

Índice de área foliar e SPAD durante o ciclo da soja em função da densidade de plantas e sua relação com a produtividade de grãos

Leaf area index and SPAD during the soybean development cycle at different plant densities and their relation to grain yield

Anderson Hideo Yokoyama¹, Alvadi Antonio Balbinot Junior^{2*}, Claudemir Zucareli¹ & Ricardo Henrique Ribeiro³

¹Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Londrina, PR, Brasil. *Autor para correspondência: alvadi.balbinot@embrapa.br.

³Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, SC, Brasil.

Submissão: 31/01/2017 | Aceite: 13/06/2018

RESUMO

A densidade de semeadura na cultura da soja provoca diversas modificações morfofisiológicas nas plantas, podendo alterar o crescimento e a produtividade de grãos. Objetivou-se avaliar o efeito de densidades de plantas de soja sobre o índice de área foliar (IAF) e índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, correlacionando esses dados com a produtividade de grãos. O experimento foi conduzido na safra 2015/16, na área experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR, em delineamento experimental de blocos completos casualizados, com cinco repetições. Foram avaliadas as densidades de 120, 230, 340 e 380 mil plantas aptas ha⁻¹, em espaçamento de 0,45 m entre fileiras, utilizando a cultivar BRS 359 RR, que apresenta tipo de crescimento indeterminado e arquitetura compacta de plantas. Constatou-se que o aumento da densidade de plantas de soja incrementa o IAF até o estágio R3, mas, após essa fase, o IAF não varia entre as densidades. A densidade de plantas de soja não altera o índice SPAD até o estágio R5.4. Durante o crescimento vegetativo não há correlação entre o IAF e o índice SPAD com a produtividade de grãos, porém na fase de enchimento de grãos há correlações positivas entre essas variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* L., spatial plant arrangement, plant growth, phenological stages.

ABSTRACT

Sowing density in the soybean crop promotes several morphophysiological changes in the plants, which can alter plant growth and grain yield. The objective of this study was to evaluate the effect of soybean plant densities on the leaf area index (LAI) and *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) index during the soybean crop development cycle and correlating these data with grain yield. The experiment was conducted in the experimental area of Embrapa Soja, Londrina, Paraná State, Brazil, under a randomized complete block design, with five replications. The densities of 120, 230, 340 and 380 thousand viable plants ha⁻¹ were evaluated in row spacing of 0.45 m using the BRS 359 RR cultivar, which has indeterminate growth type and compact architecture. The increased plant density promotes an increment in LAI from the V4 stage to R3; however, after this stage, LAI is similar among densities. Plant density did not change the SPAD index before R5.4. During the vegetative growth there is no correlation between LAI and SPAD and grain yield, but in the grain filling period there are positive correlations between these variables.

KEYWORDS: *Glycine max* L., spatial plant arrangement, plant growth, phenological stages.

INTRODUÇÃO

A densidade de semeadura proporciona diversas modificações morfofisiológicas nas plantas, já que influencia na competição intraespecífica pelos recursos do meio, como água, luz e nutrientes. Na soja, observa-se elevada plasticidade fenotípica, em que a planta modula seu crescimento de acordo com alterações no arranjo espacial de plantas na área (FERREIRA et al. 2016). Dessa forma, há compensação do menor número de plantas por área pela menor altura da haste, associada com a maior emissão de ramos, mantendo a produtividade constante, mesmo com ampla variação de densidade de semeadura

(PROCÓPIO et al. 2013, SUHRE et al. 2014, FERREIRA et al. 2016, WERNER et al. 2016). Nesse caso, o componente de rendimento que apresenta maior relevância na plasticidade da soja é o número de vagens por planta (KUSS et al. 2008).

Pesquisas têm apontado que a utilização de densidades maiores do que as indicadas pelos obtentores não incrementam a produtividade de grãos, podendo aumentar o acamamento de plantas e reduzir a rentabilidade da lavoura (BALBINOT JUNIOR et al. 2016, FERREIRA et al. 2016), sobretudo considerando o aumento dos custos com sementes em cultivares transgênicas Intacta. LUDWIG et al. (2007) complementam que o aumento da densidade de plantas de soja pode ser utilizado em casos específicos, como, por exemplo, em semeaduras antecipadas ou tardias. Entretanto, o uso de densidades muito baixas (menores que 150 mil plantas ha⁻¹) podem provocar falhas de estande, reduzindo a produtividade em algumas cultivares e ambientes de produção (BALBINOT JUNIOR et al. 2016).

O índice de área foliar (IAF) é uma variável importante de crescimento, já que, juntamente com a arquitetura do dossel, interfere na interceptação da radiação solar e no sombreamento das folhas próximas ao solo pelas folhas da parte superior da planta (BOARD & HARVILLE 1992). Na cultura da soja, o IAF máximo ocorre no estágio fenológico R5 (ZANON et al. 2015) e aumenta proporcionalmente com a densidade populacional (HEIFFIG et al. 2006). Porém LINZMEYER JUNIOR et al. (2008) observaram que as variações na população de plantas não modificam o IAF após o florescimento. Há poucas informações sobre a evolução do IAF da soja durante o ciclo de desenvolvimento em diferentes densidades de plantas, especialmente em cultivares modernas, com tipo de crescimento indeterminado, ciclo precoce e arquitetura compacta de plantas (RICHTER et al. 2014). Quanto ao IAF, levanta-se a seguinte questão científica: a produtividade de grãos se mantém constante, em ampla faixa de densidade de plantas, porque o IAF durante o enchimento de grãos é similar entre as densidades ou diferentes IAF durante o enchimento de grãos podem proporcionar produtividades de grãos similares?

Os teores de clorofila e nitrogênio (N) foliar também podem ser influenciados pela competição intraespecífica. Sabe-se que a soja demanda um aporte elevado de N para que ocorra crescimento e produtividade, cerca de 80 kg de N por tonelada de grão produzida (SALVAGIOTTI et al. 2008). Por meio do índice SPAD podem ser estimados os teores de N foliar e clorofila da folha (ZOTARELLI et al. 2002). Nesse contexto, levanta-se a seguinte questão científica: o aumento da densidade de plantas pode provocar redução do índice SPAD em função do aumento do estresse provocado pela competição intraespecífica, ou o aumento da densidade aumenta o índice SPAD porque concentra o N absorvido em menor área de folhas por planta?

Objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito de densidades de plantas de soja sobre o IAF e índice SPAD durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, correlacionando esses dados com a produtividade de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2015/16 na área experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (23°11' S, 51°11' O e altitude de 620 m). Os dados de precipitação pluvial e temperatura durante o período de cultivo são apresentados na Figura 1, os quais foram obtidos em estação meteorológica distante 500 m da área experimental. O solo da área experimental foi cultivado em sistema plantio direto desde 2006 e é classificado como latossolo vermelho distroférrico (SANTOS et al. 2013). Os atributos físicos e químicos analisados na camada de 0-20 cm foram: 710, 82 e 208 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente; o teor de carbono orgânico foi de 8,3 g dm⁻³, 5,1 de pH em CaCl₂; 18,6 mg dm⁻³ de P (Mehlich 1); 0,37 cmol_c dm⁻³ de K trocável; 3,4 cmol_c dm⁻³ de Ca trocável e 1,4 cmol_c dm⁻³ de Mg trocável. Quatro meses antes da implantação do experimento foi aplicado calcário dolomítico, visando atingir 70% de saturação por bases.

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com cinco repetições. As densidades de semeadura foram de 7,5; 15; 22 e 28 sementes m⁻¹ linear, com 0,45 m de espaçamento entre linhas, as quais proporcionaram 120, 230, 340 e 380 mil plantas ha⁻¹, respectivamente, não sendo realizado desbaste de plantas. A área total da parcela foi de 50 m² (5 x 10m), com uma área útil de 36 m² (4 x 9 m).

Aos 15 dias antes da semeadura, as plantas daninhas foram manejadas quimicamente com carfentrazone-ethyl (30 g ha⁻¹) e glyphosate (1080 g ha⁻¹). A semeadura foi realizada com semeadora tratorizada, equipada com discos lisos para cortar a palhada, sulcadores e disco duplo defasado para a deposição de sementes. Utilizou-se a cultivar BRS 359 RR, que possui tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturidade relativa de 6.0, resistente ao herbicida glyphosate, possui arquitetura de plantas compacta e alto potencial de produtividade. A densidade indicada para a cultivar utilizada é de 200 a 240 mil

plantas ha⁻¹. A adubação de base foi realizada a lanço, dois dias antes da semeadura, com 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 120 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio).

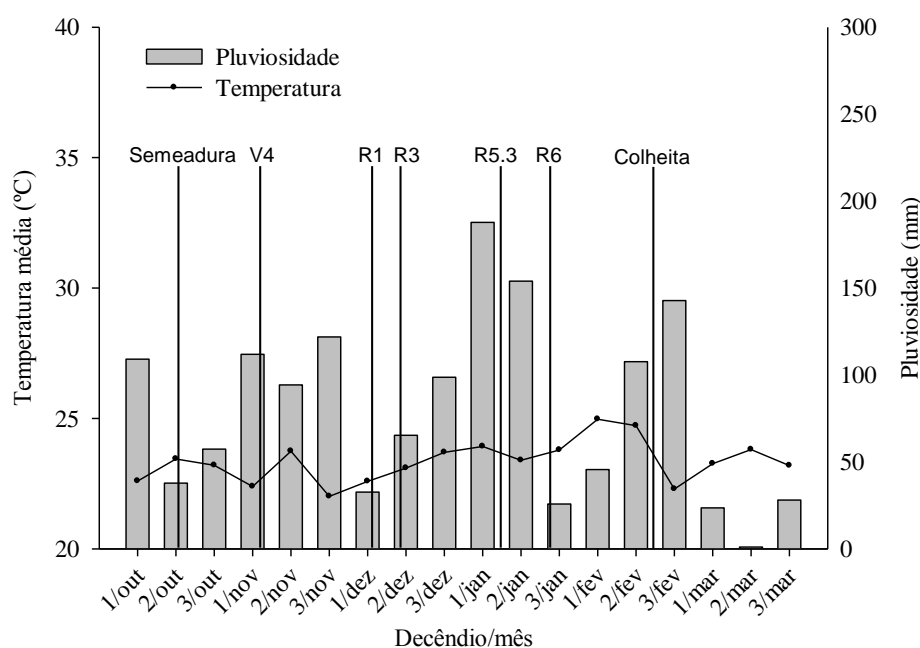


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média do ar durante o período experimental - outubro de 2015 a março de 2016. Londrina, PR, safra 2015/16.

Figure 1. Rainfall precipitation and average air temperature during the experimental period - October 2015 to March 2016. Londrina, Paraná State, Brazil, 2015/16 growing season.

As sementes foram tratadas com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil (Standak Top® - 100 mL 50kg⁻¹) e com inoculante líquido concentrado Gelfix 5® (100 mL 50kg⁻¹), que contém *Bradyrhizobium Elkanii* (5 x 10⁹ UFC/ml). O controle de pragas e doenças foi realizado conforme as recomendações técnicas para a cultura. Foram realizadas aplicações de fungicida pertencente ao grupo das estrobirulinas, pirazóis e carboxamidas para manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*).

Foram realizadas dez avaliações do IAF e do índice SPAD durante os estádios fenológicos V4 a R6 (FEHR & CAVINESS 1977), aos 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85, 92 e 99 dias após a semeadura (DAS). O IAF foi estimado a partir de um equipamento analisador de dossel de plantas, LI-COR® LAI-2200, que possui um sensor zenital do tipo olho de peixe para captação da radiação solar, equipado com uma capa de 90° de abertura. As medições se sucederam nas linhas (abaixo da planta) e nas entrelinhas (próximas à superfície do solo), em dias com céu livre de nuvens intermitentes e pleno sol, evitando subestimar ou superestimar os valores.

O índice SPAD foi determinado no folíolo central, evitando a nervura principal, do terceiro trifólio aberto do ápice para a base da planta, em dez plantas por parcela. Para essa avaliação, utilizou-se um clorofilômetro KONICA MINOLTA® SPAD 502, que adota as regiões do espectro luminoso vermelho (amplamente absorvido pela clorofila) e infravermelho (baixa ou nula absorção), para estimar o teor relativo de clorofila presente (SANT'ANA et al. 2010). No estágio R8, as plantas presentes na área útil foram colhidas com colhedora de parcela, sendo a produtividade corrigida para 13% de umidade, sendo os dados expressos em kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Hartley). Após constatação das pressuposições necessárias realizou-se análise de variância, teste F e regressão polinomial, selecionando os modelos que apresentaram maior ajuste aos dados (p<0,05). Além disso, foi realizada análise de correlação linear de Pearson entre produtividade e IAF e índice SPAD (p<0,05). As análises foram realizadas com auxílio de planilha Excel e com o programa Sisvar (FERREIRA 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças significativas no IAF entre as densidades de plantas até o estágio R3 (71 DAS) (Tabela 1). Do estágio V4 ao R3 houve aumento linear do IAF com o incremento da densidade. Após ocorrer a plena formação das vagens (R4), o IAF foi similar nas quatro densidades avaliadas (Tabela 1).

Observa-se, portanto, que as maiores diferenças entre as densidades para o IAF ocorreram na fase de crescimento vegetativo. Isso demonstra que a capacidade de compensar espaços disponíveis pela formação de maior área foliar por planta é um mecanismo relevante de plasticidade fenotípica da soja (RITCHIE et al. 1994, COX & CHERNEY 2011). Salienta-se que a cultivar utilizada apresenta características modernas de planta, apresentando tipo de crescimento indeterminado, plantas compactas e ciclo curto (BALBINOT JUNIOR et al. 2016). No entanto, mesmo apresentando essas características, a cultura apresentou elevada plasticidade de crescimento de folhas.

Tabela 1. Equações ajustadas e médias de índice de área foliar (IAF) e índice SPAD da soja durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, em função da densidade de plantas. Londrina, PR, safra 2015/16.

Table 1. Adjusted equations and means of leaf area index (LAI) and SPAD index of soybean during the crop development cycle at different plant densities. Londrina, Paraná State, Brazil, 2015/16 growing season.

Estádios	Equações ajustadas	R ² ajustados	CV (%)
IAF			
V4	IAF=0,654**+0,006**densidade	0,99	11,8
V7	IAF=1,668**+0,008**densidade	0,97	18,6
R1	IAF=1,969**+0,009** densidade	0,88	19,8
R2	IAF=1,510*+0,015** densidade	0,92	14,9
R2 _(i)	IAF=3,778**+0,010** densidade	0,90	10,5
R3	IAF=6,627*+0,006* densidade	0,93	8,3
R4	Média=8,29		10,6
R5.3	Média=6,36		16,7
R5.4	Média=4,44		17,5
R6	Média=3,38		19,4
SPAD			
V4	Média= 20,69		4,3
V7	Média=23,33		4,8
R1	Média=26,31		6,0
R2	Média=27,77		5,3
R2 _(i)	Média=28,90		5,7
R3	Média=28,76		5,3
R4	Média=37,69		5,5
R5.3	Média=38,09		10,5
R5.4	Média=39,21		8,8
R6	SPAD=35,911516** -0,033445** densidade	0,82	18,2

^{ns}= não significativo; * e ** significativo ao nível de probabilidade 0,01 e 0,05, respectivamente, pela análise de regressão; _(i) Segunda avaliação realizada no estágio R2.

O pico de IAF nas três maiores densidades ocorreu no estágio R3 (início de formação de vagens) (Figura 2). Por outro lado, na menor densidade, o pico de IAF ocorreu somente no estágio R4 (plena formação de vagens). Isso ocorreu porque nas maiores densidades houve elevado autossombreamento a partir do florescimento pleno, provocando a senescência das folhas próximas do solo (SRINIVASAN et al. 2017). Portanto, a dinâmica temporal de evolução do IAF durante o ciclo da soja é muito influenciada pela densidade de plantas. Em todas as densidades, o valor máximo de IAF foi de 8,0 a 9,0, valor elevado de acordo com DERMODY et al. (2006), que relatam valores de 6,0 a 7,0 para a maioria das cultivares avaliadas. O elevado crescimento pode ser justificado em função das condições climáticas favoráveis à cultura (Figura 1) e ao manejo adequado.

Para todas as densidades, observou-se rápido declínio do IAF na fase de enchimento dos grãos (Figura 2). Provavelmente isso ocorreu em função da senescência das folhas da parte inferior do dossel, devido ao autossombreamento e à redistribuição de fotoassimilados e nutrientes das folhas para os grãos em formação (HEIFFIG et al. 2006, SRINIVASAN et al. 2017).

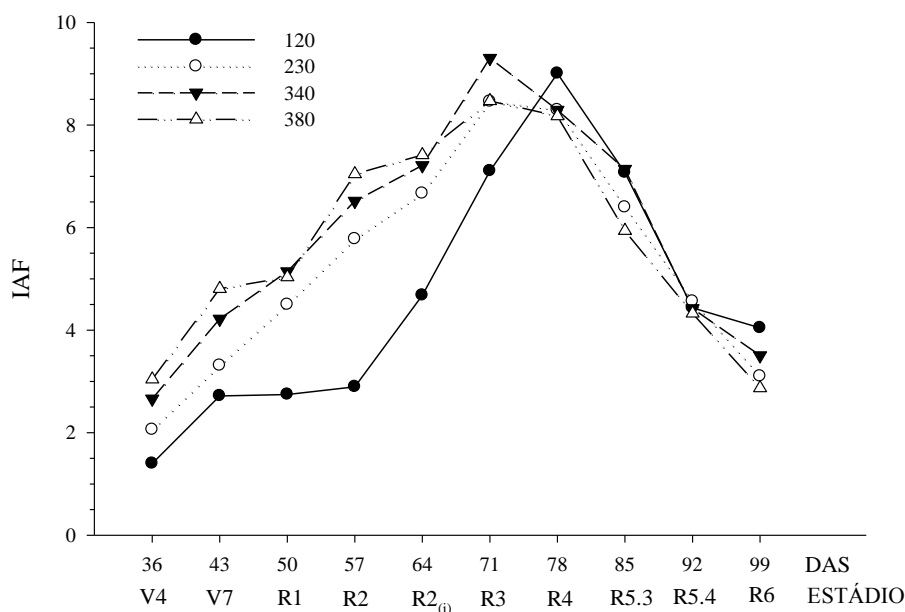


Figura 2. Evolução do Índice de Área Foliar (IAF) durante o ciclo de desenvolvimento da soja em quatro densidades de plantas (120, 230, 340 e 380 mil plantas ha^{-1}). (i) Segunda avaliação realizada no estágio R2. DAS, dias após a semeadura. Londrina, PR, safra 2015/16.

Figure 2. Evolution of the leaf area index during the soybean development cycle at four plant densities (120, 230, 340 e 380 thousand plant ha^{-1}). (i) The second evaluation was conducted during the R2 plant development stage. DAS, days after sowing. Londrina, Paraná State, Brazil, 2015/16 growing season.

O índice SPAD não foi influenciado pela densidade de plantas entre os estádios V4 a R5.4 (Tabela 1). Por outro lado, WERNER et al. (2016) verificaram que as menores densidades de plantas demonstraram maiores valores de índice SPAD, sobretudo em função do maior teor de N nas folhas (SANT'ANA et al. 2010). No entanto, no final do ciclo de desenvolvimento (R6) houve tendência de redução do índice SPAD com o aumento da densidade. A menor competição intraespecífica nas menores densidades proporcionou melhores condições para manutenção de folhas verdes até a maturação fisiológica dos grãos. Plantas em menores densidades tendem a atrasar a senescência foliar, potencialmente pela maior oferta de N nos estádios mais avançados da cultura (KASCHUK et al. 2010). Na menor densidade avaliada, a maturação de colheita ocorreu sete dias após a maturação na maior densidade, indicando o alongamento do ciclo quando há menor quantidade de indivíduos por área. Por um lado, o aumento do período de enchimento de grãos nas menores densidades pode contribuir para a obtenção de grãos com maior massa. Por outro lado, atrasa a semeadura da cultura em sucessão à soja, especialmente o milho de segunda safra.

Do estágio V4 até R5.4 verificou-se aumento do índice SPAD (Figura 3), demonstrando evolução dos teores de clorofila a medida que a planta aumenta a capacidade de absorção de nitrogênio inorgânico do solo e, sobretudo, incrementa a fixação biológica de nitrogênio. Enfatiza-se que entre os estádios R3 e R4 ocorreu o maior incremento do índice SPAD. A partir de R5.4 (Figura 3), houve redução acentuada do índice SPAD em todas as densidades de plantas. Isso demonstra que houve aumento na velocidade de maturação foliar na fase final do ciclo da soja, senescendo as folhas remanescentes, resultante da redistribuição de nutrientes e fotoassimilados para os grãos (BORRÁS et al. 2004).

As diferentes densidades de plantas não interferiram significativamente na produtividade de grãos (Figura 4), corroborando com BALBINOT JUNIOR et al. (2015) e WERNER et al. (2016). Os autores citam que em ano com disponibilidade hídrica regular, como ocorreu na presente pesquisa (Figura 1), há pouca variação no rendimento da cultura em função de densidades presentes na faixa de 130 a 380 mil plantas ha^{-1} . Assim, na presente pesquisa, o IAF e o índice SPAD na fase de enchimento de grãos foram similares entre as densidades, conferindo a mesma produtividade de grãos. Isso indica a possibilidade de redução da quantidade de sementes utilizada, proporcionando economia ao produtor, sobretudo considerando cultivares que apresentam custo elevado de sementes. No entanto, o uso de menores densidades de semeadura implica na necessidade de uso de sementes com alta qualidade e com tratamento apropriado, bem como o uso de semeadoras bem reguladas, a fim de minimizar as falhas de estande.

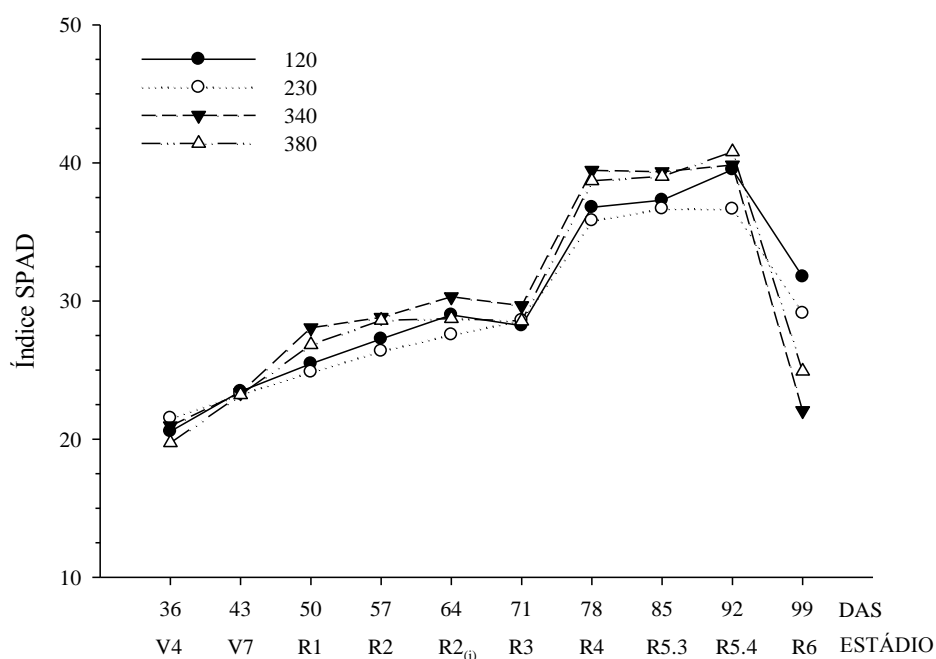


Figura 3. Evolução do índice SPAD durante o ciclo de desenvolvimento da soja em quatro densidades de plantas (120, 230, 340 e 380 mil plantas ha^{-1}). (i) Segunda avaliação realizada no estágio R2. DAS, dias após a semeadura. Londrina, PR, safra 2015/16.

Figure 3. Evolution of the SPAD index during the soybean development cycle at four plant densities (120, 230, 340 e 380 thousand plant ha^{-1}). (i) Second evaluation in R2 plant development stage. DAS, days after sowing. Londrina, Paraná State, Brazil, 2015/16 growing season.

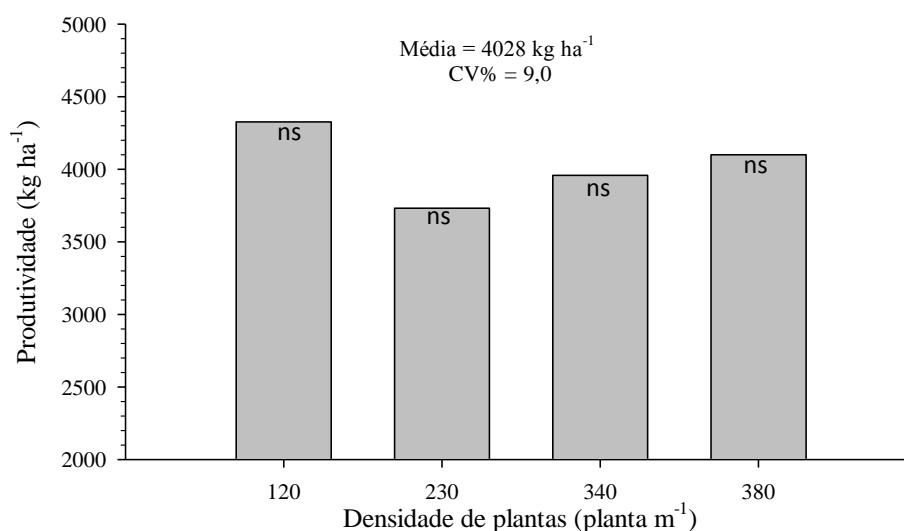


Figura 4. Produtividade da soja em quatro densidades de plantas. ns, diferenças não significativas. Londrina, PR, safra 2015/16.

Figure 4. Soybean yield at four plant densities. NS, non-significant differences, Londrina, Paraná State, Brazil, 2015/16 growing season.

Houve correlação positiva entre o IAF e a produtividade de grãos apenas nos estádios R5.3 e R6 (Tabela 2). Isso demonstra claramente que os maiores IAF na fase vegetativa, proporcionados pelas maiores densidades de plantas, não se traduziram em maiores produtividades de grãos. Por outro lado, a manutenção do IAF da metade da fase de enchimento de grãos até a maturação fisiológica impacta positivamente na produtividade. Nesse contexto, cuidado especial deve ser tomado para que não ocorra perda de IAF nessa fase, sendo indispensável o manejo adequado de doenças e insetos-praga, como discutido por MOREIRA et al. (2015). Para o índice SPAD, foi observada correlação positiva com a produtividade de grãos apenas nos estádios R4 e R5.3 (Tabela 2), em que a demanda de fotoassimilados

para formação de vagens e grãos é elevada (BORRÁS et al. 2004). Assim como ocorreu com o IAF, as variações de índice SPAD na fase vegetativa não alteraram a produtividade de grãos.

Tabela 2. Correlação entre produtividade de grãos de soja com índice de área foliar e índice SPAD em diferentes estádios fenológicos da cultura. Londrina, PR, safra 2015/16.

Table 2. Correlation between soybean yield with LAI and SPAD index in different phenological stages of the crop. Londrina, Paraná State, Brazil, 2015/16 growing season.

	Estádios fenológicos da soja									
	V4	V7	R1	R2	R2 _(i)	R3	R4	R5.3	R5.4	R6
	Produtividade de grãos									
IAF	-0,10	-0,01	-0,33	-0,26	-0,30	0,02	0,25	0,44*	0,32	0,52*
SPAD	-0,18	0,17	0,23	0,19	0,31	0,29	0,54*	0,51*	0,23	-0,12

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. (i) Segunda avaliação realizada no estágio R2.

CONCLUSÃO

O aumento da densidade de plantas de soja de 120 a 380 mil plantas ha⁻¹ incrementa o Índice de Área Foliar (IAF) até o estágio R3, sendo que, após esse estágio, o IAF não varia entre as densidades.

A densidade de plantas de soja não altera o índice SPAD até o estágio R5.4, mas em R6 o aumento da densidade reduz esse índice.

Na fase de crescimento vegetativo não há correlação entre IAF e índice SPAD com a produtividade de grãos, mas na fase de enchimento de grãos há correlações positivas entre essas variáveis.

REFERÊNCIAS

- BALBINOT JUNIOR AA et al. 2015. Densidade de plantas na cultura da soja. Londrina: Embrapa. 38p. (Documentos 364).
- BALBINOT JUNIOR AA et al. 2016. Semeadura cruzada, espaçamento entre fileiras e densidade de semeadura influenciando o crescimento e a produtividade de duas cultivares de soja. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 15: 83-93.
- BOARD JE & HARVILLE BG. 1992. Explanations for greater light interception in narrow vs. Wide-row. *Crop Science* 32: 198-202.
- BORRÁS L et al. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research* 86: 131-146.
- COX WJ & CHERNEY JH. 2011. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal* 103: 123-128.
- DERMODY O et al. 2006. How does elevated CO₂ or ozone affect the leaf area index of soybean when applied independently? *New Phytologist* 169: 145-155.
- FEHR WR & CAVINESS CE. 1977. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 15p. (Special Report 80).
- FERREIRA AS et al. 2016. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. *Bragantia* 75: 362-370.
- FERREIRA DF. 2010. SISVAR. Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA.
- HEIFFIG LS et al. 2006. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia* 65: 285-295.
- KASCHUK G et al. 2010. Differences in photosynthetic behavior and leaf senescence of soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) dependent on N₂ fixation or nitrate supply. *Plant Biology* 12: 60-69.
- KUSS RCR et al. 2008. Populações de plantas e estratégias de manejo da irrigação na cultura da soja. *Ciência Rural* 38: 1133-1137.
- LINZMEYER JUNIOR R et al. 2008. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. *Acta Scientiarum. Agronomy* 30: 373-379.
- LUDWIG MP et al. 2007. Efeito da densidade de semeadura e genótipos no rendimento de grãos e seus componentes na soja semeada após a época indicada. *Revista da FZVA* 14: 13-22.
- MOREIRA EN et al. 2015. Temporal dynamics of soybean rust associated with leaf area index in soybean cultivars of different maturity groups. *Plant Disease* 99: 1216-1226.
- PROCÓPIO SO et al. 2013. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. *Revista de Ciências Agrárias* 56: 319-325.
- RICHTER GL et al. 2014. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. *Bragantia* 73: 416-425.
- RITCHIE SW et al. 1994. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology: Cooperative Extension Service. 20p. (Special Report, 53).
- SALVAGIOTTI F et al. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops*

Research 108: 1-13.

- SANT'ANA EVP et al. 2010. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 40: 491-496.
- SANTOS HG et al. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 353p.
- SRINIVASAN V et al. 2017. Decreasing, not increasing, leaf area index will raise crop yields under global atmospheric change. *Global Change Biology* 23: 1626-1635.
- SUHRE JJ et al. 2014. Soybean yield partitioning changes revealed by genetic gain and seeding rate interactions. *Agronomy Journal* 106: 1631-1642.
- WERNER F et al. 2016. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20: 734-738.
- ZANON AJ et al. 2015. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. *Bragantia* 74: 279-290.
- ZOTARELLI L et al. 2002. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para uso na cultura do milho. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia. 4p. (Comunicado técnico 55).