriculado (BALBINOT JUNIOR et al., 2015). Segundo Lima et al. (2012) este tipo de semeadura é observado nas margens de áreas de cultivo como forma de compensar as falhas de locais de manobras de início de semeadura. A partir disto, alguns produtores verificaram um aumento da produção de grãos por área nessa situação e começaram a realizar testes em suas propriedades, inclusive essa técnica foi utilizada por alguns ganhadores do concurso de produtividade promovido pelo Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB), nas safras 2010/11 e 2011/12. Entretanto, na literatura científica, há poucas informações que indiquem os efeitos

dessa técnica na produtividade de grãos e a sua interação com cultivares e densidades de semeadura (PROCÓPIO et al., 2013).

Outra técnica adotada é a redução no espaçamento que ao manter a mesma população de plantas do que em espaçamentos mais amplos, proporciona melhor distribuição espacial das plantas na área e aumenta o aproveitamento da radiação solar, pela redução da densidade de plantas nas fileiras de semeadura (TOURINO; REZENDE; SALVADOR, 2002). Desse modo, a soja poderia tolerar maiores níveis de desfolhamento quando cultivada em espaçamento reduzido entre fileiras do que em maiores espaçamentos, pois as vantagens do espaçamento mais estreito (como maior acúmulo de massa seca e maior área foliar) permitiriam maior perda de área foliar, resultando na mesma interceptação de luz de plantas menos desfolhadas em espaçamentos mais amplos, mantendo a produtividade de grãos semelhante em ambos os espaçamentos (PARCIANELLO et al., 2004). Essa operação possibilita elevada produção de fotoassimilados, e efeitos benéficos da cobertura rápida do solo, proporcionando a manutenção de água e temperatura em níveis adequados, principalmente no início do desenvolvimento da cultura (MAEHLER et al., 2003).

Holtz et al. (2014) observaram que o espaçamento reduzido (30 cm) proporcionou um fechamento foliar mais rápido em relação a outros espaçamentos, quanto a produtividade, o espaçamento de plantio cruzado acarretou a menor produtividade em relação aos outros espaçamentos avaliados. Heiffig et al. (2006) também observaram um fechamento foliar das entrelinhas em menor período de tempo em espaçamentos de 20 e 30 cm, entretanto a produtividade não foi alterada pelos espaçamentos avaliados.

Silva et al. (2013) observaram maior altura de plantas nos espaçamentos de 40 e 45 cm assim como um fechamento foliar das entrelinhas mais rápido, entretanto a máxima produtividade obtida foi no espaçamento de 50 cm. Cox e Cherney (2011) constataram que o espaçamento reduzido de 19 cm proporcionou maiores índice de área foliar (IAF), massa seca total de plantas e produtividade de grãos. Bruin e Pedersen (2008) observaram maior produtividade de grãos utilizando o espaçamento de 38 cm em relação ao espaçamento de 76 cm.

Procópio et al. (2014) estudando o efeito de fileiras duplas (19/38 e 19/57 cm) e espaçamento reduzido (19 cm) na cultura da soja não observaram efeito de espaçamentos na produção de matéria seca de plantas de soja, contudo o

espaçamento reduzido ocasionou menor produtividade e o espaçamento em fileiras duplas não apresentou diferenças significativas em relação a espaçamentos tradicionais utilizados na cultura da soja.

Balbinot Junior et al. (2015) avaliando os espaçamentos de 40 e 60 cm e o cruzamento ou não das linhas de semeadura, observaram uma maior produção de massa seca de plantas e de rendimento de grãos no maior espaçamento avaliado, todavia o cruzamento das linhas não proporcionou aumento na produtividade de grãos.

2.4 CONDIÇÕES AMBIENTAIS PARA O CULTIVO

2.4.1 Necessidades hídricas

A cultura da soja necessita de 450 a 800 mm de água em todo o seu ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. A máxima necessidade de água é durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm dia⁻¹), diminuindo após esse período (PEIXOTO et al., 2000).

A maior disponibilidade de água necessária para a cultura da soja ocorre em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante a germinação-emergência, excesso ou déficit de água são desfavoráveis à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A semente de soja necessita absorver 50% de umidade para garantir adequada germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do máximo total de água disponível e nem ser inferior a 50% (MORAES et al., 2004).

O déficit hídrico combinado com temperaturas próximas a 40°C provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas o que antecipa a floração, reduzindo assim o ciclo vegetativo, causando a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando na redução do rendimento de grãos (EMBRAPA, 2000).

O estresse hídrico afeta consideravelmente a produtividade da soja, principalmente quando o déficit ocorre durante o desenvolvimento da vagem e durante o enchimento das sementes. A fotossíntese usualmente é afetada pelo

estresse hídrico, com a redução principalmente ocorrendo em função da limitação estomática (BEZERRA; MOSQUIM, 1999).

De acordo com Bergamaschi, Berlato e Westphalem (1977) o consumo de água pela cultura da soja depende, além do estágio de desenvolvimento, também da demanda evaporativa da atmosfera, e o seu valor absoluto pode variar, tanto em função das condições climáticas de cada região como em função do ano e época de semeadura (condições de tempo) na mesma região climática. De acordo com Almeida et al., (1997) o excesso e a falta de água no solo afetam o crescimento e rendimento de plantas de soja, sendo que, em longos períodos de seca pode haver uma queda considerável na produção de grãos.

2.4.2 Temperatura

A melhor adaptação da planta de soja está entre as temperaturas de 20°C e 30°C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento próxima de 30°C. Modificações de temperatura entre anos e locais alteram a data de floração e a duração do período reprodutivo, para uma mesma data de semeadura (FARIAS, 2000).

Temperaturas mais baixas ocasionam aumento no período para que ocorra o florescimento. Barros e Sedyama (2009) relatam que a indução floral é ótima quando a temperatura do ar encontra-se entre 20° e 30°C. A previsão da data de floração, bem como de outros estágios de desenvolvimento são de extrema importância para o manejo da cultura, como também para uso em modelo de crescimento e produção de soja. Uma previsão acertada da duração entre a emergência e a floração determina ainda a produção de matéria seca e, portanto, o rendimento de grãos (WANG et al., 1997; RODRIGUES et al., 2001).

A floração não é induzida quando ocorrem temperaturas abaixo de 13°C. As diferenças de data de floração, entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada numa mesma época, são devido a variações do comprimento do dia e de temperatura. A floração precoce ocorre, em consequência de temperaturas mais altas, podendo resultar na diminuição na altura de planta (EMBRAPA, 2000).

2.4.3 Fotoperíodo

O fotoperíodo (número de horas de luz por dia) é o fator de maior importância na determinação da proporção entre os períodos vegetativos e reprodutivos de plantas de soja, interferindo em diversas características das plantas de soja, dentre elas: altura de planta, massa de grãos, número de ramificações, número de vagens por planta, maturação, entre outras (BARROS; SEDIYAMA, 2009).

A adaptação de diferentes cultivares a determinadas regiões depende, além das exigências hídricas e térmicas, de sua exigência fotoperiódica. A sensibilidade ao número de horas de luz por dia é característica variável entre cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento não é induzido, devido a esse fator, a soja é considerada planta de dia curto (EMBRAPA, 2000).

A sensibilidade fotoperiódica varia com o genótipo e o grau de resposta ao estímulo de luz, sendo o principal fator determinante da adaptação das diferentes cultivares. Nas cultivares de soja sensíveis, a resposta ao fotoperíodo é quantitativa, e não absoluta, ou seja o tempo necessário para o florescimento, depende do comprimento do dia, sendo mais rápida a indução em dias curtos do que em dias longos. Dessa maneira, a indução floral promove a transição dos meristemas vegetativos (diferenciação de caule e folhas) em reprodutivos (primórdios florais), determinando o tamanho final das plantas (número de nós) e, portanto, seu potencial de rendimento de grãos (RODRIGUES et al., 2001).

2.5 CULTIVARES

No Brasil há um grande número de cultivares de soja, apesar disso há pouca variabilidade genética entre elas em razão, basicamente, por serem originárias de poucos ancestrais, resultando assim em uma base genética estreita (Miranda et al., 2007). Atualmente são registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 1490 cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)

(MAPA, 2016).

A soja é cultivada em uma ampla faixa do país, sendo assim para atenuar o efeito da interação entre genótipos e ambientes, foram propostas a

estratificação de áreas heterogêneas em sub-regiões mais homogêneas e a recomendação de genótipos com ampla adaptabilidade e estabilidade em diversos ambientes (PELUZIO et al., 2005).

Recentemente, a sojicultura nacional sofreu algumas modificações, tanto com a introdução do sistema de semeadura direta, quanto com o surgimento de cultivares mais produtivas e das cultivares transgênicas Roundup Ready™ (SOUZA et al., 2010). Anteriormente ao advento dessas novas cultivares, a utilização de cultivares que possuem tipo de crescimento determinado era predominante nas cultivares de soja brasileiras, o que é considerado uma das limitações para o aumento da produtividade de grãos. Entretanto, nos últimos anos houve um incremento significativo de cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado (PERINI et al., 2012).

As cultivares com tipo de crescimento indeterminado apresentam ciclo de desenvolvimento inferior a 120 dias, plantas baixas, arquitetura compacta, folíolos pequenos e alto potencial de rendimento de grãos, que são atributos cada vez mais almejados em programas de melhoramento genético de soja (SOUZA et al., 2010; PROCÓPIO et al., 2013).

Os genótipos de soja indeterminados são classificados como plantas que possuem apenas inflorescência axilar, sendo que nestas a gema apical mantém o crescimento vegetativo após início do florescimento. Os genótipos determinados possuem inflorescência racemosa terminal e axilar, o crescimento vegetativo praticamente cessa após o florescimento, crescendo somente até 10% da altura final. Os genótipos que possuem hábito de crescimento semideterminado possuem inflorescência racemosa terminal e axilar, atingindo 70% da altura final ao florescer (NOGUEIRA et al., 2009).

As características morfofisiológicas das cultivares de soja podem impactar decisivamente no arranjo espacial de plantas que maximize o crescimento e a produtividade da cultura (PROCÓPIO et al., 2013; BALBINOT JUNIOR et al., 2015). Segundo esses autores, cultivares que apresentam ciclo curto (inferior a 110 dias entre a emergência e a colheita), plantas baixas (inferior a 80 cm de altura) e pouca ramificação podem responder favoravelmente à redução do espaçamento e ao aumento da densidade de semeadura. Por outro lado, cultivares mais tardias e que apresentam vigoroso crescimento de plantas são menos responsivas à redução do espaçamento e/ou ao aumento da densidade. Todavia, frente à grande

importância da cultura da soja para o Brasil, há carência de pesquisas que elucidem a resposta das cultivares da oleaginosa às alterações no arranjo espacial de plantas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. A. de; KIIHL, R. A. S.; MIRANDA, L. C.; YORINORI, J. T. **Desenvolvimento e avaliação de cultivares e linhagens de soja para a região Centro-Sul do Brasil**. In: EMBRAPA. Resultados de pesquisa da Embrapa Soja 1996. Londrina, 1997, p.13-14.
- ANDRADE, R. C.; LUIZ EDUARDO VICENTE, L. E.; TEIXEIRA, A. H. C. T.; LEIVA, J. F.; VICTORIA, D. C.; ROGGIA, S.; FRANCHINI, J. C. **Uso do sensoriamento remoto na obtenção de parâmetros biofísicos em plantios de soja**. In: Agricultura de precisão para culturas anuais, 2014, p. 239-245.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.245-252, 2005.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p.1215-1226, 2015.
- BARBOSA, M. C.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; ALBRECHT, L. P.; PICCININ, G. G.; ZUCARELI, C. Desempenho agrônômico e componentes da produção de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no arenito caiuí. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 945-960, 2013.
- BARROS, B. H.; SEDIYAMA, T. **Luz, umidade e temperatura**. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). Tecnologias de produção e usos da soja. Londrina: Mecenaz, 2009. p.17-27.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.
- BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; WESTPHALEM, S.L. Épocas de semeadura de soja no Rio Grande do Sul: avaliação e interpretação dos ensaios ecológicos de soja. **Ipagro Informa**, Porto Alegre, n. 18, p. 7-14, 1977.
- BEZERRA, M. A.; MOSQUIM, P. R. Fotossíntese em plantas de soja cultivadas em dois níveis de fósforo e submetidas a déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 11, p. 46, 1999.

BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p.704-710, 2008.

BRUNS, H. A. Comparisons of single-row and twin-row soybean production in the Mid-South. **Agronomy Journal**, Madison, v.103, n.3,p.702-708, 2011.

CALISKAN, S.; ARSLAN, M.; UREMIS, I.; CALISKAN, M. E. The effects of row spacing on yield and yield components of full season and double-cropped soybean. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v.31, n.3, p.147-154, 2007.

CISOJA - Centro De Inteligência da Soja. **Sobre soja – Histórico**, 2009. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br/>>. Acesso em: Julho de 2015.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_14_17_16_boletim_graos_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2016.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

EDWARDS, J. T.; PURCELL, L. C; KARCHER, D. E. Soybean yield and biomass responses to increasing plant population among diverse maturity groups. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 5, p. 1778-1785, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000, 179p.

EMBRAPA. **Sistemas de produção 15: Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011, 261p.

FARIAS, A. D. Baixos rendimentos no Rio Grande do Sul. **Anuário Brasileiro da Soja**, Santa Cruz do Sul, 2000, p. 22.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, n. 1,2, p. 37-38, 2010.

GAUDÊNCIO, C.A.A.; GAZZIERO, D.L.P.; JASTER, F.; GARCIA, A.; WOBETO, C. **População do plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro-**

Sul do Estado do Paraná. Comunicado Técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Soja, n.47, p.1-4, 1990.

HEIFFIG, L.S.; CÂMARA, G.M.S.; MARQUES, L.A.; PEDROSO, D.B.; PIEDADE, S.M.S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p. 285-295, 2006.

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

KUSS, R. C. R.; KÖNIG, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STURMER, G. R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

LIMA, S. F.; ALVAREZ, R. C. F.; THEODORO, G. F.; BAVARESCO, M.; SILVA, K. S. Efeito da semeadura em linhas cruzadas sobre a produtividade de grãos e severidade da ferrugem asiática da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.6, p.951-962, 2012.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS, D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; LUCCA FILHO, O. A.; ZABOT, L.; JAUER, A.; UHRY, D. Populações de plantas na cultura da soja em cultivares convencionais e RoundupReadyTM. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 305-313, 2011.

MAEHLER, A. R.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; RAMBO, L. Qualidade de grãos de duas cultivares de soja em função da disponibilidade de água no solo e arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 213-218, 2003.

MAPA, Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária. **Registro Nacional de Cultivares**. Disponível em:
<http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 31 jan. de 2016.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.19, n.1, p.20-32, 2013.

MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; ALMEIDA NETO, A.I.; ABREU, V.G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v.3, n. 9, p.175-181, 2010.

MIRANDA, Z.F.S.; ARIAS, C.A.A.; PRETE, C.E.C.; KIHLE, R.A.de S.; ALMEIDA, L.A. de A.; TOLEDO, J.F.F. de; DESTRO, D. Genetic characterization of ninety elite soybean cultivars using coefficient of parentage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n. 3, p.363-396, 2007.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais**, Maringá, v. 3, n.1, p.7-15, 2006.

MORAES, J. C. C. ; PEIXOTO, C. P.; M SANTOS, J. M. B.; BRANDELERO E.; PEIXOTO, M. F. S. P. SILVA V. **Caracterização de dez cultivares de soja nas condições agroecológicas do Recôncavo Baiano**. 2004. p. 33-41.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos**. Porto Alegre, 2005. 31 p.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, B. H.; TEIXEIRA, R. C. **Morfologia, crescimento e desenvolvimento**. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecnas, 2009. p. 7-16.

NORSWORTHY, J. K.; SHIPE, E. R. Effect of row spacing and soybean genotype on main stem and branch yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 3, p. 919-923, 2005.

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**, Santa Maria, v.34, n. 2, p.357-364, 2004.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89-96, 2000.

PELUZIO, J.M.; ALMEIDA JUNIOR, D.; FRANCISCO, E.R.; FIDELIS, R.R.; RICHTER, L.H.M.; RICHTER, C.A.M.; BARBOSA, V.S. Comportamento de cultivares de soja no sul do estado de Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 113-117, 2005.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S. DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2531-2544, 2012.

PIRES, J.L.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L. Rendimento de grãos de soja influenciado pelo arranjo de plantas e níveis de adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.24, p.183-188, 1998.

PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C. Paclobutrazol no crescimento e desempenho produtivo da soja sob diferentes densidades de semeadura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n. 4, p.65-74, 2014.

PROCÓPIO, S. O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v.56, n. 4, p.319-325, 2013.

PROCÓPIO, S. O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v.8, n. 2, p.212-221, 2014.

RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

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**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 33-40, 2004.

REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. de A. Avaliação de cultivares de soja [Glycinemax (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1616-1623, 2007.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao

fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

SILVA, W. B.; PETTER, F. A.; LIMA, L. B.; ANDRADE, F. R. Desenvolvimento inicial de *Urochloa ruziziensis* e desempenho agrônômico da soja em diferentes arranjos espaciais no cerrado Mato-Grossense. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p. 146-153, 2013.

SOUZA, C. A.; GAVA, F.; CASA, R. T.; BOLZAN, J. M.; KUHNEM JUNIOR, P. R. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja RoundupReady™. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 887-896, 2010.

THOMPSON, N. M.; LARSON, J. A.; LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; MENGISTU, A.; BELLALOUI, N.; WALKER, E. R. Mid-South soybean yield and net return as affected by plant population and row spacing. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 3, p.979-989, 2015.

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

USDA – United States Department of Agriculture. Data & Analysis. **World Agricultural Production**. Disponível em:
<<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

VAZQUEZ, G. H.; CARVALHO, N. M.; BORBA, M. M. Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 2, p.1-11, 2008.

VAZQUEZ, G. H.; PERES, A. R.; TARSITANO, M. A. A. Redução na população de plantas de soja e o retorno econômico na produção de grãos. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 2, p. 108-117, 2014.

WANG, Z.; REDDY, R. V.; QUEBEDEAUX, B. Growth and photosynthetic responses of soybean to short-term cold temperature. **Environmental and Experimental Botany**, Madrid, v. 37, n. 1, p. 13-24, 1997.

3 ARTIGO A: DINÂMICA DO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS

3.1 RESUMO

O crescimento vegetal é determinado pelo genótipo, pelo ambiente e pela interação desses dois fatores. O ambiente pode ser alterado modificando o arranjo espacial de plantas, determinado pela densidade de semeadura e pelo espaçamento entre as fileiras e pode influenciar no crescimento e desenvolvimento das culturas. O objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica do crescimento de duas cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado, em diferentes arranjos espaciais de plantas, compostos por espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja) em Londrina, Paraná, nas safras 2013/14 e 2014/15. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, esquema fatorial 2 x 4 x 3, com três repetições. Os tratamentos constituíram-se da combinação de duas cultivares: BRS 359 RR e BMX Potência RR, de quatro espaçamentos entre fileiras: 20 cm (reduzido); 20/80 cm (fileira dupla); 50 cm (usual) e 50 x 50 cm (cruzado) e três densidades de semeadura: 150, 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹. As parcelas foram constituídas de 10,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, totalizando 50,0 m². Foram avaliados o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a porcentagem da cobertura do solo pelo dossel. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A cultivar BRS 359 RR apresenta maior NDVI em relação a cultivar BMX Potência RR por possuir menor ciclo de desenvolvimento. O espaçamento reduzido (20 cm) proporciona menor NDVI no início do ciclo de desenvolvimento da cultura. Todos os espaçamentos apresentam o total fechamento do dossel no final do ciclo, com exceção do espaçamento em fileira dupla (20/80 cm). A densidade de 150 mil sementes viáveis ha⁻¹ ocasiona menor NDVI e cobertura do dossel no início do ciclo, entretanto no final do ciclo essa diferença se dissipa e todas as densidades apresentam pleno fechamento do dossel.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Densidade de semeadura. Espaçamentos entre fileiras. Tipo de crescimento indeterminado. Cobertura do solo pelas plantas de soja.

GROWTH DYNAMICS OF SOYBEAN CULTIVARS IN DIFFERENT SPATIAL PLANT ARRANGEMENT

3.2 ABSTRACT

The plant growth is determined by genotype, environmental conditions and by interaction among these two factors. The environment can be altered by modifying the spatial plant arrangement, determined by seeding density and row spacing. The spatial plant arrangement may influence significantly the plant growth. The aim of this work was to evaluate the dynamics of plant growth in two soybean cultivars with indeterminate growth habit in different spatial plant arrangement, composed by different row spacing and seeding rates. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Brazilian Agricultural Research Company (Embrapa Soja) in Londrina, Paraná state, Brazil, in the 2013/14 and 2014/15 growing seasons. The experimental design was a randomized block, factorial 2 x 4 x 3 with three replications. The treatments consisted of the combination of two soybean cultivars: BRS 359 RR and BMX Potência RR, four row spacing: 20 cm (reduced); 20/80 cm (double row); 50 cm (standard) and 50 x 50 cm (crossed lines) and three sowing rates (150, 300 and 450 thousands viable seeds ha⁻¹). The plots consisted of 10.0m long and 5.0 m wide, totaling 50.0 m². Were evaluated the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the percentage of ground cover by canopy. The data were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey test at 5% probability. The BRS 359 RR has higher NDVI in relation to cultivate BMX Potência RR for having a shorter development cycle. The reduced spacing (20 cm) provides lower NDVI at the beginning of the crop growth cycle. All row spacing present the total closure of the canopy at the end of the cycle, with the exception of spacing in double rows (20/80 cm). The density of 150 thousands viable seeds ha⁻¹ leads to lower NDVI and canopy cover early in the cycle, however at the end of the cycle this difference vanishes and all densities have full canopy closure.

Keywords: *Glycine max* L. Seeding rate. Row spacing. Indeterminate growth habit. Ground cover by soybean plants.

3.3 INTRODUÇÃO

O crescimento de plantas é definido pelo genótipo, pelo ambiente e pela interação entre estes. A escolha das cultivares e de algumas práticas de manejo, tais como a época de semeadura e o arranjo espacial de plantas podem modificar o crescimento, o desenvolvimento de plantas e a produtividade das culturas (GUIMARÃES et al., 2008; MAUAD et. al, 2010; PROCÓPIO et al., 2014).

Nos últimos anos na sojicultura brasileira houve a introdução de cultivares transgênicas, mais produtivas, que apresentam tipo de crescimento e porte diferentes das cultivares usadas até a década de 1990 (TREZZI et al. 2013). Entretanto, há poucos trabalhos com arranjo de plantas considerando a introdução dessas novas cultivares que apresentam como atributos tipo de crescimento indeterminado, ciclo de desenvolvimento precoce e arquitetura compacta, que são características cada vez mais desejadas em programas de melhoramento genético de soja (SOUZA et al., 2010).

O arranjo espacial de plantas, determinado pelo espaçamento entre as fileiras e pela densidade de semeadura, pode influenciar o ambiente de crescimento e desenvolvimento das culturas, afetando a competição intraespecífica e, deste modo, a quantidade de recursos do ambiente, como água, luz e nutrientes, disponíveis para cada indivíduo (RAMBO et al. 2004; BRUIN; PEDERSEN 2008; HANNA et al. 2008; COX; CHERNEY; SHIELDS, 2010; WALKER et al. 2010; BOARD; KAHLON 2013).

A modificação da densidade de semeadura e do espaçamento entre as fileiras influenciam as características estruturais da planta, alterando a velocidade de fechamento das entrelinhas (HEIFFIG et al. 2006; SILVA et al. 2013), a produção de fitomassa e cobertura do solo pelas plantas (COX; CHERNEY, 2011), podendo contribuir no controle de plantas daninhas (SOUZA et al., 2010), pragas e doenças (LIMA et al. 2012), proporcionar a redução do acamamento das plantas (BALBINOT JR. 2011) e potencializar a produtividade de grãos (RIGSBY; BOARD 2003; PROCÓPIO et al., 2013; BALBINOT JUNIOR et al., 2015).

Independentemente da complexidade que envolve o crescimento das culturas, a verificação do incremento de biomassa vegetal é uma forma extremamente exata para estimar o crescimento e mensurar a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o desempenho vegetal (BENINCASA, 2003).

Dispõe-se de várias formas para se estimar o crescimento das plantas, dentre elas os mais utilizados são os índices de vegetação que monitoram e estimam as mudanças na biomassa e no desenvolvimento vegetal. O perfil temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pode ser empregado para detectar variações na fenologia das culturas, duração do período de crescimento, pico de verde, modificações fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

O NDVI detecta a presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho (HUETE et al., 2002), consistindo no cálculo da diferença entre emissão e reflexão de dois comprimentos de onda do espectro eletromagnético: infravermelho próximo (0,725-1,1 μm) e vermelho (0,58-0,68 μm), e seu valor varia de -1 a 1, de acordo com a fórmula: $\text{NDVI} = (\text{pivp} - \text{pv}) / (\text{pivp} + \text{pv})$, onde pivp é a refletância no infravermelho próximo; pv é a refletância no vermelho. À medida que o verde se intensifica e a cobertura vegetal se amplia o NDVI aumenta (LIRA et al. 2009; RAMME; LAMPARELLI; ROCHA, 2010).

Diante do exposto o objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica do crescimento de duas cultivares de soja de tipo de crescimento indeterminado em diferentes arranjos espaciais de plantas, compostos por diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos nas safras 2013/14 e 2014/15, na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, em Londrina, PR (23°11' S, 51°11'W e altitude de 620 m), utilizando a mesma área experimental. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al., 2006), e apresentava os seguintes atributos, na camada de 0 a 20 cm, antes da implantação dos experimentos: 21,4 g dm^{-3} de matéria orgânica; 4,9 de pH em CaCl_2 ; 8,6 mg dm^{-3} de P; 0,55 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de K; 3,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca; 1,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Mg; e 48% de saturação da CTC por bases.

O clima da região é do tipo Cfa, descrito como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média

no mês mais frio é inferior a 16°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente é acima de 27°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. A precipitação média anual é de 1.605 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (WREGE et. al, 2011; ALVARES et. al, 2014, IAPAR, 2016).

A cobertura vegetal presente na área experimental foi manejada mecanicamente aos onze dias antes da semeadura da soja em ambas as safras, utilizando-se um triturador de restos culturais (triton). Nove dias após essa operação, a vegetação remanescente foi dessecada quimicamente com glyphosate (1.080 g i.a. ha⁻¹) e carfentrazone-ethyl (30 g i.a. ha⁻¹).

A semeadura da soja foi realizada em sistema plantio direto, em 30/10/2013, sobre palha de trigo, e em 12/11/2014, sobre palha de aveia-preta. As sementes foram tratadas com Carboxina (30 mL i.a 50 kg⁻¹ de sementes) e Tiram (30 mL i.a 50 kg⁻¹ de sementes) e inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* na concentração de 5 x 10⁹ UFC ml⁻¹ (100 ml 50 kg⁻¹ de sementes). Foram utilizadas duas semeadoras para a semeadura do experimento, devido a diferença de espaçamento entre as fileiras, sendo utilizada a semeadora Semeato, modelo SHM 11/13 para os espaçamentos entre fileiras de 50 cm (usual) e 50 x 50 cm (cruzado) e Imasa MPS 1800 para os espaçamentos entre fileiras de 20 cm (reduzido) e 20/80 cm (fileira dupla).

A adubação de base constitui-se da aplicação de 350 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 250 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio na safra de 2013/14 e 122 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 250 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio na safra 2014/15, aplicados a lanço 10 dias antes da semeadura. O controle de doenças, insetos-praga e plantas daninhas foi efetuado conforme as indicações técnicas preconizadas para a cultura da soja (EMBRAPA, 2011). Os dados meteorológicos foram obtidos na estação agrometeorológica da Embrapa Soja. O balanço hídrico climatológico sequencial (BHCS) de Thornthwaite e Mather (1955) foi calculado para as safras 2013/14 (Figura 3.1A) e 2014/15 (Figura 3.1B) durante a condução dos experimentos à campo. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada durante os decêndios da condução do experimento pela equação de Penman-Monteith e transformada em evapotranspiração da cultura da soja (ET_c = ET_o x K_c) conforme recomendação de coeficiente da cultura (K_c) pela FAO (ALLEN et al.,

1998). A capacidade de água disponível no solo (CAD) utilizada para o cálculo do BHC foi de 75 mm (FARIAS et al., 2001).

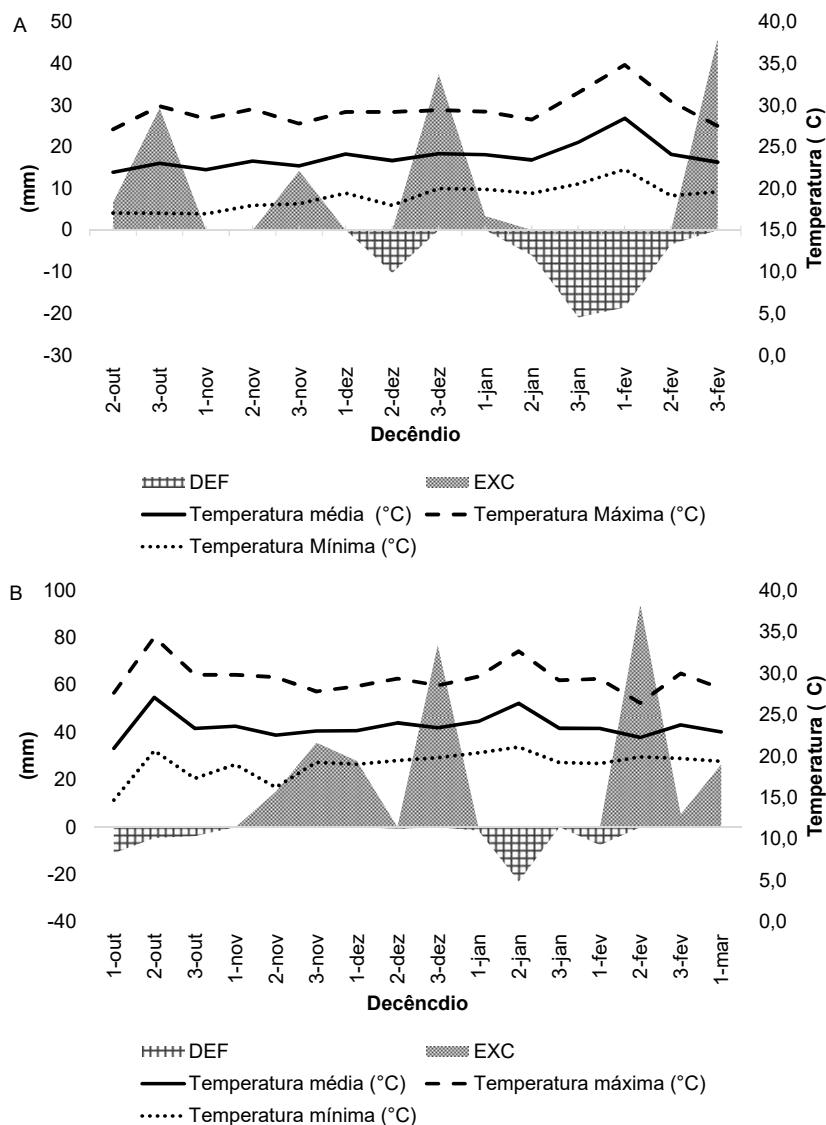


Figura 3.1 – Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial com CAD de 75 mm e temperaturas máxima, mínima e média (°C) durante a condução dos experimentos nas safras 2013/14 (A) e 2014/15 (B). Londrina, PR

As cultivares utilizadas foram a BMX Potência RR, que possui tipo de crescimento indeterminado e grupo de maturidade relativa 6.7 e a cultivar BRS 359 RR, tipo de crescimento indeterminado e grupo de maturidade relativa 6.0. O

delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 x 3, com três repetições. Os tratamentos foram formados pela combinação de duas cultivares: BRS 359 RR e BMX Potência RR, quatro espaçamentos entre fileiras: 20 cm (reduzido); 20/80 cm (fileira dupla); 50 cm (usual) e 50 x 50 cm (cruzado) e três densidades de semeadura (150, 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹). As parcelas mediam 10,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, totalizando 50,0 m², sendo sua área útil de 15,0 m² (10,0 m de comprimento por 1,5 m de largura). As variáveis analisadas estão descritas a seguir:

3.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Para estimar o fechamento das entrelinhas foi utilizado o aparelho Green Seeker[®] 505 Handheld Sensor, que possui dimensões de 35,5 cm x 35,5 cm x 129,5 cm, é portátil e equipado com um sensor ativo e não imageador capaz de calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). As leituras foram realizadas com horário padronizado às 13 horas a uma altura de 30 cm acima do topo do dossel.

Foram realizadas para a safra 2013/2014 cinco avaliações aos 27, 35, 43, 49 e 82 (estádios V3, V4, V5, V6 e R4, respectivamente) dias após a semeadura (DAS) e para safra de 2014/2015 foram realizadas três avaliações aos 33, 57 e 91 DAS (estádios V4, R1 e R5, respectivamente).

3.4.2 Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel

Para a avaliação da cobertura do solo pelo dossel foi utilizado um aparato que consistia de um perfilado de seção retangular (2,5 cm x 5,0 cm) em duralumínio com 2,3 m de altura, e braço horizontal de 1,5 m, cruzando-se num ângulo reto a 20 cm, ficando o comprimento útil do braço em 1,3 m e altura útil em 2,1 m. Para que o conjunto fosse colocado no prumo, foram usados dois níveis afixados com lacres plásticos em duas faces, perpendiculares entre si, da barra vertical no suporte de duralumínio. Esses níveis ficavam à altura dos olhos do

operador, para que, ao visualizar simultaneamente ambos os níveis, pudesse aprumar o sistema na posição correta para fotografar.

Na extremidade do braço horizontal do conjunto foi afixada uma câmera fotográfica (Sony DSC-H9), disparada à distância por meio de controle remoto. O display articulado de LCD da câmera permitia que o operador do controle remoto visualizasse a imagem antes de fotografar. Em cada parcela foi selecionado um único local em todas as avaliações para o posicionamento da haste vertical do aparato. As fotos foram analisadas com o auxílio do software Siscob[®], desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária. Foram realizadas para a safra 2013/2014 quatro avaliações aos 27, 35, 43 e 49 dias após a semeadura (DAS) (estádios V3, V4, V5 e V6, respectivamente) e para safra de 2014/2015 foram realizadas duas avaliações aos 33 e 57 DAS (estádios V4 e R1, respectivamente).

3.4.3 Análise Estatística

Os dados obtidos foram analisados quanto a normalidade e homocedasticidade, utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e de Cochran, respectivamente, os quais indicaram não ser necessária a transformação dos dados. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias do fator cultivar comparadas pelo teste F e as médias dos demais fatores comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, separadamente para safra de cultivo. As análises foram executadas através do programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação tripla entre os fatores estudados (cultivares x densidades x espaçamentos) para nenhuma característica avaliada em ambas as safras. Na safra 2013/2014 observou-se interação dupla entre espaçamentos e densidades para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27 dias após a semeadura (DAS). O espaçamento reduzido (20 cm) nas densidades de 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹ apresentou os menores valores de NDVI (Tabela 3.1), devido ao maior espaço entre as plantas na linha de semeadura. Em todos os

espaçamentos as menores densidades (150 e 300 mil sementes viáveis ha⁻¹) apresentaram menores valores de NDVI por possuírem menor quantidade de plantas no total das parcelas, resultando assim em maior refletância do vermelho e, conseqüentemente, menores valores de NDVI (JABOINSKI, 2011). Vale ressaltar que as condições meteorológicas foram adequadas ao crescimento vegetativo das plantas de soja (Figura 3.1A).

Tabela 3.1 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura (médias de duas cultivares), safra 2013/14.

Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)	Espaçamentos (cm)			
	20	20/80	50	50 x 50
150	0,22 Ba ¹	0,26 Ca	0,25 Ca	0,28 Ca
300	0,27 ABb	0,35 Ba	0,35 Ba	0,35 Ba
450	0,31 Ab	0,44 Aa	0,42 Aa	0,41 Aa
CV(%)	10,6			

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Houve interação entre espaçamentos e cultivares para o NDVI aos 27 e 35 DAS. O NDVI aos 27 DAS foi menor no espaçamento de 20 cm para ambas as cultivares (Tabela 3.2), isso se deve a menor quantidade de plantas na linha de semeadura. Aos 35 DAS, somente a cultivar BRS 359 RR no espaçamento reduzido (20 cm) apresentou menor NDVI. Entre as cultivares somente houve diferença no espaçamento usual (50 cm), em que a cultivar BRS 359 RR apresentou maior NDVI aos 27 e 35 DAS, devido esta possuir um ciclo mais curto em relação a cultivar BMX Potência RR. Mesmo com a utilização de cultivares com tipo de crescimento indeterminado, ciclo curto e arquitetura compacta de plantas, verificou-se o efeito da compensação dos espaços vazios pelo maior crescimento de cada indivíduo na área (PROCÓPIO et al., 2013).

Tabela 3.2 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27 e 35 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras e duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura), safra 2013/14.

Cultivares	Espaçamentos (cm)			
	20	20/80	50	50 x 50
NDVI aos 27 DAS				
BRS 359 RR	0,26 Ab ¹	0,36 Aa	0,37 Aa	0,35 Aa
BMX Potência RR	0,27 Ab	0,34 Aa	0,31 Bab	0,35 Aa
CV(%)	10,6			
NDVI aos 35 DAS				
BRS 359 RR	0,37 Ab	0,44 Aab	0,49 Aa	0,48 Aa
BMX Potência RR	0,41 Aa	0,44 Aa	0,41 Ba	0,46 Aa
CV(%)	12,4			

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey e pelo teste F, respectivamente, à 5% de significância.

O NDVI em todas as avaliações para a safra 2013/14 apresentou efeito isolado de densidade de semeadura, sendo o NDVI aos 27, 35, 43 e 49 DAS maior para a maior densidade de semeadura (Tabela 3.3). No entanto, aos 82 DAS, as densidades de semeadura avaliadas não diferiram quanto ao valor de NDVI, demonstrando a alta plasticidade fenotípica da cultura da soja. Dos estádios iniciais da cultura, houve incremento da biomassa verde, o qual foi acompanhado por aumento dos valores de NDVI. Segundo Rodrigues et al. (2013) o valor máximo de NDVI coincide quando a cultura apresenta o máximo vigor vegetativo. Após esse pico, inicia-se o decréscimo dos valores do NDVI, que acompanham o ciclo evolutivo e a diminuição do vigor da cultura, até a mesma finalizar o ciclo e no ponto de maturação o NDVI apresenta em torno de 50% do valor máximo obtido.

Tabela 3.3 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27, 35, 43, 49 e 82 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.

Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)	NDVI 27 DAS	NDVI 35 DAS	NDVI 43 DAS	NDVI 49 DAS	NDVI 82 DAS
150	0,25 C ¹	0,35 C	0,55 C	0,62 C	0,85 A
300	0,33 B	0,44 B	0,67 B	0,71 B	0,85 A
450	0,39 A	0,53 A	0,77 A	0,79 A	0,86 A
CV (%)	10,6	12,4	10,7	11,0	2,1

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Houve efeito isolado de espaçamento para o NDVI em todas as avaliações para a safra 2013/14 sendo que, no início do desenvolvimento da cultura o NDVI foi menor para os espaçamentos reduzido (20 cm) e fileira dupla (20/80 cm)

(Tabela 3.4), devido à disposição das plantas na área. Para o espaçamento reduzido há menor quantidade de plantas na linha de semeadura e para o espaçamento em fileira dupla há um espaço mais amplo entre as linhas de semeadura, ocasionando assim menores valores de NDVI.

Já aos 82 DAS o NDVI foi menor somente para o espaçamento fileira dupla (20/80 cm), isso ocorreu devido à distância entre uma fileira dupla e outra ser muito ampla, mesmo a cultura da soja apresentando alta plasticidade fenotípica não conseguiu preencher o espaço entre elas. Heiffig et al. (2006) observaram que foi proporcionado o total fechamento nas entrelinhas, em menor espaço de tempo, nos espaçamentos de 20 e 30 cm entre linhas e população de 210, 280 e 350 mil plantas ha⁻¹.

Tabela 3.4 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 27, 35, 43, 49 e 82 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2013/14.

Espaçamentos (cm)	NDVI aos 27 DAS	NDVI aos 35 DAS	NDVI aos 43 DAS	NDVI aos 49 DAS	NDVI aos 82 DAS
20	0,27 B ¹	0,39 B	0,63 B	0,67 A	0,85 A
20/80	0,35 A	0,44 AB	0,64 B	0,70 A	0,83 B
50	0,34 A	0,45 A	0,67 AB	0,72 A	0,86 A
50 x 50	0,35 A	0,47 A	0,71 A	0,73 A	0,86 A
CV (%)	10,6	12,4	10,7	11,0	2,1

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Para a safra 2014/15 as condições meteorológicas também foram adequadas ao crescimento vegetativo das plantas de soja (Figura 3.1B). Houve interação entre espaçamentos e densidades para o NDVI aos 33 DAS, em que a densidade de 150 mil sementes viáveis ha⁻¹ em todos os espaçamentos avaliados obteve os menores valores de NDVI (Tabela 3.5). Isso decorreu em razão da menor quantidade de plantas na área e estas por serem menores não conseguiram encobrir o solo e, conseqüentemente atingiram menores valores de NDVI.

Na densidade de 300 mil sementes viáveis ha⁻¹, o espaçamento em fileira dupla (20/80 cm) proporcionou o maior NDVI, devido a maior quantidade de plantas na linha de semeadura. O maior índice de fechamento pode auxiliar no controle das plantas daninhas e no melhor aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Entretanto, índices precoces de fechamento, observados normalmente em espaçamentos reduzidos e sem a compensação da

densidade de plantas, podem acarretar autossombreamento das folhas do terço inferior e redução da circulação de ar, ocasionando desse modo, menor eficiência no uso da RFA e microclima favorável ao desenvolvimento de algumas doenças (SILVA et al., 2013).

Tabela 3.5 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura (médias de duas cultivares), safra 2014/15.

Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)	Espaçamentos (cm)			
	20	20/80	50	50 x 50
150	0,30 Ca ¹	0,32 Ba	0,29 Ba	0,28 Ba
300	0,40 Bb	0,48 Aa	0,32 Bb	0,38 Ab
450	0,52 Aa	0,50 Aa	0,50 Aa	0,45 Aa
CV(%)	13,9			

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

O NDVI em todas as avaliações na safra 2014/15 apresentou efeito isolado de densidade de semeadura, apresentando aos 33 DAS o maior NDVI para a maior densidade de semeadura (Tabela 3.6) e aos 57 DAS foi menor na menor densidade. Entretanto, aos 91 DAS as densidades de semeadura avaliadas não diferiram entre si, assim como na safra 2013/14 (Tabela 3.3), demonstrando a alta plasticidade fenotípica da soja. Isso indica que, com o avanço do ciclo da cultura, as plantas apresentaram características de alta plasticidade, ou seja, capacidade de se adaptar às condições ambientais e de manejo, por meio de modificações na morfologia, sobretudo emitindo mais ramos e ramos maiores em baixas densidades de plantas (FERREIRA JUNIOR et al., 2010; HOLTZ et al., 2014).

Tabela 3.6 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33, 57 e 91 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.

Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)	NDVI aos 33 DAS	NDVI aos 57 DAS	NDVI aos 91 DAS
150	0,30 C ¹	0,70 B	0,75 A
300	0,39 B	0,73 AB	0,75 A
450	0,49 A	0,76 A	0,76 A
CV (%)	14,1	8,1	3,6

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Houve efeito isolado de espaçamentos para o NDVI na safra 2014/15 em todas as avaliações. O espaçamento em fileira dupla apresentou os menores valores de NDVI aos 57 e 91 DAS (Tabela 3.7), causado pela maior distância entre as linhas de semeadura. Para todos os outros espaçamentos avaliados aos 91 DAS não houve diferença entre os valores de NDVI em razão da melhor distribuição das plantas na área o que ocasionou a menor refletância do vermelho e consequentemente maiores valores de NDVI. Resultados semelhantes foram obtidos por Holtz et al. (2014) em que os espaçamentos de 30, 40, 50 e 50 x 50 cm (cruzado) obtiveram o fechamento do dossel e os maiores espaçamentos (60 e 70 cm) não conseguiram fechar o dossel, assim como entre as fileiras duplas (20/80 cm) no presente estudo. Outros autores concordam com os resultados obtidos como os de, Heitholt, Farr e Eason (2005) no de 71 cm, Heiffig et al. (2006) nos espaçamentos de 60 e 70 cm e Knebel et al. (2006) no de 65 cm que não atingiram 100% do fechamento das entrelinhas.

Tabela 3.7 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33, 57 e 91 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2014/15.

Espaçamentos (cm)	NDVI aos 33 DAS	NDVI aos 57 DAS	NDVI aos 91 DAS
20	0,40 AB ¹	0,75 A	0,76 A
20/80	0,43 A	0,70 B	0,73 B
50	0,37 B	0,74 AB	0,75 AB
50 x 50	0,37 B	0,74 AB	0,76 A
CV (%)	14,1	8,1	3,6

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Para a safra 2014/15 o NDVI em todas as avaliações apresentou efeito isolado de cultivares. Aos 33 e 57 DAS a cultivar BRS 359 RR obteve os maiores valores de NDVI (Tabela 3.8), devido ao seu menor ciclo em relação a cultivar BMX Potência RR. Entretanto, aos 91 DAS a cultivar BMX Potência RR apresentou maior valor de NDVI em relação a cultivar BRS 359 RR. Isso aconteceu devido à diferença do ciclo das cultivares, pois a cultivar BMX Potência RR aos 91 DAS se encontrava em uma fase reprodutiva anterior, por isso o NDVI apresentou um maior valor em relação à BRS 359 RR que já estava em um estado avançado de enchimento de grãos e se encaminhado para a maturação de grãos.

Tabela 3.8 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aos 33, 57 e 91 dias após a semeadura (DAS), em duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.

Cultivares	NDVI aos 33 DAS	NDVI aos 57 DAS	NDVI aos 91 DAS
BRS 359 RR	0,43 A ¹	0,75 A	0,74 B
BMX Potência RR	0,35 B	0,71 B	0,76 A
CV (%)	14,1	8,1	3,6

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F à 5% de significância.

A porcentagem da cobertura do solo pelo dossel em todas as avaliações na safra 2013/14 apresentou efeito isolado de densidade de semeadura. Em todas as avaliações a maior densidade de semeadura (450 mil sementes viáveis ha⁻¹) apresentou o maior valor de cobertura do solo pelo dossel (Tabela 3.9), em função da maior quantidade de plantas na área, ocasionando também a maior cobertura da área pelas plantas. Heiffig et al. 2006 observaram que a população de 350 mil plantas ha⁻¹ obteve o menor tempo de fechamento nas entrelinhas em relação as populações de 70, 140, 210 e 280 mil plantas ha⁻¹.

Tabela 3.9 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 27, 35, 43 e 49 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.

Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)	CSD aos 27 DAS (%)	CSD aos 35 DAS (%)	CSD aos 43 DAS (%)	CSD aos 49 DAS (%)
150	7,7 C ¹	18,6 C	39,5 C	52,4 C
300	14,7 B	32,0 B	61,2 B	69,8 B
450	22,1 A	42,1 A	73,8 A	81,1 A
CV (%)	22,0	22,0	16,3	14,3

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

A porcentagem da cobertura do solo pelo dossel apresentou efeito isolado de espaçamento em todas as avaliações na safra 2013/14. Aos 27 e 35 DAS os espaçamentos reduzido (20 cm) e fileira dupla (20/80 cm) apresentaram os menores valores de porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (Tabela 3.10). Para o espaçamento reduzido isso decorreu da menor quantidade de plantas na linha de semeadura e para o espaçamento em fileira dupla pela ampla distância entre as fileiras duplas. Aos 43 e 49 DAS a porcentagem da cobertura do solo pelo dossel foi maior no espaçamento cruzado (50 x 50 cm) pela disposição das plantas na área que ocupam melhor o espaço disponível, não diferindo do espaçamento usual. Heiffig et al. (2006) observaram que para a população de 140 mil plantas ha⁻¹, nos

espaçamentos de 60 e 70 cm, o tempo de fechamento foliar foi muito extenso e não foi total, sendo de 78% de fechamento para o espaçamento de 60 cm e de 60% para o espaçamento de 70 cm. Sendo o mesmo efeito observado para as populações de 210 e 280 mil plantas ha⁻¹, contudo, com resultados mais favoráveis de fechamento nas entrelinhas.

Tabela 3.10 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 27, 35, 43 e 49 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2013/14.

Espaçamentos (cm)	CSD aos 27 DAS (%)	CSD aos 35 DAS (%)	CSD aos 43 DAS (%)	CSD aos 49 DAS (%)
20	12,75 B ¹	28,2 B	58,27 B	66,8 B
20/80	12,73 B	25,7 B	44,09 C	55,3 C
50	16,04 A	34,4 A	62,0 AB	71,0 AB
50 x 50	17,93 A	35,3 A	68,4 A	78,2 A
CV (%)	22,0	22,0	16,3	14,3

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Na safra 2014/15 aos 33 DAS, a densidade de semeadura de 450 mil sementes viáveis ha⁻¹, apresentou a maior porcentagem de cobertura do solo pelo dossel (Tabela 3.11), pela maior quantidade de plantas dispostas na área. Já aos 57 DAS as densidades de 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹ se igualaram e somente a densidade de 150 mil sementes viáveis ha⁻¹ não alcançou a cobertura total do solo pelo dossel. Holtz et al. (2014) observaram diferenças no tempo de fechamento para os estandes de 160 e 240 mil plantas ha⁻¹, em que a densidade de 160 mil plantas ha⁻¹ obteve o fechamento do dossel com 61 DAS e a densidade de 240 mil plantas ha⁻¹ com 57 DAS já apresentava o fechamento do dossel.

Tabela 3.11 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 33 e 57 dias após a semeadura (DAS), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.

Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)	CSD aos 33 DAS (%)	CSD aos 57 DAS (%)
150	16,3 C ¹	79,1 B
300	27,1 B	89,8 A
450	39,4 A	91,1 A
CV (%)	20,7	9,9

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

O espaçamento em fileira dupla (20/80 cm) apresentou a menor cobertura do dossel aos 33 e 57 DAS (Tabela 3.12) na safra 2014/15, já que o espaço

entre uma fileira dupla e outra é amplo e assim as plantas não conseguiram fechar o dossel. Aos 33 DAS, os espaçamentos, usual (50 cm) e cruzado (50 x 50 cm), apresentaram uma menor porcentagem de cobertura do solo pelo dossel pela maior distância das linhas de semeadura em relação ao espaçamento reduzido (20 cm), mas aos 57 DAS os espaçamentos já apresentaram uma similaridade e fechamento do dossel. Entretanto, em espaçamentos intermediários, há uma distribuição equidistante e espacial do sistema radicular e da parte aérea das plantas, favorecendo assim o melhor aproveitamento dos recursos do ambiente como água, luz e nutrientes (SILVA et al., 2013). Para Knebel et al. (2006), em tais condições as plantas apresentam um crescimento mais harmônico, não exigindo das plantas o alongamento do caule em busca de luminosidade de qualidade, atenuando desse modo, o acamamento e o autossombreamento.

Tabela 3.12 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 33 e 57 dias após a semeadura (DAS), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2014/15.

Espaçamentos (cm)	CSD aos 33 DAS (%)	CSD aos 57 DAS (%)
20	36,5 A ¹	92,8 A
20/80	20,6 C	73,3 B
50	26,1 B	90,7 A
50 x 50	27,1 B	89,8 A
CV (%)	20,7	9,9

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

A cultivar BRS 359 RR obteve uma maior porcentagem da cobertura do solo pelo dossel aos 33 e 57 DAS (Tabela 3.13) na safra 2014/15, visto que esta apresenta um ciclo mais curto em relação a cultivar BMX Potência RR levando assim a uma cobertura vegetal mais expressiva no começo do desenvolvimento da cultura.

Tabela 3.13 – Porcentagem da cobertura do solo pelo dossel (CSD) aos 33 e 57 dias após a semeadura (DAS), em duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.

Cultivares	CSD aos 33 DAS (%)	CSD aos 57 DAS (%)
BRS 359 RR	33,6 A ¹	90,3 A
BMX Potência RR	21,6 B	83,1 B
CV (%)	20,7	9,9

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F à 5% de significância.

3. 6 CONCLUSÕES

A cultivar BRS 359 RR apresenta maior NDVI em relação a cultivar BMX Potência RR por possuir menor ciclo de desenvolvimento.

O espaçamento reduzido (20 cm) proporciona menor NDVI no início do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Todos os espaçamentos apresentam o total fechamento do dossel no final do ciclo, com exceção do espaçamento em fileira dupla (20/80 cm).

A densidade de 150 mil sementes viáveis ha⁻¹ ocasiona menor NDVI e cobertura do dossel no início do ciclo, entretanto no final do ciclo essa diferença se dissipa e todas as densidades apresentam pleno fechamento do dossel.

3. 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements** **FAO irrigation and drainage**. Relatório Técnico, FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BALBINOT JUNIOR, A. A. Acamamento de plantas na cultura da soja. **Agronegócio Catarinense**, Florianópolis, v. 25, n. 1, p. 40-43, 2011.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p.1215-1226, 2015.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BOARD, J. E.; KAHN, C. Morphological responses to low plant population differ between soybean genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 3, p. 1109-1119, 2013.

BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p.704-710, 2008.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H.; SHIELDS, E. Soybeans compensate at low seeding rate but not at high thinning rates. **Agronomy Journal**, Madison, 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**, Madison, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p.415-421, 2001.

FERREIRA JUNIOR, J. A.; ESPINDOLA, S. M. C. G.; GONÇALVES, D. A. R.; LOPES, E. W. Avaliação de genótipos de soja em diferentes épocas de plantio e

densidade de semeadura no município de Uberaba – MG. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 7, p. 13-21, 2010.

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

EMBRAPA. **Sistemas de produção 15**: Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011, 261p.

GUIMARÃES, F. de S.; REZENDE, P. M. de; CASTRO, E. M. de; CARVALHO, E. de A.; ANDRADE, M. J. B. de; CARVALHO, E. R. Cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1099-1106, 2008.

HANNA, S.; 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**, Madison, v. 100, n. 5, p. 1488-1492, 2008.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p. 285-295, 2006.

HEITHOLT, J. J.; FARR, J. B.; EASON, R. Planting con guration x cultivar effects on soybean production in low-yield environments. **Crop Science**, Madison, v. 45, p. 1800-1808, 2005.

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

HUETE, A. R; DIDAN, K; MIURA, T; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.

IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. **Médias Históricas**. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm> . Acesso em: 15 jan. 2016.

JABOINSKI, F. R. **Avaliação de produtos do sensor MODIS para aplicações na estimativa de parâmetros biofísicos da cultura da soja, no Estado do Rio**

Grande do Sul. 2011. 89 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KNEBEL, J.L.; GUIMARÃES, V. F.; ANDREOTTI, M.; STANGARLIN, J. R. In uência do espaçamento e população de plantas sobre doenças de ão de ciclo e oídio e caracteres agronômicos em soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p.385-392, 2006.

LIMA, S. F.; ALVAREZ, R. C. F.; THEODORO, G. F.; BAVARESCO, M.; SILVA, K. S. Efeito da semeadura em linhas cruzadas sobre a produtividade de grãos e severidade da ferrugem asiática da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.6, p.951-962, 2012.

LIRA, V.M.; SILVA, B.B.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, M.S.S.; BEZERRA, M.V.C.; FRANCO, E.S.; CENTERO, C.R.M. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 113-120, 2009.

MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; ALMEIDA NETO, A.I.; ABREU, V.G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. Câmara Brasileira do Livro, São Paulo. 2012, 128 p.

PROCÓPIO, S. O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v.56, n. 4, p.319-325, 2013.

PROCÓPIO, S. O.;BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v.8, n. 2, p.212-221, 2014.

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**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 33-40, 2004.

RAMME, F. L. P.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V. Perfis temporais NDVI MODIS, na cana-soca, de maturação tardia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30 n. 3, p. 4802-494, 2010.

RIGSBY, B.; BOARD, J.E. Identification of soybean cultivars that yield well at low plant populations. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 1, p. 234-239, 2003.

RODRIGUES, C. P.; FONTANA, D. C.; MORAES, O. L. L.; ROBERTI, D. R. NDVI e fluxo de CO₂ em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 95-104, 2013.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, W. B.; PETTER, F. A.; LIMA, L. B.; ANDRADE, F. R. Desenvolvimento inicial de *Urochloa ruziziensis* e desempenho agrônômico da soja em diferentes arranjos espaciais no cerrado Mato-Grossense. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p. 146-153, 2013.

SOUZA, C. A.; GAVA, F.; CASA, R. T.; BOLZAN, J. M.; KUHNEM JUNIOR, P. R. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja RoundupReady™. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 887-896, 2010.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Certenton, 1955. 104p.

TREZZI, M. M.; BALBINOT JR., A.A.; BENIN, G.; DEBASTIANI, F.; PATEL, F.; MIOTTO JR. E. Competitive ability of soybean cultivars with horseweed (*Conyza bonariensis*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 543-550, 2013.

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

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas**: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.

4 ARTIGO B: DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS

4.1 RESUMO

O arranjo espacial de plantas, composto pela densidade de semeadura e pelo espaçamento entre fileiras, influencia a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, podendo modificar atributos morfofisiológicos e a produtividade da soja. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo e a produtividade de duas cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado, em diferentes arranjos espaciais, compostos por diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja) em Londrina, Paraná, nas safras 2013/14 e 2014/15. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, esquema fatorial 2 x 4 x 3, com três repetições. Os tratamentos constituíram-se da combinação de duas cultivares: BRS 359 RR e BMX Potência RR, de quatro espaçamentos entre fileiras: 20 cm (reduzido); 20/80 cm (fileira dupla); 50 cm (usual) e 50 x 50 cm (cruzado) e três densidades de semeadura: 150, 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹. As parcelas foram constituídas de 10,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, totalizando 50,0 m². Foram avaliadas a densidade inicial de plantas, massa seca de caules e de folhas, índice de área foliar (IAF), densidade final de plantas, altura de plantas, número de ramos por planta, altura da inserção da primeira vagem, diâmetro do caule, índice de colheita aparente e produtividade de grãos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A cultivar BMX Potência RR apresenta menor produtividade e índice de colheita aparente em relação a cultivar BRS 359 RR. A densidade de semeadura de 450 mil sementes viáveis ha⁻¹ apresenta maiores altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, massa seca de folhas e caules no início do ciclo da cultura e produtividade de grãos e menores diâmetro do caule e número de ramos por planta. O espaçamento reduzido (20 cm) apresenta maior massa seca de folhas e de caules no início do ciclo e diâmetro do caule. O espaçamento usual (50 cm) confere maior produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Densidade de semeadura. Espaçamentos entre fileiras. Tipo de crescimento indeterminado. Biomassa vegetal.

AGRONOMIC PERFORMANCE AND GRAIN YIELD OF SOYBEAN CULTIVARS IN DIFFERENT SPATIAL PLANT ARRANGEMENT

4.2 ABSTRACT

The spatial plant arrangement, comprising the seeding rate and the row spacing influences the intraspecific competition for water, light and nutrients, and thus can modify the morphophysiological attributes and the grain yield. In this context, the aim of this work was to evaluate the agronomic performance and grain yield of two soybean cultivars with indeterminate growth habit in different spatial plant arrangement, composed by different row spacing and seeding rates. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa Soja) in Londrina, Paraná state, Brazil, during 2013/14 and 2014/15 growing seasons. The experimental design was a randomized block, factorial 2 x 4 x 3 with three replications. The treatments consisted of the combination of two soybean cultivars: BRS 359 RR and BMX Potência RR, four row spacing: 20 cm (reduced); 20/80 cm (double row); 50 cm (standard) and 50 x 50 cm (crossed lines) and three sowing rates (150, 300 and 450 thousands viable seeds ha⁻¹). The plots were built 10.0 m long and 5.0 m wide, totaling 50.0 m². Were evaluated the initial plant density, dry mass of stems and leaves, leaf area index (LAI), final plant density, plant height, number of branches per plant, first pod height, stem diameter, apparent harvest index and grain yield. The data were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey test at 5% probability. Cultivar BMX Potência RR has lower productivity and apparent harvest index relative BRS 359 RR. The seeding rate of 450,000 viable seeds ha⁻¹ presents greater plant height, first pod height, dry mass of leaves and stems at the beginning of the crop cycle and grain yield and lower stem diameter and number of branches per plant. The reduced spacing (20 cm) is more dry mass of leaves and stems at the beginning of the cycle and stem diameter. The usual spacing (50 cm) provides higher grain yield.

Keywords: *Glycine max* L. Seeding rate. Row spacing. Indeterminate growth habit. Plant biomass.

4.3 INTRODUÇÃO

Com a consolidação do sistema plantio direto e o advento das cultivares transgênicas, o cultivo da soja sofreu expressivas mudanças. Principalmente, na região Sul do Brasil, houve um aumento significativo da utilização de cultivares que apresentavam crescimento indeterminado, arquitetura compacta das plantas, alta precocidade, folíolos e porte menores e, especialmente, alto potencial de produtividade de grãos (SOUZA et al., 2010; PROCÓPIO et al., 2013).

A cultura da soja dispõe de grande plasticidade fenotípica (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005; FERREIRA JUNIOR et al., 2010; HOLTZ et al., 2014), possuindo alta adaptabilidade às diferentes condições ambientais e de manejo, em razão de alterações morfológicas e da arquitetura de plantas. Estas transformações podem estar relacionadas com a fertilidade do solo, densidade de plantas e espaçamento entrelinhas (PIRES et al., 1998; RAMBO et al., 2003; HANNA et al., 2008; BALBINOT JUNIOR et al., 2015a).

O arranjo espacial das plantas de soja pode ser ajustado, alterando o espaçamento entre fileiras e a densidade de semeadura, o que pode refletir em aumentos significativos na produtividade de grãos, sem haver alteração na sustentabilidade dos sistemas de produção. Através desse ajuste, é possível diminuir a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, potencializando o aproveitamento desses recursos pelas plantas cultivadas (HEIFFIG et al., 2006; COX; CHERNEY; SHIELDS, 2010; WALKER et al., 2010).

Adicionalmente, o arranjo espacial é uma importante prática de manejo que pode aumentar a interceptação da radiação solar por meio da cobertura integral do solo (HEITHOLT; FARR; EASON, 2005; FONTANA et al., 2012). No entanto, a diminuição das entrelinhas pode determinar diferentes características morfológicas e fisiológicas nas plantas (MADALOSSO et al., 2010).

As características morfofisiológicas, particularmente o número de ramos por planta, comprimento de ramos e números de nós férteis, têm relação direta com o potencial produtivo da planta de soja, essencialmente mais produtiva, por apresentar maior número de possíveis locais para surgimento de gemas reprodutivas. Sob outra perspectiva, o número e comprimento de ramos podem representar demanda adicional, desviando fotoassimilados que poderiam ser melhor

aproveitados na fixação e na produção de estruturas reprodutivas (COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES, 1994; NAVARRO JUNIOR; COSTA, 2002).

Além de alta produtividade, procura-se que no cultivo da soja as cultivares apresentem grau de acamamento, altura de inserção da primeira vagem e de planta favoráveis à colheita mecanizada. Essas características podem ser influenciadas pela época de florescimento, que ao ocorrer de forma precoce pode acarretar uma redução significativa no porte das plantas e na altura da inserção da primeira vagem, ocasionando assim uma queda brusca na produtividade da lavoura (CARVALHO et al., 2010; BALBINOT JUNIOR, 2011).

O arranjo espacial de plantas já vem sendo estudado desde os primórdios do cultivo da soja, deste modo, diversos trabalhos já foram conduzidos sobre esse assunto. Entretanto, a interação entre genótipo e ambiente interfere diretamente nos resultados, tornando indispensável novas investigações que visem melhorar o desempenho da cultura, essencialmente quando são dispostas de novas tecnologias (LUDWIG et al., 2011; LIMA et al., 2012). Além disso, há carência de pesquisas desenvolvidas na última década com o uso de cultivares modernas, em sistema plantio direto.

Diante do exposto o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo e a produtividade de duas cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado em diferentes arranjos espaciais, compostos por diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos nas safras 2013/14 e 2014/15, na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, em Londrina, PR (23°11' S, 51°11'W e altitude de 620 m), utilizando a mesma área experimental. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al., 2006), e apresentava os seguintes atributos, na camada de 0 a 20 cm, antes da implantação dos experimentos: 21,4 g dm⁻³ de matéria orgânica; 4,9 de pH em CaCl₂; 8,6 mg dm⁻³ de P; 0,55 cmol_c dm⁻³ de K; 3,7 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,4 cmol_c dm⁻³ de Mg; e 48% de saturação da CTC por bases.

O clima da região é do tipo Cfa, descrito como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 16°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente é acima de 27°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. A precipitação média anual é de 1.605 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (WREGE et. al, 2011; ALVARES et. al, 2014, IAPAR, 2016).

A cobertura vegetal presente na área experimental foi manejada mecanicamente aos onze dias antes da semeadura da soja em ambas as safras, utilizando-se um triturador de restos culturais (triton). Nove dias após essa operação, a vegetação remanescente foi dessecada quimicamente com glyphosate (1.080 g i.a. ha⁻¹) e carfentrazone-ethyl (30 g i.a. ha⁻¹). A semeadura foi realizada em sistema plantio direto, em 30/10/2013, sobre palha de trigo, e em 12/11/2014, sobre palha de aveia-preta. As sementes foram tratadas com Carboxina (30 mL i.a 50 kg⁻¹ de sementes) e Tiram (30 mL i.a 50 kg⁻¹ de sementes) e inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* na concentração de 5 x 10⁹ UFC ml⁻¹ (100 ml 50 kg⁻¹ de sementes). Foram utilizadas duas semeadoras para a semeadura do experimento, devido a diferença de espaçamento entre as fileiras, sendo utilizada a semeadora Semeato, modelo SHM 11/13 para os espaçamentos entre fileiras de 50 cm (usual) e 50 x 50 cm (cruzado) e Imasa MPS 1800 para os espaçamentos entre fileiras de 20 cm (reduzido) e 20/80 cm (fileira dupla).

A adubação de base constituiu-se da aplicação de 350 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 250 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio na safra de 2013/14 e 122 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 250 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio na safra 2014/15, aplicados a lanço 10 dias antes da semeadura. O controle de doenças, insetos-praga e plantas daninhas foi efetuado conforme as indicações técnicas preconizadas para a cultura da soja (EMBRAPA, 2011). Os dados meteorológicos foram obtidos na estação agrometeorológica da Embrapa Soja. O balanço hídrico climatológico sequencial (BHCS) de Thornthwaite e Mather (1955) foi calculado para as safras 2013/14 (Figura 4.1A) e 2014/15 (Figura 4.1B) durante a condução dos experimentos à campo. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada durante os decêndios da condução do experimento pela equação de Penman-Monteith e transformada em evapotranspiração da cultura da soja (ET_c = ET_o x K_c)

conforme recomendação de coeficiente da cultura (K_c) pela FAO (ALLEN et al., 1998). A capacidade de água disponível no solo (CAD) utilizada para o cálculo do BHC foi de 75 mm (FARIAS et al., 2001).

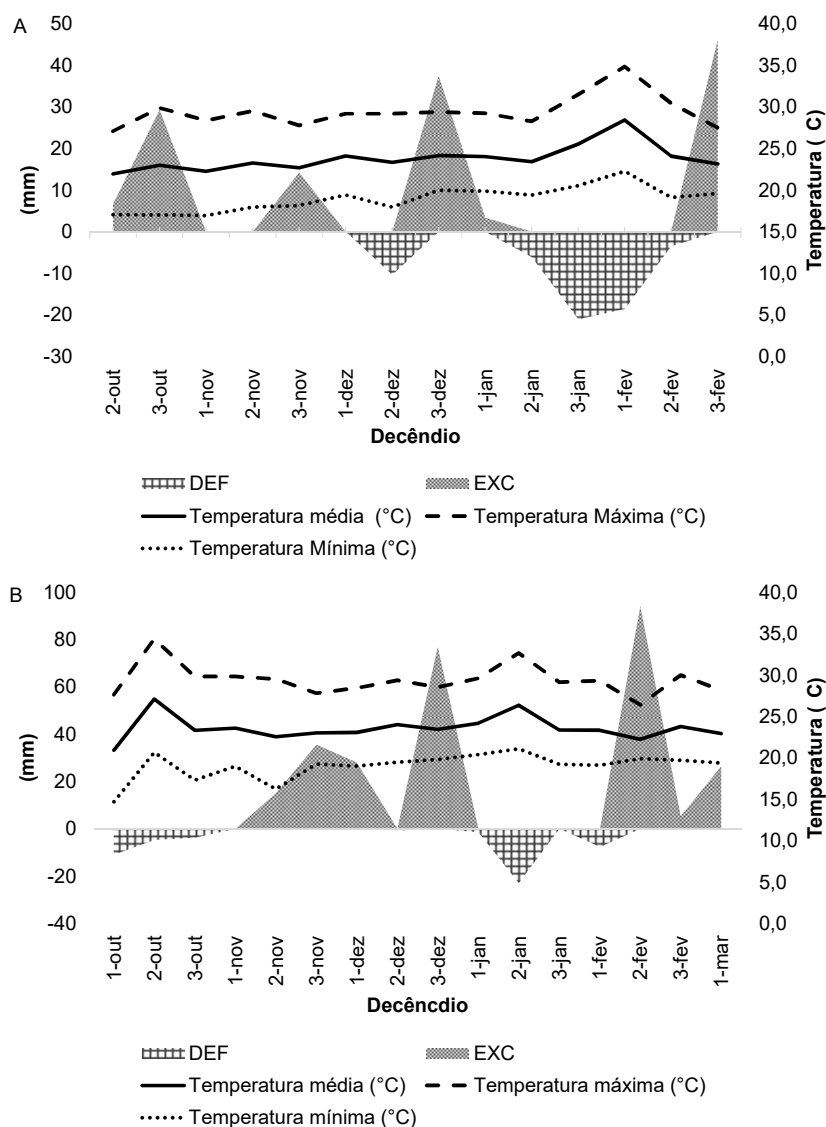


Figura 4.1 – Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial com CAD de 75 mm e temperaturas máxima, mínima e média (°C) durante a condução dos experimentos nas safras 2013/14 (A) e 2014/15 (B). Londrina, PR

As cultivares utilizadas foram a BMX Potência RR, que possui tipo de crescimento indeterminado e grupo de maturidade relativa 6.7 e a cultivar BRS 359 RR, tipo de crescimento indeterminado e grupo de maturidade relativa 6.0. O

delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 x 3, com três repetições. Os tratamentos constituíram-se da combinação de duas cultivares: BRS 359 RR e BMX Potência RR, quatro espaçamentos entre fileiras: 20 cm (reduzido); 20/80 cm (fileira dupla); 50 cm (usual) e 50 x 50 cm (cruzado) e três densidades de semeadura (150, 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹). As parcelas mediam 10,0 m de comprimento e 5,0 m de largura, totalizando 50,0 m², sendo sua área útil de 15,0 m² (10,0 m de comprimento por 1,5 m de largura). As variáveis analisadas estão descritas a seguir:

4.4.1 Densidade inicial de plantas

A densidade inicial de plantas foi determinada na área útil das parcelas aos 20 dias após a semeadura (DAS) (estádio V2). A contagem foi realizada em uma área total de 3 m² por parcela. Os resultados foram expressos em mil plantas ha⁻¹.

4.4.2 Índice de área foliar (IAF)

Para a avaliação do índice de área foliar (IAF) foram coletadas cinco plantas em sequência por parcela. Os folíolos foram retirados das plantas, sendo a área dos mesmos determinada em um integrador de área foliar de bancada (modelo LI-COR LI3100). Para o cálculo do IAF, utilizou-se a seguinte equação: $IAF = AFP * DEN$, em que AFP é a área foliar por planta (m²) e DEN é o número de plantas por m². Foi realizada uma avaliação de IAF na safra 2014/2015 aos 62 dias após a semeadura (DAS) (estádio R2).

4.4.3 Massa seca de caules e de folhas

As plantas contidas em uma área de 1 m² por parcela foram cortadas, separadas e acondicionadas em sacos de papel e, em seguida, levadas a estufa em temperatura de 65 °C até atingir massa constante. Após a secagem, a massa de matéria seca de caules e folhas foi determinada em balança analítica com precisão de 0,1 g. Foram realizadas para a safra 2014/2015 duas avaliações aos 30 e 62 DAS (estádios V2 e R2, respectivamente).

4.4.4 Densidade final de plantas

A densidade final de plantas foi determinada na área útil das parcelas aos 110 DAS (estádio R6 para a cultivar BMX Potência RR e R7 para a cultivar BRS 359 RR) para a safra de 2014/2015. A contagem foi realizada no mesmo local da avaliação da densidade inicial de plantas em 3 m² por parcela. Os resultados foram expressos em mil plantas ha⁻¹.

4.4.5 Altura de plantas

Avaliada em 20 plantas coletadas em sequência em cada parcela experimental, a partir da superfície do solo até a extremidade apical da haste principal, com auxílio de uma régua milimetrada. Os resultados foram expressos em cm.

4.4.6 Altura da inserção da primeira vagem

A altura de inserção da primeira vagem foi determinada avaliando-se 20 plantas coletadas em sequência em cada parcela experimental, medindo-se, com uma régua milimetrada, a distância do nível do colo da planta à inserção da primeira vagem. Os resultados foram expressos em cm.

4.4.7 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule foi determinado em cm, com o auxílio de um paquímetro, a medida foi realizada entre o primeiro e segundo nó do caule das plantas. Essa avaliação foi realizada em 20 plantas por parcela que foram coletadas em sequência.

4.4.8 Número de ramos por planta

Foi obtido contando-se o número total de ramos de 20 plantas por parcela que foram coletadas em sequência, após foi realizada a média das 20 plantas obtendo assim o número de ramos por planta.

4.4.9 Índice de colheita aparente

O índice de colheita aparente foi determinado pela razão entre a massa dos grãos e a massa seca total da parte aérea, sem considerar as folhas senescentes, avaliado em 20 plantas por parcela.

4.4.10 Produtividade de grãos

A produtividade foi obtida por meio da pesagem dos grãos colhidos na área útil (15m²) em cada parcela experimental, com padronização da umidade em 13%. Para a colheita foi utilizada a colhedora de parcelas experimentais Classic da empresa Austríaca Wintersteiger[®]. Os resultados foram transformados e expressos em kg ha⁻¹. O teor de água dos grãos após a colheita foi determinado por um medidor de capacitância digital, modelo (GAC 2100), previamente ajustado e calibrado para a cultura da soja.

4.4.11 Análise Estatística

Os dados obtidos foram analisados quanto a normalidade e homocedasticidade, utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e de Cochran, respectivamente, os quais indicaram não ser necessária a transformação dos dados. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias do fator cultivar comparadas pelo teste F e as médias dos demais fatores comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, separadamente para safra de cultivo. As análises foram executadas através do programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2011).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação tripla entre os fatores estudados (cultivares x densidades x espaçamentos) para nenhuma característica avaliada em ambas as

safras. Para a safra 2013/14, houve efeito isolado de densidade de semeadura para a densidade inicial, número de ramos por planta e altura da inserção da primeira vagem. Para a densidade inicial, a maior densidade (450 mil sementes viáveis ha⁻¹) apresentou o maior número de plantas ha⁻¹ (Tabela 4.1). Isso já era esperado pela maior quantidade de sementes utilizada na semeadura. Foi constatado que a menor densidade de semeadura proporcionou a maior quantidade de ramos por planta. Nestas condições, com a menor competição intraespecífica, cada planta apresentou maior disponibilidade de água, luz e nutrientes, proporcionando condições ideais para a ramificação e maior produção por indivíduo (LUCA; HUNGRIA, 2014; BALBINOT JUNIOR et al., 2015b).

A maior altura da inserção da primeira vagem ocorreu na maior densidade de semeadura avaliada (Tabela 4.1), em razão da maior competição entre as plantas ocasionado pela modificação na qualidade da radiação solar que incide no dossel. Provavelmente, houve um aumento da proporção da radiação solar difusa em relação à radiação solar global, favorecendo desse modo a maior alongação da haste principal para que assim as folhas superiores conseguissem alcançar a incidência direta da radiação solar (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008; MAUAD et al., 2010; PRICINOTTO; ZUCARELI, 2014). A altura final de plantas somente foi influenciada pelas cultivares em que a cultivar BRS 359 RR obteve menor altura (91,9 cm) em relação a cultivar BMX Potência RR (98,1 cm).

Tabela 4.1 – Densidade inicial (mil plantas ha⁻¹), número de ramos por planta e altura da inserção da primeira vagem (cm), em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.

Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)	Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹)	Nº de ramos por planta	Inserção da 1ª vagem (cm)
150	137 C ¹	4,8 A	14,1 C
300	257 B	2,5 B	16,4 B
450	391 A	1,4 C	18,2 A
CV (%)	10,5	24,2	9,8

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Houve efeito isolado de espaçamentos para a densidade inicial, número de ramos por planta e diâmetro do caule na safra 2013/14. A densidade inicial apresentou menores valores no espaçamento reduzido (20 cm) e fileira dupla (20/80 cm) em relação aos demais espaçamentos avaliados (Tabela 4.2). Possivelmente isso ocorreu em função da maior mobilização do solo nesses tratamentos, o que pode ter

favorecido a evaporação da água presente no solo, reduzindo a disponibilidade desse recurso à germinação das sementes. Nos espaçamentos de 20 e 20/80 cm foi utilizado semeadora com carrinhos distanciados em 20 cm, ou seja, com grande potencial de mobilização do solo e retirada de palha das linhas de semeadura. É importante mencionar que na safra 2013/14 houve um período extenso sem chuvas após a semeadura do experimento (início de novembro) (Figura 4.1A). O espaçamento reduzido (20 cm) e o de fileira dupla proporcionaram o maior número de ramos por planta, provavelmente isso esteja relacionado à menor densidade de plantas nesses tratamentos. Balbinot Junior et al. (2015b) observaram que o menor espaçamento (30 cm) obteve menor número de ramos por planta em relação ao maior espaçamento avaliado (60 cm).

O maior diâmetro do caule foi observado para o espaçamento reduzido (20 cm), já que para se utilizar menores espaçamentos entre as fileiras, conservando-se a mesma população de plantas por área, é necessária a redução do número de plantas dentro das linhas, o que resultou em distribuições de plantas mais equidistantes em relação aos arranjos com maiores espaçamentos entre as linhas. Essa condição mais equidistante resultou em menor competição por luz no início do ciclo e, conseqüentemente, maior desenvolvimento por indivíduo na área, ocasionando maior diâmetro do caule no final do ciclo (PROCÓPIO et al., 2014). Vale ressaltar que os espaçamentos avaliados não interferiram na altura da inserção da primeira vagem.

Tabela 4.2 – Densidade inicial (mil plantas ha⁻¹), número de ramos por planta, altura da inserção da primeira vagem (cm) e diâmetro do caule (cm), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2013/14.

Espaçamentos (cm)	Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹)	Nº de ramos por planta	Inserção da 1ª vagem (cm)	Diâmetro do caule (cm)
20	222 B ¹	3,7 A	15,5 A	0,79 A
20/80	233 B	3,1 AB	15,7 A	0,72 B
50	303 A	2,5 BC	16,8 A	0,67 BC
50 x 50	288 A	2,3 C	16,7 A	0,66 C
CV (%)	10,5	24,2	9,8	8,3

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Houve interação entre densidade de semeadura e cultivares para o diâmetro do caule e para a produtividade de grãos na safra 2013/14. A menor densidade de semeadura (150 mil sementes viáveis ha⁻¹) e a cultivar BMX Potência

RR aumentaram o diâmetro do caule das plantas de soja (Tabela 4.3). O diâmetro do caule é uma característica importante, pois está altamente correlacionada com a propensão ao acamamento da cultura (BALBINOT JUNIOR, 2011). A maior produtividade de grãos foi observada na maior densidade de semeadura e para a cultivar BRS 359 RR. A densidade de 450 mil sementes viáveis ha^{-1} , proporcionou a maior produtividade, provavelmente em razão da quantidade mais expressiva de raízes que absorvem água em profundidades mais elevadas no perfil do solo (CARLESSO, 1995), pois há maior competição entre plantas em condições mais adensadas, levando as raízes a se aprofundarem e se espalharem mais no perfil do solo na procura de água, ocasionando maior rendimento devido ao maior número de plantas e maior extração de água (KUSS et al., 2008). Vale ressaltar que o déficit hídrico ocorrido durante o período de enchimento de grãos, no mês de janeiro e no primeiro decêndio de fevereiro (Figura 4.1A), pode ter limitado a magnitude da resposta da soja aos arranjos de plantas nesta safra.

Tabela 4.3 – Diâmetro do caule (cm) e produtividade de grãos (kg ha^{-1}), em diferentes densidades de semeadura e duas cultivares de soja (médias de quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2013/14.

Cultivares	Densidade (mil sementes viáveis ha^{-1})		
	150	300	450
	Diâmetro do caule (cm)		
BRS 359 RR	0,76 Ba ¹	0,62 Bb	0,54 Bc
BMX Potência RR	0,96 Aa	0,74 Ab	0,65 Ac
CV(%)	8,3		
	Produtividade (kg ha^{-1})		
BRS 359 RR	1556 Ab	1712 Ab	1984 Aa
BMX Potência RR	1664 Aa	1572 Aa	1602 Ba
CV(%)	15,4		

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey e pelo teste F, respectivamente, à 5% de significância.

Houve interação entre cultivares e espaçamentos para a produtividade de grãos na safra 2013/14. A cultivar BRS 359 RR obteve maior produtividade em todos os espaçamentos, exceto nos espaçamentos reduzido e cruzado (Tabela 4.4). Isso aconteceu devido a cultivar BMX Potência RR possuir um ciclo mais longo em relação a cultivar BRS 359 RR. Quando a cultivar BMX Potência RR se encontrava em pleno enchimento de grãos ocorreu o déficit hídrico mais acentuado (Figura 4.1A) o que ocasionou uma diminuição drástica da produtividade. Já o espaçamento usual (50 cm) proporcionou a maior produtividade para a cultivar

BRS 359 RR, em função de uma distribuição espacial das plantas na área mais uniforme, o que ocasionou uma melhor nutrição dos indivíduos, e conseqüentemente maior produtividade. Resultados semelhantes foram obtidos por Mattioni et al. (2008), Komatsu, Guadagnin e Borgo (2010) e Silva et al. (2013), ao observarem maior produtividade de grãos para os espaçamentos de 45 cm em relação aos demais espaçamentos avaliados. Já Procópio et al. (2014) obtiveram em fileiras duplas (19 x 38 e 19 x 57 cm), juntamente com o maior espaçamento (57 cm), maior produtividade de grãos de soja, mostrando superioridade em relação à sementeira em espaçamento reduzido.

Tabela 4.4 – Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em diferentes espaçamentos entre fileiras e duas cultivares de soja (médias de três densidades de sementeira), safra 2013/14.

Cultivares	Espaçamentos (cm)			
	20	20/80	50	50 x 50
BRS 359 RR	1567 Abc ¹	1465 Ac	2156 Aa	1815 Ab
BMX Potência RR	1713 Aa	1047 Bb	1769 Ba	1922 Aa
CV(%)	15,4			

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey e pelo teste F, respectivamente, à 5% de significância.

Houve efeito isolado de densidade de sementeira para a densidade inicial, massa seca de folhas aos 30 DAS, índice de área foliar (IAF), massa seca de caules e de folhas aos 62 DAS, densidade final, altura da inserção da primeira vagem e diâmetro do caule para a safra 2014/15. A densidade inicial e final como já era de se esperar apresentou maiores valores na maior densidade de sementeira, devido a maior quantidade de sementes disponíveis para a germinação, também se observa uma redução da densidade final em relação a densidade inicial, isso ocorreu devido a competição entre as plantas ocasionar a mortalidade de alguns indivíduos na área (Tabela 4.5).

A massa seca de folhas aos 30 DAS apresentou maiores valores para a maior densidade de sementeira (Tabela 4.5), visto que nessa situação há maior quantidade de plantas e estas são menores, o que contribuiu para que apresentassem maior massa. Em compensação, a massa seca de caules e de folhas e o IAF aos 62 DAS nas densidades de 300 e 450 mil sementes viáveis ha^{-1} não diferiram entre si, em razão da plasticidade fenotípica. A soja apresenta tendência em ocupar os espaços vazios e compensar a menor quantidade de plantas na área (BOARD; KAHLON, 2013; LUCA; HUNGRIA, 2014). Resultados semelhantes foram

obtidos por Heiffig et al. (2006) ao observarem que as maiores densidades testadas (280 e 350 mil plantas ha⁻¹) obtiveram maior IAF em relação as menores (70, 140 e 210 mil plantas ha⁻¹). Resultados contrastantes foram observados por Cox e Cherney (2011) ao não encontrarem diferenças entre o IAF para quatro densidades de semeadura (321, 371, 420 e 469 sementes viáveis ha⁻¹), no estágio R5.

A altura da inserção da primeira vagem foi maior na maior densidade de semeadura, em razão da maior competição entre as plantas na busca por luz e melhor qualidade da radiação fotossinteticamente ativa. Em contrapartida, o diâmetro do caule foi maior para a menor densidade, devido à necessidade da planta possuir uma estrutura caulinar mais robusta que sustente o seu peso, compensando os espaços vazios.

Tabela 4.5 – Densidade inicial (mil plantas ha⁻¹), massa seca de folhas aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m⁻²), índice de área foliar (IAF), massa seca de caules aos 62 DAS (g m⁻²), massa seca de folhas aos 62 DAS (g m⁻²), densidade final (mil plantas ha⁻¹), altura da inserção da primeira vagem (cm) e diâmetro do caule (cm) em diferentes densidades de semeadura (médias de duas cultivares e quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.

Variáveis	Densidade de semeadura (mil sementes ha ⁻¹)			
	150	300	450	CV (%)
Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹)	167c ¹	311 b	474 a	10,5
MS de folhas aos 30 DAS (g m ⁻²)	11,8 c	20,4 b	26,7 a	27,9
IAF aos 62 DAS	3,9b	4,8 a	5,1 a	26,7
MS de caules aos 62 DAS (g m ⁻²)	109,1 b	149,1 a	174,3 a	32,2
MS de folhas aos 62 DAS (g m ⁻²)	178,6 b	233,7 a	275,5 a	29,9
Densidade final (mil plantas ha ⁻¹)	157 c	272 b	404 a	10,9
Inserção da primeira vagem (cm)	15,9 c	18,0 b	19,5 a	10,8
Diâmetro do caule (cm)	7,9 a	6,4 b	5,5 c	12,3

¹Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Houve efeito isolado de espaçamentos para a densidade inicial, massa seca de folhas aos 30 DAS e densidade final de plantas. O espaçamento reduzido proporcionou maior densidade inicial e massa seca de folhas aos 30 DAS (Tabela 4.6), pois as plantas se encontravam melhor distribuídas na área, o que favoreceu uma germinação mais homogênea e um maior crescimento por indivíduo no início do seu desenvolvimento. O espaçamento cruzado diferiu dos demais espaçamentos na densidade inicial e final de plantas ha⁻¹, apresentando menores valores (Tabela 4.6). O cruzamento das linhas, proporcionou a redução da densidade de plantas, devido a segunda operação de semeadura, transversal à primeira (formando um quadriculado)

causar danos na qualidade da primeira operação em razão do revolvimento do solo gerado pela segunda passagem da semeadora e da compactação extra imposta pelo rodado do trator e da semeadora (BALBINOT JUNIOR et al., 2015a).

Tabela 4.6 – Densidade inicial (mil plantas ha⁻¹), massa seca de folhas aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m⁻²) e densidade final (mil plantas ha⁻¹), em diferentes espaçamentos entre fileiras (médias de duas cultivares e três densidades de semeadura), safra 2014/15.

Espaçamentos (cm)	Densidade inicial (mil plantas ha ⁻¹)	MS de folhas aos 30 DAS(g m ⁻²)	Densidade final (mil plantas ha ⁻¹)
20	379 A ¹	24,4 A	296 A
20/80	326 B	17,7 B	303 A
50	302 B	17,0 B	279 A
50 x 50	261 C	19,2 B	233 B
CV (%)	13,1	27,9	10,9

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Houve efeito isolado de cultivares para a massa seca de folhas aos 30 DAS, massa seca de caules aos 62 DAS, número de ramos por planta e produtividade de grãos na safra 2014/15. A massa seca de folhas aos 30 DAS e de caules aos 62 DAS foi maior para a cultivar BRS 359 RR (Tabela 4.7) por esta possuir um ciclo mais curto em relação a cultivar BMX Potência RR. Já o número de ramos por planta foi maior para a cultivar BMX Potência RR, devido ao seu crescimento mais lento proporcionar condições ideais ao desenvolvimento de ramos. A produtividade foi menor para a cultivar BMX Potência RR, em razão desta possuir um ciclo mais longo, apresentou uma incidência maior de ferrugem asiática causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, considerada a principal doença da soja por ocasionar, em condições favoráveis, perdas expressivas do rendimento de grãos (ALMEIDA et al., 2005; LIMA et al., 2012).

Tabela 4.7 – Massa seca de folhas aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m^{-2}), massa seca de caules aos 62 DAS (g m^{-2}), número de ramos por planta e produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de duas cultivares de soja (médias de quatro espaçamentos entre fileiras e de três densidades de semeadura), safra 2014/15.

Cultivares	MS de folhas aos 30 DAS (g m^{-2})	MS de caules aos 62 DAS (g m^{-2})	Nº de ramos por planta	Produtividade (kg ha^{-1})
BRS 359 RR	23,5 A ¹	158,2 A	1,9 B	3355 A
BMX Potência RR	15,7 B	130,2 B	2,4 A	2855 B
CV(%)	27,9	32,2	21,1	13,3

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F à 5% de significância.

Houve interação entre cultivares e espaçamentos para a massa seca de caules aos 30 DAS, índice de colheita aparente e diâmetro do caule na safra 2014/15. A massa seca de caules aos 30 DAS foi maior no espaçamento reduzido para a cultivar BRS 359 RR (Tabela 4.8), devido ao maior incremento da biomassa vegetal no início do ciclo pela melhor distribuição das plantas na área, favorecendo maior interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e maior crescimento de cada indivíduo na área. Entre as cultivares, a BRS 359 RR possuiu maior valor de massa seca de caules aos 30 DAS em relação a cultivar BMX Potência RR, em função desta apresentar um menor ciclo e assim favorecer maior crescimento vegetativo inicial.

Quanto ao índice de colheita aparente, a cultivar BRS 359 RR apresentou maiores valores em relação a cultivar BMX Potência RR, isso é um fato positivo, pois a cultivar BRS 359 RR precisou de menor quantidade de biomassa vegetal para a produção de grãos (Tabela 4.8). O índice de colheita não está necessariamente associado com a massa seca da planta. Isso significa dizer que nem sempre as plantas com a maior massa seca serão as mais produtivas (Tabela 4.8), pois o índice de colheita leva em consideração a massa dos grãos em relação à massa seca total das plantas (PERINI et al., 2012).

O diâmetro do caule foi maior para o espaçamento cruzado na cultivar BRS 359 RR (Tabela 4.8), isso provavelmente ocorreu pelo maior espaço entre as plantas proporcionado pelo maior revolvimento do solo na segunda passada da semeadora, o que prejudicou a primeira passada favorecendo assim o maior diâmetro do caule (PROCÓPIO et al., 2013; BALBINOT JUNIOR et al., 2015a).

A cultivar BMX Potência RR apresentou maior diâmetro do caule em relação a cultivar BRS 359 RR para todos os espaçamentos avaliados, exceto no

espaçamento cruzado. Isso se deve ao fato de que a cultivar BMX Potência RR possui um ciclo mais longo o que proporciona melhor distribuição de fotoassimilados durante todo o ciclo da cultura ocasionando assim maior diâmetro do caule e condições menos favoráveis ao acamamento das plantas (BALBINOT JUNIOR, 2011).

Tabela 4.8 – Massa seca de caules aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m^{-2}), índice de colheita aparente e diâmetro do caule (cm) em diferentes espaçamentos entre fileiras e duas cultivares de soja (médias de três densidades de semeadura), safra 2014/15.

Cultivares	Espaçamentos (cm)			
	20	20/80	50	50 x 50
	Massa seca de caules aos 30 DAS (g m^{-2})			
BRS 359 RR	10,8 Aa ¹	7,8 Ab	6,7 Ab	8,0 Ab
BMX Potência RR	5,4 Ba	4,8 Ba	4,9 Aa	4,1 Ba
CV(%)	15,4			
	Índice de colheita aparente			
BRS 359 RR	0,515 Aa	0,537 Aa	0,517 Aa	0,511 Aa
BMX Potência RR	0,473 Ba	0,455 Ba	0,467 Ba	0,480 Ba
CV(%)	4,3			
	Diâmetro do caule (cm)			
BRS 359 RR	5,50 Bb	5,49 Bb	6,15 Bab	6,58 Aa
BMX Potência RR	7,51 Aa	7,23 Aa	7,13 Aa	7,07 Aa
CV(%)	12,3			

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey e pelo teste F, respectivamente, à 5% de significância.

Houve interação entre cultivares e densidades de semeadura para a massa seca de caules aos 30 DAS, índice de colheita aparente, altura da inserção da primeira vagem e altura de plantas na safra 2014/15. A menor densidade de semeadura proporcionou a menor massa seca de caules aos 30 DAS (Tabela 4.9), isso aconteceu em função de que há baixa quantidade de plantas e como estas se apresentam em um estágio muito precoce, a cultura da soja apesar de apresentar alta plasticidade fenotípica ainda não consegue compensar a menor quantidade de indivíduos na área. A cultivar BMX Potência RR apresentou menores valores de massa seca de caules aos 30 DAS em relação a cultivar BRS 359 RR, em função desta primeira apresentar ciclo mais longo e, portanto, um crescimento vegetativo inicial mais lento. O índice de colheita aparente foi maior para a cultivar BRS 359 RR em relação a cultivar BMX Potência RR em todos as densidades avaliadas, isso revelou que a cultivar BRS 359 RR utiliza melhor os recursos do ambiente e

transforma maior quantidade de fotoassimilados em grãos em relação a cultivar BMX Potência RR.

A altura da inserção da primeira vagem e a altura final de plantas foram maiores para as maiores densidades de semeadura (Tabela 4.9) em razão da elevada competição intraespecífica pelos recursos do ambiente, ocasionando assim maior estatura das plantas de soja. Nas densidades de 300 e 450 mil sementes viáveis ha⁻¹ a maior altura de inserção da primeira vagem foi da cultivar BMX Potência RR e na densidade de 450 mil sementes viáveis ha⁻¹ a mesma cultivar apresentou menor estatura de plantas.

Tabela 4.9 – Massa seca de caules aos 30 dias após semeadura (DAS) (g m⁻²), índice de colheita aparente, altura da inserção da primeira vagem(cm) e altura de plantas (cm) em diferentes densidades de semeadura e duas cultivares de soja (médias de quatro espaçamentos entre fileiras), safra 2014/15.

Cultivares	Densidade (mil sementes viáveis ha ⁻¹)		
	150	300	450
	Massa seca de caules aos 30 DAS (g m ⁻²)		
BRS 359 RR	5,1 Ab ¹	9,4 Aa	10,5 Aa
BMX Potência RR	3,1 Bb	4,7 Bb	6,6 Ba
CV(%)	15,4		
	Índice de colheita aparente		
BRS 359 RR	0,526 Aa	0,522 Aa	0,512 Aa
BMX Potência RR	0,463 Ba	0,465 Ba	0,479 Ba
CV(%)	4,3		
	Altura da Inserção da Primeira Vagem (cm)		
BRS 359 RR	15,7 Ab	16,8 Bab	18,3 Ba
BMX Potência RR	16,2 Ab	19,3 Aa	20,6 Aa
CV(%)	10,8		
	Altura de Plantas (cm)		
BRS 359 RR	85,7 Ab	92,6 Aab	96,4 Aa
BMX Potência RR	90,3 Aa	92,5 Aa	88,1 Ba
CV(%)	9,3		

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey e pelo teste F, respectivamente, à 5% de significância.

Houve interação entre densidades e espaçamentos para o número de ramos por planta e altura da inserção da primeira vagem para a safra 2014/15. O número de ramos por planta foi menor no espaçamento reduzido, independente da densidade de semeadura avaliada (Tabela 4.10), também foi menor para a maior densidade de semeadura, devido a maior quantidade de plantas na área que crescem em altura priorizando alcançar maior quantidade de radiação solar. A menor densidade

de semeadura proporcionou maior número de ramos por planta, pois estas possuem mais espaço para se desenvolverem e para compensar esses espaços vazios crescem lateralmente. O aumento do número de ramificações por planta pode estar relacionado com a menor competição intraespecífica, a qual é diminuída com a redução do número de plantas por área, modificando diretamente o número de ramos por planta (SOUZA et al., 2010).

A altura da inserção da primeira vagem foi maior para a densidade de 450 mil sementes viáveis ha^{-1} no espaçamento usual (Tabela 4.10), na busca pela maior radiação solar incidente a planta desenvolve as estruturas reprodutivas em uma altura mais elevada, pois precisa utilizar maior quantidade de fotoassimilados para crescer em altura. Já na densidade de 300 mil sementes viáveis ha^{-1} a altura da inserção da primeira vagem foi maior no espaçamento em fileira dupla ocasionado pela maior quantidade de plantas na linha de semeadura o que levou a maior competição pelos recursos ambientais levando assim a uma maior altura da inserção da primeira vagem. Marchiori et al. (1999) observaram que, quanto maior a densidade de plantas de soja na linha, maior a altura final das plantas, menor o diâmetro da haste principal e menor o número de ramificações por planta.

Tabela 4.10 – Número de ramos por planta e altura da inserção da primeira vagem (cm) em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura (médias de duas cultivares), safra 2014/15.

Densidade (mil sementes viáveis ha^{-1})	Espaçamentos (cm)			
	20	20/80	50	50 x 50
	Número de ramos por planta			
150	3,12 Ab ¹	3,9 Aa	4,5 Aa	3,8 Aab
300	1,3 Bb	2,1 Ba	2,3 Ba	1,7 Bab
450	0,50 Cb	1,3 Ca	0,51 Cb	1,0 Cab
CV(%)	21,1			
	Altura da Inserção da Primeira Vagem (cm)			
150	17,5 Aa	15,7 Ba	15,4 Ba	15,2 Ba
300	18,6 Aab	19,4 Aa	16,2 Bb	17,9 Aab
450	19,6 Aa	18,4 Aa	20,8 Aa	18,9 Aa
CV(%)	10,8			

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

4.6 CONCLUSÕES

A densidade de semeadura de 450 mil sementes viáveis ha⁻¹ apresenta maiores altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, massa seca de folhas e caules no início do ciclo da cultura e produtividade de grãos e menores diâmetro do caule e número de ramos por planta, comparativamente às menores densidades.

O espaçamento reduzido (20 cm) apresenta maior massa seca de folhas e de caules no início do ciclo e diâmetro do caule.

O espaçamento usual (50 cm) confere maior produtividade de grãos e, por isso, não há evidências para indicar alterações no espaçamento entre fileiras.

A cultivar BMX Potência RR apresenta menor produtividade e índice de colheita aparente em relação a cultivar BRS 359 RR.

4. 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements** **FAO irrigation and drainage**. Relatório Técnico, FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations, 1998.

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T. et al. Doenças da soja (Glycine max). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M. et al. **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**, v. 2, 4. ed., São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 569-588.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BALBINOT JUNIOR, A. A. Acamamento de plantas na cultura da soja. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 25, n. 1, p. 40-43, 2011.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p.1215-1226, 2015a.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; COSTA, J. M.; KOSINSKI, C. L.; PANISON, F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Espaçamento reduzido e plantio cruzado associados a diferentes densidades de plantas em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 5, p. 2975-2984, 2015b.

BOARD, J. E.; KAHLON, C. Morphological responses to low plant population differ between soybean genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 3, p. 1109-1119, 2013.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M. de; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, E.P.; ALCANTARA, H.P.de; SANTOS, P.S. Desempenho de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 892-899, 2010.

COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES. **How a soybean plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20 p.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H.; SHIELDS, E. Soybeans compensate at low seeding rate but not at high thinning rates. **Agronomy Journal**, Madison, 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**, Madison, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p.415-421, 2001.

FERREIRA JUNIOR, J. A.; ESPINDOLA, S. M. C. G.; GONÇALVES, D. A. R.; LOPES, E. W. Avaliação de genótipos de soja em diferentes épocas de plantio e densidade de semeadura no município de Uberaba – MG. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 7, p. 13-21, 2010.

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

FONTANA, D.C.; ALVES, G.M.; ROBERTI, D.; MORAES, O. L. L.; GERHARDT, A. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura da soja através de dados do sensor Modis. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 563-571, 2012.

EMBRAPA. **Sistemas de produção 15: Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013.** Londrina: Embrapa Soja, 2011, 261p.

HANNA, S.; 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**, Madison, v. 100, n. 5, p. 1488-1492, 2008.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p. 285-295, 2006.

HEITHOLT, J. J.; FARR, J. B.; EASON, R. Planting con guration x cultivar effects on soybean production in low-yield environments. **Crop Science**, Madison, v. 45, p. 1800-1808, 2005.

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

IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. **Médias Históricas**. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm> . Acesso em: 15 jan. 2016.

KOMATSU, R. A.; GUADAGNIN, D. D.; BORGIO, M. A. Efeito do espaçamento de plantas sobre o comportamento de cultivares de soja de crescimento determinado. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 5, n. 1, p. 50-55, 2010.

KUSS, R. C. R.; KÖNIG, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STURMER, G. R. População de plantas e estratégia de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

LIMA, S. F.; ALVAREZ, R. C. F.; THEODORO, G. F.; BAVARESCO, M.; SILVA, K. S. Efeito da sementeira em linhas cruzadas sobre a produtividade de grãos e severidade da ferrugem asiática da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.6, p.951-962, 2012.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS, D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 3, p. 181-187, 2014.

LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; LUCCA FILHO, O. A.; ZABOT, L.; JAUER, A.; UHRY, D. Populações de plantas na cultura da soja em cultivares convencionais e Roundup ReadyTM. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 305-313, 2011.

MADALOSSO, M. G.; DOMINGUES, L. S.; DEBORTOLI, M. P.; LENZ, G.; BALARDIN, R. S. Cultivares, espaçamento entrelinhas e programas de aplicação de fungicidas no controle de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 11, p. 2256-2261, 2010.

MARCHIORI, L. F. S.; CÂMARA, G. M. D. S.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Desempenho vegetativo de cultivares de soja Glycinemax (L.) Merrill em épocas normal e safrinha. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 383-390, 1999.

MATTIONI, F.; CORRÊA, L.A.V.; GOMES, J.C.C.; WÜNCH, J. Arranjos espaciais, plantas concorrentes e características agronômicas da soja (Glycine max (Linn) Merrill) em cultivo orgânico. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 2-3, p.21-32, 2008.

MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; ALMEIDA NETO, A.I.; ABREU, V.G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p.175-181, 2010.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos**. Porto Alegre, 2005. 31 p.

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

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S. DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2531-2544, 2012.

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

PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C. Paclobutrazol no crescimento e desempenho produtivo da soja sob diferentes densidades de semeadura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n. 4, p.65-74, 2014.

PROCÓPIO, S. O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v.56, n. 4, p.319-325, 2013.

PROCÓPIO, S. O.;BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v.8, n. 2, p.212-221, 2014.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, W. B.; PETTER, F. A.; LIMA, L. B.; ANDRADE, F. R. Desenvolvimento inicial de *Urochloa ruziziensis* e desempenho agrônômico da soja em diferentes arranjos espaciais no cerrado Mato-Grossense. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p. 146-153, 2013.

SOUZA, C. A.; GAVA, F.; CASA, R. T.; BOLZAN, J. M.; KUHNEM JUNIOR, P. R. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja RoundupReadyTM. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 887-896, 2010.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Certenton, 1955. 104p.

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**, Madison, v. 102, n. 3, p. 821-826, 2010.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.

Anexo 4.1 – Resumo da análise de variância para as características agronômicas avaliadas em plantas de soja, em função das cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades de semeadura na safra 2013/2014 em Londrina-PR.

F.V	GL	DEN INICIAL	Quadrados médios						
			NDVI 27 DAS	NDVI 35 DAS	NDVI 43 DAS	NDVI 49 DAS	NDVI 82 DAS	CSD 27 DAS	CSD 35 DAS
CULTIVAR	1	565,04 ^{ns}	0,0077*	0,0042 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,0056 ^{ns}	0,0034**	134,12**	109,61 ^{ns}
ESPAÇAMENTOS	3	28923,70**	0,0273**	0,0223**	0,0261**	0,0128 ^{ns}	0,0024**	118,65**	387,53**
DENSIDADES	2	389470,70 **	0,1209**	0,1923**	0,3037**	0,1675**	0,0003 ^{ns}	1255,99**	3344,08**
BLOCOS	2	1141,30 ^{ns}	0,0081*	0,0067 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	0,00108*	58,44*	95,71 ^{ns}
CV*ESP	3	125,20 ^{ns}	0,0046*	0,009896*	0,0136 ^{ns}	0,0115 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	7,43 ^{ns}	50,87 ^{ns}
CV*DEN	2	1029,68 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,0114 ^{ns}	0,0051 ^{ns}	0,00004 ^{ns}	24,36 ^{ns}	19,16 ^{ns}
ESP*DEN	6	3480,88 ^{ns}	0,0029*	0,0025 ^{ns}	0,0030 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	0,00013 ^{ns}	17,76 ^{ns}	63,07 ^{ns}
CV*ESP*DEN	6	503,95 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0011 ^{ns}	0,0030 ^{ns}	0,0032 ^{ns}	0,00033 ^{ns}	6,01 ^{ns}	31,27 ^{ns}
ERRO	46	764,11	0,0012	0,0029	0,0051	0,0061	0,0003	10,71	46,35
MÉDIA	-	261,96	0,3302	0,6612	0,6673	0,7120	0,8568	14,86	30,92
CV (%)	-	10,5	10,6	12,4	10,7	11,0	2,1	22,0	22,0

ns, não significativo, ** e *, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

DEN INICIAL: densidade inicial; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; CSD: cobertura do solo pelo dossel.

Anexo 4.2 – Resumo da análise de variância para as características agrônômicas avaliadas em plantas de soja, em função das cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades de semeadura na safra 2013/2014 em Londrina-PR.

Quadrados médios									
F.V	GL	CSD 43 DAS	CSD 49 DAS	NRAM	ICA	AP	AIPV	DIAM	PROD
CULTIVAR	1	53,56 ^{ns}	17,84 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,0034 ^{ns}	688,45 ^{**}	0,69 ^{ns}	0,3683 ^{**}	343176,93 [*]
ESPAÇAMENTOS	3	1901,94 ^{**}	1650,54 ^{**}	72,19 ^{**}	0,0013 ^{ns}	91,12 ^{ns}	8,32 [*]	0,0626 ^{**}	1782462,00 ^{**}
DENSIDADES	2	7220,52 ^{**}	5022,63 ^{**}	74,57 ^{**}	0,0014 ^{ns}	142,30 ^{ns}	101,02 ^{**}	0,4430 ^{**}	228933,23 [*]
BLOCOS	2	501,13 ^{**}	274,69 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	105,81 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,0046 ^{ns}	355903,36 ^{**}
CV*ESP	3	115,38 ^{ns}	94,83 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	117,93 ^{ns}	3,27 ^{ns}	0,0066 ^{ns}	421000,72 ^{**}
CV*DEN	2	4,80 ^{ns}	5,72 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	4,81 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,0170 [*]	360326,07 ^{**}
ESP*DEN	6	134,33 ^{ns}	106,94 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	99,90 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,0022 ^{ns}	57558,41 ^{ns}
CV*ESP*DEN	6	71,17 ^{ns}	63,79 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,0011 ^{ns}	50,70 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,0039 ^{ns}	56760,80 ^{ns}
ERRO	46	89,93	93,76	0,49	0,0009	87,52	2,54	0,0036	67463,64
MÉDIA	-	58,18	67,81	2,92	0,3581	94,97	16,21	0,7163	16821
CV (%)	-	16,3	14,3	24,2	8,4	9,8	9,8	8,3	15,4

ns, não significativo, ** e *, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

CSD: cobertura do solo pelo dossel; NRAM: número de ramos por planta; ICA: Índice de colheita aparente; AP: altura de plantas; AIPV: altura da inserção da primeira vagem; DIAM: diâmetro do caule e PROD: produtividade.

Anexo 4.3 – Resumo da análise de variância para as características agronômicas avaliadas em plantas de soja, em função das cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades de semeadura na safra 2014/2015 em Londrina-PR.

Quadrados médios										
F.V	GL	DEN INICIAL	MSCA 30 DAS	MSFO 30 DAS	NDVI 33 DAS	NDVI 57 DAS	NDVI 91 DAS	CSD 33 DAS	CSD 57 DAS	MSC 62 DAS
CULTIVAR	1	34525,35**	225,42**	1075,70**	0,1191**	0,0218*	0,00310*	2605,21**	936,00**	14080,37*
ESPAÇAMENTOS	3	43897,31**	18,90**	202,36**	0,0173**	0,0115*	0,00396**	783,62**	1458,92**	2001,67 ^{ns}
DENSIDADES	2	564504,64**	124,07**	1339,50**	0,2286**	0,0222**	0,00070 ^{ns}	3218,90**	1052,85**	26000,52**
BLOCO	2	802,45 ^{ns}	6,80 ^{ns}	151,92*	0,0610**	0,0285**	0,02408**	141,13*	142,83 ^{ns}	12303,35**
CV*ESP	3	451,59 ^{ns}	10,81*	60,53 ^{ns}	0,0011 ^{ns}	0,0036 ^{ns}	0,00123 ^{ns}	71,62 ^{ns}	49,10 ^{ns}	2683,89 ^{ns}
CV*DEN	2	2113,87 ^{ns}	11,94*	66,19 ^{ns}	0,0097 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,00208 ^{ns}	115,21 ^{ns}	83,85 ^{ns}	493,02 ^{ns}
ESP*DEN	6	16182,81 ^{ns}	2,51 ^{ns}	46,92 ^{ns}	0,0082*	0,0008 ^{ns}	0,00032 ^{ns}	199,94 ^{ns}	51,11 ^{ns}	1928,01 ^{ns}
CV*ESP*DEN	6	655,52 ^{ns}	4,94 ^{ns}	13,81 ^{ns}	0,0025 ^{ns}	0,0039 ^{ns}	0,00039 ^{ns}	26,49 ^{ns}	128,78 ^{ns}	1779,57 ^{ns}
ERRO	46	1731,47	3,72	30,05	0,0031	0,0035	0,00073	32,70	73,48	2152,68
MÉDIA	-	318	6,58	19,63	0,3985	0,7367	0,75640	27,62	86,67	144,20
CV (%)	-	13,1	29,3	27,9	14,1	8,1	3,6	20,7	9,9	32,2

ns, não significativo, ** e *, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

DEN INICIAL: densidade inicial; MSCA: massa seca de caules; MSFO: massa seca de folhas; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; CSD: cobertura do solo pelo dossel.

Anexo 4.4 – Resumo da análise de variância para as características agrônômicas avaliadas em plantas de soja, em função das cultivares, dos espaçamentos entre fileiras e de densidades de semeadura na safra 2014/2015 em Londrina-PR

Quadrados médios										
F.V	GL	MSFO 62 DAS	IAF 62 DAS	DEN FINAL	NRAMOS	ICA	ALTURA	INS 1ª VAG	DIÂMETRO	PROD
CULTIVAR	1	1359,63 ^{ns}	0,086 ^{ns}	20672,56 ^{**}	2,940 ^{**}	0,04753 ^{**}	26,29 ^{ns}	55,21 ^{**}	30,66 ^{**}	4491732,16 ^{**}
ESPAÇAMENTOS	3	9870,75 ^{ns}	1,508 ^{ns}	17917,08 ^{**}	2,305 ^{**}	0,00005 ^{ns}	74,00 ^{ns}	5,12 ^{ns}	0,70 ^{ns}	148209,82 ^{ns}
DENSIDADES	2	56670,30 ^{**}	9,578 ^{**}	364836,43 ^{**}	54,612 ^{**}	0,00002 ^{ns}	153,39 ^{ns}	75,31 ^{**}	35,14 ^{**}	216382,83 ^{ns}
BLOCO	2	8636,41 ^{ns}	2,257 ^{ns}	3567,95 [*]	0,101 ^{ns}	0,00097 ^{ns}	108,57 ^{ns}	16,97 [*]	1,01 ^{ns}	936276,01 ^{**}
CV*ESP	3	6448,16 ^{ns}	2,320 ^{ns}	1151,44 ^{ns}	0,278 ^{ns}	0,00217 ^{**}	80,19 ^{ns}	2,27 ^{ns}	2,17 [*]	378959,97 ^{ns}
CV*DEN	2	818,17 ^{ns}	0,283 ^{ns}	253,35 ^{ns}	0,059 ^{ns}	0,00151 [*]	252,99 [*]	7,64 ^{ns}	1,91 ^{ns}	259212,19 ^{ns}
ESP*DEN	6	3414,55 ^{ns}	0,534 ^{ns}	6817,67 ^{ns}	0,759 ^{**}	0,00061 ^{ns}	102,03 ^{ns}	9,24 [*]	0,50 ^{ns}	84223,49 ^{ns}
CV*ESP*DEN	6	5709,77 ^{ns}	1,322 ^{ns}	1497,13 ^{ns}	0,218 ^{ns}	0,00083 ^{ns}	80,75 ^{ns}	7,44 ^{ns}	0,67 ^{ns}	138822,18 ^{ns}
ERRO	46	4701,18	1,518	927,14	0,21	0,00046	71,08	3,74	0,66	171671,21
MÉDIA	-	229,33	4,623	278,24	2,17	0,495	90,96	17,84	6,59	3105
CV (%)	-	29,9	26,6	10,9	21,1	4,3	9,3	10,8	12,3	13,3

ns, não significativo, ** e *, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

MSFO: massa seca de folhas; IAF: Índice de área foliar; DEN FINAL: densidade final; NRAM: número de ramos por planta; ICA: Índice de colheita aparente; AP: altura de plantas; AIPV: altura da inserção da primeira vagem; DIAM: diâmetro do caule e PROD: produtividade.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A cultivar BRS 359 RR apresenta maior NDVI, produtividade e índice de colheita aparente em relação a cultivar BMX Potência RR por possuir menor ciclo de desenvolvimento.

O espaçamento reduzido (20 cm) proporciona menor NDVI no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, entretanto, apresenta maior massa seca de folhas e de caules no início do ciclo e diâmetro do caule. Todos os espaçamentos apresentam o total fechamento do dossel no final do ciclo, com exceção do espaçamento em fileira dupla (20/80 cm).

O espaçamento usual (50 cm) confere maior produtividade de grãos.

A densidade de 150 mil sementes viáveis ha^{-1} ocasiona menor NDVI e cobertura do dossel no início do ciclo, entretanto no final do ciclo essa diferença se dissipa e todas as densidades apresentam pleno fechamento do dossel.

A densidade de semeadura de 450 mil sementes viáveis ha^{-1} apresenta maiores altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, massa seca de folhas e caules no início do ciclo da cultura e produtividade de grãos e menores diâmetro do caule e número de ramos por planta.

Considerando as duas cultivares utilizadas na pesquisa, que apresentam características morfofisiológicas similares à grande parte das cultivares utilizadas no Brasil, o presente estudo não apresenta evidências de que há arranjos alternativos mais adequados em relação ao que é feito pelos agricultores (uso de espaçamentos de 45 a 50 cm e uso de densidades de semeadura de 300 a 350 mil sementes viáveis ha^{-1}).