

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

ALEXANDRE LUIS MÜLLER

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E PRODUTIVAS DA CULTURA DA SOJA
EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2017

ALEXANDRE LUIS MÜLLER

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E PRODUTIVAS DA CULTURA DA SOJA
EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2017

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unoeste.

Muller, Alexandre Luis
CARACTERÍSTICAS MORPOLÓGICAS E PRODUTIVAS DA CULTURA DA
SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS
/ Alexandre Luis Muller; orientador Vandeir Francisco
Guimarães. -- Marechal Cândido Rondon, 2017.
58 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2017.

1. Glycine max. 2. Espaçamento entre linhas. 3. População
de plantas. I. Guimarães, Vandeir Francisco, orient. II.
Título.

ALEXANDRE LUIS MÜLLER

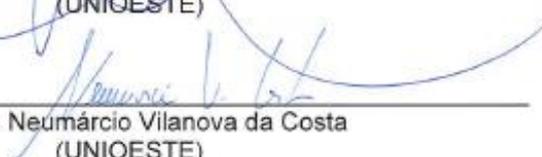
**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E AGRONÔMICAS DA SOJA EM
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de fevereiro de 2017.



Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior
(UNIOESTE)



Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa
(UNIOESTE)



Pesq. Dr. João Leonardo Fernandes Pires
(EMBRAPA)



Prof. Dr. Alfredo Richart
(PUCPR)



Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães
(Orientador)
(UNIOESTE)

Agradecimentos

À Deus, pela oportunidade da vida, por me abençoar, iluminar, guiar e proteger sempre.

Aos meus pais, por sempre me incentivar a estudar, se esforçando para meu sucesso, amor e educação.

A minha esposa e filha que não mediram esforços para a realização desta etapa em minha vida, pela paciência e compreensão quando ausente em casa, dedicação, apoio, ajuda e amor incondicional.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade da realização do curso e suporte para o desenvolvimento desta tese.

Ao professor Vandeir Francisco Guimarães, pela orientação e ensinamentos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, por todo suporte dado para execução do doutorado.

A PUCPR Campus Toledo, por ceder a área e laboratórios para a implantação e execução do experimento.

À Leila Allievi Werlang, secretária da Pós-Graduação, por todas as informações e atenção dedicada.

A todos os colegas do mestrado e doutorado, pelo companheirismo, amizade, incentivo e cooperação.

Em especial aos amigos, colegas e todos que se fizeram presente neste período importante da minha vida, agradeço.

RESUMO

MÜLLER, Alexandre, L. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2017. **Características morfológicas e produtivas da cultura da soja em função de diferentes arranjos espaciais de plantas.** Orientador: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as características morfológicas e produtivas da cultura da soja submetida a diferentes espaçamentos entre linhas e de populações de plantas. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da PUCPR – *Campus* Toledo, utilizando a cultivar NA5909RG. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 6 x 5, sendo anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015), espaçamentos entre linhas (15, 30, 45, 60, 75 e 90 cm) e populações de plantas (10, 20, 30, 40 e 50 plantas m⁻²), com quatro repetições. No estágio de enchimento de grãos (R5), foram avaliadas as seguintes variáveis: percentagem de cobertura do solo; altura de plantas; diâmetro do caule; número de nós; índice de área foliar. No final do ciclo da cultura foram avaliadas as seguintes variáveis: número de plantas sobreviventes, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Houve interação entre a população de plantas e o espaçamento entre linhas para a variável cobertura do solo, altura de plantas, número de plantas final e número de vagens por planta, para as demais variáveis não ocorreu interação, apenas o efeito isolado de cada fator. Nas menores populações de plantas ocorreu redução da altura, massa seca total e índice de área foliar, e aumento do diâmetro, número de nós, número de vagens, grãos por vagem e conseqüentemente da produtividade. Para os menores espaçamentos ocorreu redução da massa seca total, do índice de área foliar e da massa de mil grãos. Portanto, o aumento da população de plantas reduziu o número de plantas no final do ciclo, enquanto que as menores populações de plantas aumentaram a produtividade, independente do espaçamento de plantas adotado.

Termos para indexação: *Glycine max*. Espaçamento entre linhas. População de plantas.

ABSTRACT

MÜLLER, Alexandre, L. State University of Western Paraná, in February 2017. **Spatial arrangements of soybean plants and their morphological and productive characteristics.**

Advisor: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

The aim of the present work was to evaluate the morphological and productive characteristics of the soybean crop submitted to different spacings between rows and plant populations. The experiment was conducted at the Experimental Farm of PUCPR - Campus Toledo, using cultivar NA5909RG. The experimental design was a randomized blocks design, in a 2 x 6 x 5 factorial scheme, with cultivation years (2013/2014 and 2014/2015), spacing between rows (15, 30, 45, 60, 75 and 90 cm) and plant populations (10, 20, 30, 40 and 50 plants m⁻²) with four replications. At the grain filling stage (R5), the following variables were evaluated: percentage of soil cover; plant height; stem diameter; number of nodes; leaf area index. At the end of the crop cycle, the following variables were evaluated: number of surviving plants, number of pods per plant, number of grains per pod, mass of one thousand grains and yield of grains. There was interaction between plant population and row spacing for soil cover variable, plant height, number of end plants and number of pods per plant, for the other variables no interaction occurred, only the isolated effect of each factor. In the lower plant populations, the decrease in height, total dry mass and leaf area index, and increase in diameter, number of nodes, number of pods, grains per pod and consequently of productivity. For the smaller spacings decrease of the dry mass total, index of leaf area and the mass of a thousand grains. Therefore, the increase of the population of plants reduced the number of plants at the end of the cycle and the smaller plant populations increase grain yield, regardless of the plant spacing adopted.

Keywords: Glycine max. Row spacing. Plant population.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	3
2 ARTIGO I - Arranjos espaciais de plantas de soja e suas características produtivas ⁽¹⁾	6
Introdução	7
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	12
Conclusões	23
Referências	23
Figuras	Erro! Indicador não definido.
3 ARTIGO II - Características morfométricas e produtividade de plantas de soja em diferentes arranjos espaciais ⁽¹⁾	28
Introdução	29
Material e Métodos	32
Resultados e Discussão	34
Conclusões	46
Referências	47
Figuras	Erro! Indicador não definido.
4 CONCLUSÕES GERAIS	51

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) está entre as principais culturas de importância econômica do país e coloca o Brasil em lugar de destaque frente ao agronegócio mundial, por ter alta representação entre as *commodities* comercializadas e grande potencial produtivo para atender o crescente mercado consumidor. A cultura da soja ocupa posição de destaque na agricultura mundial sendo a segunda maior fornecedora de óleo vegetal para alimentação humana e a principal fonte de proteínas para a alimentação animal, principalmente de suínos e aves (NUNES, 2007). Portanto, o aumento no poder aquisitivo, da população e da produção de carnes bovina, suína e de aves, entre outros, são os principais responsáveis pelo aumento no consumo de soja no mundo (CARVALHO; FERREIRA; BUENO, 2012).

De acordo com levantamento da CONAB (2016), o Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, com produção de 96,5 milhões de toneladas em uma área cultivada de aproximadamente 33 milhões de hectares para a safra 2015/2016. É a cultura de grãos com maior expansão no território brasileiro ocupando 60% do total das áreas cultivadas nessa safra.

O rendimento de grãos aumenta significativamente em função do desenvolvimento de genótipos mais adaptados e produtivos, aumento do uso de insumos, e da eficiência no funcionamento e uso de máquinas que elevaram o padrão de manejo da cultura (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

O estado brasileiro com a maior produção de grãos de soja é o Mato Grosso com 27% do total produzido, seguido pelo estado do Paraná com 18%. O rendimento de grãos nacional das lavouras de soja foi de 2.870,00 kg ha⁻¹, enquanto o rendimento de grãos de soja do estado do Paraná foi de 3.090,00 kg ha⁻¹, ou seja, 8% superior à média nacional (CONAB, 2016).

Devido à grande importância socioeconômica da cultura da soja no Brasil, muitas empresas e órgãos de pesquisa vêm trabalhando com o intuito de melhorar sua adaptabilidade a diferentes ambientes e conseqüentemente sua produtividade. Contudo, como a demanda por alimentos é crescente, a procura por novas formas de aumentar ainda mais a produtividade têm sido investigada, como a seleção de novas cultivares, resistência a pragas, condições ideais de fertilidade, sistemas de condução das plantas, entre outros (EMBRAPA, 2013).

Com isso, as novas cultivares de soja que estão sendo desenvolvidas e disponibilizadas para os produtores brasileiros, possuem arquitetura diferenciada e modificações genéticas como o caso da soja resistente ao herbicida glifosato. Cabe à pesquisa buscar novas recomendações de espaçamentos e populações de plantas, para os materiais de soja lançados.

A modificação nos sistemas de plantio da soja tem obtido resultados promissores tanto em regiões produtoras no Brasil quanto nos Estados Unidos e um dos motivos do sucesso é em razão da cultura apresentar capacidade de adaptação a diversas condições ambientais e de manejo, como as modificações relacionadas com a fertilidade do solo, população de plantas e com o espaçamento entre linhas (PIRES et al., 2000; RAMBO et al., 2003).

Os componentes primários do rendimento de grãos na cultura da soja são o número de plantas por área, número de legumes por planta (ou por área), número de grãos por legume e massa dos grãos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). Destes, o que sofre maior influência de fatores ambientais é o número de legumes por área (SCHÖFFEL et al., 2001; ROBINSON et al., 2009), que pode ser parcialmente compensado por modificações no arranjo de plantas (RAMBO, 2002).

Os arranjos ótimos variam em função da região, época de semeadura, condições hídricas, fertilidade do solo e genótipos. Bruin e Pedersen (2009) descrevem uma resposta típica da soja às populações de plantas que se caracteriza pelo crescimento linear no rendimento com aumento da população até um teto situado entre 8 e 35 plantas m^{-2} variando conforme a região dos Estados Unidos.

A maior expressão do potencial produtivo das cultivares, entretanto, depende das condições do meio onde as plantas irão desenvolver-se. A densidade de semeadura é fator determinante para o arranjo das plantas no ambiente de produção e influencia o crescimento da soja (MARTINS et al., 1999). Assim, a densidade de semeadura interfere na competição inter e intraespecífica por recursos do solo, especialmente água e nutrientes, além de provocar mudanças morfofisiológicas nas plantas (ARGENTA; SILVA; SANGOL, 2001).

Alterações relacionadas com a população de plantas podem reduzir ou aumentar os ganhos em produtividade, pois essa característica é consequência da densidade das plantas nas linhas e do seu espaçamento entre as linhas. O espaçamento de plantas proporciona um menor efeito na produtividade, desde que as plantas estejam distribuídas uniformemente na área (ENDRES, 1996). Por causa disto, a população de 400 mil plantas por hectare tem sido recomendada (EMBRAPA, 2013), embora outros fatores, como: região, época de semeadura, e cultivar utilizada, também influenciem a escolha da melhor população.

A população de plantas utilizada para o cultivo irá determinar o arranjo das plantas dentro do ambiente de produção influenciando, conseqüentemente o crescimento da cultura da soja. A melhor população de plantas deve possibilitar altura de plantas e da inserção da primeira vagem adequada para a colheita mecanizada, além de evitar o acamamento das plantas, garantido um alto rendimento de grãos (MARTINS et al., 1999).

Na safra de 1996/1997, Pires, Costa e Thomas (1998) relataram que mudanças no espaçamento entre linhas da soja poderia interferir de forma positiva na produtividade de grãos. Dessa mesma forma, Rambo et al. (2003) corroboraram com os resultados encontrados anteriormente. Com a redução do espaçamento para a cultura da soja, Tourino, Rezende e Salvador (2002), relataram que houve um acréscimo na produtividade das plantas, e com a menor população de plantas a cultura fica menos suscetível ao acamamento. Para Kuss et al. (2008), maiores populações de soja proporcionaram aumentos de produtividade para a cultura, resultados semelhantes encontrados por Tragnago et al. (2011).

As menores populações vêm sendo utilizadas com sucesso, pois além de não reduzirem a produtividade geram uma redução no custo de produção em virtude de uma menor utilização de semente (TOURINO; REZENDE; SALVADOR, 2002).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as características morfológicas e produtivas da cultura da soja submetida a diferentes espaçamentos nas entres linhas e de populações de plantas.

REFERÊNCIAS

- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOL, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001.
- BRUIN, J. L. de; PEDERSEN, P. Growth, yield, and yield component changes among old and new soybean Genótipos. **Agronomy Journal**, Madison, EUA, v. 101, n. 1, p. 124-130, January-February, 2009.
- CARVALHO, L. C. FERREIRA, F. M.; BUENO, N. M. Importância econômica e generalidades para o controle da lagarta falsa-medideira na cultura da soja. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, GO, v. 8, n. 15, p. 1021-1034, 2012.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 3 Safra 2015/16, n. 12, Brasília: Conab, set. 2016. 182 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Tecnologia de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p.

ENDRES, V. C. Espaçamento, densidade e época de semeadura. In: EMBRAPA. **Soja: recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1996. p. 82-85. (Circular Técnica, 3)

KUSS, R. C. P.; 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, RS, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

MARTINS, M. C.; CÂMARA, G. M. S.; PEIXOTO, C. P.; MARCHIORI, L. F. S.; LEONARDO, V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 56, n. 4, p. 851-858, 1999.

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

NUNES, S. P. Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil. In: DESER – Boletim Eletrônico: **Conjuntura Agrícola**. Junho, 2007. (Boletim eletrônico, 159).

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

PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; THOMAS, A. L.; MAEHLER, A. R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, agosto, 2000.

RAMBO, L. **Crescimento e rendimento de soja por estrato do dossel em resposta à competição intraespecífica**. 2002. 106 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

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

ROBINSON, A. P.; CONLEY, S. P.; VOLONEC, J. J.; SANTINI, J. B. Analysis of high yielding, early-planted soybean in Indiana. **Agronomy Journal**, Madison, EUA, v. 101, n. 1, p. 131-1319, January-February, 2009.

SCHÖFFEL, E. R.; SACCOL, A. V.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2001.

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

TRAGNAGO, J. L.; STECKLING, C.; ROCKENBACH, D.; RUBIN, D. H. Efeito da combinação densidade de semeadura e tipo de crescimento sobre o rendimento de grãos e características agronômicas de cultivares de soja. 2010/11. In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 16., 2011, Cruz Alta. **Anais...** Cruz Alta: UNICRUZ, 2011. 1 CD-ROM.

Spatial arrangements of soybean plants and their productive characteristics

30

31 Abstract - The aim of this study was to evaluate the productive characteristics of the soybean
32 crop submitted to different spacings between rows and plant populations. The experiment was
33 conducted at the Experimental Farm of PUCPR - Toledo Campus, using the cultivar
34 NA5909RG. The experimental design was a randomized blocks in factorial 2 x 6 x 5, crop years
35 (2013/2014 and 2014/2015), row spacings (15, 30, 45, 60, 75 and 90 cm) and plant populations
36 (10, 20, 30, 40 and 50 plants m⁻²), with four replications. The following variables were
37 evaluated: number of surviving plants, number of pods per plant, number of seeds per pod,
38 thousand grain weight and grain yield. With the increase in plant population was greater
39 competition among individuals which caused the reduction of the same survival. There were
40 number of pods compensation and grains per pod in smaller populations, increasing grain yield.
41 The plant spacing influenced the thousand grain weight, but did not affect grain yield.
42 Therefore, the increase of the plant population reduces the number of plants at the end of the
43 cycle and the smaller populations of plants increase the yield of grains.

44

45 Index terms: *Glycine max*, row spacing, plant population.

46

47

Introdução

48

49 A soja pertence à família Fabaceae, subfamília Faboideae e espécie *Glycine max* (L.), e
50 possui origem na China (SEDIYAMA, 2015). A produção brasileira de soja segundo o
51 levantamento da CONAB (2015) é de 96,2 milhões de toneladas em uma área cultivada de
52 aproximadamente 32 milhões de hectares para a safra 2014/2015, sendo a cultura de grãos com
53 maior expansão no território brasileiro, 55% do total das áreas cultivadas nessa safra.

54 O estado brasileiro com a maior produção de grãos de soja é o Mato Grosso com 29%
55 do total produzido, seguido pelo estado do Paraná com 18%. O rendimento de grãos nacional
56 das lavouras de soja foi de 2.999,00 kg ha⁻¹, enquanto o rendimento de grãos de soja do estado
57 do Paraná foi de 3.294,00 kg ha⁻¹, ou seja, 10% superior à média nacional (CONAB, 2015).

58 Elevados rendimentos de grãos na cultura da soja são obtidos quando o genótipo
59 responde às condições ambientais favoráveis e ao manejo adequado da cultura. As principais
60 práticas de manejo que devem ser adotadas na cultura da soja são a semeadura na época indicada
61 para a região, a escolha da cultivar mais adaptada, o uso de espaçamentos e densidades de
62 plantas adequados à essa cultivar, o monitoramento e o controle das plantas daninhas, pragas e
63 doenças e a redução ao mínimo das possíveis perdas de grãos na colheita (MARTINS et al.,
64 1999).

65 A determinação do número de sementes por área ou da população de plantas utilizadas
66 para cada cultivar de soja é muito importante, visto que ao utilizar plantas acima do indicado
67 pode ocasionar riscos e perdas no rendimento de grãos por acamamento (GODOI et al., 2005).
68 No entanto, populações inferiores as indicadas resultam em plantas de baixo porte, menor
69 competição da soja com as plantas daninhas e maiores perdas na colheita (EMBRAPA, 2006).

70 A população de plantas utilizada para o cultivo irá determinar o arranjo das plantas
71 dentro do ambiente de produção e, conseqüentemente, influenciando o crescimento da cultura
72 da soja (MAUAD et al., 2010). Estudos realizados por Knebel et al. (2006), indicam que o
73 arranjo de plantas influencia a incidência de doenças de final de ciclo na cultura da soja. A
74 população de plantas deve possibilitar altura de plantas e inserção da primeira vagem adequada
75 para a colheita mecanizada, além de evitar o acamamento das plantas, garantindo alto
76 rendimento de grãos (MAUAD et al., 2010).

77 Menores espaçamentos em uma mesma população proporcionam melhor distribuição
78 espacial de plantas da soja na área, com maior aproveitamento da radiação solar, pois permitem

79 a redução da densidade de plantas nas linhas. Esse determina maior potencial de rendimento de
80 grãos (BULLOCK et al., 1998; VENTIMIGLIA et al., 1999).

81 Segundo indicações da Embrapa (2006) para a cultura da soja no estado do Paraná, a
82 população de plantas adequada é de 300 mil plantas por hectare, podendo variar em 25%.
83 Ribeiro et al. (2011), observaram os maiores rendimentos de grãos para a população de 300 mil
84 plantas por hectare em diferentes cultivares de soja.

85 A quantidade de 10 a 15 plantas de soja por metro linear no espaçamento de 0,45 m,
86 vêm sendo utilizada com sucesso, pois além de não reduzirem significativamente o rendimento
87 de grãos, proporcionam redução nos custos de produção pela redução nos gastos com sementes.
88 Segundo Souza et al. (2010), a redução da densidade de plantas não afetou o rendimento de
89 grãos, pois as plantas de soja aumentaram a produção individual de vagens.

90 Estudos realizados por Tourino et al. (2002), relatam que a redução do espaçamento
91 entre linhas, associado à redução da densidade de plantas, resulta em aumento no rendimento
92 de grãos. Além disso, o aumento da uniformidade de espaçamento entre plantas, dentro das
93 linhas, contribui para a redução do acamamento de plantas. Knebel et al. (2006) observaram
94 que o aumento do número de plantas na linha de semeadura apresentou influência direta no
95 acamamento, independente do espaçamento utilizado.

96 Uma redução no número de ramificações, no número de vagens por planta e nos grãos
97 por vagem de plantas de soja foi observado em densidades de plantas elevadas na linha de
98 semeadura, porém a altura e a inserção da primeira vagem nas plantas foram superiores na
99 densidade de plantas mais elevada (MAUAD et al., 2010).

100 Como pode ser observado, várias pesquisas vêm sendo realizadas nas últimas duas
101 décadas, para indicar os melhores arranjos espaciais para a cultura da soja (SAFO-
102 KANTANKA; LAWSON (1980), TOURINO et al. (2002), RAMBO et al. (2003), KNEBEL
103 et al. (2006), MAUAD et al. (2010), SOUZA et al. (2010) e RAHMAN; HOSSAIN (2011)).

104 Porém, com a mudança constante na arquitetura das cultivares lançadas no mercado, sempre
105 haverá contribuições significativas nessa linha de pesquisa, visando aumentar o rendimento de
106 grãos da cultura. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as características
107 produtivas da cultura da soja submetida a diferentes espaçamentos entre linhas e de populações
108 de plantas.

109

110

Material e Métodos

111

112 O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias
113 e Medicina Veterinária da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – *Campus Toledo*,
114 localizada no município de Toledo – PR (24°43'13" S, 53°46'45" W, à altitude média de 570
115 m). O clima é caracterizado pelo método Köppen, é subtropical do tipo Cfa. O solo do local do
116 experimento é classificado como um Latossolo Vermelho Distroférico, caracterizado por
117 possuir boa fertilidade natural e textura argilosa (CAVIGLIONE et al., 2000).

118 O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial
119 triplo, de 2 x 6 x 5, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelos dois anos
120 agrícolas de cultivo (2013/2014 e 2014/2015); o segundo pelos espaçamentos entre linhas (15,
121 30, 45, 60, 75 e 90 cm); e o terceiro pelas populações de plantas (10, 20, 30, 40 e 50 plantas m⁻²).
122

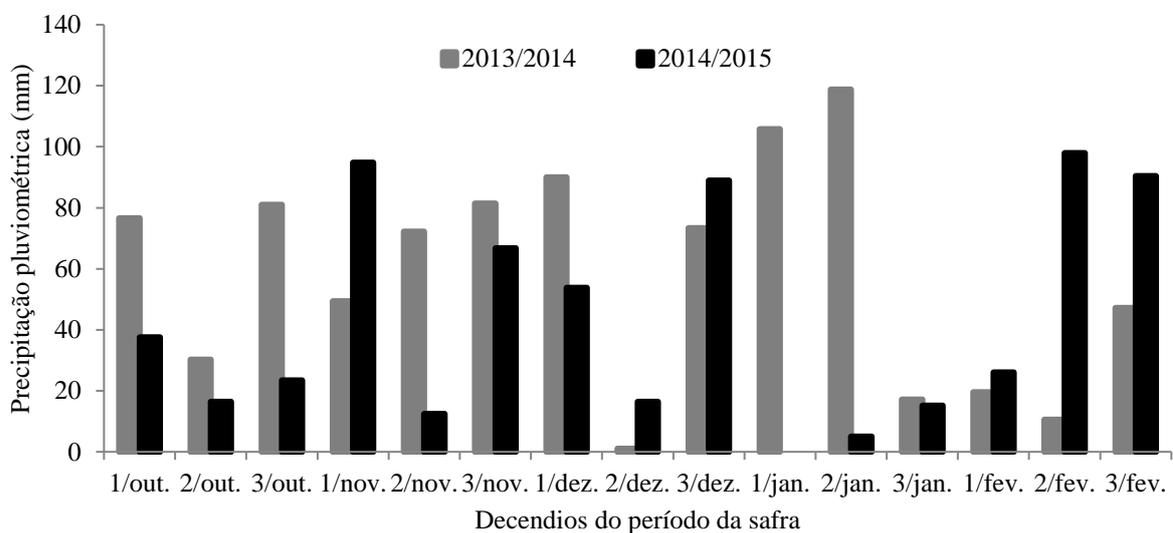
123 A implantação dos experimentos foi realizada com uma semeadora de fluxo contínuo,
124 em sistema plantio direto, sob restos culturais de aveia, nos dias 09/10/2013 e 16/10/2014 para
125 os respectivos anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015, com área semeada de cada parcela de 35
126 m² (10 x 3,5 metros). A cultivar de soja utilizada foi NA 5909 RG, de hábito de crescimento
127 indeterminado, com aproximadamente 120 dias de ciclo.

128 A inoculação utilizada foi a padrão para a cultura da soja com *Bradyrhizobium*
 129 *japonicum*. A adubação de base foi realizada com o fertilizante TOP-PHOS[®] 00-22-00, no
 130 espaçamento de 15 cm, na dosagem de 280 kg ha⁻¹, segundo indicações da análise de solo, e a
 131 adubação a lanço com cloreto de potássio, na dose de 100 kg ha⁻¹.

132 Após a emergência foi realizado o raleio das plantas de soja, pois a semeadura ocorreu
 133 com 30% a mais de sementes, com o intuito de manter a população de plantas adequada em
 134 cada tratamento. O controle de pragas e doenças foi realizado conforme a necessidade, por meio
 135 de pulverizações com produtos indicados e registrados para a cultura da soja (EMBRAPA,
 136 2006).

137 Os dados meteorológicos utilizados (Figura 1) durante a condução do experimento
 138 foram registrados na estação automática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná,
 139 localizada no *Campus* de Toledo.

140



141

142 **Figura 1.** Dados meteorológicos observados durante a condução do experimento na estação
 143 automática de Pontifícia Universidade Católica do Paraná, localizada no *Campus* de Toledo,
 144 Toledo, 2013, 2014 e 2015.

145

146 No final do ciclo da cultura (estádio fisiológico R8), foi avaliado o número de plantas
147 na área (2 linhas por 5 m linear), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por
148 vagem (NGV) em 10 plantas por parcela, massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos
149 (RG) da área central colhida de 10 m² (5 x 2 metros). A MMG e o RG foram corrigidos para
150 13% umidade em base úmida.

151 Depois de tabulados, os dados foram submetidos à análise de variância e quando
152 significativos, os dados qualitativos foram analisados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade
153 de erro, e os quantitativos foram analisados pelo método da regressão, usando o programa
154 estatístico CoStat (COHORT SOFTWARE, 2003).

155

156

157

Resultados e Discussão

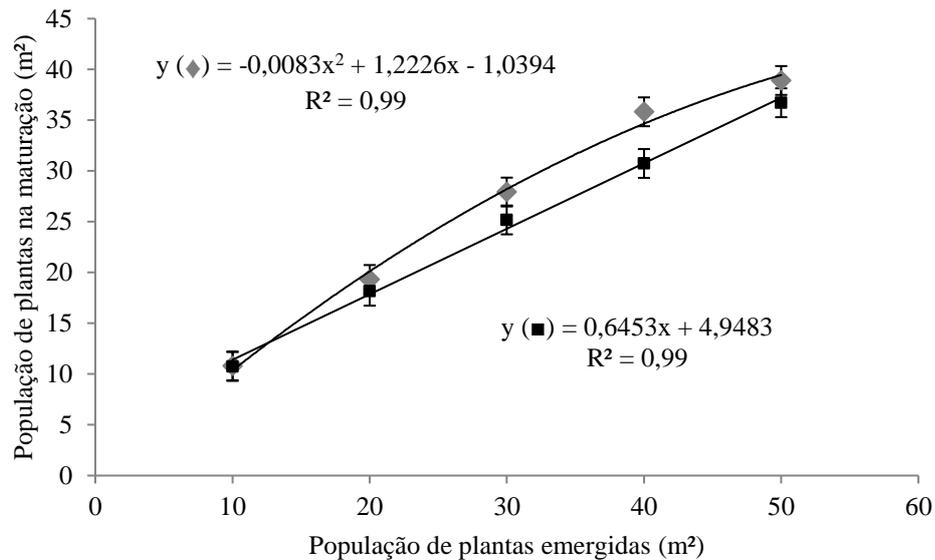
158

159 Para a avaliação do estande de plantas no momento da maturação fisiológica, houve
160 interação entre o fator ano e população inicial (população após o raleio das plantas) (Figura 2)
161 e entre o fator espaçamento entre linhas e população inicial (Figura 3).

162 A população de plantas que havia sido predeterminada na instalação e no raleio da
163 cultura não foi a mesma observada no final do ciclo. Quanto maior a população de plantas no
164 início do ciclo, maior foi à redução do estande no final do ciclo. Isso pode ter ocorrido em
165 função da grande competição entre plantas no mesmo espaço, pelos principais fatores que
166 afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, como disponibilidade hídrica e luz
167 (Figura 2).

168 Para as populações de 10, 20 e 30 plantas por metro quadrado, praticamente não houve
169 redução da população de plantas, porém nas populações de 40 e 50 plantas por metro quadrado
170 essa redução foi de 17 e 24%, respectivamente (Figura 2), o que evidenciou uma mortalidade

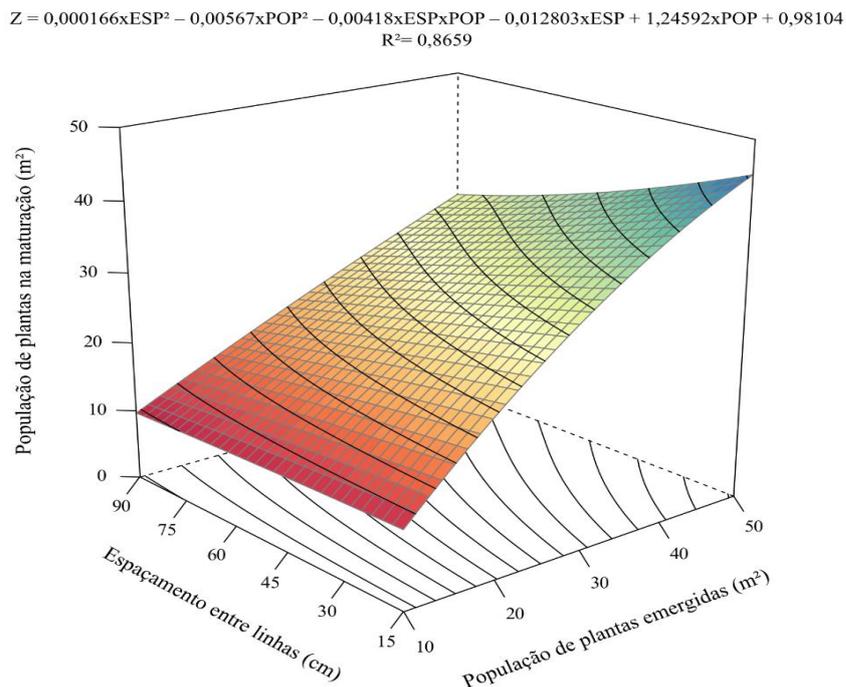
171 de plantas durante o ciclo. Essa redução da população é expressiva, tendo em vista que mais
 172 sementes foram gastas para a semeadura. Provavelmente no início do desenvolvimento, essas
 173 plantas consumiram nutrientes disponíveis no solo e não geraram grãos no final do ciclo. Mauad
 174 et al. (2010), não observaram redução do estande de plantas até a população de 40 plantas por
 175 metro quadrado.



176

177 **Figura 2.** População de plantas de soja por metro quadrado (cultivar NA 5909 RG) no final do
 178 ciclo da cultura sobre diferentes populações de soja no início do desenvolvimento, para os anos
 179 agrícolas de 2013/2014 (♦) e 2014/2015 (■), Toledo, 2013, 2014, 2015.

180



181

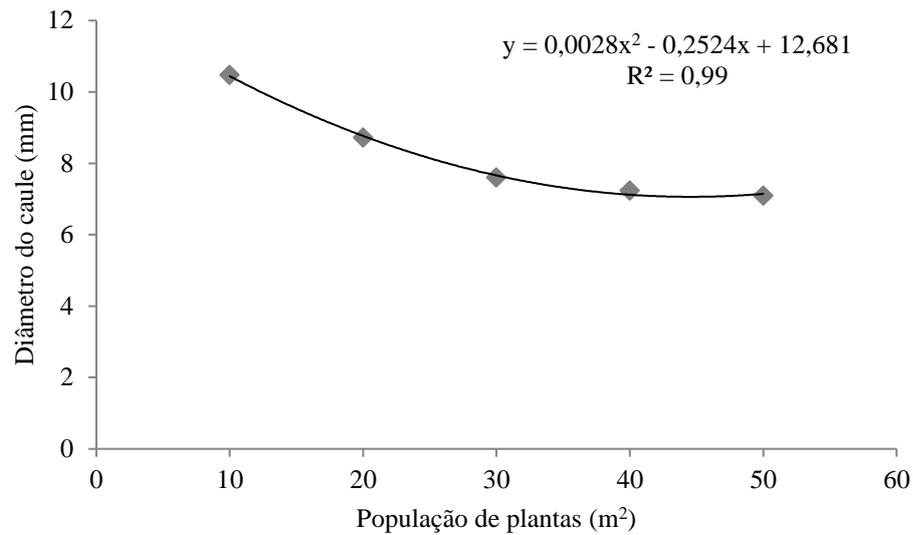
182 **Figura 3.** População de plantas de soja na maturação (m^2) (cultivar NA 5909 RG) em resposta
 183 a diferentes espaçamentos entre linhas e populações de plantas emergidas (m^2), Toledo, 2013,
 184 2014, 2015.

185

186 Para a safra 2013/2014, a redução de plantas foi menor do que a safra 2014/2015 para
 187 as populações de 30 e 40 plantas por metro quadrado (Figura 2). Isso pode ter acontecido em
 188 função, principalmente, da diferença pluviométrica entre as duas safras. Para a safra 2014/2015
 189 houve redução na quantidade de chuvas, no segundo decêndio de novembro (Figura 1),
 190 momento esse de estabelecimento da cultura no campo.

191

192 O espaçamento entre linhas de plantas de soja interferiu significativamente na
 193 população final das plantas, podendo se observar que quanto maior foi o espaçamento entre
 194 linhas (90 cm), maior foi à redução no número de plantas dentro da maior população de plantas
 195 ($50 \text{ plantas } m^{-2}$) (Figura 3). Nessa condição de espaçamento e população, há uma maior
 196 concentração de plantas dentro da mesma linha, aumentando a competição por água, nutriente
 e principalmente luminosidade.



197

198 **Figura 3.** Diâmetro do caule (mm) de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
 199 diferentes populações, Toledo, 2013, 2014.

200

201 Por outro lado, no menor espaçamento entre linhas testado (15 cm), com a maior
 202 população de plantas (50 plantas m⁻²), a distância entre as plantas na mesma linha de semeadura
 203 era de 13 cm, o que significa praticamente uma equidistância em relação ao espaçamento entre
 204 linhas que é de 15 cm, dessa forma não se observou uma redução elevada na população de
 205 plantas.

206 Os resultados apresentados por Tourino et al. (2002) corroboram com o presente
 207 trabalho realizado, onde os mesmos concluíram que, quanto maior a densidade de plantas,
 208 menor é a taxa de sobrevivência das mesmas. Rossi (2012) observou tendência na redução da
 209 população final em função do aumento da densidade de plantas.

210 Houve interação entre os fatores espaçamento entre linhas e população de plantas,
 211 quando se avaliou o número de vagens por planta (Figura 4). Quanto menor a população de
 212 plantas e menor o espaçamento entre linhas, maior foi o número de vagens por planta. Isso pode
 213 ocorrer em função da melhor distribuição espacial das plantas. A partir da população de 30

214 plantas por metro quadrado, o número de vagens por planta tendeu a estabilizar. Essa mesma
215 característica foi observada em trabalho realizado por Tragnago et al. (2011).

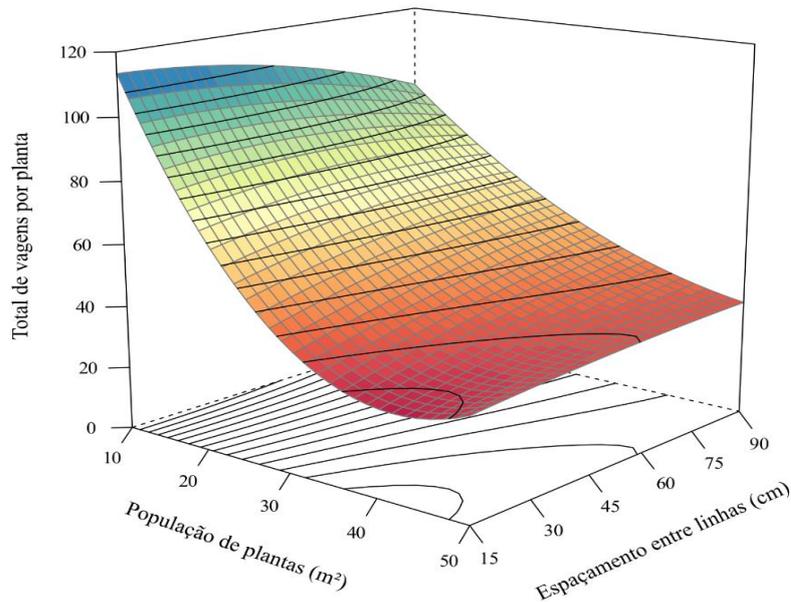
216 Em função dos tratamentos avaliados, confirma-se a alta plasticidade apresentada pela
217 cultura da soja, modificando sua morfologia para se adaptar a diferentes arranjos espaciais.
218 Essas mudanças consistem em aumentar o número de ramificações, que conseqüentemente
219 aumentam o número de gemas reprodutivas e por fim, o número de vagens por planta,
220 compensando dessa forma a menor população de plantas. Vale destacar que o número de vagens
221 por planta, é componente da produção que tem a maior correlação com a produtividade para a
222 cultura da soja (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013).

223 Resultados semelhantes foram encontrados por Mauad et al. (2010), Busanello et al.
224 (2013), Souza et al. (2010) e Silva et al. (2015), onde os mesmos constataram que o número de
225 vagens por planta apresenta uma resposta linear com a densidade de plantas, sendo que quanto
226 menor a densidade de plantas maior a quantidade de vagens. Ferreira Junior et al. (2010) e Rossi
227 (2012), também observaram um acréscimo no número de vagens por planta em função da
228 redução da população de plantas.

229

$$Z = -0,001954 \times \text{ESP}^2 + 0,054061 \times \text{POP}^2 + 0,0082 \times \text{ESP} \times \text{POP} + 0,012939 \times \text{ESP} - 5,437211 \times \text{POP} + 155,7905$$

$$R^2 = 0,8107$$



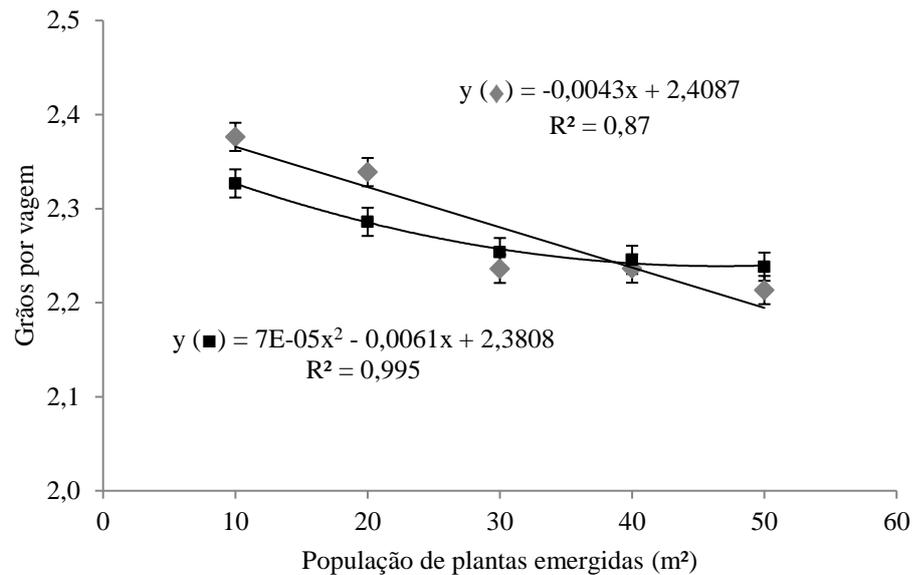
230
 231 **Figura 4.** Número total de vagens por planta de soja (cultivar NA 5909 RG) em resposta a
 232 diferentes espaçamentos entre linhas e populações de plantas, Toledo, 2013, 2014, 2015.

233

234 A redução da população de plantas possibilitou um aumento no número de grãos por
 235 vagem. Esse aumento foi maior na safra 2013/2014 em relação à safra 2014/2015 (Figura 5).
 236 Isso pode ter ocorrido em função do regime hídrico nos dois anos agrícolas, sendo que no
 237 segundo ano de avaliação, no período de enchimento de grãos, o qual ocorreu no mês de janeiro
 238 de 2015, houve uma redução da precipitação pluvial, em relação à safra anterior (Figura 1).

239 Rossi (2012) e Mauad et al. (2010) também observaram acréscimo no número de grãos
 240 por vagens em função da redução da população de plantas. A disponibilidade de espaço com
 241 menores populações de plantas permite que a planta explore melhor o solo e a luz solar
 242 permitindo que a mesma aumente o número de grãos por vagem. Porém, Rambo et al. (2003) e
 243 Souza et al. (2010), não observaram influência da população de plantas no número de grão por
 244 vagem, atribuindo essa resposta a um caráter genotípico da cultivar.

245



246

247 **Figura 5.** Número de grãos por vagem de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
 248 diferentes populações de plantas, para os anos agrícolas de 2013/2014 (◆) e 2014/2015 (■),
 249 Toledo, 2013, 2014, 2015.

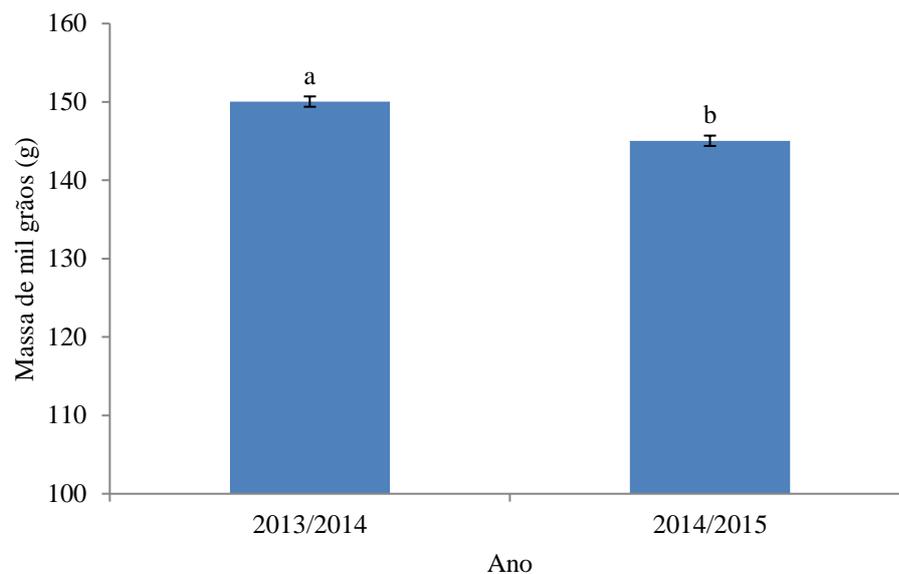
250

251 Conforme já mencionado, durante o mês de janeiro de 2015, a precipitação
 252 pluviométrica acumulada foi de apenas 20 mm, momento esse em que a cultura estava no
 253 estágio de enchimento de grãos, conseqüentemente esse volume hídrico acumulado não atendeu
 254 a demanda da cultura nesse estágio fenológico, afetando diretamente a produção de
 255 fotoassimilados. Em função disso, a massa de mil grãos foi inferior na safra 2014/2015 quando
 256 comparada à safra 2013/2014 (Figura 6).

257

258 Segundo Farias et al. (2009) a evapotranspiração da cultura da soja aumenta
 259 gradativamente conforme seu desenvolvimento, chegando ao máximo de necessidade hídrica
 260 no estágio de enchimento dos grãos, e, posteriormente, reduzindo até que a planta esteja em
 261 maturação fisiológica. Esta informação reforça os resultados encontrados para massa de mil
 262 grãos no presente trabalho.

262



263

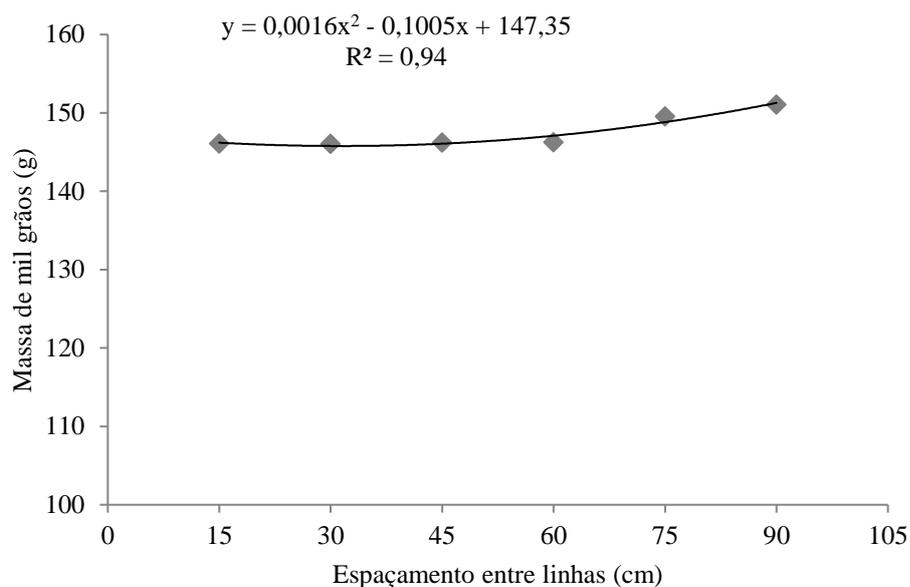
264 **Figura 6.** Massa de mil grãos de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em diferentes
265 anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, Toledo, 2013, 2014, 2015.

266

267 Para Souza et al. (2010) a redução da massa de mil grãos de um ano agrícola para outro
268 foi de até 50%, dentro do mesmo material genético. Resultados atribuídos pelos autores ao
269 déficit hídrico sofrido pelas plantas entre o estágio R₄ a R₇, período esse que compreende ao
270 enchimento dos grãos da cultura da soja.

271 Conforme foi aumentando o espaçamento entre linhas da cultura da soja (Figura 7),
272 houve aumento da massa de mil grãos, independente do ano agrícola e da população de plantas.
273 De maneira geral, o total de vagens por planta (Figura 4) diminuiu com o aumento do
274 espaçamento entre linhas. Com isso, plantas com menor número de vagens podem translocar
275 maior quantidade de fotoassimilados para um menor número de grãos, que conseqüentemente
276 terão maior massa final.

277



278

279 **Figura 7.** Massa de mil grãos de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
 280 diferentes espaçamentos entre linhas, Toledo, 2013, 2014, 2015.

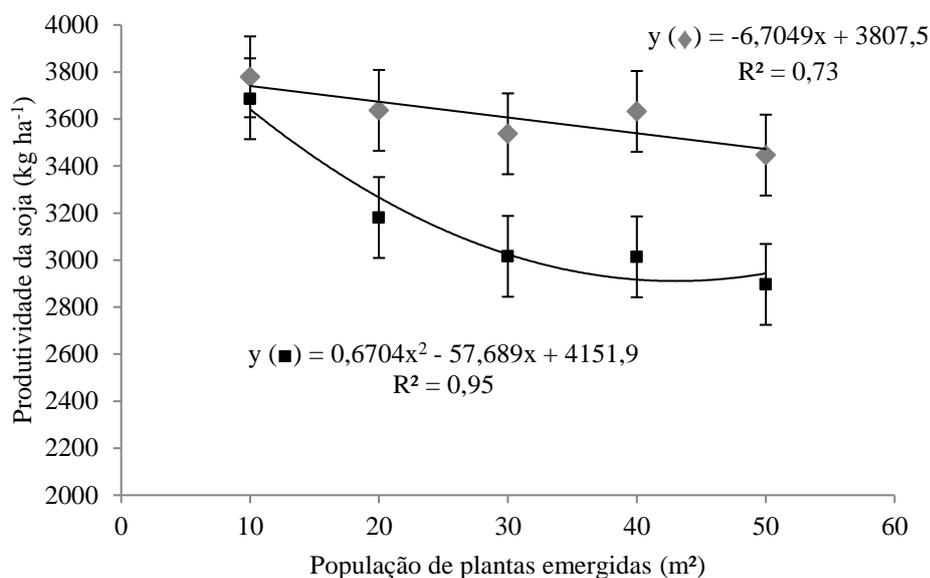
281

282 Essa tendência de aumento da massa de mil grãos também foi observada por Costa
 283 (2013) e Komatsu et al. (2010). Porém, resultados diferentes do presente trabalho foram
 284 encontrados por Knebel et al. (2006), os quais observaram que não houve diferença da massa
 285 de mil grãos entre os espaçamentos testados, apenas para a população final. Porém, houve
 286 redução no rendimento de grãos nos tratamentos com maior espaçamento entre linhas.

287 Em trabalhos realizados por Souza et al. (2010) e Mauad et al. (2010), a massa de mil
 288 grãos não apresentou relação com as populações de plantas testadas, o mesmo observado no
 289 presente trabalho.

290 O rendimento de grãos da cultura da soja diminuiu em função do aumento da população
 291 de plantas, com maior impacto no segundo ano de avaliação (Figura 8). O fator espaçamento
 292 entre linhas não influenciou o rendimento de grãos da cultura. No ano agrícola de 2013/2014,
 293 a redução do rendimento de grãos foi de aproximadamente 70 kg ha⁻¹ para cada aumento de 10
 294 plantas por metro quadrado, segundo a equação gerada.

295



296

297 **Figura 8.** Produtividade de grãos de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
 298 diferentes populações e anos agrícolas (2013/2014 (◆) e 2014/2015 (■)), Toledo, 2013, 2014,
 299 2015.

300

301 Para o segundo ano de avaliação, o rendimento de grãos teve influência direta do regime
 302 de chuva, o qual causou impacto na população de plantas no final do ciclo (Figura 2) e na massa
 303 de mil grãos (Figura 6), reduzindo o rendimento de grãos da cultura. Busanello et al. (2013)
 304 observaram que a falta de precipitação pluviométrica no período de desenvolvimento e
 305 enchimento dos grãos pode impactar no rendimento de grãos da cultura.

306

306 Souza et al. (2010), Oliveira Junior et al. (2013), Ferreira Junior et al. (2010) e Silva et
 307 al. (2015), não observaram efeito significativo do fator população de plantas sobre o rendimento
 308 de grãos, possivelmente devido a capacidade compensatória que a planta da soja possui de se
 309 adaptar a diferentes arranjos espaciais.

310

310 O aumento do rendimento de grãos da cultura da soja em função da redução da
 311 população de plantas é resultado da somatória de diferentes componentes de produção

312 (população de plantas, número de vagens, grãos por vagem e massa de mil grãos). De maneira
313 geral, todos os componentes apresentados no presente trabalho sofreram aumento, em função
314 da redução da população, exceto a massa de mil grãos. Com as diferentes respostas dos
315 trabalhos consultados, é importante ressaltar que mesmo que não haja aumento de rendimento
316 de grãos com a redução da população observados em alguns trabalhos, ocorre uma possível
317 diminuição nos custos de produção, como o gasto com sementes.

318 O que também garante um bom rendimento foi confirmado em estudo realizado por
319 Knebel et al. (2006), os quais indicaram que a melhor distribuição das plantas dentro da área de
320 estudo, permitiu uma melhor deposição dos produtos químicos sobre as folhas da cultura, o que
321 reduziu a incidência de doenças de final de ciclo na cultura da soja, estas no arranjo de plantas
322 com espaçamento reduzido e na população mais baixa.

323 O maior aproveitamento da radiação solar em menores espaçamentos em uma mesma
324 população ocorre devido a melhor distribuição espacial de plantas da soja na área. De acordo
325 com Ventimiglia et al. (1999), essa melhor distribuição determina maior potencial de
326 rendimento de grãos, o que justifica o aumento da produtividade obtida por Bullock et al.
327 (1998).

328 Resultados contrários aos do presente trabalho, foram obtidos em estudo realizado por
329 Rahman & Hossain (2011), os quais observaram que o maior rendimento de soja foi atingido
330 entre 80 a 100 plantas m^{-2} dependendo da variedade e da época de semeadura. No entanto, os
331 autores concluíram que o maior rendimento de soja poderia ser alcançado garantindo uma
332 população de plantas que possa alcançar o fechamento do dossel no estágio inicial do
333 crescimento reprodutivo, dependendo da estação, cultivares e manejo agrônômico.

334 Resultados semelhantes foram encontrados em trabalho realizado por Rambo et al.
335 (2003), os autores constataram que o arranjo de plantas com menor espaçamento e população
336 de plantas de soja proporciona menor competição intraespecífica, resultando em maior

337 rendimento de grãos, ocasionado pelo maior número de legumes férteis/m² associado ao maior
338 peso do grão.

339 O declínio observado no rendimento, com o aumento no espaçamento entre linhas,
340 também foi observado por Safo-Kantanka; Lawson (1980), os autores relatam uma ligeira
341 vantagem no rendimento, à medida que o arranjo das plantas se aproximava da forma retangular
342 1:1. Isto pode ser, devido a uma distribuição muito mais uniforme da luz entre e dentro do
343 dossel das plantas à medida que o arranjo das plantas se tornava mais uniforme.

344 Os resultados de Safo-Kantanka; Lawson (1980) demonstraram que as alterações nos
345 espaçamentos entre linhas são mais críticas para o rendimento da soja do que as mudanças nos
346 arranjos das plantas.

347

348

Conclusões

349

350 A partir dos resultados obtidos no presente estudo, com a cultura da soja, cultivar NA
351 5909 RG, em dois anos agrícolas, para as condições estudadas, pode-se concluir:

352 1. Com o aumento da densidade de plantas ocorre uma redução na sobrevivência das
353 plantas em função da maior competição entre as mesmas.

354 2. Com a redução da população de plantas ocorre o aumento do número de vagens por
355 planta, número de grãos por vagem e conseqüentemente de produtividade.

356 3. Há um aumento na rentabilidade do produtor com a população de 10 plantas por metro
357 quadrado, na relação entre o desperdício de sementes utilizado e as perdas de
358 produtividade em maiores populações.

359

360

Referências

361

- 362 BULLOCK, D.; KHAN, S.; RAYBURN, A. Soybean yield response to narrow rows is largely
363 due to enhanced early growth. **Crop Science**, Madison, v.38, n.4, p.1011-1016, 1998.
- 364 BUSANELLO, C.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; MENEGOL, D.R. Caracteres
365 agronômicos da cultura da soja submetida a diferentes densidades populacionais na região
366 Norte do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, p.509-517, 2013.
- 367 CAVIGLIONE, J.H.; CARAMORI, P.H.; KIIHL, L.B.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do**
368 **Paraná**. Londrina: Iapar. 2000.
- 369 COHORT SOFTWARE. **CoStat**. www.cohort.com. Monterey, California. 2003.
- 370 COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento de safra
371 brasileira: grãos, terceiro levantamento, Dezembro de 2015. Brasília: Conab, 2015.
- 372 COSTA, É.D. **Arranjo de plantas, características agronômicas e produtividade de soja**.
373 2013. 60p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- 374 EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Tecnologias de produção**
375 **de soja – Paraná – 2007**. - Londrina: Embrapa Soja, 2006. 217p. (Sistemas de Produção, 10)
- 376 FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. p.261-277. In: MONTEIRO,
377 J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**.
378 **Brasília**, DF: INMET, 2009. 530p.
- 379 FERREIRA JÚNIOR, J.A.; ESPINDOLA, S.M.C.G.; GONÇALVES, D.A.R.; LOPES, E.W.
380 Avaliação de genótipos de soja em diferentes épocas de plantio e densidade de semeadura no
381 Município de Uberaba - MG. **FAZU em Revista**, Uberaba, n.7, p.13-21, 2010.
- 382 GODOI, C.R.C. de; NETO, A.N. da S.; PINHEIRO, J.B. Avaliação do desempenho de
383 linhagens de soja, resistentes ao complexo de percevejos, cultivadas em diferentes densidades
384 de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, jan./abri. v.21, n.1, p.85-93, 2005.

- 385 KNEBEL, J.L.; GUIMARÃES, V.F.; ANDREOTTI, M.; STANGARLIN, J.R. Influência do
386 espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres
387 agronômicos em soja. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.28, n.3, p.385-392, 2006.
- 388 KOMATSU, R.A.; GUADAGNIN, D.D.; BORGIO, M.A. Efeito do espaçamento de plantas
389 sobre o comportamento de cultivares de soja de crescimento determinado. **Campo Digit@l**.
390 Campo Mourão, v.5, p.50-55, 2010.
- 391 MARTINS, M.C.; CÂMARA, G.M.S.; PEIXOTO, C.P.; MARCHIORI, L.F.S.; LEONARDO,
392 V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de
393 cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.56, n.4, p.851-858, 1999.
- 394 MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; NETO, A.I. de A.; ABREU, V.G. Influência da densidade de
395 semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Agrarian**, Dourados, v.3,
396 p.175-181, 2010.
- 397 OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F.A. de; PEREIRA, J.V.;
398 CHICARELI, R.; CECCATTO, S. El K. Produtividade de soja em resposta ao arranjo espacial
399 de plantas e à adubação nitrogenada associada a fertilização foliar. In: Reunião de Pesquisa de
400 Soja da Região Central do Brasil, 33., 2013, Londrina. **Anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
401 p.28-33.
- 402 RAHMAN, M.M.; HOSSAIN, M.M. Plant density effects on growth, yield and yield
403 components of two soybean varieties under equidistant planting arrangement. **Asian J. Plant**
404 **Sci.** v.10, n.5, p.278-286, 2011.
- 405 RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G.
406 Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v.33, n.3, p.405-
407 411, 2003.

- 408 RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.P.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G.
409 Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria,
410 v.33, n.3, p.405-411, 2003.
- 411 RIBEIRO, L.B.; SANCHES, D.C.; NETO, J; SAMPAIO, L.S. Produtividade de cultivares de
412 soja convencional e roundup ready em diferentes densidades. In: 9º Seminário Anual de
413 Iniciação Científica da UFRA, 2011, Belém. **Anais**. IX Seminário Anual de Iniciação
414 Científica. I Simpósio de Cadeias Produtivas e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia; III
415 Seminário de Pesquisa. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, 2011.
- 416 ROSSI, R. F. **Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônomo de soja**.
417 2012. 60p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- 418 SAFO-KANTANKA, O.; LAWSON, N.C. The effect of different row spacings and plant
419 arrangements on soybeans. **Can. J. Plant Science**, v.60, p.227-231. 1980.
- 420 SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do Plantio à Colheita**. Viçosa: Editora UFV,
421 2015, 333p.
- 422 SILVA, A.; SANTOS, F.L.S; SILVA, A.A.; KLUTHCOUSKI, J.; BARRETTO, V.C.M.;
423 SILVA NETO, S.P.; PEREIRA, A.F. Desempenho agrônomo de cultivares de soja sob
424 diferentes densidades de plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7.;
425 MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. Tecnologia e mercado global: perspectivas para soja:
426 **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2015.
- 427 SOUZA, C.A.; GAVA, F.; CASA, R.T.; BOLZAN, J.M.; KUHNEM JUNIOR, P.R. Relação
428 entre densidade de plantas e genótipos de soja Roundup Ready™. **Planta daninha**, Viçosa,
429 v.28, n.4, p.887-896, 2010.
- 430 TOURINO, M.C.C.; REZENDE, P.M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e
431 uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônomo da soja. **Pesquisa**
432 **Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, ago. 2002.

- 433 TRAGNAGO, J.L.; STECKLING, C.; ROCKENBACH, D.; RUBIN, D.H. Efeito da
434 combinação densidade de semeadura e tipo de crescimento sobre o rendimento de grãos e
435 características agronômicas de cultivares de soja. 2010/11. **In:** XVI mostra de iniciação
436 científica, XVI Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão e IX Mostra de
437 Extensão – Universidade no Desenvolvimento Regional, Universidade de Cruz Alta – Cruz
438 Alta – RS, Gráfica: UNICRUZ, 2011.
- 439 VENTIMIGLIA, L.A.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F. Potencial de rendimento
440 da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa**
441 **Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.195-199, 1999.
- 442

29

30 Abstract – This study aimed to evaluate the growth characteristics of the soybean crop
31 submitted to different spacings between rows and plant populations. The experiment was
32 conducted at the Experimental Farm of PUCPR, using cultivar NA5909RG. The experimental
33 design was a randomized blocks design, in a 5 x 6 factorial scheme, for the plant populations
34 (10, 20, 30, 40 and 50 plants m²) and between row spacings (15, 30, 45, 60 , 75 and 90 cm),
35 with four replications. At the grain filling stage (R5), the following variables were evaluated:
36 percentage of soil cover; Plant height; Stem diameter; Number of nodes; Leaf area index (LAI)
37 and at the end of the crop cycle there is productivity. Plant population and spacing showed
38 interaction for the soil cover variable and plant height, but for the other variables no interaction
39 occurred, only the isolated effect of each factor. In the lower plant populations the decrease in
40 height, total dry mass and LAI, and increase in diameter, number of nodes and productivity, for
41 the smaller spacings occurred a decrease of total dry mass and leaf area index , but an increase
42 of productivity.

43

44 Index terms: *Glycine max*, row spacing, plant population.

45

46

Introdução

47

48 A soja pertence à família Fabaceae, subfamília Faboideae e espécie *Glycine max* (L.), e
49 possui origem no extremo Oriente, na China (SEDIYAMA, 2015). A cultura da soja na safra
50 2015/2016 foi a quarta cultura mais cultivada no mundo, ficando atrás apenas do trigo, milho e
51 arroz. A produção mundial se concentra em poucos países, sendo os Estados Unidos da América
52 responsável por 34%, o Brasil com 31% e a Argentina com 18% da produção, ou seja, três
53 países respondem por 83% de toda a soja produzida no mundo (USDA, 2016). Na mesma safra,

54 a soja ocupou 60% da área total de culturas destinadas à produção de grãos no Brasil, seguida
55 pelo milho, pelo feijão e pelo arroz.

56 A produção brasileira de soja segundo o levantamento da CONAB (2016) é de 96,5
57 milhões de toneladas em uma área cultivada de aproximadamente 33 milhões de hectares para
58 a safra 2015/2016, sendo a cultura de grãos com maior expansão no território brasileiro, 60%
59 do total das áreas cultivadas nessa safra.

60 O estado brasileiro com a maior produção de grãos de soja é o Mato Grosso com 27%
61 do total produzido, seguido pelo estado do Paraná com 18%. O rendimento de grãos nacional
62 das lavouras de soja foi de 2.870,00 kg ha⁻¹, enquanto o rendimento de grãos de soja do estado
63 do Paraná foi de 3.090,00 kg ha⁻¹, ou seja, 8% superior à média nacional (CONAB, 2016).

64 Vários fatores têm contribuído para o bom desempenho da soja brasileira: o
65 desenvolvimento de tecnologias próprias à região tropical, incluindo variedade adaptadas;
66 novas técnicas de cultivo; o uso do manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas; a
67 adequação de técnicas de aplicação e utilização de produtos seletivos; a agricultura de precisão,
68 conectada a técnicas de colheita, logística de armazenamento e transporte (MOTTA, 2002).
69 Portanto pode-se afirmar que o crescimento da produção e o aumento da capacidade produtiva
70 da soja estão diretamente ligados com o avanço científico e à disponibilidade de tecnologias ao
71 setor produtivo (EMBRAPA, 2011).

72 A maior expressão do potencial produtivo das cultivares depende das condições do meio
73 onde as plantas irão desenvolver-se. A densidade de semeadura é fator determinante para o
74 arranjo das plantas no ambiente de produção e influencia o crescimento da soja (MARTINS et
75 al., 1999). Assim, a densidade de semeadura interfere na competição inter e intraespecífica por
76 recursos do solo, especialmente água e nutrientes, além de provocar mudanças
77 morfofisiológicas nas plantas (ARGENTA et al., 2001).

78 A população de plantas é o fator que menos afeta a produtividade, desde que as plantas
79 estejam distribuídas uniformemente na área (ENDRES, 1996). Por causa disto, a população de
80 300 mil plantas por hectare tem sido recomendada (EMBRAPA, 2006), embora outros fatores,
81 como: região, época de semeadura, e cultivar utilizada, também influenciam na escolha da
82 melhor população.

83 Dentre as práticas de manejo, a época de semeadura, a escolha da cultivar, os
84 espaçamentos e a densidades de semeadura são fatores que influenciam o rendimento da soja e
85 seus componentes da produção (MAUAD, 2010).

86 Segundo Heiffig (2002), a faixa populacional de 300.000 a 400.000 plantas de soja por
87 hectare, tem sido oficialmente recomendada para o Brasil desde os anos 80, em algumas regiões
88 vem diminuindo para valores entre 200.000 e 300.000 por hectare, ora mantendo, ora perdendo
89 produtividade conforme a combinação dos fatores, cultivar, época de semeadura e população
90 de plantas (espaçamento x densidade de plantas), adotada pelo produtor.

91 O estudo de redimensionamento de cultivares, com relação ao espaçamento entre linhas
92 e densidade de plantas, se torna indispensável para averiguar uma adequação diferente de
93 plantas no campo. Mudanças nos arranjos das plantas podem influenciar no aumento de
94 produtividade, sendo que, com produtividades superiores de anos anteriores, tem maior
95 lucratividade por parte do produtor rural (RAMBO, 2002; HEIFFIG et al., 2006).

96 O espaçamento entre as fileiras de soja afeta as relações de competição intraespecífica
97 e a quantidade de recursos do ambiente disponíveis para cada indivíduo, podendo influenciar a
98 produtividade de grãos. Além disso, de acordo com Heiffig et al. (2006), esta característica
99 pode afetar a velocidade de fechamento das entrelinhas, a produção de fitomassa (CARVALHO
100 et al., 2002), a ramificação das plantas (PIRES et al., 1998), a severidade de doenças e o
101 acamamento (GAUDENCIO et al., 1990).

102 O cultivo de plantas é basicamente um sistema de exploração da energia solar por meio
103 da fotossíntese, visto que este processo é responsável pelo acúmulo de aproximadamente 90%
104 de toda a massa das plantas. Qualquer fator que interfira na eficiência deste processo interferirá
105 no desenvolvimento da planta (LOPES et al., 2009). A análise de crescimento expressa as
106 condições morfofisiológicas da planta e avalia sua produção líquida, derivada do processo
107 fotossintético, resultado do desempenho do sistema assimilatório durante certo período de
108 tempo (BENINCASA, 2003).

109 Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as características
110 morfométricas e a produtividade da cultura da soja em resposta a diferentes espaçamentos entre
111 linhas e de populações de plantas.

112

113 **Material e Métodos**

114

115 O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias
116 e Medicina Veterinária da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – *Campus Toledo*,
117 localizada no município de Toledo – PR (24°43'13" S, 53°46'45" W, à altitude média de 570
118 m). O clima é caracterizado pelo método Köppen, é subtropical do tipo Cfa. O solo do local do
119 experimento é classificado como um Latossolo Vermelho Distroférico, caracterizado por
120 possuir boa fertilidade natural e textura argilosa (CAVIGLIONE et al., 2000).

121 O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial, de
122 5 x 6, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelas populações de plantas (10,
123 20, 30, 40 e 50 plantas m²) e o segundo pelos os espaçamentos nas entre linhas (15, 30, 45, 60,
124 75 e 90 cm).

125 A implantação do experimento foi realizada com uma semeadora de fluxo contínuo, em
126 sistema plantio direto, sob restos culturais de aveia, no dia 09/10/2013 para o ano agrícola 2013-

127 2014, com área semeada de cada parcela de 35 m² (10 x 3,5 metros). A cultivar de soja utilizada
128 foi NA 5909 RG, de hábito de crescimento indeterminado, com aproximadamente 120 dias de
129 ciclo.

130 A inoculação utilizada foi a padrão para a cultura da soja com *Bradyrhizobium*
131 *japonicum*. A adubação de base foi realizada com o fertilizante TOP-PHOS® 00-22-00, no
132 espaçamento de 15 cm, na dosagem de 280 kg ha⁻¹, segundo indicações da análise de solo, e a
133 adubação a lanço com cloreto de potássio, na dose de 100 kg ha⁻¹.

134 Após a emergência foi feito o raleio das plantas de soja, pois a semeadura ocorreu com
135 30% a mais de sementes, com o intuito de manter a população de plantas adequada em cada
136 tratamento. O controle de pragas e doenças foi realizado conforme a necessidade através de
137 pulverizações com produtos indicados e registrados para a cultura da soja (EMBRAPA, 2006).

138 No estágio fenológico de enchimento de grãos (R5) aproximadamente 70 dias após a
139 emergência das plantas foram mensuradas as seguintes variáveis de três plantas da parcela:
140 percentagem de cobertura do solo, estimado com os dados da expansão da copa das plantas e a
141 população de plantas; altura de plantas (cm), mensurada delimitando da parte basal em contato
142 com o solo até o final do caule (parte meristemática); diâmetro basal do caule, mensurado entre
143 a base e o primeiro nó (± 5 cm); número de nós no ramo principal, realizado por contagem; e
144 massa seca total da parte aérea.

145 As plantas foram coletadas sem raízes, em seguida foram secadas em estufa de
146 circulação de ar forçada a 60°C até atingirem massa constante e após, foi mensurada a massa
147 seca. Para mensurar a área foliar (cm²) as folhas foram escaneadas sobre papel milimetrado e
148 as imagens obtidas foram lançadas no programa (software) QUANT (VALE et al., 2001) para
149 a determinação da área foliar. A medida da área foliar por planta foi o somatório da área de
150 todas as folhas da planta. Com os dados de massa seca e área foliar foi calculado o índice de

151 área foliar, representado pela área foliar total por unidade de área do solo utilizada, conforme
152 Benincasa (2003).

153 No final do ciclo da cultura (estádio fisiológico R8), foi avaliada a produtividade da
154 área útil colhida de 10 m² (5 x 2 metros). A produtividade foi corrigida para 13% umidade em
155 base úmida.

156 Depois de tabulados, os dados foram submetidos à análise de variância e quando
157 significativos, os dados qualitativos foram analisados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade
158 de erro, e os quantitativos foram analisados pelo método da regressão, usando o programa
159 estatístico CoStat (COHORT SOFTWARE, 2003).

160

161 **Resultados e Discussão**

162

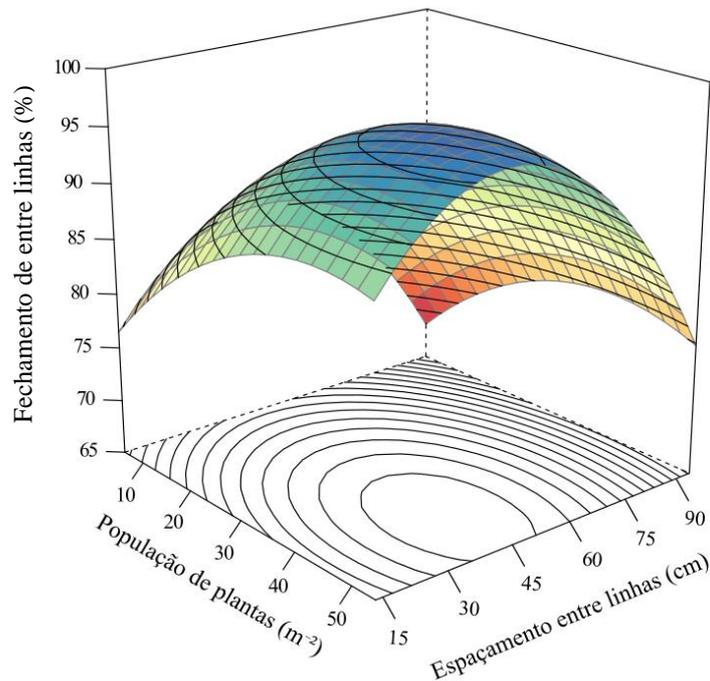
163 Para a variável percentagem de fechamento de entre linhas, avaliada aos 70 dias após a
164 emergência, houve efeito significativo para a interação entre população de plantas e
165 espaçamento entre linhas (Figura 1). As maiores percentagens de fechamento das entre linhas
166 ocorreram nas plantas cultivadas no espaçamento de 45 cm entre linhas associado a elevadas
167 populações.

168 Essa variável pode influenciar na redução do desenvolvimento das plantas daninhas
169 dentro da área, uma vez que a cultura da soja esteja estabelecida, cobrindo a maior parte do
170 solo, dificultando assim o desenvolvimento das plantas daninhas na área. Porém nas menores
171 populações de plantas e nos maiores espaçamentos entre linhas ocorreu redução na percentagem
172 de fechamento das entre linhas, o que favoreceu dessa forma a penetração de luz até o solo,
173 permitindo o maior desenvolvimento de plantas indesejáveis na área.

174

$$Z = -0,006209xESP^2 - 0,009072xPOP^2 - 0,003146xESPxPOP + 0,631889xESP + 0,947627xPOP + 64,2713$$

$$R^2 = 0,3067$$



175

176 **Figura 1.** Percentagem de fechamento entre linhas (%) de soja (cultivar NA 5909 RG) em
 177 resposta a diferentes populações de plantas e espaçamentos entre linhas, Toledo, 2013, 2014.

178

179 Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Heiffig et al. (2006), os quais
 180 observaram um maior fechamento das entre linhas de soja nos menores espaçamentos, atribuído
 181 a esse fator a maior influência na velocidade de fechamento da linha.

182 Da mesma forma que o percentual de fechamento de entre linhas, a altura de plantas
 183 também apresentou efeito significativo entre os fatores testados (Figura 2). As plantas com
 184 maior altura foram observadas nas elevadas populações de plantas (50 plantas por metro
 185 quadrado) associadas ao maior espaçamento entre linhas (90 cm). Isso se deve à maior
 186 competição entre as plantas na mesma linha, levando as mesmas a crescerem mais à procura de
 187 maior interceptação de radiação solar.

188 De maneira geral, com a menor população de plantas ocorreu menor competição entre
 189 plantas permitindo que as mesmas não apresentassem crescimento em altura muito elevado,
 190 reduzindo assim o risco de acamamento de plantas. Essa variável tem relação direta com o

191 diâmetro do caule das plantas, uma vez que quanto maior o crescimento da planta de soja menor
192 o diâmetro do caule (Figura 3).

193 Esses resultados estão de acordo com o trabalho realizado por Godoi et al. (2005), os
194 quais constataram crescimento linear das plantas de soja quando submetidas a maiores
195 populações de plantas. Resultados similares, com a cultura da soja, foram relatados por Knebel
196 et al. (2006), Mauad et al. (2010) e Cruz et al. (2016).

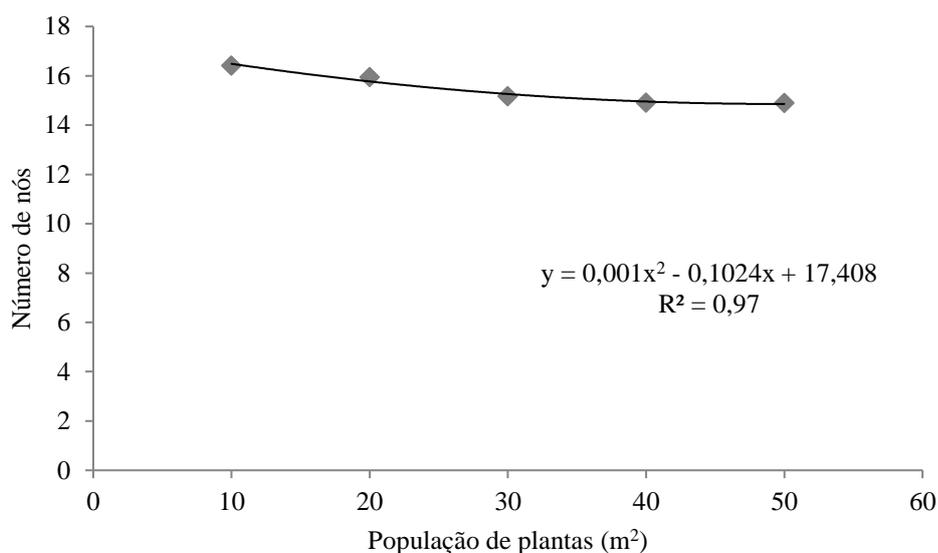
197 Para a avaliação do diâmetro do caule não houve interação significativa entre os fatores
198 população de plantas e espaçamento entre linhas, apenas a população de plantas teve efeito
199 significativo sobre essa variável, como pode ser observado na Figura 3. Nas menores
200 populações de plantas ocorreram os maiores diâmetros. Isso pode ser explicado em função da
201 menor competição por luz entre plantas na área.

202 Com o aumento da população entre plantas ocorreu redução do diâmetro do caule. A
203 partir da população de 30 plantas por metro quadrado essa redução tendeu a se estabilizar, como
204 pode ser observado na Figura 3.

205 Para o número de nós da planta de soja, não houve interação significativa entre os fatores
206 testados, havendo significância apenas entre os níveis dos fatores isolados. Da mesma forma
207 que o diâmetro do caule, o número de nós da planta de soja também reduziu em função do
208 aumento da população de plantas (Figura 4). Com menor competição entre plantas na área as
209 mesmas podem emitir maior número de ramificações. Esse maior número de nós pode
210 influenciar a produção final, por se tratar de um componente secundário do rendimento de grãos
211 onde ocorre a emissão dos botões florais e posteriormente formação e desenvolvimento das
212 vagens.

213

214



215

216 **Figura 4.** Número de nós de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em diferentes
217 populações, Toledo, 2013, 2014.

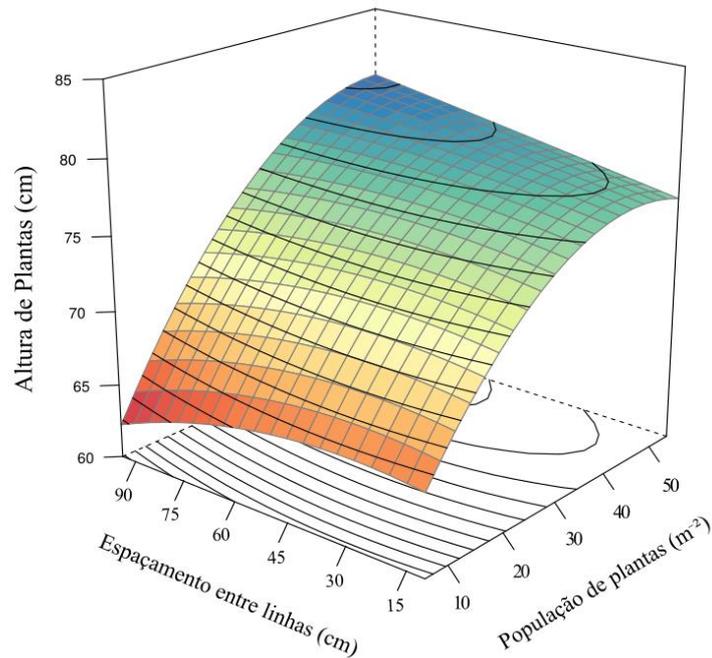
218

219 Levando em consideração os resultados da altura de plantas (Figura 2), com o número
220 de nós da planta de soja (Figura 4), pode-se observar que nas menores populações a distância
221 entre nós foi menor, pois mesmo com um maior número de nós a planta apresentava menor
222 estatura, juntamente com um maior diâmetro de caule (Figura 3), resultando assim em uma
223 planta mais compacta e robusta. Corroborando com esses resultados Tourino et al. (2002) e
224 Knebel et al. (2006), observaram aumento da altura das plantas conforme o aumento da
225 população de plantas, e além disso aumento do grau de acamamento das plantas, prejudicando
226 a produtividade final. Já Rambo et al. (2003), observaram maior número de nós férteis nas
227 menores densidades de plantas, resultados esses semelhantes aos observados no presente
228 trabalho (Figura 4) e aos relatados por Mauad et al. (2010).

229

$$Z = -0,0003903 \times \text{ESP}^2 - 0,0077068 \times \text{POP}^2 + 0,0015758 \times \text{ESP} \times \text{POP} - 0,0025216 \times \text{ESP} + 0,6615212 \times \text{POP} + 62,158792$$

$$R^2 = 0,2516$$

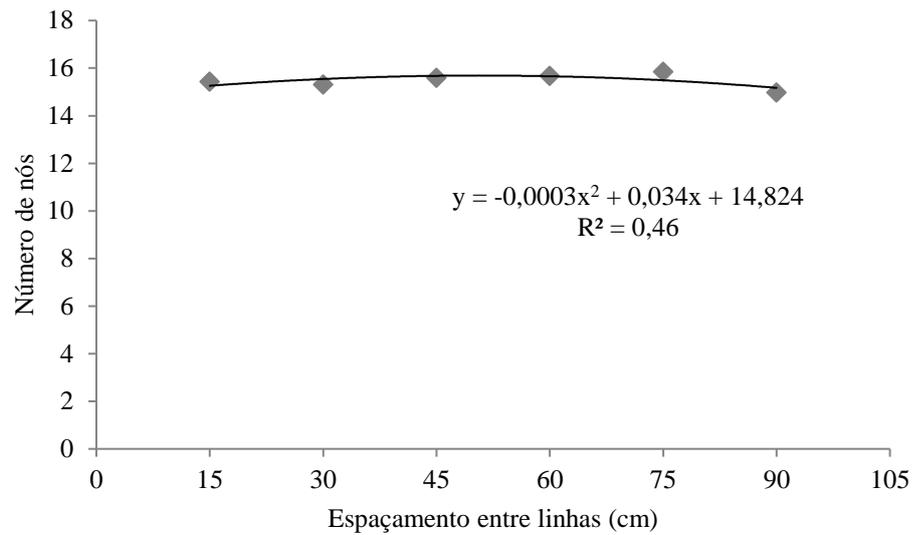


230

231 **Figura 2.** Altura de plantas (cm) de soja (cultivar NA 5909 RG) em resposta a diferentes
 232 populações de plantas e espaçamentos entre linhas, Toledo, 2013, 2014.

233

234 O número de nós por planta de soja apresentou resposta polinomial quadrática em função
 235 do espaçamento entre linhas (Figura 5). Ao se realizar a derivada da equação obteve-se o valor
 236 de 57 cm entre linhas como ideal para a variável analisada. Porém, quando se realizou o
 237 desdobramento da equação observou-se que entre o máximo de inflexão da curva e o ponto de
 238 mínima a diferença é de apenas 4%, demonstrando que o espaçamento entre linhas apresenta
 239 menor influência que a população de plantas para essa variável.



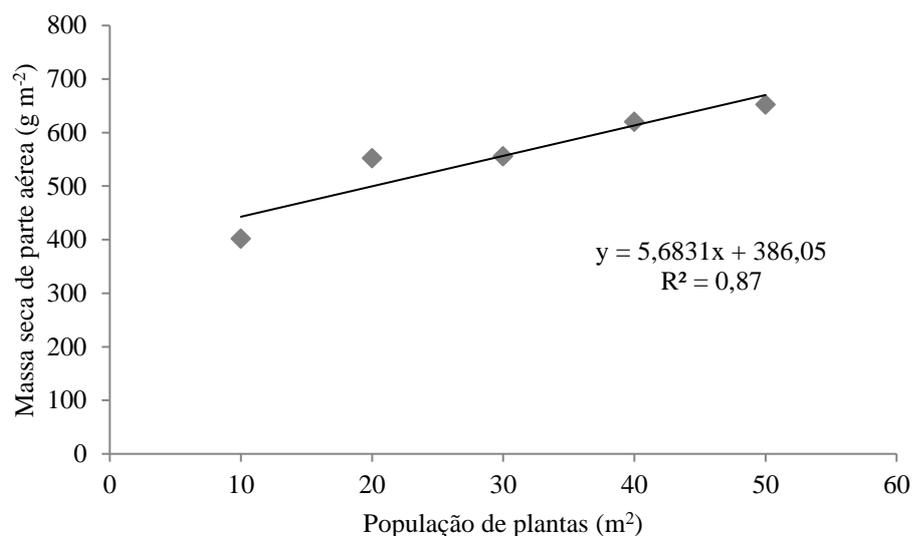
240

241 **Figura 5.** Número de nós de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em diferentes
 242 espaçamentos entre linhas, Toledo, 2013, 2014.

243

244 Quanto à massa seca de parte aérea houve efeito significativo para os fatores população
 245 de plantas e espaçamento entre linhas apenas de forma isolada, não havendo interação
 246 significativa entre os mesmos. A massa seca da parte aérea apresentou resposta linear crescente
 247 em função do aumento da população de plantas (Figura 6). Isso pode ser explicado pelo fato da
 248 maior quantidade de plantas na mesma área, o que resultou em maior massa seca da parte aérea
 249 em maiores populações.

250



251

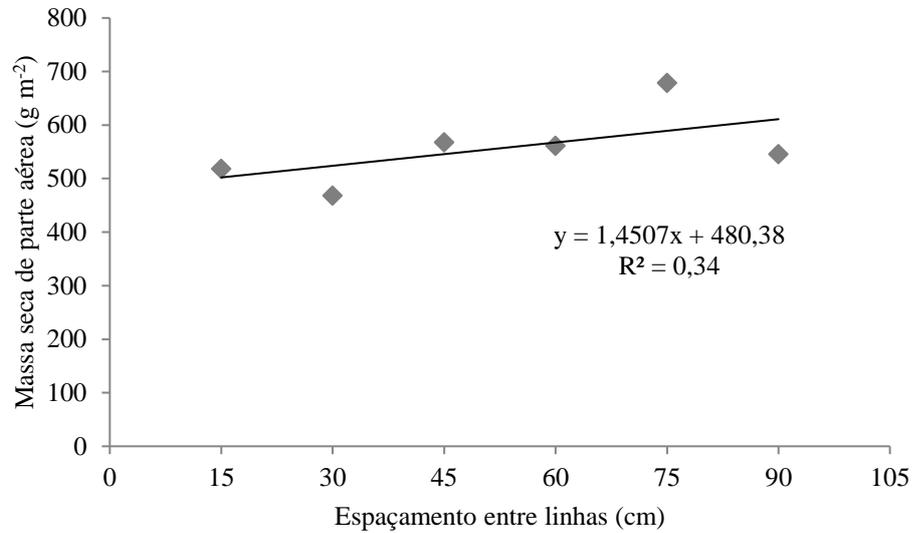
252 **Figura 6.** Massa seca da parte aérea (g m⁻²) de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada
 253 em diferentes populações, Toledo, 2013, 2014.

254

255 O aumento de massa seca ocorreu em uma razão de aproximadamente 5,68 vezes o
 256 aumento da população de plantas, demonstrando desta forma que nas menores populações a
 257 eficiência no acúmulo de massa seca por planta foi maior, ou seja, nas menores populações
 258 ocorreram um maior aporte de massa seca por planta. Já em populações maiores a quantidade
 259 acumulada foi menor. Esses resultados podem interferir de forma indireta na produtividade,
 260 pois uma planta mais eficiente no crescimento, mesmo em menores populações, poderá resultar
 261 em maior produtividade, expressa em produção de grãos por área.

262 Para o acúmulo de massa seca das plantas por área em função do fator espaçamento
 263 entre linhas houve efeito significativo (Figura 7). O ajuste significativo foi linear crescente, o
 264 qual se observa que quanto maior o espaçamento entre linhas maior o acúmulo de massa seca
 265 por área. Isso provavelmente ocorreu pelo fato de que nos espaçamentos maiores as plantas
 266 tiveram o espaço da entre linha para emitir ramificações e conseqüentemente ter maior acúmulo
 267 de massa seca. Pires et al. (1998) não observaram efeito significativo do espaçamento entre
 268 linhas sobre o acúmulo de massa seca da parte aérea no estádio R5.

269



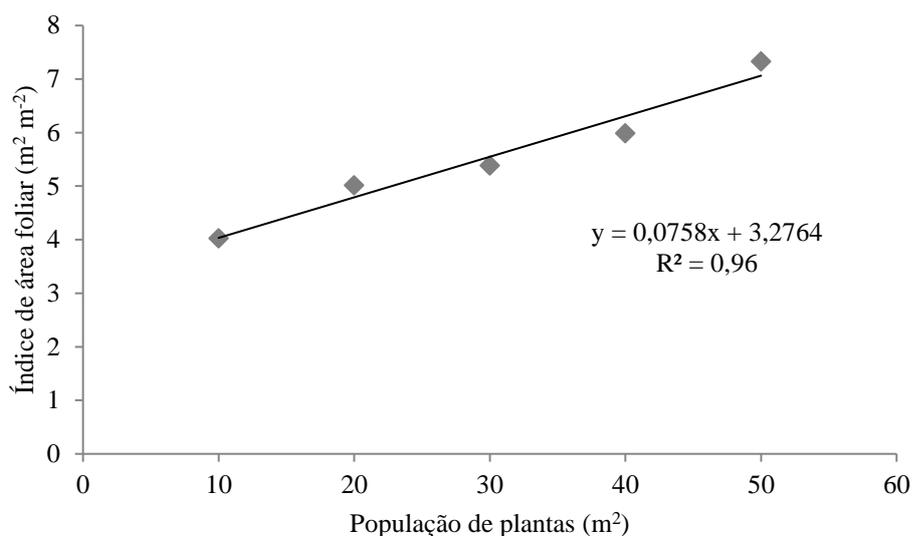
270

271 **Figura 7.** Massa seca da parte aérea (g m⁻²) de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada
 272 em diferentes espaçamentos entre linhas, Toledo, 2013, 2014.

273

274 Não houve interação significativa entre os fatores avaliados população de plantas e
 275 espaçamento entre linhas para o índice de área foliar, sendo verificada diferença significativa
 276 apenas entre os níveis dos fatores de forma isolada. Como pode se observar na figura 8, quanto
 277 maior a população de plantas maior o índice de área foliar. Essa resposta foi similar ao acúmulo
 278 de massa seca, provavelmente pelo mesmo motivo, pois com maior quantidade de plantas há
 279 uma maior disposição de folhas na área competindo por luz. Esses mesmos resultados foram
 280 encontrados por Heiffig et al. (2006) e Cruz et al. (2016).

281



282

283 **Figura 8.** Índice de área foliar (m² m⁻²) de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
 284 diferentes populações, Toledo, 2013, 2014.

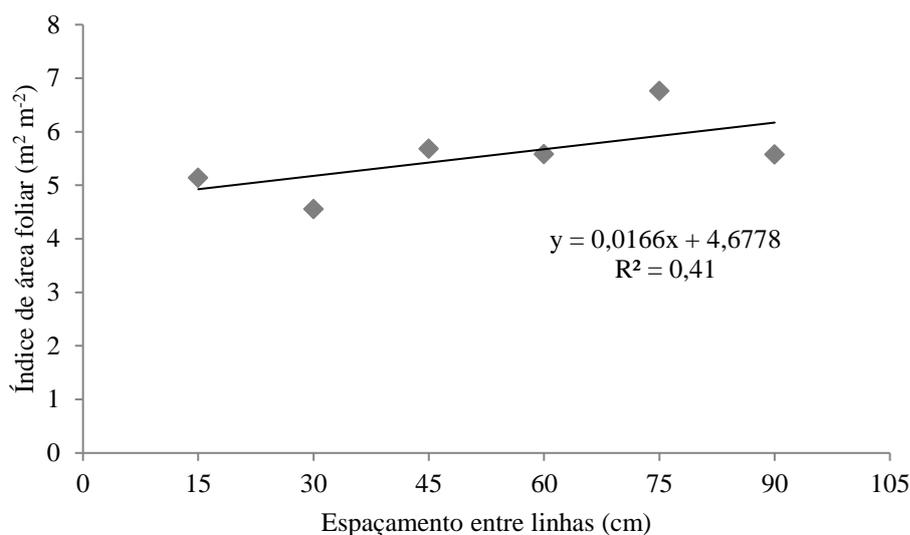
285

286 Os valores do índice de área foliar da população de 50 plantas por metro quadrado foram
 287 75% superiores aos valores observados para a população de 10 plantas por metro quadrado.
 288 Isso provavelmente ocorreu devido à maior competição por espaço que ocorreu nas populações
 289 mais elevadas, forçando a planta a emitir maior número de folhas em busca de radiação solar,
 290 translocando fotoassimilados para o desenvolvimento vegetativo podendo prejudicar a fase
 291 reprodutiva.

292 Plantas com menor índice de área foliar (Figura 8), associada com um menor percentual
 293 de fechamento de entre linhas pelo dossel das plantas (Figura 1), permitem uma maior
 294 penetração dos produtos fitossanitários até as partes inferiores da planta, aumentando dessa
 295 forma o controle de doenças e pragas na cultura, podendo consequentemente resultar em
 296 menores perdas em produtividade (KNEBEL et al., 2006).

297 Para o espaçamento entre linhas da cultura também ocorreu um aumento no índice de
 298 área foliar em função dos maiores espaçamentos, apresentando relação com os dados obtidos
 299 para o acúmulo de massa seca (Figura 9). Porém, o efeito do espaçamento entre linhas sobre o

300 índice de área foliar é menor que o da população de plantas. Nos maiores espaçamentos entre
 301 linhas ocorreu uma maior competição das plantas na linha de semeadura, desta forma a planta
 302 acaba por buscar maior interceptação de radiação solar nas entre linhas da cultura,
 303 consequentemente emitindo maior número de ramos e folhas.
 304



305

306 **Figura 9.** Índice de área foliar (m² m⁻²) de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
 307 diferentes espaçamentos entre linhas, Toledo, 2013, 2014.

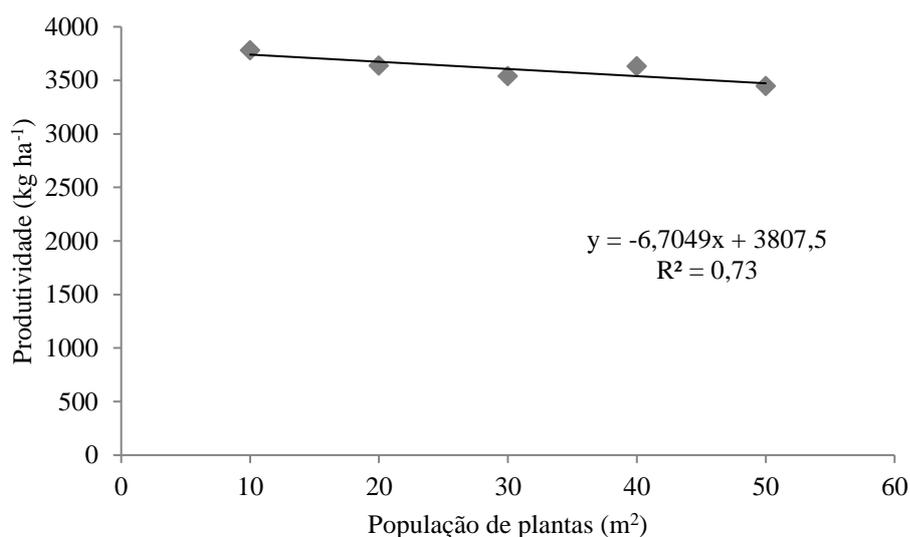
308

309 Os maiores valores de índice de área foliar observados por Heiffig et al. (2006)
 310 ocorreram nos menores espaçamentos entre linhas testados. Porém, segundo os autores, mesmo
 311 os maiores resultados ficam abaixo do encontrado no presente trabalho. Em outro estudo, Pires
 312 et al. (1998) verificaram que não houve efeito significativo entre os espaçamentos entre linhas
 313 testados e o índice de área foliar para a cultura da soja.

314 A produtividade de grãos é um reflexo de vários fatores que influenciam o
 315 desenvolvimento da cultura. Porém, os fatores avaliados no experimento não apresentaram
 316 interação significativa, sendo significativo a população de plantas e o espaçamento entre linhas
 317 de forma separada.

318 PODE-SE observar que quanto menor a população de plantas maior a produtividade de
319 grãos de soja obtida nesse experimento (Figura 10), sendo que a redução da produtividade
320 ocorreu de maneira linear, ou seja, para cada planta a mais por metro quadrado ocorreu uma
321 redução de 6,7 kg ha⁻¹. Dessa forma para cada nove plantas a mais por metro quadrado há
322 redução de um saco por hectare, além de ter um acréscimo no custo de produção em função da
323 aquisição de maior número de sementes. Porém, em estudo realizado para Cruz et al. (2016)
324 com a cultura da soja, os incrementos de produtividade ocorreram de forma linear para o
325 aumento da população de plantas. Porém, a maior produtividade nas condições atuais de custo
326 de produção, podem não viabilizar os custos com o aumento da quantidade de sementes.

327



328

329 **Figura 10.** Produtividade de grãos de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
330 diferentes populações, Toledo, 2013, 2014.

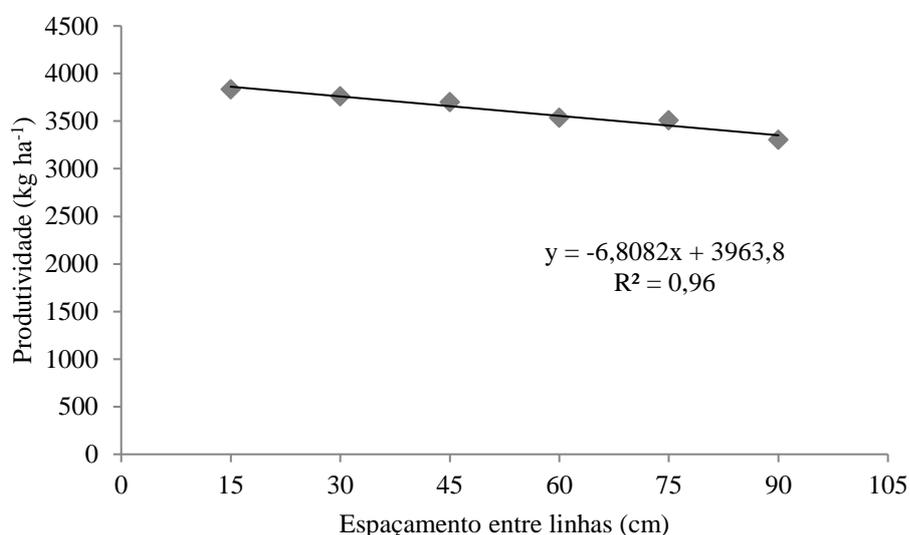
331

332 Os resultados do presente estudo discordam dos encontrados por Godoi et al. (2005),
333 onde os autores encontraram 27 plantas por metro quadrado como ideal para oito genótipos de
334 soja testados. Contudo, resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho foram
335 observados por Tourinho et al. (2002) e Rambo et al. (2003). Os autores observaram que quanto

336 menor a densidade de plantas maiores as produtividades, observando também ganhos no
337 rendimento com a diminuição do espaçamento entre linhas.

338 Nas plantas com os menores espaçamentos entre linhas também ocorreram os resultados
339 mais elevados de produtividade para a cultura da soja (Figura 11). A equação que explicou esse
340 resultado foi linear, sendo que ela decresce em função do aumento do espaçamento entre linhas.
341 Essa redução foi na ordem de $6,8 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada centímetro que aumentou o espaçamento
342 entre linhas.

343



344

345 **Figura 11.** Produtividade de grãos de plantas de soja (cultivar NA 5909 RG) cultivada em
346 diferentes espaçamentos entre linhas, Toledo, 2013, 2014.

347

348 Para o espaçamento reduzido entre linhas Komatsu et al. (2010) observaram que para
349 algumas cultivares de soja ocorreu incremento de produtividade de soja, porém nem todas as
350 cultivares tem a mesma resposta a essa variável, principalmente pela cultura da soja ter elevada
351 plasticidade, se adaptando muito bem a diferenças nos arranjos de plantas. Para Heiffig et al.
352 (2006) o espaçamento entre linhas não apresentou efeito significativo sobre a produtividade de
353 grãos.

354 Em trabalho realizado por Knebel et al. (2006), os autores observaram aumento de
355 produtividade em espaçamento reduzidos (22,5 cm), próximos aos estudados no presente
356 trabalho (15 cm), resultados semelhantes encontrados por Costa (2013) e para Pires et al. (1998)
357 para o espaçamento entre linhas de 20 cm.

358 A partir dos resultados da produtividade pode-se inferir que quanto menor a população
359 de plantas de soja dentro das condições testadas no presente trabalho houve um ganho de
360 lucratividade do produtor, pois esse acaba por comprar menos semente, obter plantas com
361 características morfológicas mais tolerantes ao acamamento, melhor controle de pragas e
362 doenças em função da melhor cobertura dos produtos fitossanitários aplicados, e a eficiência
363 das folhas e massa seca acumulada pela planta maior, apresentando ainda uma relação inversa
364 do índice de área foliar com a produtividade.

365 Porém, para os resultados de produtividade da soja nos diferentes espaçamentos nas
366 entre linhas da cultura, o ganho de rendimento observado no presente trabalho, associado à
367 dificuldade do estabelecimento de um estande de plantas ideal, utilizando semeadoras de fluxo
368 contínuo, além do custo da mudança ou adaptação de uma semeadora de precisão para realizar
369 a semeadura em menores espaçamentos, ainda são entraves para pequenos produtores, pois
370 provavelmente os ganhos de produtividade não cobririam os custos de adaptação.

371 Dessa forma, para as condições do presente trabalho, reduzir a população de plantas,
372 certificando-se da qualidade fisiológica da semente, mantendo os mesmos equipamentos
373 utilizados pelos produtores até o momento já acarretaria em ganhos de produtividade para
374 cultivar avaliada. Porém, maior número de estudos com diferentes semeadoras deve ser
375 realizado para uma recomendação mais assertiva para o produtor.

376

377

Conclusões

378

379 A partir dos resultados obtidos no presente estudo, com a cultura da soja, cultivar NA
380 5909 RG, para as condições estudadas, pode-se concluir:

381

382 1. As maiores densidades de plantas promovem um maior fechamento entre linhas, um
383 aumento da altura de plantas, da massa seca total e do índice de área foliar, porém, há
384 uma diminuição do diâmetro do caule, menor número de nós e diminuição na
385 produtividade de grãos.

386 2. Com os maiores espaçamentos entre linhas obteve-se um aumento na massa seca de
387 plantas e do índice de área foliar, porém diminuição da produtividade final.

388 3. A população de 10 plantas por metro quadrado é indicada, com o espaçamento entre
389 linhas de 15 cm.

390

391

Referências

392

393 ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOL, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-
394 da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.

395 BENINCASA, M.M.P. (2 ed.) **Análise de crescimento de plantas**: Noções básicas. Funep,
396 Jaboticabal, Brasil, 2003. 41p.

397 CARVALHO, C.G.P. de; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F. de; ALMEIDA, L.A. de; KIIHL,
398 R.A. de S.; OLIVEIRA, M.F. de. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da
399 soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.989-1000, 2002.

400 CAVIGLIONE, J.H.; CARAMORI, P.H.; KIIHL, L.B.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do**
401 **Paraná**. Londrina: Iapar. 2000.

402 COHORT SOFTWARE. **CoStat**. www.cohort.com. Monterey, California. 2003.

- 403 COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da**
404 **safrã brasileira de grãos**. v.3, n.12, Brasília: Conab, 2016.
- 405 COSTA, É.D. **Arranjo de plantas, características agronômicas e produtividade de soja**.
406 2013. 60p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências
407 Agronômicas, Botucatu.
- 408 CRUZ, S.C.S.; SENA-JUNIOR, D.G.; SANTOS, D.M.A.; LUNEZZO, L.O.; MACHADO,
409 C.G. Cultivo de soja sob diferentes densidades de sementeira e arranjos espaciais. **Revista de**
410 **Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.3, n.1, p.1-6, jan./mar. 2016.
- 411 EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Tecnologias de produção de soja**
412 **– região central do Brasil 2012 e 2013**. Embrapa Soja, Londrina. 2011.
- 413 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de**
414 **Produção de Soja- Paraná 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 216p.
- 415 ENDRES, V.C. Espaçamento, densidade e época de sementeira. In: EMBRAPA. **Soja:**
416 **recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Dourados: Embrapa
417 Agropecuária Oeste, 1996. p.82-85. (Circular Técnica, 3)
- 418 GAUDÊNCIO, C.A.A.; GAZZIERO, D.L.P.; JASTER, F.; GARCIA, A.; WOBETO, C.
419 **População de plantas de soja no sistema de sementeira direta para o Centro-Sul do Estado**
420 **do Paraná**. Londrina: Embrapa, CNPSo, 4p. 1990. (Comunicado Técnico, 47).
- 421 GODOI, C.R.C. de; NETO, A.N. da S.; PINHEIRO, J.B. Avaliação do desempenho de
422 linhagens de soja, resistentes ao complexo de percevejos, cultivadas em diferentes densidades
423 de sementeira. **Revista Bioscience**, Uberlândia, v.21, n.1, p.85-93, 2005.
- 424 HEIFFIG, L.S. **Plasticidade da cultura da Soja (Glycine max (L.) Merrill) em diferentes**
425 **arranjos espaciais**. 2002. 85p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de
426 Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

- 427 HEIFFIG, L.S.; CÂMARA, G.M.S.; MARQUES, L.A.; PEDROSO, D.B.; PIEDADE, S.M.S.
428 Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais.
429 **Bragantia**, v.65, n.2, p.285-295, 2006.
- 430 KNEBEL, J.L.; GUIMARÃES, V.F.; ANDREOTTI, M.; STANGARLIN, J.R. Influência do
431 espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres
432 agronômicos em soja. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.28, n.3, p.385-392, 2006.
- 433 KOMATSU, R.A.; GUADAGNIN, D.D.; BORGIO, M.A. Efeito do espaçamento de plantas
434 sobre o comportamento de cultivares de soja de crescimento determinado. **Campo Digit@l**.
435 Campo Mourão, v.5, p.50-55, 2010.
- 436 LOPES, J.P.; MACHADO, E.C.; DEUBER, R.; MACHADO, R.S. Análise de crescimento e
437 trocas gasosas na cultura do milho em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas,
438 v.68, n.4, p.839-848, 2009.
- 439 MARTINS, M.C.; CÂMARA, G.M.S.; PEIXOTO, C.P.; MARCHIORI, L.F.S.; LEONARDO,
440 V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de
441 cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.56, n.4, p.851-858, 1999.
- 442 MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; NETO, A.I. de A.; ABREU, V.G. Influência da densidade de
443 semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Agrarian**, Dourados, v.3,
444 p.175-181, 2010.
- 445 MOTTA, I.S.; BRACCINI, A.L.E.; SCAPIM, C.A.; INOUE, M.H.; ÁVILA, M.R.;
446 BRACCINI, M.C.L. Época de semeadura em cinco cultivares de soja: II. Efeito na qualidade
447 fisiológica das sementes. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v.24, n.5, p.1281-1286, 2002.
- 448 PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L. Rendimento de grãos de soja influenciado pelo
449 arranjo de plantas e níveis de adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.4,
450 n.2, p.89-92, 1998.

- 451 RAMBO, L. **Crescimento e rendimento de soja por estrato do dossel em resposta à**
452 **competição intraespecífica**. 2002. 106p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) -Universidade
453 Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 454 RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.P.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G.
455 Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria,
456 v.33, n.3, p.405-411, 2003.
- 457 SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do Plantio à Colheita**. Viçosa: Editora UFV,
458 2015, 333p.
- 459 TOURINO, M.C.C.; REZENDE, P.M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e
460 uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa**
461 **Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, ago. 2002.
- 462 USDA – United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**.
463 Washington, DC: USDA, 2016.
- 464 VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.; LIBERATO, J.R. **Quant - Quantificação de**
465 **doenças**: versão 1.0.1. Software. Viçosa, UFV. 2001.

4 CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, com a cultura da soja, cultivar NA 5909 RG, para as condições estudadas, pode-se concluir:

1. Com o aumento da densidade de plantas ocorre redução na sobrevivência das plantas em função da maior competição entre as mesmas, maior fechamento entre linhas, aumento da altura, da massa seca total e índice de área foliar. Porém, há uma diminuição do diâmetro do caule, menor número de nós, número de vagens por planta e grãos por vagens, conseqüentemente diminuição na produtividade de grãos.
2. Com os menores espaçamentos entre linhas ocorre diminuição na massa seca de plantas e índice de área foliar, porém acarreta em aumento de produtividade final.
3. A população de 10 plantas por metro quadrado é indicada, com o espaçamento entre linhas de 15 cm.
4. Há um aumento na rentabilidade do produtor com a população de 10 plantas por metro quadrado, na relação entre o desperdício de sementes utilizado e as perdas de produtividade em maiores populações.