

RODRIGO ROCHA SILVA

**ARRANJOS ESPACIAIS EQUIDISTANTES MODULAM O
DESENVOLVIMENTO DE GENÓTIPOS DE SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

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

T

S586a
2018

Silva, Rodrigo Rocha, 1983-

Arranjos espaciais equidistantes modulam o
desenvolvimento de genótipos de soja / Rodrigo Rocha Silva. –
Rio Paranaíba, MG, 2018.

vii, 55f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Willian Rodrigues Macedo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Espaçamentos soja. 2. Arranjo equidistante.
3. População de plantas. I. Universidade Federal de Viçosa.
Campus UFV - Rio Paranaíba. Mestrado em
Agronomia-Produção Vegetal (campus CRP). II. Título.

633.34

RODRIGO ROCHA SILVA

**ARRANJOS ESPACIAIS EQUIDISTANTES MODULAM O DESENVOLVIMENTO
DE GENÓTIPOS DE SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 06 de julho de 2018.


João Fernando Mari


Danúbia Aparecida Costa Nobre


Leonardo Ângelo de Aquino
(Coorientador)


Willian Rodrigues Macedo
(Orientador)

A os meus pais, Elizabeth Fichman Rocha Silva e Donizete José da Silva (*in memorian*), ao meu irmão Luciano Rocha Silva e sobrinho, Jonas Rocha Miranda, à minha esposa Élen Cléssia Machado, minhas filhas, Maria Eduarda Machado Rocha da Silva e Maria Júlia Machado Rocha da Silva

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me concedeu a vida, saúde, proteção e capacidade para superar cada dificuldade encontrada e permitir a travessia de cada etapa que me trouxe até aqui.

Ao meu pai, Donizete José da Silva (*in memorian*), que enfrentou com maestria os obstáculos de sua vida dura, sem se desviar do bom caminho, carregando sempre consigo o exercício da caridade e da abnegação, ensinando-nos ainda que sem perceber, que a virtude maior está no ser, e não no ter. Apesar da sua breve convivência, deixou o exemplo de caráter irretocável a ser seguido, do qual eu sempre irei trilhar.

A minha mãe Elizabeth Fichmam Rocha Silva, que abriu mão da própria vida, em prol da nossa, colocando sempre em primeiro lugar, nosso bem estar e educação, enchendo-nos de carinho e afeto, na busca incansável pela nossa felicidade, que sempre foi à dela. Como se um parágrafo expressasse todos os motivos de gratidão que lhe cabem, digo que esse título de Mestre, só foi possível graças a orientação, cuidado e ensinamentos dessa grande Doutora da vida que és.

Agradeço a minha esposa Élen, pelo companheirismo, pelo apoio, pela paciência, pela compreensão, pelo amor ao longo de todos esses anos. Ao seu lado a caminhada da vida fica mais bonita, leve, segura e tranquila. Agradeço às minhas filhas Maria Eduarda e Maria Júlia, pela espera nos muitos momentos de ausência, por me ensinarem o sentido da vida, por todo amor doado e aceito, por tantos sorrisos plantados em mim.

Agradeço ao meu orientador Willian, pela obstinação e paciência, pela compreensão, pelo conhecimento transmitido e pela imensa dedicação à ciência e em especial à condução deste projeto. Agradeço a todos os professores do programa e aos colaboradores da universidade. Que Deus abençoe esta instituição!

Agradeço aos grandes amigos que fiz nesta jornada, a todo apoio e auxílio dado por cada colega de curso, pelas aulas particulares de estatística, pelos momentos de confraternização, muito obrigado mestres!

BIOGRAFIA

Rodrigo Rocha Silva, filho de Donizete José da Silva (*in memorian*) e Elizabeth Fichman Rocha Silva nasceu em Brasília-DF no dia 08 de julho de 1983.

Iniciou o Curso de Agronomia pela União Pioneira de Integração Social – UPIS, em Brasília-DF. Durante esse período, fez estágio no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA – CPAC) seguindo uma linha de pesquisa envolvendo agricultura de precisão e manejo integrado de plantas daninhas. Em Fevereiro de 2005 graduou-se Engenheiro Agrônomo por aquela instituição. Em Julho de 2007 concluiu a pós graduação *latu sensu* “Fertilidade do solo e nutrição de plantas para o agronegócio”, pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. De Agosto de 2013 a Março de 2015 cursou o curso de especialização “Produção de grãos” pelo Rehagro/Fazu, na cidade de Uberlândia. Em Agosto de 2016 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), pela Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, onde realizou trabalhos envolvendo manejo do solo, fisiologia vegetal, nutrição e adubação de plantas. Submeteu-se à defesa da dissertação em Julho de 2018.

ÍNDICE

RESUMO	vi
ABSTRACT.....	vii
Introdução geral.....	1
Referências	5
CAPÍTULO I – RESPOSTAS DE GENÓTIPOS DE SOJA CULTIVADOS SOB ARRANJO ESPACIAL EQUIDISTANTE, EM AMBIENTE IRRIGADO DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO	9
1. Resumo	9
2. Abstract	10
3. Introdução.....	11
4. Material e Métodos.....	13
5. Resultados e Discussão	20
6. Conclusões	28
7. Referências.....	30
CAPÍTULO II – RESPOSTAS DA SOJA SOB ARRANJO EQUIDISTANTE EM NÍVEL MÉDIO DE TECNOLOGIA: PADRÃO DE CULTIVO NO CERRADO.	33
1. Resumo	33
2. Abstract	34
3. Introdução.....	35
4. Material e Métodos.....	36
5. Resultados e Discussão	43
6. Conclusões	52
7. Referências.....	53

RESUMO

SILVA, Rodrigo Rocha, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, julho de 2018. **Arranjos espaciais equidistantes modulam o desenvolvimento de genótipos de soja.** Orientador: Willian Rodrigues Macedo. Coorientador: Leonardo Ângelo de Aquino.

Atualmente, o cultivo de soja no Brasil ocorre em mais da metade de toda sua área agrícola. Por ser um país de grande extensão territorial, existe uma proeminente diversidade de condições de solo, clima e fotoperíodo em que a soja é cultivada. Essa diversidade ambiental demanda a necessidade de uma grande diversidade genética da espécie, para que, o desenvolvimento da soja seja satisfatório nas diferentes condições à que esta possa estar submetida. O arranjo espacial equidistante de plantas proporciona uma mesma distância entre plantas vizinhas, situadas a qualquer direção e, por isso, possibilita que estas tenham uma maior eficiência no uso dos recursos fundamentais ao seu desenvolvimento (água, luz, CO₂ e nutrientes). Apesar de todo avanço observado nos últimos anos, em relação ao potencial genético dos cultivares, bem como do maquinário agrícola, o principal modelo de cultivo da soja, ainda baseia-se no plantio por linhas, espaçadas a uma distância de 45 a 50 cm, e plantas espaçadas entre 5 a 10 cm na linha de cultivo. O objetivo deste trabalho foi verificar o comportamento de genótipos de soja, com características morfológicas distintas, cultivados em arranjo espacial equidistante (AEE), em comparação ao modelo tradicional de cultivo, baseado no plantio por fileiras simples, com 50 cm de distância entre si, quando submetidos a duas condições ambientais e tecnológicas: uma com alto nível tecnológico (irrigação, altos níveis de fertilidade, com adubação acima do recomendado, época de plantio favorável) e outra, dentro de um ambiente compatível a realidade dos agricultores do Cerrado brasileiro, considerando assim, um nível médio de tecnologia. Para tanto, foram instalados dois experimentos no município de Patos de Minas – MG no ano agrícola de 2017/2018, um para cada ambiente tecnológico, sendo que cada um deles era constituído de 2 genótipos de soja e 6 arranjos espaciais, perfazendo um esquema fatorial de 2x6. Foram avaliados características relacionadas a morfologia e fisiologia da planta, bem como os componentes de rendimento. As variáveis analisadas foram: índice de área foliar, altura de plantas, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), teor de pigmentos nas folhas (clorofilas a, b, total e carotenoides), altura da primeira vagem, notas de acamamento, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta, peso de mil sementes e rendimento por planta.

ABSTRACT

SILVA, Rodrigo Rocha, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, July, 2018. **Equidistant spatial arrangements modulate the soybean genotypes development.** Adviser: Willian Rodrigues Macedo. Co-adviser: Leonardo Ângelo de Aquino.

Currently the cultivation of soybeans in Brazil occurs in more than half of the entire agricultural area. The country has a great territorial extension, with diversified characteristics of: soil, climate and photoperiod, where soybeans are grown. These extremes environmental conditions require the existence of a genetic diversification of the specie, so that the soybean development is satisfactory, under the different conditions to which it may be submitted. The equidistant spatial arrangement of plants provides the same distance between neighboring plants, sowing in any direction and, therefore, allows them to have a greater efficiency in the use of the essential resources for their development (water, light, CO₂ and nutrients). In spite of all the progress observed in recent years in relation to the genetic potential of cultivars as well as agricultural machinery used, persists as the main model of soybean cultivation the planting spaced 45 to 50 cm between rows, and plants spaced 5 and 10 cm in the row. The aim of this research was to verify the behavior of soybean genotypes with different morphological characteristics, cultivated in an equidistant spatial arrangement (ESA), in comparison to the traditional model of cultivation, based on simple row planting at 50 cm, when subjected to two environmental and technological conditions: one with a high technological level (irrigation, high fertility levels, fertilization above recommended for crop, season more favorable for planting) and another, which represents the majority of the farmers of the Brazilian Cerrado, thus considering a medium level of technology. For this purpose, two experiments were installed in the city of Patos de Minas - MG, in 2017/2018 season, one for each technological environment, each of which consisted of two soybean genotypes and six spatial arrangements, making up a factorial scheme of 2x6. Characteristics related to plant morphology and physiology, as well as yield components were evaluated. The variables analyzed were: leaf area index, plant height, normalized difference index vegetation (NDVI), Leaf pigments content, height of first pod, lodging notes, number of grains per pod, number of pods per plant, number of grains per plant, weight of one thousand seeds and yield per plant.

INTRODUÇÃO GERAL

Os benefícios em se estudar fatores que potencialmente possibilitem melhores condições de desenvolvimento às culturas agrícolas mostram-se especialmente mais impactantes, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto ambiental, quando envolvem espécies que ocupam grandes extensões de área.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ocupa cerca de 35 milhões de hectares no Brasil (USDA, 2017), o que representa cerca de 53% de toda a área agrícola do país. Essa importante cultura possui como característica marcante, sua alta plasticidade, ou seja, a elevada capacidade de adaptação, ao ambiente em que está submetida, alterando sua morfologia (altura das plantas, diâmetro da haste, número de ramificações) e consequentemente, sua capacidade produtiva (Sediyama, 2016).

Plantas de soja quando expostas a elevados níveis de fluxo radiante, apresentam incrementos na taxa fotossintética, uma vez que o ponto de saturação luminosa da cultura também se eleva, quando comparadas a plantas de soja que se desenvolveram sob menores níveis de luminosidade (Burnside & Böhning, 1957), o que pode explicar esse comportamento flexível da cultura, não sendo raros os que observam que, mesmo com uma ampla variação na população de plantas, não são verificadas respostas nos rendimentos de grãos (Gaudêncio et al., 1990; Mellendorf, 2011; Rubin, 1997).

Contudo, quando os trabalhos científicos consideram não apenas a população de plantas, mas também a forma com que estas são distribuídas no espaço, a relação entre estes dois fatores se mostra bastante íntima, culminando na maioria das vezes, em resultados onde as variáveis analisadas apresentam uma dependência bastante expressiva dessa interação (Holshouser & Whittaker, 2002; Parvez et al, 1998; Wells, 1993). Shibles & Weber (1966) apontam que a redução do espaçamento entre linhas (considerando uma população fixa) melhora a relação de distância do conjunto de plantas como um todo, tornando-as mais equidistantes, e assim diminuindo a competição intra-específica, portanto, favorecendo a disponibilidade de água, nutrientes e principalmente luz.

De acordo com Wells (1991), um importante componente para a expressão do máximo potencial produtivo da soja é sua capacidade de interceptação luminosa. Contribuindo com essa afirmação, Board & Harville (1993) reforçam que durante a fase reprodutiva da cultura, os níveis de interceptação se tornam ainda mais relevante aos componentes de rendimento.

Casaroli et al. (2007) considera que, por ser uma planta de metabolismo C3, a soja é uma planta de baixa eficiência quanto ao uso da luz, e que portanto, caso a incidência de radiação não seja suficiente, ocorre por consequência a redução na síntese de fotoassimilados e produção de matéria seca, podendo ainda ocorrer estiolamento que, em muitos casos, resulta no acamamento das plantas.

De maneira mais específica o efeito de uma deficiência luminosa quer seja causada pelo ambiente ou pelo manejo empregado, levará a planta num primeiro momento a apresentar diminuição em sua taxa respiratória (Yamaguchi, 1978), redução nas atividades das enzimas desidrogenase do malato e oxidase do glicolato (Crookston et al. 1975), sendo que esta última atua na fotorrespiração, desencadeando uma série de eventos metabólicos que comprometem o desenvolvimento pleno do vegetal. Tais reações podem afetar drasticamente o potencial produtivo da cultura, devido a uma possível redução na expansão foliar, número de ramificações e pegamento de vagens e grãos (Câmara, 2000).

No intuito de quantificar a capacidade da planta no aproveitamento da luz, Monteith (1977) propôs o modelo da chamada eficiência de uso da radiação (EUR), que baseia-se na quantidade de matéria seca vegetal produzida, em relação a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Assim, seu resultado retorna o valor da massa de matéria seca, por unidade de energia luminosa incidida (expresso em g/MJ^{-1}).

Outro importante conceito envolvido nessa interação entre as plantas e a radiação solar é o chamado coeficiente de extinção luminosa (k), que considera a diminuição da luz no interior do dossel, uma vez que esta vai sendo absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes e pela água presente nas células, ao mesmo tempo em que vai sendo transmitida por entre as folhas. Dentre outras possíveis inferências, este valor revela indiretamente, uma estimativa do autossombreamento causado normalmente por folhas mais novas às mais velhas, bem como o ângulo de inclinação das folhas em relação ao solo.

O cálculo do k , leva em consideração ainda, o índice de área foliar (IAF), que é dado pela relação entre a área foliar total da planta e a área espacial de solo que esta mesma ocupa. Para fins de interpretação do IAF, alguns autores avaliaram seu chamado nível crítico, que representa o valor do IAF onde a planta é capaz de interceptar 95% da RFA.

Segundo Schöffel & Volpe (2001), o IAF crítico para soja é de 3,9. Contudo, tanto para IAF quanto para k , diferentes valores podem ser obtidos a medida em que se altera o manejo e o arranjo espacial de plantas, mesmo não havendo alteração em sua

população. Sivakumar e Shaw (1979) observaram valores máximos para k de 0,68 em plantas sob estresse hídrico e, 1 para plantas sob irrigação. Avaliando níveis de k em diferentes espaçamentos de soja, Flénet et al. (1996) verificaram maior aproveitamento da luz ao longo do dossel, nos tratamentos com menores distâncias entre fileiras, ou seja, em cultivo mais próximo ao arranjo equidistante.

Nesse sentido, uma das estratégias que têm sido estudadas, visando um maior aproveitamento da radiação luminosa é o uso de diferentes populações de plantas combinadas com diferentes arranjos espaciais (Porras et al., 1997; Purcell et al., 2002).

Modolo et al. (2016) verificou, ao estudar 4 diferentes níveis de população de plantas de soja (160.000, 220.000, 280.000 e 340.000 plantas ha^{-1}), em quatro diferentes espaçamentos entre linhas (0,2; 0,35; 0,50 e 0,65 m), que os tratamentos que apresentavam menor diferença nas distâncias entre linhas e entre plantas, proporcionaram melhores rendimentos da cultura. Já Pires et al. (1998), ao reduzirem o espaçamento entre fileiras de 0,4 para 0,2 metros, obtiveram incrementos de 25,5% na produtividade de grãos, sendo que o principal componente de rendimento responsável por esse aumento foi o número de vagens por m^{-2} . Enquanto Purcell et al. (2002) verificaram ainda, que a interceptação da radiação aumentou até uma população de 50 plantas m^{-2} , quando estas se encontravam cultivadas sob uma distância de 19 cm entre linhas.

É possível inferir que o arranjo espacial equidistante, sugere um modelo de distribuição homogênea cuja distância entre uma planta e todas as suas plantas vizinhas é exatamente a mesma, possibilitando que a cultura alcance uma maior EUR. Contudo, é imprescindível que tal distância entre plantas (e consequentemente sua população) seja bem compreendida para os diferentes tipos de genótipos.

Segundo Sediya (2016) a densidade populacional para os genótipos modernos de soja, mais comumente utilizada encontra-se na faixa de 300 mil plantas ha^{-1} , sendo que este mesmo autor considera como referência um espaçamento entre fileiras de 40 a 50 cm. Dessa forma, é importante levar em conta que, a população adequada para um determinado genótipo no modelo equidistante pode ser bastante distinta da população ótima apontada por estudos que consideraram outros modelos de arranjo espacial.

Reforçando essa realidade, Rahman e Hossain (2011) ao estudarem o comportamento de 6 diferentes populações de soja (20, 40, 60, 80, 100 e 120 plantas m^{-2}), em Bangladesh, todas sob arranjo equidistante, relataram que os melhores resultados de rendimento de grãos, foram obtidos com populações de 80 e 100 plantas m^{-2} , resultados semelhantes aos observados por Markos et al. (2011), que tiveram maiores

respostas na produtividade da soja, na maior população por eles considerada (50 plantas m^{-2}).

É importante observar que no modelo equidistante, pequenas variações na distância entre plantas, podem gerar uma variação enorme na população final. Como exemplo, plantas distribuídas uniformemente a 15 cm de distância entre si, resultam em 444.444 plantas ha^{-1} , enquanto que, caso a distância entre elas seja reduzida em apenas 3 cm, a população final passa a ser de 694.44 plantas ha^{-1} .

Diante do exposto, verifica-se a necessidade de estudos que contemplem este modelo de distribuição espacial apresentem uma escala de distância entre plantas (e população), dentro de uma abordagem mais ampla e detalhada.

Durante muitos anos, a semeadura em arranjo equidistante, num modelo de larga escala, era considerada como algo inalcançável. Contudo, diante da evolução da tecnologia voltada às máquinas agrícolas, como: tratores dotados de direção assistida por GPS, bem como o próprio surgimento de semeadoras adaptadas a uma distância entre linhas menor e mais flexível, trazem a tona a possibilidade do emprego deste modelo de cultivo.

Este trabalho objetivou verificar se o arranjo equidistante de plantas proporciona melhores condições de desenvolvimento da cultura da soja, bem como o nível de interferência de uma planta sobre outra, dada uma determinada distância entre elas.

Para tanto, foram realizados dois experimentos, o primeiro deles, simulando um ambiente de elevado potencial produtivo, uma vez que foi implantado numa época favorável à cultura, possuía controle de irrigação, além de estar situado em solo bastante fértil e contava ainda com adubação acima da recomendada. O segundo experimento, visava a simulação de um ambiente de maior proximidade com a realidade do Cerrado brasileiro, foi implantado numa época mais tardia, portanto um pouco menos favorável ao desenvolvimento da cultura, além de não contar com sistema de irrigação e ter sido instalado sobre um solo com níveis menores de fertilidade, e ser submetido a doses menores de fertilizantes.

Referências

- Board, J. E., & Harville, B. G. (1993). Soybean yield component responses to a light interception gradient during the reproductive period. *Crop science*, 33(4), 772-777.
- Bowes, G., Ogren, W. L., & Hageman, R. H. (1972). Light Saturation, Photosynthesis Rate, RuDP Carboxylase Activity, and Specific Leaf Weight in Soybeans Grown Under Different Light Intensities 1. *Crop Science*, 12(1), 77-79.
- Burnside, C. A., & Böhning, R. H. (1957). The Effect of Prolonged Shading on the Light Saturation Curves of Apparent Photosynthesis in Sun Plants. *Plant physiology*, 32(1), 61.
- Câmara, G. M. S. (2000). Heffig. A. *Soja: tecnologia de produção II. Piracicaba, ESALQ/LPV, 450p.*
- Casaroli, D., Fagan, E. B., Simon, J., Medeiros, S. P., Manfron, P. A., Neto, D. D., ... & Martin, T. N. (2007). Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja-uma revisão. *Revista da FZVA*, 14(2).
- Crookston, R. K., Treharne, K. J., Ludford, P., & Ozbun, J. L. (1975). Response of Beans to Shading 1. *Crop Science*, 15(3), 412-416.
- Flenet, F., Kiniry, J. R., Board, J. E., Westgate, M. E., & Reicosky, D. C. (1996). Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. *Agronomy Journal*, 88(2), 185-190.
- Gaudêncio, C., Gazziero, D. L. P., Jaster, F., Garcia, A., & Wobeto, C. (1990). População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o centro-sul no estado do Paraná. Comunicado Técnico. n. 42, CNPSo, seU90, p.2
- Holshouser, D. L., & Whittaker, J. P. (2002). Plant population and row-spacing effects on early soybean production systems in the Mid-Atlantic USA. *Agronomy Journal*, 94(3), 603-611.
- Markos, D., Pal, U. R., & Uragie, E. (2011). Selection of Planting Pattern and Plant Population Density (PPD) for Medium and Late Maturing Soybean Varieties (*Glycine max* (L.) Merrill) in the Tropics. *Innovative Systems Design and Engineering*, 2(4), 242-249.
- Mellendorf, N. E. (2011). Soybean growth and yield response to interplant competition relief in various plant density environments. Thesis (Master of Science in Crop Sciences). University of Illinois at Urbana-Champaign, 89p. 2011.
- Modolo, A. J., Schidlowski, L. L., Storck, L., Benin, G., de Oliveira Vargas, T., & Trogello, E. (2016). Rendimento de soja em função do arranjo de plantas. *Brazilian journal of agriculture-Revista de Agricultura*, 91(3), 216-229.
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 281(980), 277-294.

Parvez, A. Q., Gardner, F. P., & Boote, K. J. (1989). Determinate-and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date. *Crop Science*, 29(1), 150-157.

Pesquisa de soja da região sul, 25, 1997, Passo Fundo, RS. Anais. Passo Fundo : Embrapa, 1997. p.187.

Pires, J. L. F., costa, J. A., & thomas, A. L. (1998). Rendimento de grãos de soja influenciado pelo arranjo de plantas e níveis de adubação. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 4(2), 183-188.

Porras, C. A., Cayón, D. G., & Delgado, O. A. (1997). Comportamiento fisiológico de genótipos de soya en diferentes arreglos de siembra. *Acta Agronómica*, 47(1), 9-15.

Purcell, L. C., Ball, R. A., Reaper, J. D., & Vories, E. D. (2002). Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Science*, 42(1), 172-177.

Rahman, M., Hossain, M., & Bell, R. W. (2011). Plant density effects on growth, yield and yield components of two soybean varieties under equidistant planting arrangement. *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(5), 278-286.

Rambo, L., Costa, J. A., Pires, J. L. F., Parcianello, G., & Ferreira, F. G. (2003). Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. *Ciência rural*. Santa Maria. Vol. 33, n. 3 (maio/jun. 2003), p. 405-411.

Rubin, S. (1997). Comportamento do cultivar “FEPAGRO-RS 10” em seis densidades de semeadura no planalto médio riograndense. *Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul*, 25, 187.

Sedyama, T. (2016). *Produtividade da soja*. Ed. 1, Mecnas, Londrina. 310 p.

Schöffel, E. R., & Volpe, C. A. (2001). Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para a produção de fitomassa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9(2), 241-249.

Shibles, R. M., & Weber, C. R. (1966). Interception of Solar Radiation and Dry Matter Production by Various Soybean Planting Patterns 1. *Crop science*, 6(1), 55-59.

Sivakumar, M. V. K., & Shaw, R. H. (1979). Stomatal conductance and leaf-water potential of soybeans under moisture stress. *Iowa State Journal of Research*, v. 54, n.1, p. 17-27.

Taiz, L. & Zieger, E. Fisiologia vegetal. Trad. Santarém, E. R. et al., 3º ed., Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.

USDA - United State Departament of Agriculture. World Agricultural Production. Foreign Agricultural Series. 30p.

Wells, R. Soybean growth response to plant density: relationships among photosynthesis, leaf area, and light interception. *Crop Science*, v. 31, n. 3, p. 755-756, 1991.

Wells, R. (1993). Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. *Agronomy Journal*, 85(1), 44-48.

Yamaguchi, J. (1978). Respiration and the growth efficiency in relation to crop productivity. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University*, 59(1), 59-129.

CAPÍTULO I

RESPOSTAS DE GENÓTIPOS DE SOJA CULTIVADOS SOB ARRANJO ESPACIAL EQUIDISTANTE, EM AMBIENTE IRRIGADO DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO

1. Resumo

Por ocupar mais da metade da área agrícola do Brasil, a busca de novas técnicas que favoreçam o desenvolvimento da soja traz grande impacto ambiental e socioeconômico para o Brasil. Apesar desta cultura apresentar uma grande variabilidade em suas características genéticas e morfológicas, é notória a singularidade na forma com que as plantas são dispostas no espaço que ocupam, quase sempre através do plantio por linhas, variando entre 45 a 50 cm de distância. O arranjo espacial equidistante propicia um uso mais racional do espaço pelas plantas, tornando-as mais eficientes na utilização da luz e na absorção de água e nutrientes. O objetivo deste trabalho foi o de verificar se o arranjo espacial equidistante na cultura da soja, proporciona melhores condições de desenvolvimento e rendimento da cultura, quando cultivada em ambiente com alto potencial produtivo. Foi realizado um experimento a campo, sob esquema fatorial duplo, sendo que dois genótipos foram submetidos a 6 arranjos espaciais diferentes, sendo estes: arranjo espacial equidistante (AEE) com plantas espaçadas a 50 cm entre si (40 mil plantas ha^{-1}); AEE com plantas a 20 cm entre si (240 mil plantas ha^{-1}); AEE com plantas a 15 cm (440 mil plantas ha^{-1}); AEE com plantas a 12,5 cm (640 mil plantas ha^{-1}); AEE com plantas a 10,9 cm (840 mil plantas ha^{-1}); além do tratamento considerado com padrão, que consiste do plantio por fileira simples espaçadas a 50 cm de distância, obedecendo a população recomendada para cada genótipo, que é de 440 mil plantas ha^{-1} para o genótipo 8473 RSF (Brasmax – Desafio RR) e 240 mil plantas ha^{-1} para o genótipo AS 3730 - Ipro (Agroeste). Foram analisadas altura de plantas (AP); índice de área foliar (IAF); índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI); notas de acamamento (NA); altura da primeira vagem (APV); número de vagens por planta (NVP); número de grãos por vagem (NGV); peso de mil sementes (PMS) e produtividade por planta (PP). Os resultados mostraram que o genótipo AS 3730 apresenta maior plasticidade e, portanto, apresenta mais sensibilidade aos tratamentos. De uma maneira geral, os componentes de produção sofrem pouca ou nenhuma alteração na planta, individualmente, quando se comparam populações médias de planta às populações mais altas, especialmente para o genótipo 8473 RSF. Considerando a população atualmente recomendada para os genótipos, nas condições deste trabalho, o arranjo espacial equidistante não proporcionou melhores condições de desenvolvimento às plantas em comparação ao plantio por linhas de 50 cm. É possível concluir que o potencial do AEE se dá devido ao fato de possibilitar a obtenção de altos níveis de população de plantas com baixos índices de acamamento, e redução das taxas de decréscimo de rendimento individual por planta, a medida que a população é elevada.

Palavras-chave: Arranjo, espaçamento de soja, desenvolvimento da cultura, produção.

SOYBEANS GENOTYPES RESPONSES CULTIVATED UNDER EQUIDISTANT SPATIAL ARRANGEMENT: WITH IRRIGATION AND HIGH PRODUCTIVE POTENTIAL

2. Abstract

To take up more than half of the Brazilian agricultural area, the search for new techniques that favor the development of soybeans brings great environmental and socioeconomic impact to Brazil, it is notorious the singularity in the way in which the plants are arranged in the space that they occupy, almost always through the planting by lines of 45 to 50 cm of distance. The equidistant spatial arrangement provides a more rational use of space by plants, making them more efficient in the use of light and in the absorption of water and nutrients. The aim of this work was to verify if the equidistant space arrangement in soybean crop, provide better development conditions and yield, when the plants grown under high technological environment. An experiment was carried out in the field, under a double factorial scheme, by two genotypes were submitted to 6 different spatial arrangements: equidistant spatial arrangement (SAE) with plants spaced 50 cm apart (40 thousands plants per ha^{-1}); SAE with plants 20 cm apart (240 thousand plants per ha^{-1}); SAE with plants at 15 cm (440 thousand plants per ha^{-1}); SAE with plants at 12.5 cm (640 thousand plants per ha^{-1}); SAE with plants at 10.9 cm (840 thousand plants per ha^{-1}); in addition to the standard treatment, which consists of single-row planting spaced 50 cm apart, according to the population recommended for each genotype, which is 440 thousand ha^{-1} plants for genotype 8473 RSF (Brasmax – Desafio RR) and 240 thousand plants ha^{-1} for the genotype AS 3730 - Ipro (Agroeste). The following parameters were evaluated: leaf area index (LAI); normalized difference vegetation index (NDVI); lodging notes (LN); height of the first pod (HFP); number of pods per plant (NPP); number of grains per pod (NGP); weight of one thousand seeds (WTS) and yield per plant (YP). The results of the AS 3730 genotype show greater plasticity and, therefore, are more exposed to the treatments. In general, the yield components suffer little or no change in the plant, individually, when comparing mean plant populations to the higher populations, especially for the 8473 RSF genotype. Considering the population currently recommended for the genotypes, under the conditions of this work, the equidistant space arrangement did not provide better development conditions to the plants compared to planting by 50 cm lines. It is possible to conclude that the potential of SAE is due to the fact that it allows the increase of the population of plants to impracticable levels in the cultivation by rows, due to the less risk of lodging in the SAE

Keywords: arragement, soybean spacement, crop developmentt, yield.

3. Introdução

A radiação solar é um dos fatores mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Taiz & Zieger, 2004), e por essa razão, deve ter sua interação com as espécies vegetais, conhecida de maneira mais detalhada. Este fato se torna ainda mais relevante quando as culturas envolvidas apresentam menor eficiência no uso da luz, o que acontece com plantas de metabolismo do tipo C3, como é o caso da soja (Casaroli et al. 2007).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é considerada como uma cultura de alta plasticidade (Cooperative Extension Service Ames, 1994) , ou seja, apresenta distinções expressivas em suas características morfológicas (altura, número de ramificações, espessura do caule) de acordo com fatores ambientais (temperatura, intensidade luminosa) e de manejo (população, espaçamento) à que é submetida ao longo do seu desenvolvimento. Uma das causas que conferem esta característica a soja, é a sua variação no ponto de saturação luminosa. Assim, sob maior incidência de luz, esta espécie pode ser favorecida com o aumento em sua taxa fotossintética, uma vez que seu ponto de fotossaturação (situação onde a fotossíntese não se altera com o aumento da luminosidade) se eleva proporcionalmente (Bowes et al. 1972).

Wells (1991) ao afirmar que a interceptação luminosa é um importante componente para a expressão do máximo potencial produtivo da soja, permite inferir sobre a necessidade de buscar melhorias dos fatores que influenciam as condições luminosas para esta cultura.

Segundo Shibles & Weber (1966) uma das formas para obtenção de ambiente adequado para cultivo, onde a interceptação de luz pela cultura seja potencializada, é a distribuição espacial das plantas da maneira mais homogênea e equidistante possível. O arranjo espacial para o cultivo da soja mais comumente encontrado no Brasil, é o plantio por linhas, espaçadas entre 0,4 e 0,5 m (Sediyama, 2016). Este fato não deve ser atribuído apenas às necessidades fisiológicas e ambientais da cultura, mas principalmente, diante à grande necessidade de rendimento operacional exigido pela larga escala com que esta cultura é cultivada, tendo em vista que a alteração no espaçamento entre fileiras nas semeadoras, adequando-as para cada genótipo a ser cultivado, poderia gerar um grande atraso à operação de plantio.

Considerando então esse modelo convencional, a distância entre as fileiras pode ser até 8 vezes maior que a distância entre as plantas (normalmente entre 6 e 10 cm). Isso revela uma relação de distribuição bastante desuniforme, que pode, para certos

tipos de genótipos, não estar permitindo a expressão de seu máximo potencial produtivo, levando-se em conta ainda, a ocorrência de uma vasta diversificação de genótipos (e das características entre eles), encontrada em uma mesma região de cultivo.

O acamamento da soja é um fator que está intimamente relacionado com essa distribuição espacial de plantas, e pode afetar negativamente tanto a produtividade, quanto a qualidade dos grãos (Balbinot Júnior, 2011).

Ao avaliarem o acamamento da cultura em diferentes populações (200, 300 e 400 mil plantas ha^{-1}) e espaçamentos entre linhas (0,225; 0,45 0,675 m) Knebel et al. (2006), observaram que o acamamento da cultura foi menor no espaçamento entre fileiras de 0,225 m, em todas as populações utilizadas, constatando assim, que uma melhor distribuição de plantas, por reduzir os riscos de acamamento, pode permitir a utilização de maiores populações.

Percebendo isso, Rahman e Hossain (2011), ao estudarem o comportamento de 6 diferentes populações de soja em arranjo espacial equidistante, observaram que os melhores resultados em produtividade foram obtidos justamente em populações mais altas (até 100 plantas m^2), que normalmente não são consideradas em estudos com arranjo espacial por fileiras mais espaçadas, devido ao fato de que as chances de acamamento nestas condições, seriam extremamente elevados.

Com o intuito de se verificar o comportamento da soja cultivada sob arranjo espacial equidistante em diferentes populações, bem como, comparar esse modelo de distribuição com o padrão de cultivo atual, que é o plantio por linhas de 50 cm, foi realizado um experimento, no município de Patos de Minas – MG, na safra de 2017/2018, contemplando 2 genótipos, 5 populações de plantas sobre arranjo equidistante, além de um tratamento em fileiras de 50 cm com a população recomendada para cada genótipo.

Visando evitar que fatores externos fossem responsáveis por limitar a capacidade produtiva de cada tratamento, buscou-se simular um ambiente de alto potencial produtivo. Para tanto, a área experimental contava com irrigação por pivô central, situada num solo com altos índices de fertilidade, dispondo ainda, de adubação com níveis acima daqueles recomendados para expectativas de produção normalmente esperadas em condições de campo.

4. Material e Métodos

4.1 - Caracterização

O experimento foi realizado na fazenda Alto Paraíso, no município de Patos de Minas – MG, situado na latitude -18,781171° e longitude -46,564684° e altitude de 828 m. O clima da região é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen-Geiger, apresentando como característica 2 estações (seca e chuvosa) bem definidas.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, textura argilosa, apresentando atributos de fertilidade na camada de 0-20 cm nos seguintes níveis:

Tabela 1 – Análise de atributos químicos do solo anterior ao plantio.

Atributo	Valor	Unidade	Extrator/ Método
pH	6,3	-	H ₂ O
Matéria orgânica	3,8	dag kg ⁻¹	K ₂ Cr ₂ O ₇ /Walkley-Black
P - remanescente	11,8	mg L ⁻¹	-
Fósforo	9,6	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Potássio	93	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Cálcio	5,9	cmol _c dm ⁻³	KCl
Magnésio	1,5	cmol _c dm ⁻³	KCl
Enxofre	39	mg dm ⁻³	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O em HAc
CTC potencial (T)	10,67	cmol _c dm ⁻³	-
Boro	0,67	mg dm ⁻³	Água quente
Cobre	3,9	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Ferro	48,00	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Manganês	41,7	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Zinco	4,1	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Acidez trocável	0,0	cmol _c dm ⁻³	KCl 1 mol L ⁻¹
Acidez potencial	3,0	cmol _c dm ⁻³	Acetato de cálcio 0,5 mol L ⁻¹ (pH 7,0)

Utilizou-se delineamento experimental de blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial duplo, sendo estes: genótipos (2) e arranjos espaciais (6), perfazendo um esquema fatorial 2 x 6.

4.2 - Tratamentos

As cultivares utilizadas neste experimento foram: Brasmax 8473 RSF – “Desafio RR” e Agroeste – “AS 3730 IPRO”. Ambas apresentam ciclo semelhante e hábito de

crescimento indeterminado, porém, possuem diferenças quanto ao porte, potencial de ramificação lateral, resistência ao acamamento e população ótima recomendada quando submetidas ao espacial convencional (50 cm entre linhas).

Os tratamentos foram estabelecidos de forma que, cada uma das cultivares, fossem submetidas a 6 tratamentos, sendo estes constituídos de 5 níveis de população de plantas, distribuídos em 2 tipos de arranjo espaciais: equidistante e fileira simples (50 cm). Dessa forma, cinco espaçamentos foram utilizados dentro do arranjo equidistantes (AE). Sendo eles: T1 – 50 cm entre linhas e 50 cm entre plantas, perfazendo uma população de 40.000 plantas ha^{-1} ; T2 – 20 x 20 cm e 240.000 plantas ha^{-1} ; T3 – 15 x 15 cm e 440.000 plantas ha^{-1} ; T4 – 12,5 x 12,5 cm e 640.000 plantas ha^{-1} e, T5 – 10,9 x 10,9 cm e 840.000 plantas ha^{-1} .

O arranjo espacial sob fileira simples (FS) foi estabelecido de modo a representar a maneira com que cada um dos cultivares utilizados são comumente encontrados nas lavouras de soja. Tendo o arranjo FS constituído por distâncias de 50 cm entre linhas para ambas os genótipos, porém, com diferente espaçamento entre plantas, com o intuito de manter as populações recomendadas para cada um deles na região onde se implantou o experimento.

Diante do exposto, a cultivar Desafio apresentou o seguinte modelo de arranjo: T6 - arranjo FS de 50 cm e 4,5 cm entre plantas, totalizando 440.000 plantas ha^{-1} e, a cultivar AS 3730 os seguintes arranjos: FS 50 cm e 8,3 cm entre plantas, totalizando 240.000 plantas ha^{-1} . A figura 1 ilustra um esquema de todos os tratamentos utilizados no experimento:

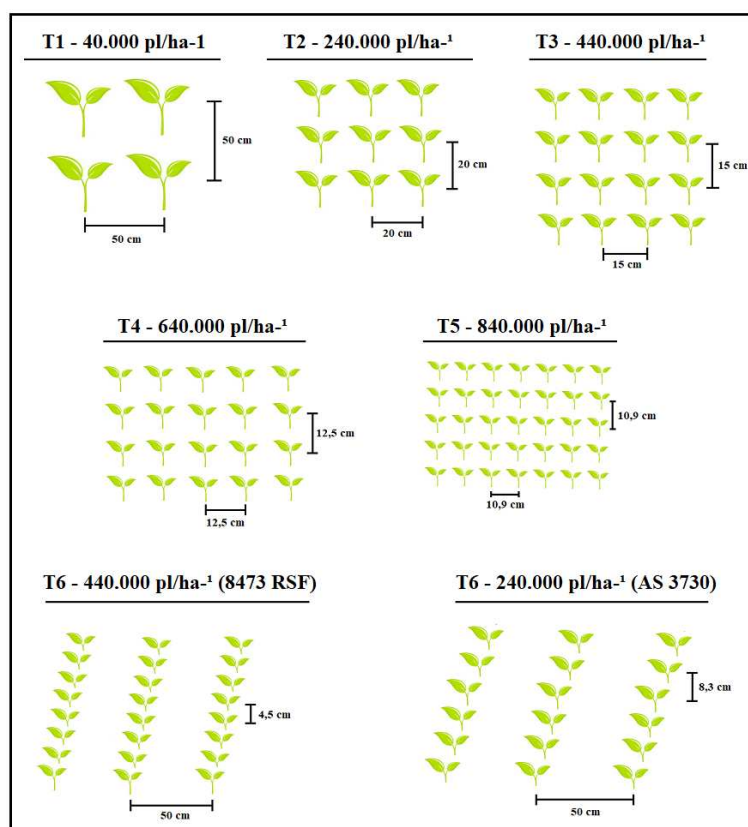


Figura 1 – Esquema ilustrativo dos tratamentos utilizados no experimento.

4.3 - Preparo do solo e unidades experimentais

A área experimental sofreu ação de grade intermediária e em seguida, grade niveladora, a fim de se deixar a camada superficial do solo mais descompactado e pulverizado. Em seguida, com a ajuda de um ancinho, o solo foi rastelado para que pequenos torrões de solo e resíduos vegetais ainda remanescentes fossem retirados, de modo a oferecer melhores condições para o plantio manual, e possibilitar uma melhor germinação de sementes e homogeneidade do fluxo germinativo. Como última etapa do preparo, uma régua de pedreiro foi utilizada para aplainamento e nivelamento do solo, deixando-o pronto para o plantio.

As parcelas foram delimitadas com as dimensões de 3 x 3 m, sendo considerada uma faixa de 0,5 m como área de bordadura, perfazendo uma área útil de 2 x 2 m.

4.4 - Adubação e plantio

Após o preparo do solo e antes do plantio, foi realizada adubação com cloreto de potássio (60% de K_2O), manualmente a lança, sem incorporação, em cada parcela individualmente. O critério para definição da dose baseou-se na expectativa de produção de 7,2 toneladas de grãos por ha^{-1} . Segundo Sfredo (2008) para cada tonelada de grão

produzida, é necessária a absorção de 38 kg de K_2O ha^{-1} . Assim, a demanda total de K_2O foi de 274 kg ha^{-1} . Descontando-se os 223 kg ha^{-1} disponíveis, conforme análise de solo, a adubação complementar deveria ser de 51 kg ha^{-1} de K_2O , contudo visando garantir que os níveis de nutrientes não fossem limitantes, em hipótese alguma, definiu-se que a dose de fertilizante potássio seria o dobro da recomendada (85 kg ha^{-1}), de modo que a dose aplicada foi de 170 kg de fertilizante por ha^{-1} .

O plantio foi realizado do dia 23 a 26 de Outubro de 2017. Assim, inicialmente foram abertos os sulcos ao longo das parcelas, com ajuda de um utensílio fabricado especialmente para realização deste experimento. O mini sulcador, possui a mesma largura da parcela (3m), com ajuste da distância entre as hastes, adequando-se a distância entre sulcos em conformidade com o tratamento a ser aplicado.

Após a abertura dos sulcos, foi aplicado manualmente a lancha o fertilizante superfosfato simples (3-17-00), em cada parcela individualmente, em dose equivalente a 1000 kg ha^{-1} . Foi adotado como critério de definição de dose, a dose recomendada para a cultura com os níveis de P disponíveis no solo para o sistema irrigado que, de acordo com Souza e Lobato (2004), pode ser considerada como 85 Kg de P_2O_5 ha^{-1} . Da mesma forma considerada na adubação potássica, inclusive, devido a menor eficiência de adubação deste nutriente a lancha em relação à aplicação localizada, foi utilizada o dobro da dose recomendada, totalizando 170 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

As sementes utilizadas foram previamente inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* de modo a garantir que a fixação biológica do nitrogênio (FBN) ocorresse de maneira satisfatória, embora o solo da área experimental já estivesse povoado com microrganismos, uma vez que esta área é constantemente cultivada com soja, sempre com re-inoculação das sementes.

Para realização do plantio, foram utilizados diferentes canos de pvc (diâmetro $\frac{3}{4}$ "), com furos alinhados ao longo de sua extensão (1,5 m), variando a distância entre os furos, conforme as distâncias dos diferentes tratamentos (10,9 a 50 cm). Dessa forma, com a ajuda de um aspirador de pó, as sementes se fixavam ao longo do cano, pelos orifícios e, através do vácuo gerado, estas eram depositadas ao longo dos sulcos e em seguida eram cobertas com solo.



Figura 2 – Imagem com detalhes do sulcador utilizado (esquerda) e do conjunto de distribuição de sementes por vácuo (direita)

4.5 - Irrigação

A área onde se instalou este experimento contava com irrigação do tipo aspersão por pivô central. A frequência de irrigação bem como as lâminas ao longo do ciclo da cultura foram determinados por meio de uma mini estação meteorológica instalada dentro da fazenda, que fornecia dados a um programa computacional que gerava as respectivas recomendações.

4.6 - Controle fitossanitário

Diante da proposta de proporcionar um ambiente de alto potencial produtivo, durante todo ciclo da cultura foram aplicadas intervenções a fim de se garantir que fatores externos como plantas invasoras, pragas e doenças não limitassem a expressão produtiva da cultura. No entanto, deve ser ressaltado que todas as unidades experimentais sofreram as medidas de controle fitossanitário de maneira igualitária, sendo que os tratamentos considerados como padrão (fileiras simples espaçadas a 50 cm) foram considerados como referência para decisão da estratégia de manejo, bem como a dose dos produtos e momento de aplicação.

Dessa forma, foi realizado controle de plantas invasoras nas fases V1 e V4, com produto a base de glifosato com dose equivalente a $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de ingrediente ativo em cada aplicação. Por ocasião dessa segunda aplicação (V4), no intuito de se controlar insetos mastigadores, foi realizada a aplicação de inseticida a base de profenofós + lufenuron na dose de 350 ml ha^{-1} de produto comercial, além da aplicação de fungicida a base de mistura de Azoxistrobina + difenoconazol na dose de 500 ml ha^{-1} de produto comercial. No período reprodutivo da cultura, foram realizadas 3 aplicações de fungicida, visando o controle da ferrugem asiática e doenças de final de ciclo. Para

tanto, nos estágios R2 e R4 foi aplicada uma mistura com um fungicida a base de azoxistrobin + benzovindiflupir e mancozeb 750, nas doses de 0,2 e 1,5 kg ha⁻¹ respectivamente. A última aplicação de fungicida foi realizada na fase R5, com produtos a base de azoxistrobin 500 + propiconazol + difenoconazol nas doses de 0,12 kg ha⁻¹ e 0,15 l ha⁻¹ respectivamente. Foram realizadas ainda aplicações de inseticidas visando o controle de percevejos e lagartas, com os produtos: Tiametoxan + clorantraniliprole (200 ml ha⁻¹) na fase R4 e tiametoxan + Lambda-cialotrina (350 ml ha⁻¹) na fase R5.

Assim, verifica-se que os tratamentos que consistiram de arranjo espacial equidistante não foram beneficiados com manejo que atendesse às especificidades de suas características, contudo, é importante o esclarecimento de que as medidas de controle adotadas atenderam de forma satisfatória a todos os tratamentos, de maneira a não prejudica-los.

4.7 - Variáveis analisadas

4.7.1 – Análises morfo-fisiológicas: biométricas e por imagens

A partir da fase fenológica R5, iniciaram-se a coleta das variáveis a serem analisadas. Na fase mencionada, foram obtidas imagens aéreas por meio de sensor multiespectral, marca/modelo Parrot Sequoia, embarcada num drone modelo Phantom 3 (DJI). Segundo Ferri et al, (2004) a partir da fase V3 a cultura da soja apresenta respostas espectrais que demonstram relações com o vigor do dossel e estimativa de produtividade, embora estas relações se intensifiquem em fases fenológicas mais avançadas, conforme a fase aqui utilizada.

O NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) é obtido por meio da relação entre a reflectância no espectro do vermelho (VER) e infravermelho próximo (IVP), conforme a fórmula: $NDVI = (IVP - VER) / (IVP + VER)$, onde, no modelo de sensor utilizado, IVP compreende a faixa entre 730 a 740 nm, e VER de 640 a 680 nm.

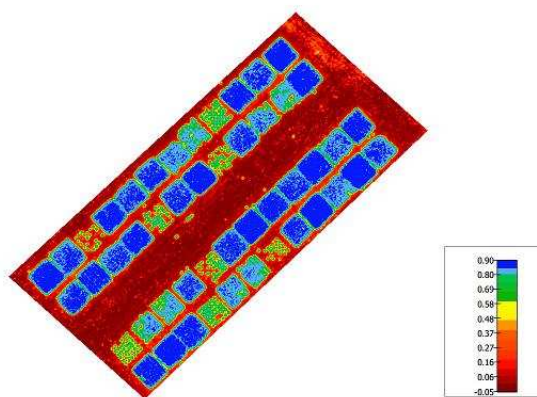


Figura 3 – NDVI (orto-mosaico) da área experimental – estágio fenológico R5.

Ainda por ocasião da fase R5, foi realizada a avaliação de altura das plantas (cm), contagem do número de trifólios (planta^{-1}) e medição da área foliar (cm^2). Para essa última variável, foi realizada a coleta de uma planta por parcela, a qual sofreu desfolha total. Posteriormente, os folíolos foram distribuídos em uma superfície plana de cor de fundo contrastante ao verde das folhas, juntos a uma escala métrica. Em seguida, foram obtidas imagens por câmera digital RGB convencional, as quais foram submetidas ao processamento pelo software livre ImageJ (NIH), que através do isolamento das cores dos folíolos, e ao dimensionamento dos componentes da imagem, gerou o cálculo da área foliar referente as imagens de cada parcela.



Figura 4 – Etapas do processamento para cálculo de área foliar e índice de área Foliar. Imagem RGB (esquerda) e binária (direita).

Após a obtenção dos valores de área foliar (cm^2), foram calculados os índices de área foliar (IAF), através da equação $\text{IAF} = \text{AF} / \text{AS}$ onde, AF corresponde a área foliar da planta, AS a área de solo que uma planta ocupa em cada tratamento.

4.7.2 - Análises de rendimento

Na ocasião da colheita (fase R9), foram avaliadas as notas de acamamento (de 1 a 5) para os tratamentos, segundo a escala de Bernard et al (1965), onde 1 - todas as plantas eretas; 2 - algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas; 3 - todas as plantas moderadamente inclinadas ou 25 a 50% das plantas acamadas; 4 - todas as plantas consideravelmente inclinadas ou 50 a 80% das plantas acamadas; e 5 - todas as plantas acamadas.

Ainda nesta fase, avaliou-se também: altura de inserção da primeira vagem (em relação ao solo); quantidade de vagens com 1, 2, 3 e 4 grãos; número total de vagens por planta; quantidade de grãos por planta (através da somatória do total de vagens com

o número de grãos conhecido) e quantidade de grãos por vagem (através da razão entre o total de grãos por planta e o total de vagens).

Para obtenção da produtividade por plantas, coletou-se o maior número de plantas possível, dentro da área útil de cada parcela, unindo-as em feixes e posteriormente, submetendo-os a trilhadeira estacionária mecânica, onde ocorreu a separação e coleta dos grãos, que foram ainda peneirados, a fim de se minimizar a quantidade de resíduos presentes. Em seguida, a massa de grãos foi pesada individualmente e teve seu percentual de umidade analisado, por meio do medidor de umidade de grãos portátil modelo AL-102 (Agrologic). Dessa forma, procedeu-se com os cálculos para desconto de umidade para obtenção de peso seco padronizado a 14% de umidade, conforme a equação a seguir:

$$PD = 100 \times \frac{Ui - Uf}{100 - Uf}$$

Onde, PD = percentual de peso a descontar; Ui = umidade inicial; Uf = umidade final (padronizada em 14%).

Em seguida, através da contagem dos grãos e pesagem (por meio de uma balança digital com escala de um decagrama) realizou-se os cálculos de peso de mil sementes (PMS).

4.8 - Análises estatísticas

As variáveis: produtividade por planta (PP) e peso de mil sementes (PMS), foram analisadas por estatística descritiva, apresentando medidas de tendência central e de dispersão, com representação gráfica dos resultados em Box-Plot.

As demais variáveis mencionadas tiveram suas médias submetidas a análise de variância (ANOVA) para experimentos sob esquema em fatorial, com posterior teste de comparações de médias, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, com auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

5. Resultados e Discussão

5.1 Resultados

As tabelas 2 e 3 mostram os valores médios das variáveis analisadas, bem como o resultado da interação entre os fatores e seus respectivos quadrados médios.

Tabela 2. Análise de variância: índice de área foliar (IAF), número de trifólios (NT), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), altura de plantas (AP) e notas de acamamento (NA).

Cultivar	GL	Quadrados médios				
		IAF	NT	NDVI	AP	NA
Genótipo (G)	1	202,70 *	368,52 *	0,000012	0,028 *	21,33 *
Arranjo Espacial (AE)	5	119,64 *	4502,93 *	0,055747 *	0,062 *	3,38 *
G x AE	5	29,73 *	421,37 *	0,000012	0,002	1,98 *
Bloco	3	2,22	29,63	0,000918 *	0,007	0,72
Resíduo	33	7,23	82,13	0,000315	0,002	0,28
MÉDIA	-	8,01	30,18	0,83	0,92	1,91
C.V (%)	-	33,5	30,02	2,14	5,6	27,7

* Significativo (p valor <0,05) pelo teste F; GL = Graus de liberdade; CV = Coeficiente de variação.

Tabela 3. Análise de variância: altura da primeira vagem (APV), Vagens por planta (VP), número de grãos por vagem (NGV) e número de grãos por planta (NGP).

Cultivar	GL	Quadrados médios			
		APV	VP	NGV	NGP
Genótipo (G)	1	61,36 *	2516,69 *	0,28 *	17826,7 *
Arranjo Espacial (AE)	5	35,02 *	34258,62 *	0,08 *	250469,3 *
G x AE	5	24,76 *	1969,42 *	0,03 *	18649,7 *
Bloco	2	0,77	91,19	0,01	416,1
Resíduo	22	3,08	87,31	0,009	509,3
MÉDIA	-	12,37	80,63	3,98	208,47
C.V (%)	-	13,8	11,59	2,5	10,8

* Significativo (p valor <0,05) pelo teste F; GL = Graus de liberdade; CV = Coeficiente de variação.

A seguir, são apresentados na figura 5, os resultados da interação entre genótipos e arranjos espaciais, para índice de área foliar (IAF) e número de trifólios.

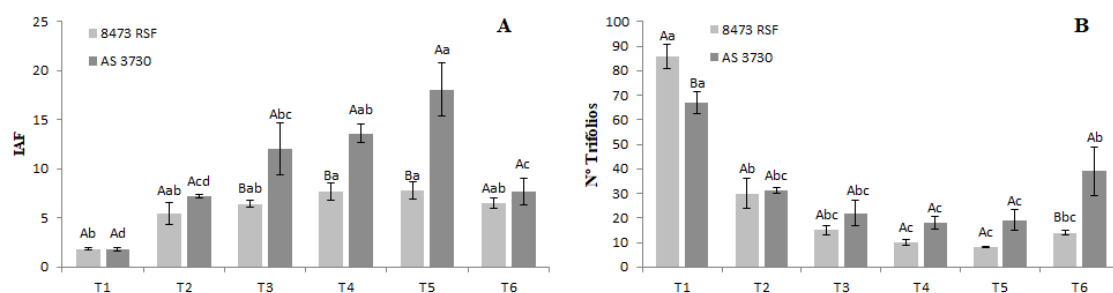


Figura 5 – Índice de área foliar IAF (A) e número de trifólios por planta (B) - fase R5. T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) que é sempre representado por um valor entre -1 e 1, cuja grandeza é adimensional, não apresentou diferença significativa entre genótipos. No entanto, houve diferença significativa entre os arranjos espaciais, conforme revela a tabela 4.

Tabela 4 – Médias de NDVI em plantas de soja sob distintos arranjos espaciais durante o estágio fenológico R5. Patos de Minas, MG, 2018.

Cultivar	Espaçamento					
	50 x 50	20 x 20	15 x 15	12,5 x 12,5	11 x 11	50 x 4,5 / 50 x 8,3*
8473 RSF	0,6587 B	0,8485 A	0,8639 A	0,8662 A	0,8697 A	0,8619 A
AS 3730	0,6587 B	0,8543 A	0,8639 A	0,8662 A	0,8697 A	0,8619 A

* Espaçamento de 50 cm entre linhas (EL) por 4,5 cm entre plantas (EP) para genótipo 8473RSF e 50 cm EL por 8,3 cm EP para genótipo AS 3730, conforme recomendação populacional regional para cada um dos genótipos. Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Concomitantemente à avaliação do NDVI, a altura de plantas foi realizada. Seus valores não apresentaram interação entre os fatores, mas a análise isolada dos fatores de variação apresentou-se significativa, portanto o desdobramento de cada um deles é apresentado pelas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Média de altura de plantas (m), análise do desdobramento do fator –genótipo, no estágio fenológico R5. Patos de Minas, 2018.

Cultivar	Espaçamento					
	50 x 50	20 x 20	15 x 15	12,5 x 12,5	11 x 11	50 x 4,5 / 50 x 8,3*
8473 RSF	0,74 A	0,88 A	0,92 B	0,96 B	0,96 A	0,90 A
AS 3730	0,77 A	0,95 A	1,00 A	1,02 A	1,01 A	0,90 A

* Espaçamento de 50 cm entre linhas (EL) por 4,5 cm entre plantas (EP) para genótipo 8473RSF e 50 cm EL por 8,3 cm EP para genótipo AS 3730, conforme recomendação populacional regional para cada um dos genótipos. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 6 – Média de altura de plantas (m), análise do desdobramento do fator –arranjos espaciais, no estágio fenológico R5. Patos de Minas, 2018.

Cultivar	Espaçamento					
	50 x 50	20 x 20	15 x 15	12,5 x 12,5	11 x 11	50 x 4,5 / 50 x 8,3*
8473 RSF	0,74 B	0,88 A	0,92 A	0,96 A	0,96 A	0,90 A
AS 3730	0,77 C	0,95 AB	1,00 AB	1,02 A	1,01 A	0,90 B

* Espaçamento de 50 cm entre linhas (EL) por 4,5 cm entre plantas (EP) para genótipo 8473RSF e 50 cm EL por 8,3 cm EP para genótipo AS 3730, conforme recomendação populacional regional para cada um dos genótipos. Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados das variáveis: notas de acamamento (NA) e altura da primeira vagem (APV), que foram obtidos por avaliações na fase R9 (colheita) são apresentados na figura 6.

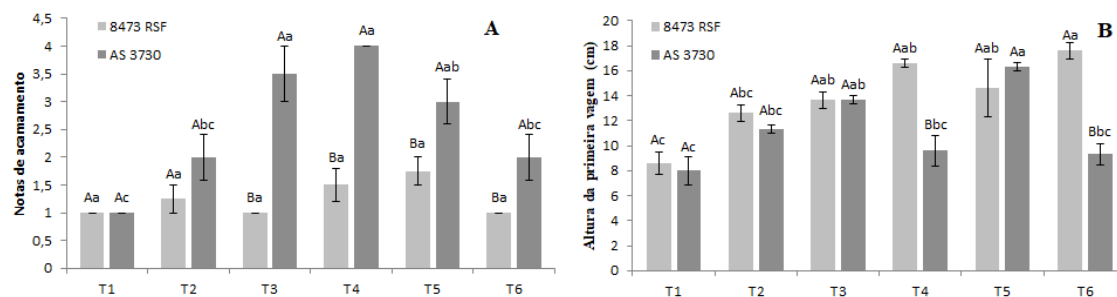


Figura 6 – Notas de acamamento (A) e altura da primeira vagem (B). T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tanto o número de vagens por planta (VP) quanto número médio de grãos por vagem, demonstraram interação quanto ao genótipo e arranjo espacial, conforme a figura 7.

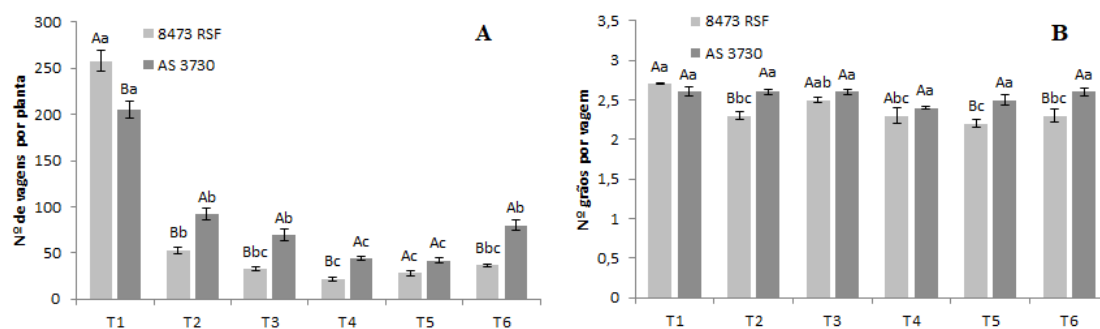


Figura 7 – Número de vagens por planta (A) e número de grãos por vagem (B) - fase R9. T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Foi observado na avaliação de grãos por vagem, que estas possuíam, um, dois, três ou quatro grãos, conforme resultados mostrados na figura 8.

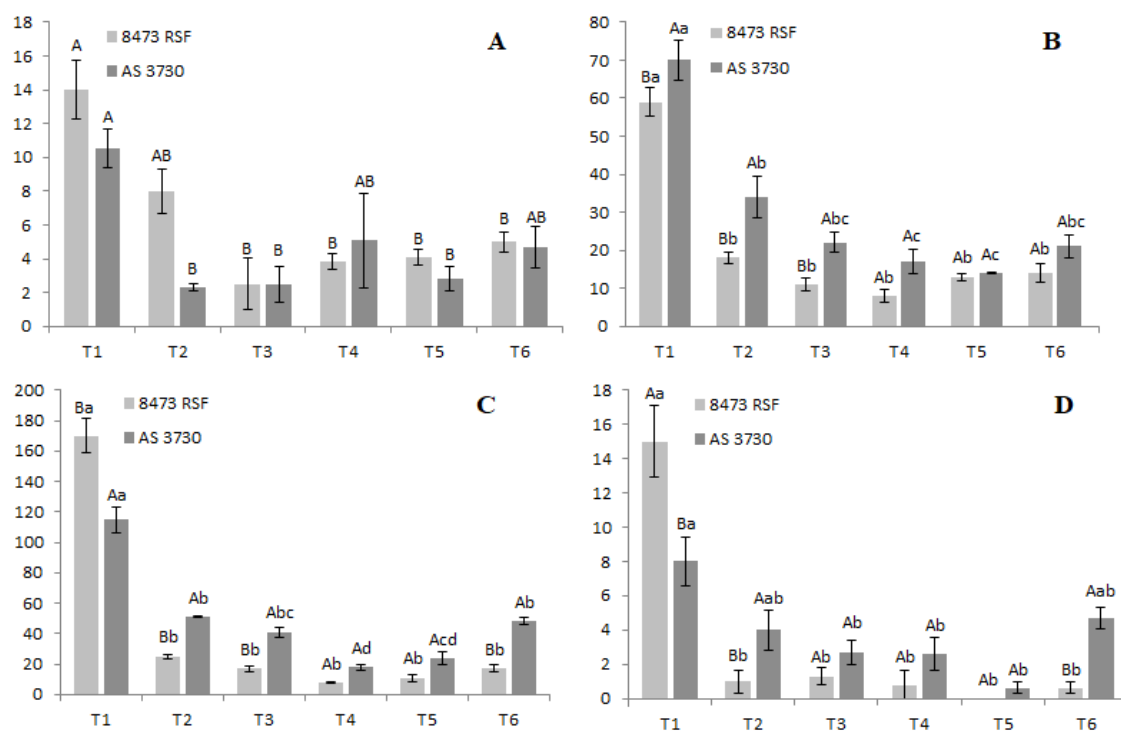


Figura 8 – Vagens por planta com um grão (A); vagens por planta com dois grãos (B); vagens por planta com 3 grãos (C) e vagens por planta com 4 grãos (D).

(A): Médias seguidas pela mesma letra, entre arranjos espaciais e dentro do mesmo cultivar não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. (B), (C), (D): letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730)

A partir dos dados acima apresentados, tornou-se possível o cálculo do total de grãos por planta em cada tratamento. Estes dados são apresentados a seguir, na figura 9:

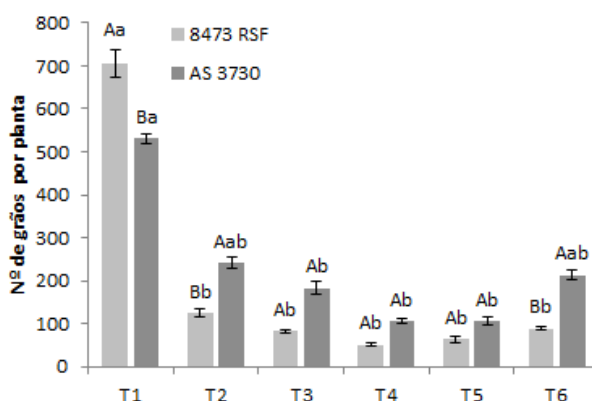


Figura 9 – Número de grãos por planta- fase R9. T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os valores obtidos para o peso de mil sementes (PMS), são representados por gráficos do tipo box-plot, por meio da figura 10.

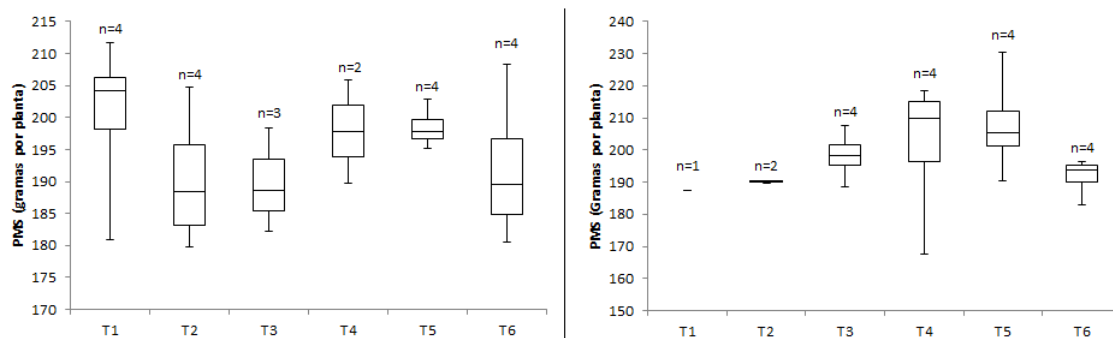


Figura 10 – Peso de mil sementes (PMS - 14% de umidade) para os genótipos 8473 RSF (A) e AS 3730 (B). T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730).

O último resultado apresentado revela as medidas de tendência central e dispersão, por meio de box-plot, para produtividade por planta (PP), conforme a figura 11:

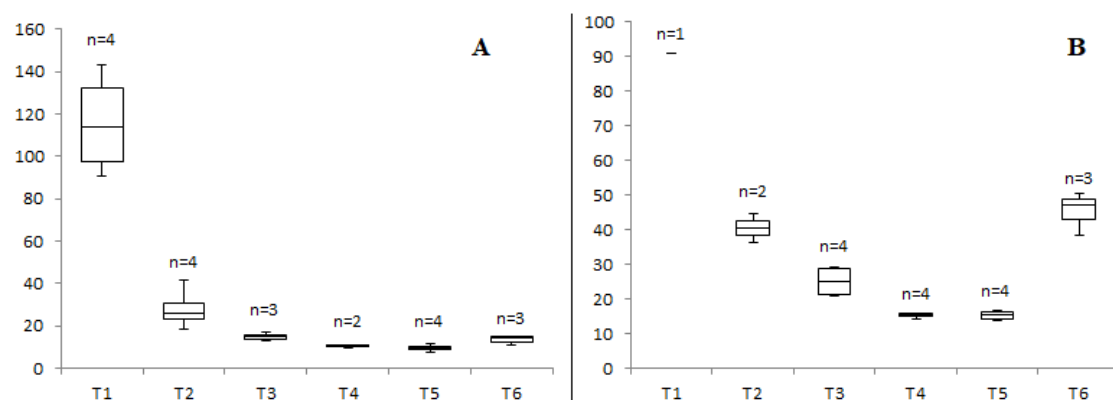


Figura 11 – Produtividade estimada por planta (gramas) para os genótipos 8473 RSF (A) e AS 3730 (B). T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730).

5.2 – Discussão

À medida que se aumenta a densidade populacional da cultura, o espaço ocupado por cada planta na área é diminuído. Com isso, é esperado que, aumentando-se a população de plantas, até um determinado nível, o índice de área foliar (IAF) aumente proporcionalmente. Este fato foi observado claramente para a cultivar AS 3730, que demonstrou portanto, maior plasticidade e maiores médias de IAF, enquanto o genótipo 8473 RSF, não apresentou incremento neste índice, na faixa populacional de 240 a 840 mil plantas ha^{-1} .

De acordo com Parciannelo et al. (2004), a fase de enchimento de grãos (R5), compreende aquela onde a perda de área foliar acarreta maiores prejuízos a produtividade da soja, além de ser a que proporciona valores máximos de IAF (Heiffig

et al. 2006). Dessa forma, verifica-se a importância de se obter, neste estágio fenológico, níveis de IAF superiores ao crítico, que está situado entre 3,5 a 4 (Holshouser & Whittaker, 2002). Verifica-se então que, com exceção do arranjo espacial de 50 cm entre plantas (40 mil plantas ha^{-1}), todos os demais tratamentos proporcionaram IAF acima do nível crítico, independente do genótipo. Contudo, não foram observadas diferenças nos valores de IAF, quando se compara os arranjos espaciais entre linhas e equidistante, sendo a população de plantas fator mais determinante ao índice do que a forma de distribuição de plantas.

Daughtry et al. (1992) observou uma forte correlação entre NDVI e absorção de radiação fotossinteticamente ativa nas culturas de milho e soja, por isso a avaliação desta variável foi considerada importante, uma vez que seus resultados podem fornecer uma ideia aproximada da eficiência no uso da radiação luminosa entre os tratamentos utilizados. Ainda, segundo Almeida et al. (2005), o NDVI que representa o volume de biomassa fotossinteticamente ativa, apresenta forte correlação também com IAF. Este fato foi observado para o genótipo 8473 RSF, uma vez que houve diferença significativa para NDVI, apenas no tratamento que proporcionou menor população de plantas, enquanto que para os demais tratamentos, assim como ocorreu com IAF, não foram observadas quaisquer diferenças. No entanto, para o genótipo AS 3730, cujo IAF se correlacionou com densidade populacional, o aumento de população de plantas não foi acompanhado do aumento no NDVI. A explicação para esta ocorrência, pode se dar pelo fato de que se observa uma saturação do NDVI em situações onde o IAF é elevado (Jensen, 2009), devido a absorbância da radiação no espectro do vermelho, alcançar seu nível máximo. Ainda segundo Almeida (2008), esta saturação pode ser observada com IAF a partir de 4, que foi exatamente a situação observada para este genótipo, a partir da população de 240 mil plantas ha^{-1} .

Com relação à altura de plantas, observou-se que o genótipo AS 3730 apresentou as maiores médias, especialmente, em populações mais elevadas. Segundo Knebel et al. (2006), existe correlação entre altura de plantas e acamamento. Este fato pode ter sido o responsável pelos maiores níveis de acamamento verificados neste genótipo, uma vez que, para o 8473 RSF, não foram observadas diferenças significativas quanto ao acamamento, independente do tratamento empregado. Contudo, não foram observadas diferenças significativas tanto para altura de plantas, quanto para acamamento, entre os arranjos espaciais por linha ou equidistantes, sendo que, mais uma vez, o nível populacional se sobressaiu em relação a distribuição de plantas.

Apesar dos tratamentos não contemplarem populações de plantas mais elevadas no espaçamento de 50 cm entre linhas, acredita-se que maiores densidades populacionais neste tipo de arranjo proporcionariam taxas de acamamento mais elevadas que as observadas com arranjo equidistante, uma vez que, para o genótipo AS 3730, que foi mais sensível ao acamamento, a população mais elevada (840 mil plantas ha^{-1}) não apresentou diferenças significativas de populações menores, como 640 e 440 mil plantas ha^{-1} .

De acordo com Bonetti & Verneti (1983), plantas de soja que apresentem altura da primeira vagem acima de 10 cm, proporcionam melhor desempenho da colheita mecânica. Dessa forma, o arranjo espacial equidistante a 20 cm entre plantas (40 mil plantas ha^{-1}), proporcionou valores médios desta variável abaixo deste, considerado como crítico, em ambos os genótipos.

Um dos principais componentes de produção na cultura da soja, é o número de vagens por planta (Pires et al., 1998). Os resultados observados neste trabalho, revelam diminuição no número de vagens por planta, à medida em que se eleva a população, situação semelhante a obtida por Ludwig et al. (2011). Contudo, foi verificado que, a partir da população de 440 mil plantas ha^{-1} , a redução de vagens se estabiliza, demonstrando um potencial de ganhos em produtividade em situações onde a densidade de plantas possa ser mais elevada.

Considerando uma mesma população, o arranjo espacial não revelou diferença significativa em comparação ao plantio por linhas. Porém, foi observado que, dentro do arranjo espacial equidistante, a medida em que se elevou a população das plantas, o número de vagens por planta foi reduzido. Este resultado se dá, pelo fato de que o número de vagens é determinado primariamente pelo número de ramificações, uma vez que este será o responsável pelo número de nós e, consequentemente de flores (Jiang & Egli, 1993). Dessa forma, por reduzir a incidência luminosa em cada planta, o aumento populacional é responsável pela redução no número de ramificações (Maruad & Silva; 2011), resultando na diminuição de vagens por planta.

Outro importante fator que compõe a produtividade final da cultura é o número de grãos por vagem (NGV). O genótipo AS 3730 não apresentou diferença quanto a esta variável, independentemente do tratamento, além do que, obteve médias maiores, de uma maneira geral, quando comparada ao genótipo 8473 RSF (figura 7). Verifica-se na literatura, que existe baixa resposta do NGV à variação na população de plantas (Kuss et al. 2008; Procopio et al. 2014). Os resultados obtidos neste experimento permitem concluir que o número de grãos por vagem pode ter maior dependência do fator

genético, que da densidade populacional, ou do arranjo de plantas, uma vez que apenas o genótipo 8473 RSF sofreu diferença significativa entre os tratamentos, apresentando valores seus valores mínimos, quando a população foi a máxima.

Sobre o NGV, foi observado que, entre as vagens de 1, 2, 3 e 4 grãos, a maior relevância é para o número de vagens com 2 e 3 grãos, por estas se apresentarem em quantidade substancialmente maior, em todos os tratamentos. Assim, o comportamento das plantas quanto ao número de vagens com 2 ou 3 grãos foi bastante similar, sendo que seu número foi reduzido a medida que a população de plantas foi elevada. Foi observado ainda que o genótipo AS 3730 apresentou maior número de vagens de 2 e 3 grãos, em comparação ao genótipo 8473 RSF de maneira geral, que provavelmente ocorreu devido ao maior IAF apresentado, permitindo que a produção de fotoassimilados fosse maior durante o período reprodutivo da cultura, e consequentemente, que a retenção de vagens fosse maior.

O peso de mil sementes (PMS) e produtividade por planta (PP), são apresentados na forma de box-plot, não sendo submetidos a testes estatísticos paramétricos. Este fato se deu, devido a problemas ocorridos durante a trilha dos grãos, de modo que, por diferentes motivos, esses dados referentes a algumas parcelas não puderam ser coletados, fazendo-se insuficientes para análise estatística.

Markos (2011) obteve correlação positiva entre produtividade e peso de 100 sementes em diferentes arranjos espaciais de soja de forma similar ao observado por Luca (2014) que verificou correlação positiva entre peso de 100 grãos e número de vagens. Este fato não foi constatado no presente estudo, uma vez que o PMS não apresentou relação com a densidade de semeadura, e a produtividade por planta (PP) seguiu, para ambos os genótipos, comportamento inverso à população de plantas, sendo que densidades menores proporcionaram produtividades por planta maiores e as menores produtividades por planta, foram obtidas nos tratamentos onde as populações eram as maiores.

Com relação à produtividade estimada, em relação ao arranjo espacial, os resultados encontrados na literatura são contrastantes entre si. Egli (1994), Board et al. (1992), Porter et al (1997) obtiveram melhores produtividades em arranjos espaciais mais próximos ao equidistante, enquanto Blamey and Zollinger (1997), Westgate et al. (1997), Procópio (2014), não tiveram resposta ou ainda, tiveram redução de produtividade quando o arranjo espacial mais equidistante foi considerado. Contudo, é importante se observar que, em alguns casos, fatores ambientais ou de manejo podem ter sido limitantes para a expressão máxima do potencial de cada modelo de cultivo.

De Bruin & Pedersen (2008), ao observarem que espaçamentos mais estreitos aliados a populações mais elevadas, poderiam proporcionar melhores resultados em produtividade da soja cultivada na Etiópia, comentam que os trabalhos onde os resultados são divergentes, a ausência de déficit hídrico observada em muitos destes trabalhos, possa ter permitido que as plantas, em qualquer modelo de distribuição, alcançassem um alto potencial produtivo de maneira igualitária. Assim, por proporcionar menor competição intra-específica, os arranjos mais equidistantes proporcionaram uma maior eficiência também na absorção de água e nutrientes e tendem a se destacarem em ambientes onde a limitação desses fatores possa ocorrer.

Uma vez que o ambiente de alta tecnologia, proposto neste trabalho, contava com sistema de irrigação e alta disponibilidade de nutrientes, a condição favorável ao desenvolvimento das plantas pode ser considerado para justificar um dos resultados observados neste trabalho, uma vez que o arranjo espacial equidistante, não proporcionou maior rendimento de grãos por planta, quando comparado ao espaçamento entre fileiras de 50 cm (considerando a mesma população em ambos os arranjos), para ambos os genótipos estudados.

Contudo, quando se aumenta a densidade populacional da soja, observa-se uma tendência de estabilização da produtividade por planta, já que esta se mantém, quando a população de plantas se elevou de 640 mil plantas ha⁻¹ para 840 mil plantas ha⁻¹. Assim sendo, nestes níveis mais elevados de população, espera-se que o incremento de produtividade por área possa ser expressivo, contudo devendo-se sempre considerar o favorecimento ao acamamento das plantas.

6. Conclusões

Nas populações tradicionalmente recomendadas para os genótipos AS 3730 (240 mil plantas ha⁻¹) e 8473 RSF (440 mil plantas ha⁻¹), o arranjo espacial equidistante não proporcionou melhores condições de desenvolvimento à cultura da soja comparação ao plantio por linhas de 50 cm.

Sob altas populações, o arranjo espacial equidistante se mostra como uma alternativa de alto potencial para a cultura da soja, uma vez que a redução no rendimento de grãos por planta, individualmente, foi compensada pela elevação exponencial da população de plantas por área.

O arranjo espacial equidistante pode se mostrar ainda mais viável em situações de baixo nível tecnológico, onde são observadas maiores limitações de água, nutrientes e luz.

7. Referências

Almeida, T. S. de. Respostas espectrais da soja sob diferentes condições hídricas e de preparo do solo. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Almeida, T. S.; Fontana, D. C.; Martorano, L. G. & Bergamaschi, H. (2005) Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. In: 8º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. Anais, INPE. p.17-24.

BALBINOT JR, A. A. (2011). Acamamento de plantas na cultura da soja. *Agropecuária Catarinense*, 25(1), 40-43.

Bernard, R.L.; Chamberlain, D.W. & Lawrence, R.D. (1965). Results of the cooperative uniform soybean tests. Washington, USDA, 134p

Board, J. E., Kamal, M., & Harville, B. G. (1992). Temporal importance of greater light interception to increased yield in narrow-row soybean. *Agronomy Journal*, 84(4), 575-579.

Bonetti, L. P. (1983). Cultivares e seu melhoramento genético. *VERNETTI, FJ Soja-genética e melhoramento. Campinas: Fundação Cargill*, 741-800.

Blamey, F. P. C., Zollinger, R. K., & Schneiter, A. A. (1997). Sunflower production and culture. *Sunflower technology and production*. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p.595-696. (Agronomy 35).

Bowes, G., & Ogren, W. L. (1972). Oxygen inhibition and other properties of soybean ribulose 1, 5-diphosphate carboxylase. *Journal of Biological Chemistry*, 247(7), 2171-2176.

Cooperative Extension Service Ames (1994). How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 20 p.

De Bruin, J. L., & Pedersen, P. (2008). Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy journal*, 100(3), 704-710.

Egli, D. B. (1994). Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. *Agronomy journal*, 86(6), 1046-1049.

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042.

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*, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

Holshouser, D. L., & Whittaker, J. P. (2002). Plant population and row-spacing effects on early soybean production systems in the Mid-Atlantic USA. *Agronomy Journal*, 94(3), 603-611.

Jensen, J. R. (2009). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais. São José dos Campos, SP: Parêntese, 800 p.

Jiang, H., & Egli, D. B. (1993). Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. *Agronomy Journal*, 85(2), 221-225.

Knebel J.L., Guimaraes V.F., Andreotti M, Stangarlin JR (2006) Influência do espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres agrônômicos em soja. *Acta Scientiarum. Agronomy* 28(3):385-392.

Kuss, R. C. R., König, O., Dutra, L. M. C., Bellé, R. A., Roggia, S. & Sturmer, G. R. (2008). Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. *Ciência Rural*, Santa Maria, 38, 1133-1137.

Luca, M. J. D., & Hungria, M. (2014). Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Scientia Agricola*, 71(3), 181-187.

Ludwig, M.P., Dutra, L.M.C., Lucca Filho, O.A., Zobot, L., Jauer, A. and Uhry, D. (2011) Populações de plantas na cultura da soja em cultivares convencionais e Roundup Ready™. *Revista Ceres*, 58, 305-313.

Mauad, M., Silva, T. L. B., Neto, A. I. A., & Abreu, V. G. (2011). Influência da densidade de semeadura sobre características agrônômicas na cultura da soja. *Agrarian*, 3(9), 175-181.

Parcianello, G., Costa, J. A., Pires, J. L. F., Rambo, L., & Saggin, K. D. (2004). Tolerância da soja ao desfolhamento afetada pela redução do espaçamento entre fileiras. *Ciência rural*. 34, n. 2 (mar./abr. 2004), 357-364.

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

Porter, P. M., Hicks, D. R., Lueschen, W. E., Ford, J. H., Warnes, D. D., & Hoverstad, T. R. (1997). Corn response to row width and plant population in the northern corn belt. *Journal of Production Agriculture*, 10(2), 293-300.

de Oliveira Procópio, S., Junior, A. A. B., Debiasi, H., Franchini, J. C., & Panison, F. (2014). Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. *Revista Agro@mbiente On-line*, 8(2), 212-221.

Rahman, M., Hossain, M., & Bell, R. W. (2011). Plant density effects on growth, yield and yield components of two soybean varieties under equidistant planting arrangement. *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(5), 278-286.

- Sedyama, T. (2016) - *Produtividade da soja*. Ed. 1, Mecenias, Londrina. 310 p.
- Sfredo, G. J. (2008). *Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral*. Londrina: Embrapa Soja. 147 p.
- Shibles, R. M., & Weber, C. R. (1966). Interception of Solar Radiation and Dry Matter Production by Various Soybean Planting Patterns 1. *Crop science*, 6(1), 55-59.
- Sousa, D. M. G. de, & Lobato, E. (2004). Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado: *Fosforo na Agricultura Brasileira*, Yamada, T. and SRS Abdalla (Eds.), 157-196.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004). *Fisiologia Vegetal*, 3 ed. Artmed: Porto Alegre. 719pp.
- Wells, R. (1991). Soybean growth response to plant density: Relationships among canopy photosynthesis, leaf area, and light interception. *Crop Science*, 31(3), 755-761.
- Westgate, M. E., Forcella, F., Reicosky, D. C., & Somsen, J. (1997). Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research*, 49(2-3), 249-258.

CAPÍTULO II

RESPOSTAS DA SOJA SOB ARRANJO EQUIDISTANTE EM NÍVEL MÉDIO DE TECNOLOGIA: PADRÃO DE CULTIVO NO CERRADO

1. Resumo

A soja é uma cultura que, por ser cultivada em uma grande amplitude geográfica, possui uma enorme plasticidade fenotípica. Apesar da acentuada variação nas características apresentadas pelos genótipos desta espécie, a forma com que estas são cultivadas em áreas de produção agrícola, com relação a forma de distribuição espacial de plantas, é praticamente uma só: fileiras simples espaçadas entre 45 a 50 cm. O arranjo de plantas equidistante possibilita uma ocupação mais racional do espaço de solo a ser ocupado pela cultura, favorecendo assim o aproveitamento de água, luz e nutrientes. Em sistemas de sequeiro, onde é comum que as plantas sofram de estresse hídrico, ainda que moderado, em pelo menos parte de seu ciclo de desenvolvimento, é possível que a menor competição intraespecífica proporcionada pelo arranjo equidistante, proporcione resultados altamente positivos. Este trabalho tem por objetivo, avaliar se o arranjo espacial equidistante, oferece melhores condições de desenvolvimento a dois genótipos de soja com características morfológicas distintas, quando cultivados sob nível médio de tecnologia, conforme padrão de manejo, comumente encontrado no bioma dos Cerrados, bem como o nível de interferência de uma planta sobre outra, dada uma determinada distância entre elas. Para isso, foi instalado um experimento no município de Patos de Minas - MG, em blocos ao acaso com esquema fatorial 2x6, contando com 2 genótipos de soja e 6 arranjos espaciais. Considerando uma densidade populacional de referência, utilizada no arranjo espacial convencional (50 cm), o arranjo espacial equidistante não confere melhores condições de desenvolvimento à cultura da soja. Contudo, o arranjo espacial equidistante apresentou potencial de utilização, uma vez que altos níveis populacionais puderam ser obtidos, com este modelo de distribuição de plantas, sem com que houvesse acamamento da cultura.

Palavras-chave: Plantio equidistante, soja, densidade populacional, acamamento.

SOYBEAN RESPONSES UNDER EQUIDISTANT ARRANGEMENT AT MEDIUM TECHNOLOGY LEVEL: BRAZILIAN CERRADO STANDARD TILLAGE

2. Abstract

Soybeans has a huge phenotypic plant plasticity because it is cultivated in a large geographic range. In spite of the marked variation in the characteristics presented by the genotypes of this species, the way they are cultivated in agricultural production areas, in relation to the form of spatial distribution of plants, is practically only one: simple rows spaced between 45 and 50 cm. The equidistant arrangement of plants allows a more rational occupation of the soil space to be occupied by the crop, thus favoring the use of water, light and nutrients. In non-irrigated systems, where it is common for plants to suffer from water stress, even if moderate, in at least part of their development cycle, it is possible that the less intraspecific competition provided by the equidistant arrangement yields highly positive results. This research aims to evaluate if the equidistant spatial arrangement offers better development conditions to two soybean genotypes with different morphological characteristics when cultivated under medium technology level, according to the management standard commonly found in the Cerrados biome, as well as the level of interference from one plant to another given a certain distance between them. For this, an experiment was installed in Patos de Minas - MG in randomized blocks with 2x6 factorial scheme, counting on 2 soybeans genotypes and 6 spatial arrangements. Considering a reference seeding rates, used in the conventional spatial arrangement (50 cm), the equidistant spatial arrangement does not confer better development conditions to the soybean crop. However, the equidistant spatial arrangement showed a potential for utilization, since high population levels could be obtained with this model of plant distribution, without the lodging of the crop.

Keywords: equidistant arrangement, soybeans, seeding rates, crops lodging.

3. Introdução

A soja (*Glycine max* L. Merrill) tem como característica marcante, sua alta plasticidade (Komatsu et al. 2010), Essa capacidade de se adequar morfológicamente ao ambiente em que foi submetida, faz com que esta cultura seja capaz de compensar os componentes de rendimento na planta, individualmente, fazendo com que reduções em seu nível populacional, em muitos casos, não gerem diferenças na produção por área (Büchling et al. 2017).

Dessa forma, mudanças no arranjo espacial tradicionalmente utilizado pela cultura, que segundo Sedyama (2016) é de 45 a 50 cm, combinados ou não com níveis populacionais, vêm sendo estudados, no intuito de se otimizar a distribuição de plantas no espaço e incrementar o rendimento da soja. Zhou & Chen (2011), ao testarem 5 diferentes espaçamento entre linhas (18, 27, 36, 45 e 54 cm) numa mesma população (309 mil plantas ha⁻¹), concluíram que menores distâncias entre linhas, por proporcionarem melhor homogeneidade de distância entre as plantas, proporcionaram maior eficiência de uso da radiação (EUR), índice de área foliar (IAF), matéria seca (MS) e produtividade de grãos. Rassol et al. (2017) ao submeteram a cultura, durante dois anos consecutivos, a dois níveis de população (40 e 80 kg de sementes por hectare⁻¹) e dois espaçamentos (25 e 75 cm entre linhas), constataram que a população de plantas, considerando um mesmo espaçamento, não afetou a produtividade da soja, enquanto a distância entre linhas, independente da população, foi favorecida no espaçamento mais curto.

Lima et al. (2012), verificou que a semeadura cruzada de soja, que consiste num plantio duplo, realizado em duas direções perpendiculares, apresenta produtividade significativamente superior ao plantio por linhas, com aumento de 287 kg ha⁻¹ de grãos. Já Procópio et al. (2013) não obtiveram diferenças na produtividade entre soja cultivada em fileira simples ou por plantio cruzado.

Considerando os arranjos espaciais mencionados, verifica-se que, o espaçamento reduzido de linhas, proporciona melhor relação entre a distância de plantas na fileira e na linha, contudo, dependendo da população de plantas utilizada, esta relação ainda pode ser insatisfatória. Já o plantio cruzado, apresenta como limitação, uma elevada variabilidade espacial da população, uma vez que em pontos de cruzamento das linhas, o número de plantas observados é igual ao dobro de plantas nos pontos centrais das linhas. Dessa forma, acredita-se que o arranjo espacial equidistante (AEE), que consiste numa distância fixa entre linhas e plantas, possa otimizar o uso de recursos disponíveis,

entre eles a luz, o CO₂, a água e os nutrientes, além de caracterizar menor competição intra-específica (Shibles & Weber, 1966).

Apesar de um grande número de trabalhos que verificam os efeitos dos arranjos espaciais na soja (plantio cruzado, fileira dupla, fileiras simples com espaçamento reduzido), poucos são os trabalhos que consideram o arranjo espacial equidistante, propriamente dito. Zhou et al. (2010) ao observarem uma única população de soja (309 mil plantas/ha⁻¹) em diferentes arranjos espaciais, dentre eles o equidistante (18 x 18 cm), verificaram que a eficiência de uso da água no solo, e produtividade de grãos foram maiores no arranjo equidistante, em comparação aos espaçamentos com linhas mais espaçadas. Egli (1994) verificou que, o arranjo espacial equidistante, ao nível populacional de 270 mil plantas ha⁻¹, a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa foi 14% superior e a produtividade foi estatisticamente maior, quando comparado ao espaçamento considerado padrão, de 76 cm entre linhas.

Por representar um modelo de distribuição bastante distinto do sistema de plantio por linhas, o arranjo espacial equidistante, pode apresentar como característica, a necessidade de uma densidade populacional proporcionalmente diferente, para que a soja atinja seu máximo potencial produtivo. Nesse sentido, são poucos os trabalhos que consideram populações, no arranjo espacial equidistante, que não estejam entre 200 e 500 mil plantas por hectare⁻¹. Rahman & Rossain (2011) ao compararem 6 diferentes níveis populacionais em arranjo equidistante (20, 40, 60, 80, 100 e 120 plantas m²), constataram que populações elevadas (80 e 100 plantas m²) foram as que proporcionaram os melhores resultados, quanto ao rendimento da cultura.

Outra característica que pode ser determinante para o sucesso da utilização do arranjo espacial equidistante refere-se a disponibilidade de água (De Bruin & Pedersen, 2008), uma vez que uma importante fundamentação deste modelo de distribuição de plantas é a maior eficiência no uso de água e, portanto, sua disponibilidade.

Com o objetivo de se confrontar o arranjo tradicional de cultivo (fileiras simples com 50 cm de espaçamento) com arranjo espacial equidistante, foi instalado um experimento no município de Patos de Minas, MG, no ano agrícola de 2017/2018, envolvendo 2 cultivares com características morfológicas contrastantes, cultivados em condições de sequeiro e nível médio de tecnologia, a fim de se simular um ambiente semelhante ao que reflete a realidade das áreas de produção de soja situadas no Cerrado brasileiro.

4. Material e Métodos

4.1 - Caracterização

O experimento foi realizado na fazenda Alto Paraíso, no município de Patos de Minas, MG, situado na latitude -18.757325° e longitude -46.539902° e altitude de 850 m. O clima da região é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen-Geiger, apresentando como característica 2 estações (seca e chuvosa) bem definidas.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, textura argilosa, apresentando atributos de fertilidade na camada de 0-20 cm nos seguintes níveis:

Tabela 1 – Análise de atributos químicos do solo anterior ao plantio.

Atributo	Valor	Unidade	Extrator/ Método
pH	5,7	-	H ₂ O
Matéria orgânica	2,1	dag kg ⁻¹	K ₂ Cr ₂ O ₇ /Walkley-Black
P - remanescente	14,2	mg L ⁻¹	-
Fósforo	2,9	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Potássio	74	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Cálcio	3,4	cmol _c dm ⁻³	KCl
Magnésio	1,1	cmol _c dm ⁻³	KCl
Enxofre	18	mg dm ⁻³	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O em HAc
CTC potencial (T)	8,4	cmol _c dm ⁻³	-
Boro	0,35	mg dm ⁻³	Água quente
Cobre	2,2	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Ferro	72,00	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Manganês	47,0	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Zinco	1,2	mg dm ⁻³	Mehlich-1
Acidez trocável	0,1	cmol _c dm ⁻³	KCl 1 mol L ⁻¹
Acidez potencial	3,6	cmol _c dm ⁻³	Acetato de cálcio 0,5 mol L ⁻¹ (pH 7,0)

Utilizou-se delineamento experimental de blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial duplo, sendo estes: genótipos (2) e arranjos espaciais (6), perfazendo um esquema fatorial 2 x 6.

4.2 - Tratamentos

As cultivares utilizadas neste experimento foram: Brasmax 8473 RSF – “Desafio RR” e Agroeste – “AS 3730 IPRO”. Ambas apresentam ciclo muito semelhante e hábito de crescimento indeterminado, porém, possuem diferenças quanto ao porte, potencial de ramificação lateral, resistência ao acamamento e população ótima recomendada quando submetidas ao espaçamento convencional (50 cm entre linhas).

Os tratamentos foram estabelecidos de forma que, cada uma das cultivares, fossem submetidas a 6 tratamentos, sendo estes constituídos de 5 níveis de população de

plantas, distribuídos em 2 tipos de arranjo espaciais: equidistante e fileira simples (50 cm).

Dessa forma, cinco espaçamentos foram utilizados dentro do arranjo equidistantes (AE). Sendo eles: T1 – 50 cm entre linhas e 50 cm entre plantas, perfazendo uma população de 40.000 plantas ha⁻¹, T2 – 20 x 20 cm e 240.000 plantas ha⁻¹, T3 – 15 x 15 cm e 440.000 plantas ha⁻¹, T4 – 12,5 x 12,5 cm e 640.000 plantas ha⁻¹ e, T5 – 10,9 x 10,9 cm e 840.000 plantas ha⁻¹.

Já o arranjo espacial sob fileira simples (FS), foi estabelecido de modo a representar a maneira com que cada um dos cultivares utilizados são comumente encontrados nas lavouras de produção de soja. Para tanto, o arranjo FS consistiu de 50 cm entre linhas para ambas os genótipos, porém, com diferente espaçamento entre plantas, com o intuito de manter as populações recomendadas para cada um deles na região onde se implantou o experimento.

Diante do exposto, para a cultivar “Desafio”: T6 - arranjo FS de 50 cm e 4,5 cm entre plantas, totalizando 440.000 plantas ha⁻¹ e, para “AS 3730”: FS 50 cm e 8,3 cm entre plantas, totalizando 240.000 plantas ha⁻¹

4.3 - Preparo do solo e unidades experimentais

A área experimental sofreu ação de grade intermediária e em seguida, grade niveladora, a fim de se deixar a camada superficial do solo mais descompactado e pulverizado. Em seguida, com a ajuda de um ancinho, o solo foi rastelado para que pequenos torrões de solo e resíduos vegetais ainda remanescentes fossem retirados, de modo a oferecer melhores condições para o plantio manual, e possibilitar uma melhor germinação de sementes e homogeneidade do fluxo germinativo. Como última etapa do preparo, uma régua de pedreiro foi utilizada para aplainamento e nivelamento do solo, deixando-o pronto para o plantio.

As parcelas foram delimitadas com as dimensões de 3 x 3 m, sendo considerada uma faixa de 0,5 m como área de bordadura, perfazendo uma área útil de 2 x 2 m.

4.4 - Adubação e plantio

Após o preparo do solo e antes do plantio, foi realizada adubação com cloreto de potássio (60% de K₂O), manualmente a lanço, sem incorporação, em cada parcela individualmente. O critério para definição da dose na adubação potássica, obedeceu a uma expectativa de produção teórica de 6 toneladas de grãos ha⁻¹, gerando uma demanda total de 228 Kg de K₂O ha⁻¹ (Sfredo, 2008). Assim, como os níveis

disponíveis no solo (74 mg dm^3) forneceriam, em teoria, $177 \text{ kg de K}_2\text{O}$, calculou-se a quantidade necessária para complementar essa demanda, levando-se em consideração uma eficiência de adubação de 80%, ficando assim definido a quantidade do fertilizante a ser aplicado, corresponderia a 106 kg ha^{-1} .

Para realização do plantio, que se iniciou no dia 14 e teve seu término no dia 16 de Novembro de 2018, inicialmente foram abertos os sulcos ao longo das parcelas, com ajuda de um utensílio (mini sulcador) fabricado especialmente para realização deste experimento. O mini sulcador, possui a mesma largura da parcela (3m), com ajuste da distância entre as hastes, adequando-se a distância entre sulcos em conformidade com o tratamento a ser aplicado.

Após a abertura dos sulcos, foi aplicado manualmente a lanço o fertilizante superfosfato simples (3-17-00), em cada parcela individualmente. Para definição da dose deste fertilizante, foi utilizado como critério a recomendação de Souza & Lobatto (2004), para adubação de correção fosfatada gradual em sistemas de sequeiro, cuja dose para os níveis obtidos no solo, foi de $100 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, perfazendo uma dose de $590 \text{ kg de fertilizante por ha}^{-1}$.

As sementes utilizadas foram previamente inoculadas com *Bradyrhizobium Japonicum* de modo a garantir que a fixação biológica do nitrogênio (FBN) ocorresse de maneira satisfatória, embora o solo da área experimental já estivesse povoado com microrganismos, uma vez que a soja já havia sido cultivada nesta área, sempre com re-inoculação de sementes.

Para realização do plantio, foram utilizados diferentes canos de pvc (diâmetro $\frac{3}{4}$ "), com diversos furos alinhados ao longo de sua extensão (1,5 m), variando a distância entre os furos, conforme as distâncias dos diferentes tratamentos (10,9 a 50 cm). Dessa forma, com a ajuda de um aspirador de pó, as sementes se fixavam ao longo do cano, pelos orifícios e, através do vácuo gerado, estas eram depositadas ao longo dos sulcos e em seguidas eram cobertas com solo.

4.5 - Irrigação

A área onde se instalou este experimento contava com irrigação do tipo aspersão por pivô central. A frequência de irrigação bem como as lâminas ao longo do ciclo da cultura foram determinados por meio de uma mini estação meteorológica instalada dentro da fazenda, que fornecia dados a um programa computacional que gerava estas recomendações.

4.6 - Controle fitossanitário

Todas as unidades experimentais sofreram as medidas de controle fitossanitário de maneira igualitária, sendo que os tratamentos considerados como padrão (fileiras simples espaçadas a 50 cm) foram considerados como referência para decisão da estratégia de manejo, bem como a dose dos produtos e momento de aplicação. Assim, verifica-se que os tratamentos que consistiram de arranjo espacial equidistante, não foram beneficiados com manejo que atendessem às especificidades de suas características.

Foram definidos alguns critérios para se manter a proposta de ambiente deste experimento, que refere-se ao nível médio de tecnologia. Entretanto, é importante levarmos em consideração que, o agricultor brasileiro tem se mostrado receptivo à tecnologia e aos bons tratos culturais, portanto, a fim de simular um ambiente que retratasse bem a realidade do manejo de soja, cultivada no Cerrado sob sequeiro, foi definido que o controle fitossanitário fosse realizado de maneira plena, a fim de que pragas, doenças e plantas invasoras fossem controladas antes que atingissem o limiar de dano econômico, de modo que a diferença entre esse modelo de ambiente, para um ambiente considerado de alta tecnologia, baseou-se na ausência de irrigação, da época de plantio menos favorável e dos níveis reduzidos de fertilidade do solo bem como das doses de fertilizantes.

Dessa forma, foi realizado controle de plantas invasoras na fase V3, com produto a base de glifosato com dose equivalente a $1,68 \text{ kg ha}^{-1}$ de ingrediente ativo em cada aplicação. Nesta mesma fase, no intuito de se controlar insetos mastigadores, foi realizada a aplicação de inseticida a base de profenofós + lufenuron na dose de 350 ml ha^{-1} de produto comercial. No período reprodutivo da cultura, foram realizadas 3 aplicações de fungicida, visando o controle da ferrugem asiática e doenças de final de ciclo. Para tanto, nos estágios R2 e R4 foi aplicada uma mistura com um fungicida a base de azoxistrobin + benzovindiflupir e mancozeb 750, nas doses de 0,2 e $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente. A última aplicação de fungicida foi realizada na fase R5, com produtos a base de azoxistrobin 500 + propiconazol + difenoconazol nas doses de $0,12 \text{ kg ha}^{-1}$ e $0,15 \text{ l ha}^{-1}$ respectivamente. Foram realizadas ainda aplicações de inseticidas visando o controle de percevejos e lagartas, com os produtos: Tiametoxan + clorantraniliprole (200 ml ha^{-1}) na fase R3 e tiametoxan + Lambda-cialotrina (350 ml ha^{-1}) na fase R5.1.

Anteriormente à colheita, observou-se entre os tratamentos uma pequena diferença na senescência das folhas e no teor de umidade dos grãos. Por isso, realizou-se no estágio R8 (tratamento padrão), a aplicação de um herbicida dessecante em pré-colheita (Paraquat – 2 l ha^{-1} de produto comercial) a fim de se obter uma condição mais

homogênea da soja no momento da trilha, que ocorreu cerca de 6 dias após esta aplicação.

4,7 - Variáveis analisadas

4.7.1 – Análises morfo-fisiológicas: biométricas e por imagens

A primeira análise a ser realizada, foi a de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), que ocorreu durante duas fases fenológicas: primeiramente em V5 e depois na fase R5. Para tanto, foram obtidas imagens aéreas por meio de sensor multiespectral, marca/modelo Parrot Sequoia, embarcada num drone modelo Phantom 3 (DJI). Segundo Ferri et al, (2004) a partir da fase V3 a cultura da soja apresenta respostas espectrais que demonstram relações com o vigor do dossel e estimativa de produtividade, embora estas relações se intensifiquem em fases fenológicas mais avançadas, conforme a fase aqui utilizada.

O NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) é obtido através da relação entre a reflectância no espectro do vermelho (VER) e infravermelho próximo (IVP), conforme a fórmula: $NDVI = (IVP - VER) / (IVP + VER)$, onde, no modelo de sensor utilizado, IVP compreende a faixa entre 730 a 740 nm, e VER de 640 a 680 nm.

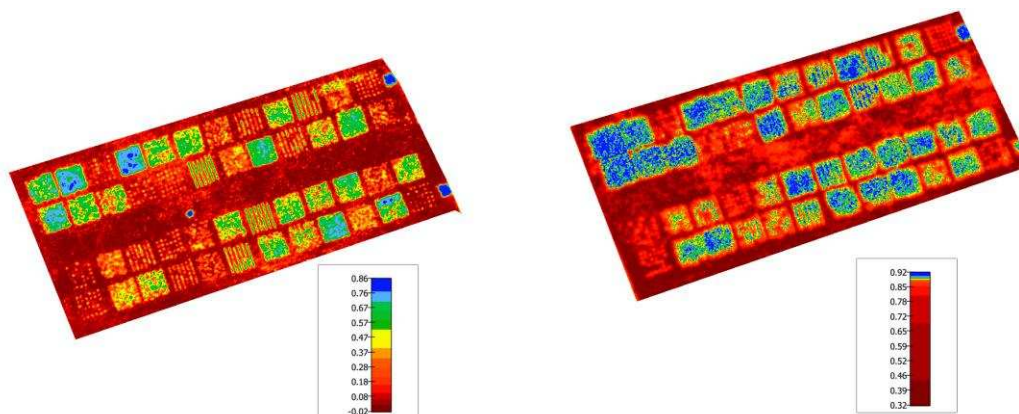


Figura 1 – NDVI (orto-mosaico) das unidades experimentais - estágios fenológicos V5 (esquerda) e R5 (direita).

Na fase R5, juntamente com a segunda análise de NDVI, foi realizada ainda avaliação de altura das plantas e medição da área foliar. Para essa última variável, foi realizada a coleta de uma planta por parcela, a qual sofreu desfolha total. Posteriormente, os folíolos foram distribuídos em uma superfície plana de cor de fundo contrastante ao verde das folhas, juntos a uma escala métrica. Em seguida, foram obtidas imagens por câmera digital RGB convencional, as quais foram submetidas ao

processamento pelo software livre ImageJ (NIH), que através do isolamento das cores dos folíolos, e ao dimensionamento dos componentes da imagem, gerou o cálculo da área foliar referente as imagens de cada parcela.

Após a obtenção dos valores de área foliar (em cm²), foram calculados os índices de área foliar (IAF), através da fórmula $IAF=AF/AS$ onde, AF corresponde a área foliar da planta e, AS à área de solo que uma planta ocupa em cada tratamento.

4.7.2 – Análises bioquímicas de pigmentos

Ainda na fase R5, foram coletadas amostras de folhas nas parcelas, para posterior análise das clorofilas A, B e total, além da análise de carotenoides. Para tanto, foi utilizada a metodologia de extração com uso de solvente (80% acetona), modificado de acordo com (Macedo *et al*, 2013), sem o processo de maceração dos tecidos vegetais.

A leitura foi feita em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 645, 652 e 663 nm para as clorofilas a, b e total (Witham *et al.*, 1971), e de 470 nm para os carotenóides (Lichtenthaler & Wellburn, 1983). As leituras foram aplicadas nas seguintes fórmulas:

$$\begin{aligned}\text{Clorofila a} &= [(12,7 * A_{663} - 2,69 * A_{645}) * \frac{V}{1000 * W}] \\ \text{Clorofila b} &= [(22,9 * A_{645} - 4,68 * A_{663}) * \frac{V}{1000 * W}] \\ \text{Clorofila total} &= [(20,2 * A_{645} + 8,02 * A_{663}) * \frac{V}{1000 * W}] \\ \text{Carotenóides} &= \frac{[(1000 * A_{470} - 3,27 * Cl\ a - 104 * Cl\ b)/229]}{1000 * W}\end{aligned}$$

Os resultados foram expressos em miligrama do pigmento por grama de peso fresco de tecido foliar (mg g⁻¹).

4.7.3 – Análises de rendimento

Na ocasião da colheita (estágio fenológico R9), foram avaliadas as notas de acamamento (de 1 a 5) para os tratamentos, segundo a escala de Bernard *et al* (1965), onde 1 - todas as plantas eretas, 2 - algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas, 3 - todas as plantas moderadamente inclinadas ou 25 a 50% das plantas acamadas, 4 - todas as plantas consideravelmente inclinadas ou 50 a 80% das plantas acamadas, e 5 - todas as plantas acamadas.

Ainda nesta fase, avaliou-se também: Altura de inserção da primeira vagem (em relação ao solo), quantidade de vagens com 1, 2, 3 e 4 grãos, número total de vagens por

planta, quantidade de grãos por planta (através da somatória do total de vagens com o número de grãos conhecido) e quantidade de grãos por vagem (através da razão entre o total de grãos por planta e o total de vagens).

Para obtenção da produtividade por plantas, coletou-se o maior número de plantas possível, dentro da área útil de cada parcela, unindo-as em feixes e posteriormente, submetendo-os a trilhadeira estacionária mecânica, onde ocorreu a separação e coleta dos grãos, que foram ainda peneirados, a fim de se minimizar a quantidade de resíduos presentes. Em seguida, a massa de grãos foi pesada individualmente e teve seu percentual de umidade analisado, por meio do medidor de umidade de grãos portátil modelo AL-102 (Agrologic). Dessa forma, procedeu-se com os cálculos para desconto de umidade para obtenção de peso seco padronizado a 14% de umidade, conforme a equação:

$$PD = 100 \times \frac{Ui - Uf}{100 - Uf}$$

Onde, PD = percentual de peso a descontar, Ui = umidade inicial, Uf = umidade final (padronizada em 14%).

Em seguida, através da contagem dos grãos e pesagem (por meio de uma balança digital com escala de um decagrama) realizou-se os cálculos de peso de mil sementes (PMS).

4.8 - Análises estatísticas

Todas as variáveis mencionadas tiveram suas médias submetidas a análise de variância (ANOVA) para experimentos sob esquema em fatorial, com posterior teste de comparações de médias, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, com auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

5. Resultados e Discussão

5.1 Resultados

As tabelas 2 e 3 resumem os resultados de média, coeficiente de variação, quadrados médios bem como interação entre os fatores, para as variáveis: índice de área foliar (IAF), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) – fases V5 e R5, altura de plantas (AP), notas de acamamento (ACAM), altura da primeira vagem (APV), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV),

produtividade por planta (PP), peso de mil sementes (PMs), clorofila a (CLOR_A), clorofila b (CLOR_B), clorofila total (CLOR_T) e carotenoides (CAROT).

Tabela 2. Análise de variância: índice de área foliar (IAF), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) – fases V5 e R5, altura de plantas (AP), notas de acamamento (ACAM), altura da primeira vagem (APV), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), produtividade por planta (PP) e peso de mil sementes.

GL	Quadrados médios										
	IAF	NDVI (V5)	NDVI (R5)	AP	ACAM	APV	VP	NGP	NGV	PP	PMS
G	1	97,79 *	0,130 *	0,000	0,01	0,33 *	0	5874 *	38788 *	0,054 *	1814 *
AE	5	75,95 *	0,270 *	0,014 *	0,05 *	0,08	137 *	22924 *	148458 *	0,025 *	5058 *
G x AE	5	14,89 *	0,003	0,000	0,005	0,08	7,4	427,7	2604	0,017	122,2 *
Bloco	3	7,65	0,013 *	0,000	0,022 *	0,06	2,1	136,5	717,00	0,003	20,68
Resíduo	33	2,87	0,003	0,000	0,003	0,07	3,5	222,7	1140	0,008	26,59
MÉDIA	-	5,71	0,377	0,87	0,75	1,08	10	73,15	180,53	2,44	29,72
C.V (%)	-	29,66	15,44	2,05	7,68	24,55	19	20,4	18,71	3,81	17,35

* Significativo (p valor <0,05) pelo teste F; G = Genótipo; AE= Arranjo espacial; GL = Graus de liberdade; CV = Coeficiente de variação.

Tabela 3. Análise de variância: clorofila a (CLOR_A), clorofila b (CLOR_B), clorofila total (CLOR_T) e carotenoides (CAROT).

Cultivar	GL	Quadrados médios			
		CLOR_A	CLOR_B	CLOR_T	CAROT
Genótipo (G)	1	0,8363 *	0,072 *	1,42 *	0,001 *
Arranjo Espacial (AE)	5	0,5807 *	0,069 *	1,04 *	0,0008 *
G x AE	5	0,486 *	0,064 *	0,9 *	0,0006 *
Bloco	2	0,24	0,033	0,45	0,0002
Resíduo	22	0,13	0,015	0,230	0,0001
MÉDIA	-	1,89	0,63	2,58	0,06
C.V (%)	-	19,15	19,75	19,21	19,72

* Significativo (p valor <0,05) pelo teste F, GL = Graus de liberdade, CV = Coeficiente de variação.

A figura 2, apresenta os resultados obtidos para índice de área foliar (IAF), referente a fase R5.

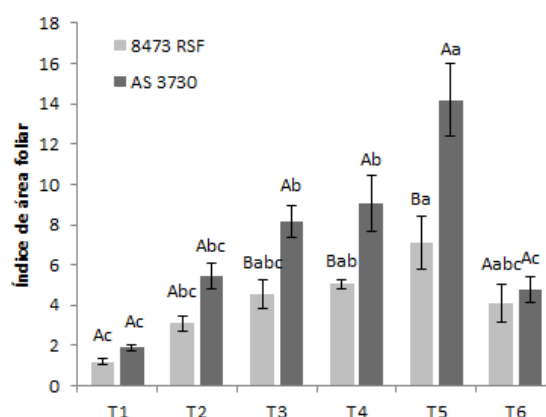


Figura 2 – Índice de área foliar - fase R5. T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Mesmas letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, mesmas letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A seguir, são apresentados os resultados para índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), nas fases V5 e R5.

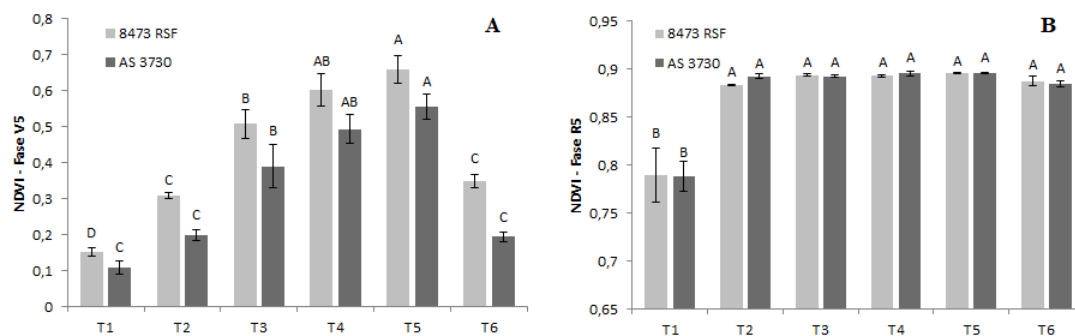


Figura 3 - NDVI – estágio fenológico V5 (A) e NDVI – estágio fenológico R5 (B). T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Médias seguidas pela mesma letra, entre arranjos espaciais e dentro do mesmo cultivar não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A tabela 4 refere-se respectivamente aos resultados de altura de plantas, notas de acamamento, altura da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta e peso de mil sementes.

Tabela 4 – médias de altura de plantas, notas de acamamento, altura da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, e peso de mil sementes:

	50 x 50	20 x 20	15 x 15	12,5 x 12,5	11 x 11	50 x 4,5 / 50 x 8,3*
Cultivar	Altura de plantas (cm)					
8473 RSF	0,62 C	0,69 BC	0,75 B	0,79 AB	0,87 A	0,75 B
AS 3730	0,71 BC	0,65 C	0,80 AB	0,85 A	0,85 A	0,75 ABC
Cultivar	Notas de acamamento					
8473 RSF	1 A	1 A	1 A	1 A	1 A	1 A
AS 3730	1 A	1 A	1,25 A	1,25 A	1,5 A	1 A
Cultivar	Altura da primeira vagem (cm)					
8473 RSF	4,2 D	7 CD	12,7 AB	11,7 AB	15 A	10 BC
AS 3730	2 C	9,2 B	12 AB	14,2 A	14 A	9,2 B
Cultivar	Número de vagens (planta)					
8473 RSF	160 A	63 B	46 BC	36 BC	29 C	39 BC
AS 3730	198 A	83 B	56 BC	46 C	41 C	81 B
Cultivar	Número de grãos (vagem)					
8473 RSF	2,5 A	2,4 AB	2,2 B	2,4 A	2,4 AB	2,3 AB
AS 3730	2,5 A	2,4 A	2,4 A	2,4 A	2,5 A	2,5 A
Cultivar	Número de grãos (planta)					
8473 RSF	406 A	153 B	102 BC	90 BC	69 C	91 BC
AS 3730	493 A	206 B	135 BC	109 C	104 C	203 B
Cultivar	Peso de mil sementes (g)					
8473 RSF	189 A	172 B	167 B	167 B	172 B	173 B
AS 3730	197 A	177 B	179 B	174 B	178 B	175 B

* Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

** Espaçamento de 50 cm entre-linhas por 4,5 cm entre-plantas para genótipo 8473RSF e 50 cm entre-linhas por 8,3 cm entre-plantas para genótipo AS 3730, conforme recomendação populacional regional para cada um dos genótipos.

A produtividade por planta apresentou interação entre os fatores estudados, conforme mostra a figura 4.

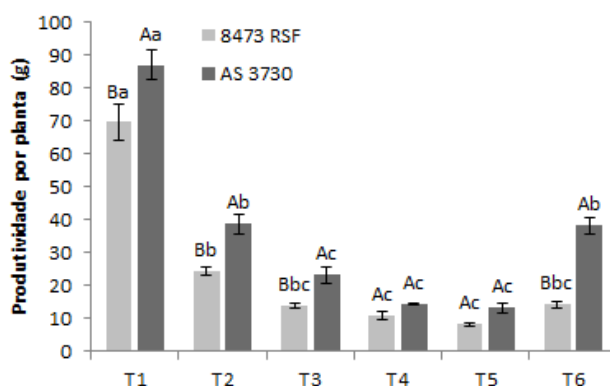


Figura 4 – Produtividade por planta (em gramas). T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na figura 5, são apresentados os resultados de percentual de redução na produtividade por planta, para os tratamentos sob arranjo equidistante (T1 a T5), em relação ao tratamento que proporcionou os maiores resultados para esta variável (T1).

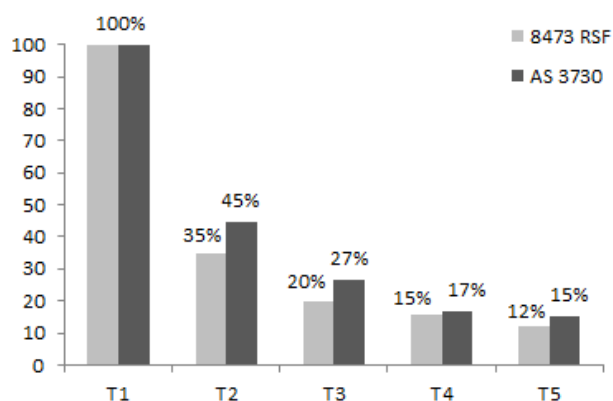


Figura 5 – Produtividade percentual por planta entre os distintos arranjos espaciais equidistante, em relação aos valores máximos obtidos. T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730).

Os resultados obtidos com as análises de pigmentos são apresentados a seguir através da figura 6:

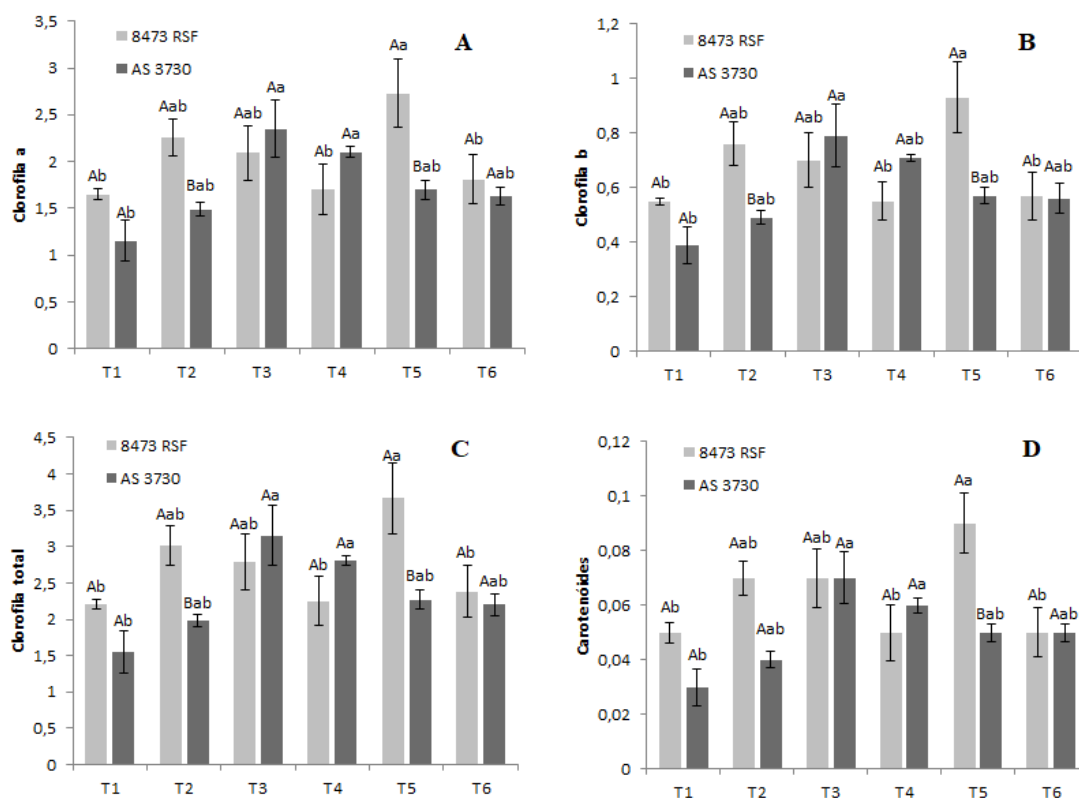


Figura 6 – Níveis nas folhas de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B), clorofila total (C), e carotenoides (D). T1: 50 x 50 cm; T2: 20 x 20 cm; T3: 15 x 15 cm; T4: 12,5 x 12,5 cm; T5: 10,9 x 10,9 cm; T6: 50 x 4,5 cm (8473 RSF) e 50 x 8,3 cm (3730). Letras maiúsculas entre genótipos e dentro do tratamento e, letras minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo genótipo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

5.2 Discussão

Por apresentar correlação com fatores de produção da planta, o índice de área foliar (IAF) é um importante parâmetro a ser considerado. Seu valor é obtido através da razão entre a área foliar da planta, com a área de solo que a mesma ocupa (Câmara e Heiffig, 2000). Sendo assim, a medida que se aumenta a população de plantas, estas, individualmente, tendem a ter sua área foliar reduzida, porém, passam a ocupar um menor espaço de solo. Considerando diferentes populações (de 70 a 350 mil plantas ha⁻¹) e espaçamentos entre fileiras (0,2 até 0,7 m), Heiffig et al (2006), verificaram que, o IAF foi mais elevado nas maiores populações avaliadas, e que o espaçamento entre fileiras menor (0,2), proporcionou também maiores IAF, apesar de que, nem sempre de forma estatisticamente significativa.

O IAF crítico, é considerado como o ponto em que o dossel está apto a interceptar 95% da radiação luminosa incidida ao meio dia (Heiffig et al. (2006). Dessa forma, Holshouser & Whittaker (2002), encontraram como um valor de referência de IAF crítico na soja, entre 3,5 a 4. Os resultados aqui obtidos, revelam que tanto o genótipo quanto a população de plantas, podem influenciar os níveis de IAF, porém, nas

populações consideradas como padrão para os genótipos estudados, não houve diferença significativa entre os arranjos espaciais testados (equidistante e fileiras de 50 cm). Contudo, observa-se que, de uma maneira geral, populações acima de 240 mil plantas ha^{-1} permitem que a cultura alcance valores de IAF iguais ou maiores daqueles apontados como crítico.

De acordo com Canfalone & Dujmovich (1999) o estresse hídrico pode afetar a eficiência de uso da radiação e o IAF. Sendo assim elevados valores de IAF observados neste trabalho, em populações mais altas e, principalmente para o genótipo AS 3730, podem se destacarem em sistemas de produção onde a escassez de água seja maior.

Outra variável de importante relevância a ser considerada em estudos de desenvolvimento das culturas, é o NDVI. Este índice, representado por valores entre -1 e 1 numa grandeza adimensional, é utilizado principalmente, visando efeito de comparação, e não pela interpretação de seu número absoluto em si. Seus valores, apresentam alta correlação com IAF, principalmente nos estágios iniciais (Doraiswamy et al., 2005, Rizzi & Rudorff, 2007), o que pode ser verificado com os resultados obtidos neste experimento, uma vez que, na fase V5, o NDVI se mostrou mais sensível aos tratamentos, apresentando também um comportamento bastante semelhante ao IAF nesta fase. Já na fase R5, onde se observou para NDVI diferenças apenas entre o tratamento 1 (40 mil plantas/ ha^{-1}) e os demais tratamentos, fica evidente a menor eficácia desta variável para estimar a quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa.

Crusiol et al. (2012) verificaram que este índice (NDVI) foi eficiente na detecção de plantas sob estresse hídrico até a fase R2, apresentando valores até 120% maiores em plantas que não foram submetidas a esse estresse.

A razão pela qual o NDVI tende a ter menor sensibilidade a variações apresentadas pelo alvo sob estudo, quando avaliado em estágios fenológicos mais adiantados, se dá pelo fato do acréscimo nas camadas de folhas acumuladas, elevando a quantidade de pigmentos fotossintetizantes e conseqüentemente, o aumento na absorção de luz e a redução da reflectância (Ponzoni et al. 2015). Este fenômeno, também pode ser expresso pela ótica do IAF, uma vez que estudos apontam que, em valores crescentes de IAF, a partir de 4, o NDVI não se eleva, revelando ser este seu ponto de saturação (Antunes et al. 1993, Fonseca 2002, Almeida 2008).

Dessa forma, pode-se verificar que existe uma relação entre o NDVI e teor de pigmentos na folha. Almeida et al 2016, ao estudar a correlação entre reflectância e teor de clorofila nas folhas de soja, obteve alto coeficiente de determinação, permitindo que

um modelo matemático fosse criado para estimar clorofila em função do NDVI, uma vez que esse segundo índice pode ser mais fácil e rapidamente obtido.

Os resultados verificados neste experimento não apresentaram comportamento semelhante entre NDVI e teor de pigmentos nas folhas. De uma maneira geral, os tratamentos mostraram-se pouco responsáveis aos valores obtidos para as clorofilas A, B e total. Este fato pode ter ocorrido diante da realização da análises de pigmentos ter sido realizada na fase R5, enquanto para NDVI nesta fase, conforme já relatado anteriormente, observa-se também baixa sensibilidade aos tratamentos. Acredita-se que, caso a análise de pigmentos fosse realizada na fase vegetativa (V5), o comportamento desta variável seria mais semelhante ao NDVI deste mesmo estágio fenológico.

Outra observação interessante é a de que o teor em todos os pigmentos avaliados, foi maior para o genótipo 8473 RSF, que apresentou menores valores de IAF. Dessa forma, os resultados sugerem que a concentração de pigmentos tenha sido maior para este genótipo, uma vez que sua área foliar foi menor.

Com relação aos arranjos espaciais não foram observadas diferenças entre NDVI e teores foliares de pigmentos entre o plantio por linhas de 50 cm e equidistante.

Observou-se que a densidade populacional da soja exerceu influência sobre a altura de plantas, sendo que, quanto maior foi a população, maior foi também a altura de plantas. Casaroli et al (2007), comenta que o estiolamento, que pode ser provocado pela redução da incidência luminosa no dossel, devido a competição intraespecífica maior, observada em populações mais elevadas, pode reduzir a espessura da haste principal e resultar no acamamento de plantas. Entretanto, os níveis populacionais utilizados neste experimento, não foram capazes de ocasionar níveis de acamamento onde a cultura viesse a ser prejudicada, independentemente do tratamento ou do genótipo.

Por ser uma cultura que ocupa grandes extensões de área a soja é bastante dependente de mecanização. Dessa forma, fatores que proporcionem condições mais favoráveis às operações mecânicas, destacando-se a colheita, são bastante desejáveis. Nesse sentido, plantas com inserção de vagens muito próximas ao solo, podem provocar perdas no rendimento, devido a menor eficiência de aproveitamento da colheita mecanizada. De acordo com Bonetti e Verneti (1983) é desejável que as plantas apresentem a primeira vagem com uma altura acima de 10 cm do solo. Nesse sentido, observa-se que os tratamentos com populações de plantas iguais e inferiores a 240.000 plantas ha⁻¹, conferem altura de primeira vagem inferior à desejada, e que, esta variável vai se elevando à medida em que a população de plantas também é incrementada.

Um importante componente da produtividade na cultura da soja é o peso de mil sementes (PMS). Foi possível observar, que o genótipo AS 3730 apresentou maiores médias de PMS, em relação ao genótipo 8473 RSF. Além disso, o efeito de tratamentos exerceu pouca influência sobre esta variável, que apresentou diferenças significativas apenas entre o primeiro tratamento e os demais. Junior et al. (2014) ao estudarem o comportamento de dois genótipos de soja em 5 diferentes espaçamentos também não observaram diferenças significativas para esta variável entre os tratamentos e Mauad et al. (2010), ao avaliarem 5 populações de plantas sob um mesmo espaçamento, também não verificaram diferenças de PMS entre os tratamentos. Este autor comenta ainda que uma possível explicação para baixa relação entre o PMS e os tratamentos, se dá pela alteração no número de vagens por planta (mais sensível a variação da população), de modo que a planta, ao invés de produzir grãos com maior ou menor massa, altere sua quantidade de grãos, sem interferências significativas em sua massa.

O número de grãos por planta foi altamente influenciado, tanto pelo genótipo, quanto pela população de plantas. Observa-se, primeiramente, que o genótipo AS 3730 proporcionou um maior número de grãos por planta (NGP) em relação ao 8473 RSF. Em segundo lugar, a redução do NGP a medida em que a população de plantas se eleva. Em relação ao arranjo espacial, o genótipo 8473 RSF, sob arranjo equidistante, apresentou um número maior de grãos por planta, quando comparado ao espaçamento de 50 cm, apesar de que esta diferença não tenha sido estatisticamente verificada.

Uma vez observada a baixa influência dos tratamentos sobre o número de grãos por vagem, fica evidente que o componente de produção que exerceu maior influência sobre o número de grãos por planta, foi o número de vagens por planta (NVP). Verifica-se, portanto, um número maior de vagens por planta para o genótipo AS 3730, possivelmente obtido, devido aos maiores valores de IAF também observados para esta cultivar. O NVP foi afetado pela população de plantas, reduzindo-se à medida que a o número de plantas se elevam. Não foram observadas diferenças significativas de NVP entre os arranjos equidistante e linhas de 50 cm de espaçamento.

O conceito de NVP envolve 2 preceitos básicos: o primeiro deles, é a formação de gemas reprodutivas que darão origem às flores e ao número potencial de vagens. O segundo é o pegamento de vagens, que determinará o número efetivo de vagens. Ventimiglia et al. (1999) relatam que se todas as flores presentes em R2 dessem origem a vagens, o rendimento obtido (que foi de 4.600 kg ha^{-1}), poderia ter sido de $18.000 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto que se todas as vagens formadas até R5, chegassem à maturação, seu rendimento seria de $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$.

A influência dos tratamentos impostos se relaciona com estes fatores, pela quantidade de luz, água e nutrientes disponibilizados às plantas, individualmente, e em cada situação. Purcell et al. (2002), verificou que populações muito elevadas, resultaram num sombreamento maior e consequentemente, maior senescência de folhas mais velhas, culminando num maior abortamento de vagens. Entretanto por serem órgãos que demandam quantidade menor de assimilados que as vagens, o número de flores é menos influenciado pela população de plantas (Pires et al. 2000).

Considerando as populações de referência, utilizadas nos tratamentos T6 (50 cm entre fileiras), não se observou diferença significativa para produtividade por planta (PP) entre os 2 diferentes arranjos espaciais (equidistante e fileira simples). Um fato que chama bastante atenção, é que apesar da redução na PP ser observada com o aumento da população (devido principalmente à redução no número de vagens por planta, conforme discutido anteriormente), é evidente a diminuição da taxa de redução na PP, a cada nível de aumento populacional de plantas. Exemplificando melhor, pode-se observar através da figura 5, que sempre em que se aumenta a população em 200 mil plantas ha^{-1} , ocorre a diminuição da taxa de decréscimo individual da produtividade por planta.

Uma vez que os níveis de acamamento não foram prejudiciais ao desenvolvimento da cultura, em nenhum dos tratamentos empregados, verifica-se que, as maiores populações, apesar de apresentarem uma menor PP, potencialmente proporcionariam maiores produtividades por área. Verifica-se que a partir da população de 240 mil plantas ha^{-1} , existe uma tendência a estabilização dos níveis de PP, fazendo com que o aumento populacional, supere de maneira intensa a redução individual de cada planta.

Knebel et al. (2006) reiteram os riscos de acamamento, em arranjo sob fileiras simples, em detrimento ao aumento populacional. Diante disso, é possível inferir que o arranjo espacial equidistante permite o aumento da população de plantas de soja a níveis superiores àqueles possíveis de se obter com fileiras de 50 cm, sem que haja acamamento. Rahman & Rossain (2011) percebendo a maior tolerância ao aumento populacional, proporcionado pelo arranjo espacial equidistante, testaram diferentes níveis populacionais, chegando a um máximo de 120 plantas m^2 . Seus resultados mostraram que altas populações de 80 e 100 plantas m^2 , foram as que proporcionaram melhores resultados de rendimento para a cultura da soja. Subentende-se que pesquisas que envolvem arranjos espaciais e níveis populacionais em soja, quando não contemplam populações mais altas, podem não estar representando o potencial de

arranjos espaciais que proporcionem maior homogeneidade de distância entre as plantas.

6. Conclusões

Considerando a população de plantas tida como referência para o sistema de plantio por linhas, o arranjo espacial equidistante não oferece melhores condições de desenvolvimento à cultura da soja, mesmo em condições de sequeiro, onde a distribuição mais racional de plantas no espaço, poderia contribuir para melhor aproveitamento dos recursos limitadores.

O arranjo espacial equidistante permite a obtenção de níveis populacionais elevados, sem que haja incrementos nas taxas de acamamento e que comprometam o desenvolvimento da cultura.

O aumento populacional no arranjo equidistante pode proporcionar maiores produtividades por área, uma vez que a redução na produção por planta tende a se estabilizar.

São observadas importantes diferenças no comportamento e nos resultados obtidos, entre diferentes genótipos, cultivados sob arranjos espaciais equidistantes. É possível, portanto que, caso este modelo espacial de plantas fosse considerado em trabalhos de melhoramento genético, materiais com melhores características de adaptação às condições oferecidas por este manejo, pudessem ser selecionados e seus resultados fossem superiores, inclusive em níveis populacionais menores.

7. Referências

Antunes, M., Assad, E., Batista, G. (1993). Variacao das medidas espectrais tomadas com espectroradiometro ao longo do ciclo de crescimento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Anais do VII SBSR. Brasil*. Bernard, R.L., Chamberlain, D.W. & Lawrence, R.D. (eds). Results of the cooperative uniform soybean tests. Washington, USDA, 1965.134p.

Bonetti, L. P. (1983). Cultivares e seu melhoramento genético. *VERNETTI, FJ Soja-genética e melhoramento*. Campinas: Fundação Cargill, 741-800.

Büchling, C., de Oliveira Neto, A. M., Guerra, N., & Bottega, E. L. (2017). Uso da plasticidade morfológica como estratégia para a redução da população de plantas em cultivares de soja. *Agrarian*, 10(35), 22-30. Câmara, G. D. S., & Heiffig, L. S. (2000). Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. Câmara, GMS. Tecnologia da produção II. Piracicaba: Esalq/USP, 120p.

Casaroli, d.; Fagan, e.b.; Simon, j.; Medeiros, s.p.; Manfron, p.a.; Neto, d.d.; Van Lier, q.j.; Müller, l.; Martin, T.N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura da soja uma revisão. Uruguaiana. Revista da FZVA. v.14, n.2, p.102-120, 2007

Confalone, A.E.; Dujmovich, M.N. Influência do "deficit" hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. Revista Brasileira de Agrociência, v.5, p.195-198, 1999.

Crusiol, L. G. T.; Carvalho, J. F. C.; Toledo, C. de F.; Neumaier, N.; Marcelino-Guimarães, F. C.; Yamaguchi-Shinozaki, K.; Nepomuceno, A. L.; Farias, J. R. B. Comportamento espectral de diferentes genótipos de soja (GM para tolerância a seca e convencionais), em condição irrigada e sob estresse hídrico. In: congresso brasileiro de soja, 6., 2012, Cuiabá. Soja: integração nacional e desenvolvimento sustentável: resumos. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 83, res. 128.

Daughtry, C. S. T., Gallo, K. P., Goward, S. N., Prince, S. D., & Kustas, W. P. (1992). Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sensing of Environment*, 39(2), 141-152.

De Bruin, J. L., & Pedersen, P. (2008). Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy journal*, 100(3), 704-710.

Doraiswamy, P. C., Sinclair, T. R., Hollinger, S., Akhmedov, B., Stern, A., & Prueger, J. (2005). Application of MODIS derived parameters for regional crop yield assessment. *Remote sensing of environment*, 97(2), 192-202.

Egli, D. B. (1994). Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. *Agronomy journal*, 86(6), 1046-1049.

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042.

Fonseca, E. L.; Rosa, L. M. G.; Fontana, D. C. (2002). Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 3, p. 365-371.

Heiffig, L. S., Câmara, G. M. D. S., Marques, L. A., Pedroso, D. B., & Piedade, S. M. D. S. (2006). Closed canopy and leaf area index of soybean in different space arrangements. *Bragantia*, 65(2), 285-295.

Holshouser, D. L., & Whittaker, J. P. (2002). Plant population and row-spacing effects on early soybean production systems in the Mid-Atlantic USA. *Agronomy Journal*, 94(3), 603-611.

Junior, W. F. p., Junior, A. A. B., Franchini, J., Debiasi, H., Fronarolli, D., Lopes, R., & Santos, E. Desempenho agrônomo de cultivares de soja em função da distribuição espacial das plantas na linha de semeadura. In *Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 34., 2014, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2014.

Knebel J.L., Guimaraes V.F., Andreotti M, Stangarlin JR (2006) Influência do espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres agrônômicos em soja. *Acta Scientiarum. Agronomy* 28(3):385-392.

Komatsu, R. A., Guadagnin, D. D., & Borgo, M. A. (2011). Efeito do espaçamento de plantas sobre o comportamento de cultivares de soja de crescimento determinado. *Campo Digital*, 5(1).

Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 603, 591 – 592.

Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 603, 591±592.

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. 954-962, 2012.

Macedo, W. R., Araújo, D. K., & e Castro, P. R. D. C. (2013). Unravelling the physiologic and metabolic action of thiamethoxam on rice plants. *Pesticide biochemistry and physiology*, 107(2), 244-249.

Mauad, M., Silva, T. L. B., Neto, A. I. A., & Abreu, V. G. (2011). Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. *Agrarian*, 3(9), 175-181.

Pires, J. L. F., Costa, J. A., Thomas, A. L. & Maehler, A. R. (2000). Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(8), 1541-1547.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E.; Kuplich, T.M. (2012). Sensoriamento remoto da vegetação. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 160p.

Procópio, S. O., Junior, A. A. B., Debiasi, H., dos Santos, J. C. F., & Panison, F. (2013). 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*, 56(4), 319-325.

Purcell, L. C., Ball, R. A., Reaper, J. D., & Vories, E. D. (2002). Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Science*, 42(1), 172-177.

Rahman, M., Hossain, M., & Bell, R. W. (2011). Plant density effects on growth, yield and yield components of two soybean varieties under equidistant planting arrangement. *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(5), 278-286.

Rasool, G., Mahajan, G., Yadav, R., Hanif, Z., & Chauhan, B. S. (2017). Row spacing is more important than seeding rate for increasing Rhodes grass (*Chloris gayana*) control and grain yield in soybean (*Glycine max*). *Crop and Pasture Science*, 68(7), 620-624.

Rizzi, R., & Rudorff, B. F. T. (2007). Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônomo para estimar a produtividade de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(1), 73-80.

- Sedyama, T. (2016) - *Produtividade da soja*. Ed. 1, Mecenas, Londrina. 310 p.
- Sfredo, G.J. (2008). Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p.
- Shibles, R. M., & Weber, C. R. (1966). Interception of Solar Radiation and Dry Matter Production by Various Soybean Planting Patterns 1. *Crop science*, 6(1), 55-59.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004) – Núcleo Regional Sul. Comissão de química e fertilidade do solo dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre. 400p.
- Sousa, D. M. G., & Lobato, E. (2004). Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. *Fosforo na Agricultura Brasileira*, Yamada, T. and SRS Abdalla (Eds.), 157-196.
- Ventimiglia, L. A., Costa, J. A., Thomas, A. L., & Pires, J. L. F. (1999). Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira: 1977. Brasília. Vol. 34, n. 2 (fev. 1999), p. 195-199*. Witham, F. H., Blaydes, D. F., Devlin, R. M. Experiments in Plant Physiology. New York: D. Van Nostrand Company, p. 55-58, 1971.
- Zhou, X. B., Yang, G. M., Sun, S. J., & Chen, Y. H. (2012). Plant and row spacing effects on soil water and yield of rainfed summer soybean in the northern China. *Plant, Soil and Environment*, 56(1), 1-7.
- Zhou, X. B., Chen, Y. H., & Ouyang, Z. (2011). Row spacing effect on leaf area development, light interception, crop growth and grain yield of summer soybean crops in Northern China. *African Journal of Agricultural Research*, 6(6), 1430-1437.