



O sombreamento e densidade modificam a eficiência do uso da radiação, crescimento e produtividade da soja?

Alisson Frizon da Silva¹, Jaqueline Sgarbossa², Claiton Nardini¹, Denise Schmidt¹ e Braulio Otomar Caron^{1(*)}

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus Frederico Westphalen (UFSM/FW). Linha 7 de Setembro s/n, Rodovia BR 386, km 40, CEP 98400-000 Frederico Westphalen, RS.

E-mails: alissonfrizon@hotmail.com, claitonnardini@live.com, denise@ufsm.br e otomarcaron@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Avenida Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS.

E-mail: sgarbossajs@yahoo.com

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 4 de setembro de 2020

Aceito em 6 de fevereiro de 2021

Termos para indexação:

Índice de área foliar

massa seca

crescimento

RESUMO

A soja é considerada uma das principais commodities agrícolas, por ser produto base para produção de alimentos. Assim, o objetivo foi analisar a eficiência do uso da radiação solar, crescimento e produtividade da soja submetida a diferentes níveis de sombreamento, e com diferentes densidades de semeadura. O estudo foi realizado em Frederico Westphalen - RS na safra 2016/2017. O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados dispostos em sistema fatorial 4 x 4, caracterizados por quatro níveis de interferência na chegada de radiação no dossel e quatro densidades de semeadura, sendo a densidade ideal (250.000 plantas/ha) e outras 3 variações em função dessa densidade (-40%, +40% e +80%). Melhores resultados para produtividade foram encontrados no nível de 50% de interferência com densidade +40% plantas por hectare. Os tratamentos influenciaram os valores de índice de área foliar, taxa de crescimento absoluto, eficiência de conversão da radiação e produtividade. Sendo, que níveis de radiação com até 50% de interferência e densidade de +40% da densidade ideal a produtividade aumenta, com diferenças significativas para o nível de 0% de interferência e 70% nessa densidade. Portanto, caso a soja seja cultivada em sistemas de consórcio a interferência de radiação deve ser inferior a 50%.

© 2021 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

A soja (*Glycinemax* (L.) Merrill) é uma cultura que representa uma das principais fontes de proteína vegetal, sendo amplamente cultivada em todo o mundo. Além disso, é utilizada como matéria prima para a produção de produtos como, ração e óleo. Na safra 2017/18 a área plantada no

mundo foi de 124.580 milhões de hectares, e produção de 336.699 milhões de toneladas (USDA, 2018). O Brasil contribui com 119.518 milhões de toneladas, cerca de 34,75% de toda a produção mundial em uma área de 35.10 milhões de hectares. Dados de maio de 2019 publicados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), apontam a safra 2019/2020 no Brasil com produção de 123 milhões

de toneladas, considerando que não haja danos climáticos, o país passa a ser o maior produtor mundial de soja no mundo (CONAB, 2019).

Segundo Monteiro (2009), a crescente demanda por alimento devido ao aumento populacional, as preocupações com a degradação dos recursos naturais e com a sustentabilidade da agricultura fazem com que seja necessário a busca por novas estratégias que visam práticas adequadas de cultivos, sendo essencial um melhor entendimento entre as relações entre o clima e agricultura. Nesse sentido, vários estudos vem sendo desenvolvidos com o objetivo de gerar conhecimento técnico-científico usando sistemas agroflorestais como uma alternativa para a produção sustentável (Pilau et al., 2015; Elli et al., 2016; Schwerz et al., 2017; Nardini et al., 2019; Cristo et al., 2020; Sgarbossa et al., 2020). A premissa destes estudos é gerar um equilíbrio entre a produção agrícola de soja e espécies florestais, consorciadas para produzir alimentos e energia (Caron et al., 2018).

Conhecendo as relações físicas do ambiente, principalmente solo e atmosfera, e as espécies que são cultivadas, é possível obter informações mais precisas em relação as influências do tempo e do clima no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (Monteiro, 2009). Esses fatores são influenciados principalmente pelas variáveis meteorológicas: chuva, temperatura do ar e radiação solar (Hoogenboom, 2000).

Segundo Cruz et al. (2016) a soja pode alterar a produtividade em relação ao aumento de densidade. Associado aos fatores ambientais, o manejo e a correta densidade de plantas é um fator importante para melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. A densidade de plantio varia conforme a cultivar utilizada e com a quantidade de recursos disponíveis como a água e nutrientes, além da radiação solar.

Segundo Angelocci et al. (2002), o fenômeno de captura radiativa é determinado por vários fatores físicos e biológicos, sendo os principais: o tamanho e a geometria das plantas; a maneira com que as plantas ocupam a área de solo disponível, isto é, a distribuição horizontal na área; a cor, o tamanho, a orientação, e a idade das folhas; a arquitetura da planta, isto é, a distribuição vertical da folhagem no espaço disponível; e o ângulo de incidência dos raios solares. Ao chegar na superfície da cobertura vegetal (dossel), a radiação solar pode ser absorvida, transmitida e refletida em proporções variáveis, dependendo dos fatores anteriormente citados.

Pereira et al. (2002) destacam que as plantas possuem certa plasticidade morfológica, ou seja, que elas são capazes de desenvolver adaptações aos estímulos e estresses impostos pelo ambiente com mudanças em suas características físicas externas. Além disso, os folíolos da soja

alteram o ângulo durante o dia em resposta à radiação incidente que é interceptada. Esse movimento é induzido pela luz azul que se encontra na faixa de 400-500 nm e é chamado de heliotropismo (Koller, 1986). A soja é um exemplo de planta que apresenta essas características com grande capacidade de adaptação aos diferentes ambientes produtivos e ao manejo adotado, apresentando alterações morfológicas e em seus componentes de produção (Heiffiget al., 2002; Ferreira Junior et al., 2010; Silva et al., 2010). Além dessa característica, alguns trabalhos realizados por Peixoto et al. (1999) e Mauad et al. (2010), demonstram que as plantas de soja buscam adaptações para compensar as baixas populações de plantas através do aumento no número de nós reprodutivos, de vagens e de grãos por vagem.

Desse modo, as interações da radiação solar com as plantas condicionam o microclima interno da cobertura vegetal. Alguns fatores como a quantidade e a qualidade de radiação disponível no interior do dossel afetam os processos fisiológicos das plantas. A atenuação da radiação na cobertura vegetal depende, principalmente, da densidade da folhagem, do arranjo das folhas no interior da vegetação, do ângulo existente entre a folha e a radiação incidente e do coeficiente de extinção (k). Esse, por sua vez, revela o grau de diminuição da luz no dossel, por absorção e espalhamento (Monteith & Unsworth, 1990).

Segundo Sanquetta et al. (2014) um dos fatores que podem influenciar a eficiência de conversão da radiação solar (ϵ) é o índice de área foliar da cultura, sendo essa, uma característica que pode ser manipulada através do uso de diferentes densidades de cultivo de plantas. Um bom exemplo de alterações do microclima são os sistemas agroflorestais (SAF's) que são consórcios de espécies florestais com culturas anuais. Esses sistemas podem promover mudanças na dinâmica da radiação solar e sua transmissividade para o sub-bosque, de tal modo que essa radiação solar possa levar a mudanças quantitativas e qualitativas no dossel de plantas, em relação à porcentagem da área coberta pela copa árvores (Caron et al., 2012).

Portanto, alguns estudos utilizando malhas de sombreamento como uma forma de avaliar os efeitos da restrição da radiação solar são importantes fontes de informações que podem ser utilizada em estudos para aclimação de plantas em outros ambientes, onde não é possível isolar os efeitos da radiação solar, como em sistemas agroflorestais (Pivatto et al., 2014).

Dada a importância da busca de informações para utilização em novos sistemas de produção, como os sistemas agroflorestais e a busca por novas densidades de plantas para a otimização do uso do solo, foi gerada a seguinte hipótese: o sombreamento artificial e densidades de planta alteram a eficiência da radiação solar, crescimento e produtividade da soja. Desta forma, o objetivo do estudo foi

analisar o eficiência da radiação solar, crescimento e produtividade da soja submetida a diferentes níveis de sombreamento e a diferentes densidades de semeadura.

Material e métodos

O estudo foi conduzido a campo, na cidade de Frederico Westphalen – Rio Grande do Sul, sob coordenadas geográficas 27°23'48"S, 53°25'45"W a 490 m de altitude. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido com temperaturas médias anuais de 19,1 °C e temperaturas máximas e mínimas variando de 38 °C e 0 °C, respectivamente (Alvares et al., 2013). Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos junto à estação meteorológica automática vinculada ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, localizada a uma distância de 400 m da área experimental. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, com a seguinte composição química (Tabela 1).

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, dispostos em sistema fatorial 4 x 4, caracterizados por quatro níveis de interferência na chegada de radiação: 0%, 30%, 50% e 70% com o uso de malhas de polipropileno de cor preta, conhecidas como sombrite, que recobriam a parte superior e lateral de um túnel com dimensões de 4 m x 15 m e 1,5 m de altura e quatro densidades de semeadura (-40, 0, 40 e 80%) variando conforme a recomendação para a cultura, com 4 repetições. Partindo da densidade ideal de 250.000 plantas por hectare, foram calculados os níveis de -40%, +40% e +80% a partir da recomendação, obtendo-se 150.000, 350.000 e 450.000 plantas, respectivamente.

A semeadura foi realizada no dia 21 de novembro de 2016 com auxílio de uma semeadora adubadora, utilizando a cultivar NA5909RG que possui hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação de 6.9, mantendo-se uma população final de 250.000 plantas ha⁻¹, a emergência superior de 50% da população foi observado no dia 26 de dezembro de 2016.

A parcela experimental constituiu-se de oito linhas de 3,0 m, espaçadas em 0,45 m. Considerou-se como parcela útil às quatro linhas centrais retirando-se 0,5 m das extremidades. As avaliações de crescimento foram realizadas com intervalo de quinze dias, iniciando com as plantas em estágio V1, que corresponde à plântulas que apresentam no primeiro nó folhas unifolioladas completamente desenvolvidas, ou seja, quando os bordos dos folíolos da primeira

folha trifoliada não mais se tocam. Em seguida, as coletas foram realizadas nos estádios V3, V5, R1, R3, R5.3, R7.2 e R8.2 quando apresentavam mais de 50% de desfolha, e a colheita foi realizada em R9 quando as plantas apresentavam a maturação de colheita. Em cada estágio foram coletadas três plantas para cada densidade em cada nível de sombreamento, totalizando 448 plantas coletadas ao final do experimento

As plantas coletadas foram encaminhadas ao laboratório onde efetuou-se o seccionamento de cada compartimento: folhas, colmo, flores, folhas senescentes ou em processo de senescência e legumes para posterior determinação da área foliar de cada amostra. Quando as folhas apresentavam 50% ou mais de sua área foliar comprometida foram consideradas senescentes. Posteriormente a separação das amostras, as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em estufa com circulação de ar forçada, sob temperatura controlada de 60 °C, até atingirem massa constante.

A eficiência do uso da radiação solar foi determinada relacionando a produção média de fitomassa seca acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada, de acordo com a Equação 1, descrita por Monteith, (1977).

$$E_b = PFS * RFA_i \quad (1)$$

em que: PFS = produção de fitomassa seca em g m⁻², E_b= eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa seca produzida em g MJ⁻¹ e RFA_i= radiação fotossinteticamente ativa interceptada em MJ m⁻².

A estimativa da radiação fotossinteticamente ativa incidente foi efetuada considerando 45% da radiação solar global (Assis & Mendez, 1989), não havendo diferença entre dias de intensa incidência luminosa e dias nublados. A estimativa da radiação fotossinteticamente ativa interceptada foi determinada por meio do modelo descrito (Equação 2) por Varlet-Grancher et al. (1989).

$$RFA_i = 0,95 * (RFA_{inc}) * (1 - e^{(-k * IAF)}) \quad (2)$$

em que: RFA_i corresponde a radiação fotossinteticamente ativa interceptada em MJ m⁻²; RFA_{inc}, faz referência a radiação fotossinteticamente ativa incidente em MJ m⁻²; k refere-se a constante adimensional de extinção, calculada para cada condição de sombreamento, bem como para pleno Sol e IAF corresponde ao índice de área foliar.

Tabela 1. Composição química da área experimental no ano agrícola 2016/2017. Frederico Westphalen,RS, 2020.

pH(H ₂ O)	P(mgL ⁻¹)	K(mgL ⁻¹)	Ca(cmolcL ⁻¹)	Mg(cmolcL ⁻¹)	CTC(cmolcL ⁻¹)	V (%)	MO (%)
5,5	8,4	199,5	4,8	2,2	10,8	69,5	2,5

O coeficiente de extinção (k) foi calculado usando a seguinte equação:

$$k = -\ln(I/I_0)/IAF \quad (3)$$

em que: k corresponde coeficiente de extinção; I refere-se a incidência de radiação solar que chega no extrato inferior do dossel; I_0 é a incidência de radiação solar que chega no extrato superior do dossel e o IAF corresponde ao índice de área foliar.

A radiação global incidente ($W m^{-2}$) foi determinada em cada coleta de plantas, sendo tomadas as medidas de radiação incidente sobre o estrato superior e sobre o estrato inferior de dossel vegetativo, com auxílio de um piranômetro (LICOR PY32164) acoplado a um Datalogger (LICOR 1400), sendo determinada nos seguintes horários 9, 10, 12, 14, 15, 16h com intuito de considerar o caminhamento do sol durante o dia.

A mensuração da área foliar de cada unidade amostral foi realizada através do uso de integrador de área foliar LI-COR modelo 3000, com a unidade expressa em cm^2 . O índice de área foliar (IAF) foi determinado a partir da área foliar total e a área de solo explorada por cada planta ($0,04 m^2$), de acordo com a Equação 3.

$$IAF = AF/AE \quad (4)$$

em que: IAF corresponde ao índice de área foliar; AF refere-se à área foliar total da planta em m^2 , AE à área de solo explorada pela planta.

Com base nos resultados obtidos para matéria seca e área foliar, foi determinado o parâmetro da análise de crescimento, de acordo com metodologia utilizada por Benincasa, (2003): taxa de crescimento absoluto (TCA em $g dia^{-1}$). A TCA cujo cálculo foi realizado através da Equação 4, avalia a produtividade primária líquida. É o somatório das taxas de crescimento dos diversos componentes das plantas (Reis & Muller, 1979; Pereira & Machado, 1987).

$$TCA = \frac{MST_2 - MST_1}{DAE_2 - DAE_1} \quad (5)$$

em que: MST representa a massa seca total das plantas (g); 1 e 2 representam duas coletas sucessivas e DAE representa os dias após a emergência.

A colheita foi realizada no dia 06 de abril de 2016, quando as plantas atingiram maturação de colheita, onde foram coletadas 10 plantas de cada parcela. Posteriormente foi realizada a debulha do material vegetal, onde os grãos obtidos foram pesados em balança de precisão com capacidade de 5 kg e a umidade corrigida a 13%. As variáveis produtivas avaliadas foram: número de legumes por plan-

ta, número de grãos por planta, massa total de grãos por planta e produtividade em $kg ha^{-1}$.

Os dados de produtividade foram analisados estatisticamente através do software SAS Learning Edition 8.0 (SAS, 2003), e os resultados obtidos através da análise de variância (ANOVA). Quando houve significância, foi verificado pelo teste F ($p \leq 0,05$) e realizado a comparação múltipla de médias. Para o cálculo da eficiência do uso da radiação solar foi ajustado uma equação linear, onde o incremento de massa seca corresponde de forma linear a radiação fotossinteticamente ativa interceptada. Os resultados referentes a índice de área foliar e taxas de crescimento foram detalhados por meio de análise descritiva.

Resultados e discussão

Durante o estudo foram obtidos valores de precipitação pluviométrica acumulada de 1.155,2 mm e a temperatura do ar durante o ciclo da cultura variou de 12,3 a 31,9 °C, com temperatura média geral em torno de 22,1° C. Os valores de radiação solar global acumulada ($MJ m^{-2}$), precipitação pluviométrica (mm) e temperatura do ar (°C), são apresentados na Figura 1.

Segundo Monteiro (2009), a soja se adapta em regiões onde a temperatura oscila entre 20 e 30 °C, sendo que os valores ideais para seu desenvolvimento devem estar em torno de 30 °C e precipitação em torno de 650 a 700 mm, sendo bem distribuída durante todo o ciclo da cultura. As condições climáticas observadas, como precipitação e temperatura apresentaram valores adequados durante o ciclo e não foram limitantes para o desenvolvimento da cultura, pois atenderam a demanda. Dessa forma, as respostas observadas nas diferentes variáveis desse estudo, estão diretamente relacionadas aos efeitos dos diferentes níveis de radiação e densidade de cultivo. Porém, vários fatores podem interferir na produtividade da soja, sendo o clima, as tecnologias de produção e o manejo adotado.

Os valores de índice de área foliar (IAF) da soja nos diferentes níveis de radiação e nas diferentes densidades de semeadura durante o ciclo da cultura estão apresentados na Figura 2. Os maiores valores foram encontrados entre os 76 e 90 dias após a emergência (DAE) em todos os diferentes níveis de sombreamento. Nesse período, as plantas estavam entre os estádios R3 e R5, coincidindo os maiores valores no incremento de IAF com a formação de legumes. Nos estádios reprodutivos, existe uma demanda intensificada de nutrientes e água que são utilizados pela plantas para formação de fotoassimilados que serão direcionados aos grãos, pois é nessa fase que ocorre a formação dos legumes e o início da granação das vagens. (Heiffig, 2002).

Os maiores valores de IAF foram observados no tratamento a pleno sol, ou seja, sem interferência na chegada de radiação aos 90 dias após a emergência com densidade

Figura 1. Valores médios quinzenais de radiação solar incidente acumulada (R. Solar), temperatura do ar mínima (T. Mín.), média (T. Méd.) e máxima (T. Máx.) (A.) e precipitação pluviométrica quinzenal (B.), durante o período de condução do experimento (02/12/2015 à 19/04/2016). Frederico Westphalen, RS, 2020.

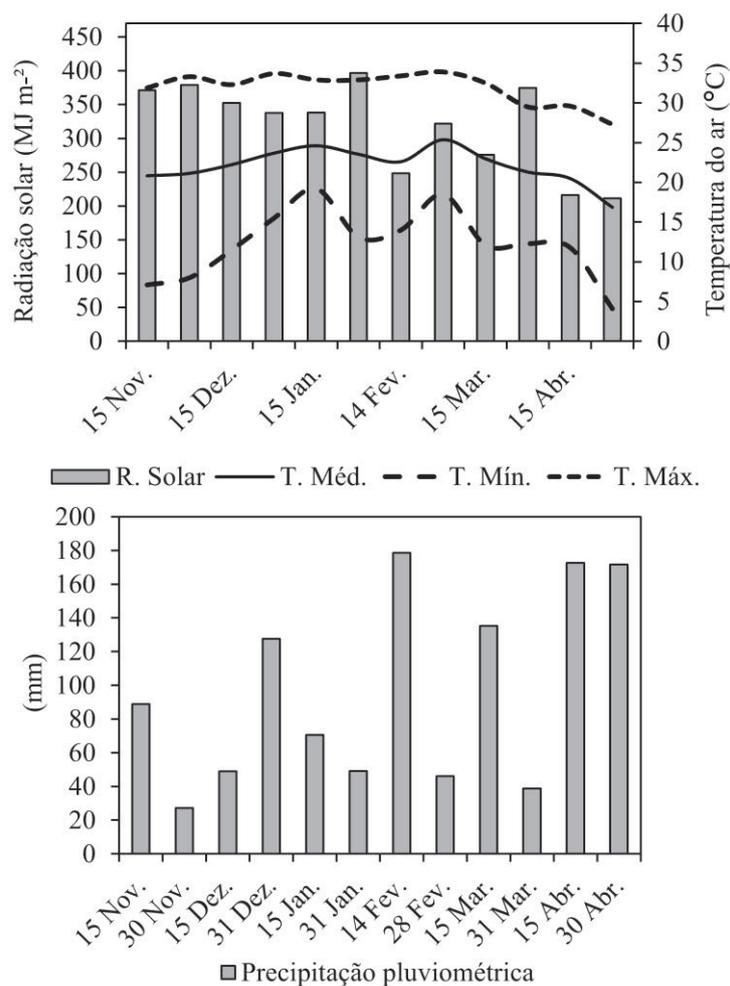
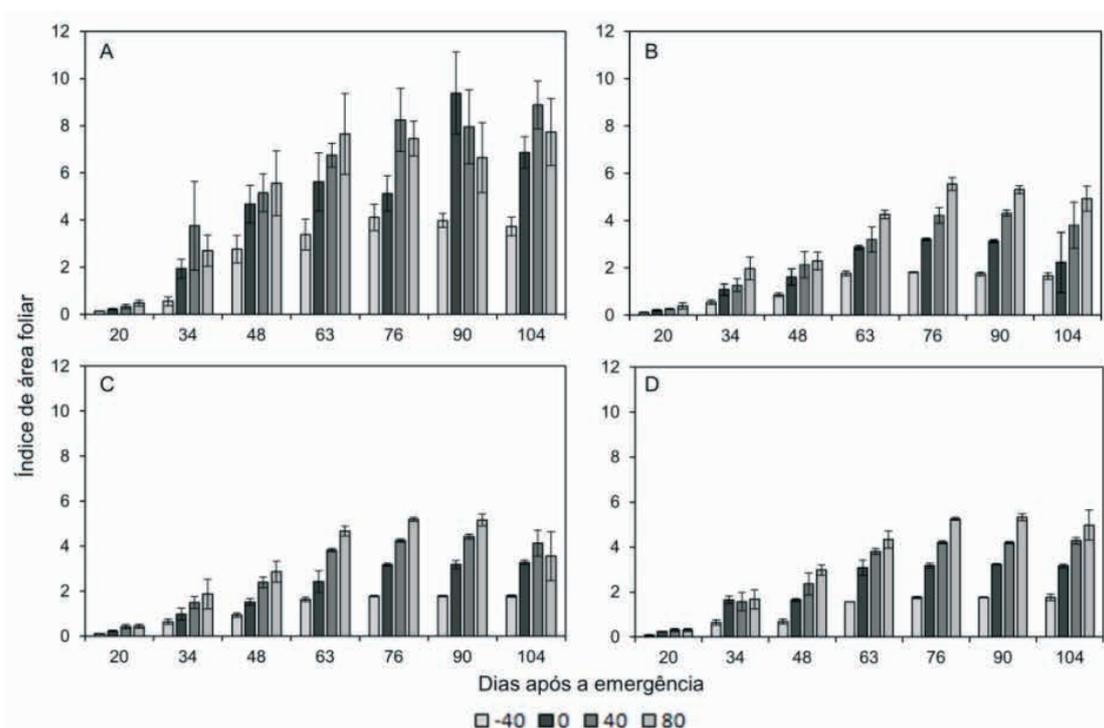


Figura 2. Índice de área foliar de soja cultivada sob quatro níveis de interferência no sombreamento, 0% (A), 70% (B), 50% (C) e 30% (D), sobre as diferentes densidades de planta ao longo dos estádios de desenvolvimento. Frederico Westphalen, RS, 2020.



ideal de 250.000 plantas por hectare. Nos tratamentos com 30, 50 e 70% de interferência os maiores índices de área foliar foram encontrados na densidade de 450.000 plantas por hectare entre os 76 e 90 dias após a emergência. Pode-se notar que em densidades maiores os índices de área foliar demoram mais para atingir o ponto máximo, demonstrando que as plantas levam mais tempo para iniciar o processo de enchimento de grãos e a senescência foliar. Isso está diretamente ligado ao crescimento e desenvolvimento das plantas de acordo com a quantidade de radiação que chega em cada sistema de cultivo (Caron et al., 2012). Analisando como as plantas utilizam a radiação é possível observar que ocorrem adaptações e alterações morfológicas em suas estruturas mediante enriquecimento dos centros de reação do fotossistema II. Através dessas alterações ocorrem aumento da absorção de luz e transferência de energia em ambientes sombreados e que predomina a luz vermelha-distante (Taiz & Zeiger, 2017).

Sanford (1962), trabalhando com a cultura do abacaxi, observou que a diminuição de 20% na incidência da radiação solar corresponde a uma redução de 10% no rendimento. Portanto, é possível que a energia proveniente da produção de fotoassimilados que poderia ser usada na formação de estruturas reprodutivas é usada em outras partes da planta, como aumento da área foliar e formação de estruturas vegetativas. Em decorrência disso, ocorre a diminuição da produtividade. Quando cultivadas em con-

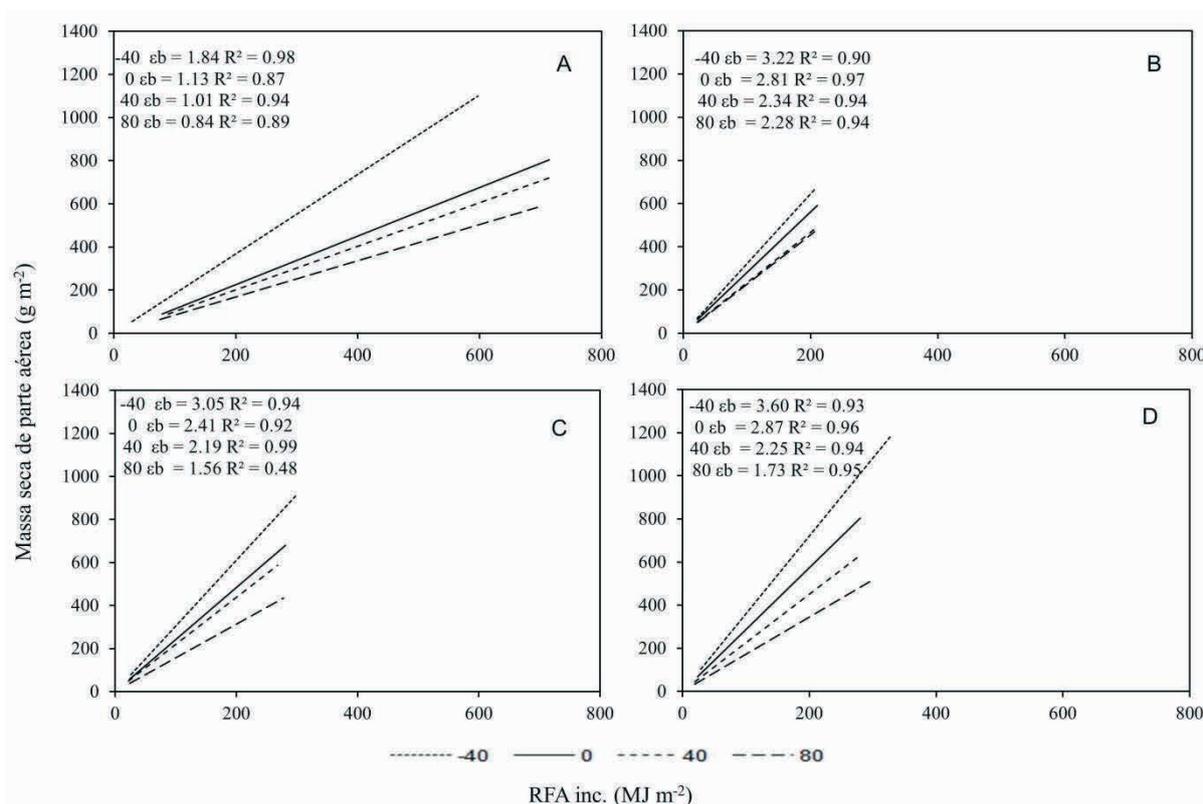
dições de sombreamento as plantas respondem com o direcionamento dos fotoassimilados pelo alongamento do caule e folhas, reduzindo o acúmulo de fitomassa (Bosi et al., 2014; Taiz et al, 2017).

Em contra partida, plantas a pleno sol possuem maior disponibilidade de radiação solar, entretanto, essa maior disponibilidade não condiz em maiores valores de eficiência no uso da radiação solar como demonstrado na Figura 3. Segundo Sgarbossa et al. (2018), quanto maior a restrição de radiação solar sendo influenciada pela densidade ou sombrite maiores serão os valores de eficiência da radiação. Toda essa radiação que chega ao dossel de plantas tende a ser aproveitada na produção de fotoassimilados que serão essenciais na geração de substratos utilizados no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os valores observados demonstram que a eficiência do uso da radiação no tratamento com 0% de interferência foi inferior aos valores observados nos níveis de 70%, 50%, e 30%, sendo que a relação entre massa seca da parte aérea (g m^{-2}) e a RFAinc (MJ m^{-2}) foi maior no tratamento sem sombreamento, ou seja, para acumular um grama de massa seca foi necessário maior acúmulo da radiação solar.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) pode ser usada para medir a velocidade média de crescimento ao longo de um período de tempo (Benincasa, 1988). Para as plantas de soja, a TCA calculada para um período de 2 semanas (14 dias) apresentaram picos entre os 76 e 90 DAE (Figura

Figura 3. Eficiência do uso da radiação (g MJ^{-2}), de plantas de soja cultivadas sob quatro níveis de interferência na chegada de radiação, 0% (A), 70% (B) 50% (C) e 30% (D), sobre diferente densidade de plantas. Frederico Westphalen, RS, 2020.



4). Como observado, os valores de TCA coincidem com os maiores valores de incremento de IAF, onde as plantas estão na fase reprodutiva e ocorre a formação dos legumes. Os níveis de +40 e +80 apresentaram valores de TCA muito semelhantes em todos os níveis de sombreamento. Os picos nesses tratamentos ficaram entre os 76 e 90 DAE nos níveis 0%, 30% e 70%, somente diferindo no nível 50%, onde o pico ficou entre os 63 e 70 DAE. A variação nos valores taxa de crescimento absoluto podem estar relacionados aos elevados níveis de radiação solar que as plantas demandam para realizar a fotossíntese, e desta forma atingir maiores índices de crescimento da cultura no início da fase vegetativa (Tibolla et al., 2019).

De acordo com análise de variância (ANOVA), foi observada interação níveis de sombreamento x densidade (Tabela 2). O efeito de níveis de sombreamento e densidade para as variáveis de número de legumes por planta,

número de grãos por planta, massa dos grãos por planta e produtividade (kg ha^{-1}). Para o fator níveis de sombreamentos, houve diferença somente para variável número de legumes por plantas.

O tratamento que apresentou maior número de legumes por planta (Figura 5A), foi a densidade -40 no nível de interferência de 50%. Além disso, essa densidade mostrou resultados maiores para todos os níveis de sombreamento em relação às outras densidades. O número de grãos por planta seguiu o mesmo padrão observado para a variável de número de legumes, bem como a massa de grãos por planta (Figura 5B). Sendo possível perceber a relação que ha entre essas variáveis.

O tratamento que apresentou maiores valores de produtividade foi a densidade +40 no nível de sombreamento de 50% de interferência na luminosidade pouco superior à densidade ideal (0), porém não apresentaram diferença.

Figura 4. Taxa de crescimento absoluto (g dia^{-1}) de plantas de soja cultivadas sob quatro níveis de interferência na radiação solar, 0%(A), 70% (B) 50% (C) e 30% (D), sobre diferente densidade de planta ao longo dos estádios de desenvolvimento. Frederico Westphalen-RS, Brasil, 2020.

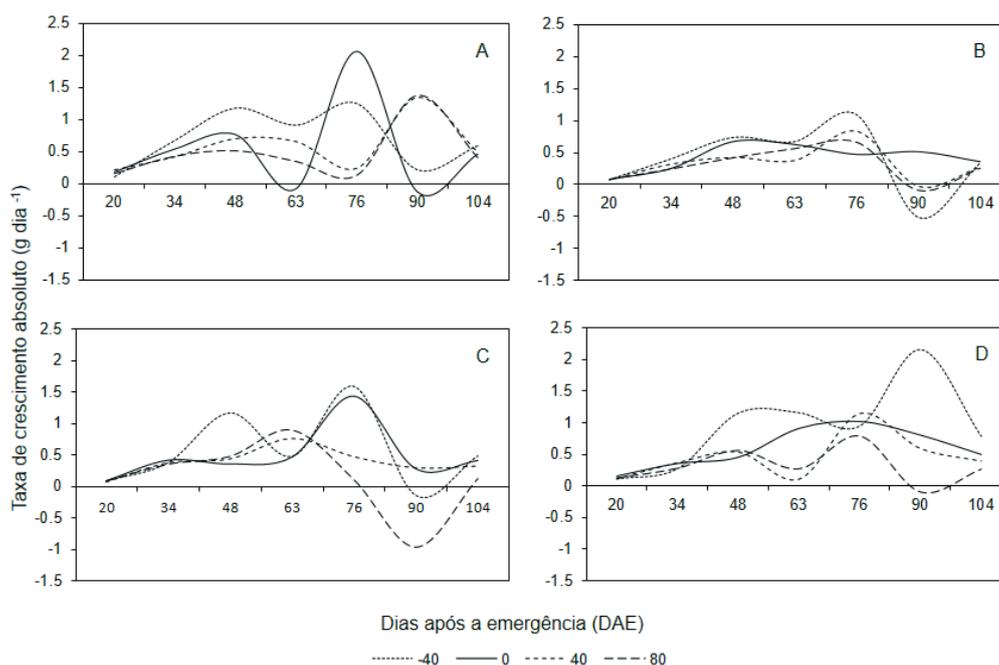
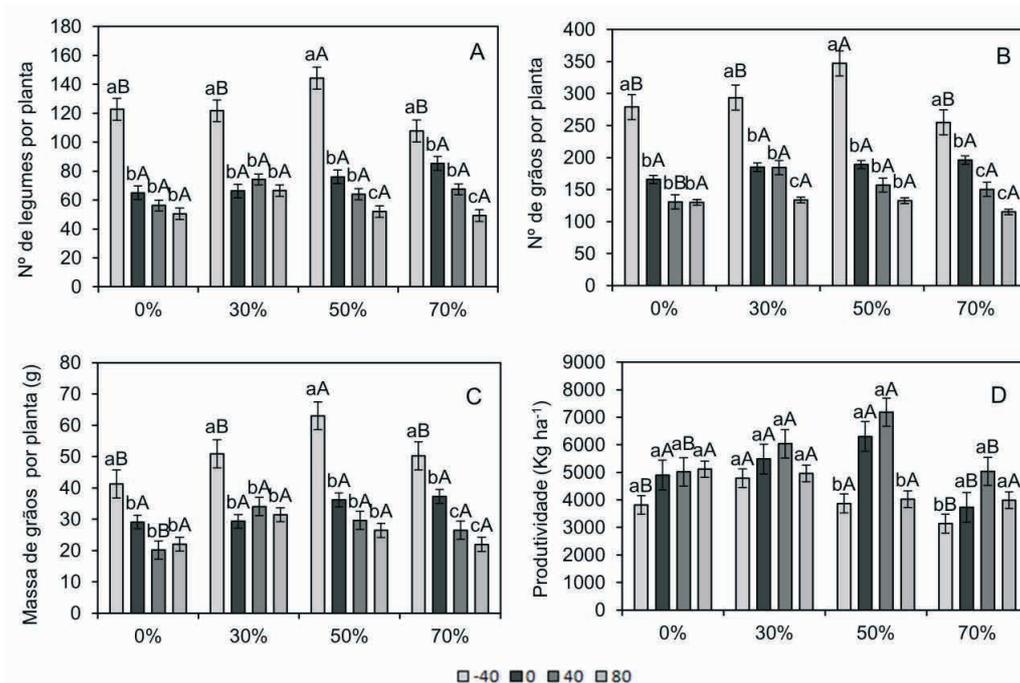


Tabela 2. Análise de variância e significância dos quadrados médios da análise de variância e coeficiente de variação (CV), das características de rendimento da soja.

Análise de variância	NLP	NGP	MGP	Prod. (kg ha^{-1})
Níveis de sombreamento	362,057*	3.515,229	336,579	1.856,689
Densidade	15.180,516	84.438,604	2.219,029	2.964,534
Níveis de Sombreamento	461,585*	1.845,1597*	92,358*	509,257*
*Densidade				
Resíduos	172,557*	3.465,521	43,725*	423,361*
CV (%)	19,392	16.986	21.286	24,541

Nota: Características: número de lugumes por planta (NLP), número de grãos por planta (NGP) e produtividade (kg ha^{-1}) (Prod.). *Efeito significativo pelo teste de F ao nível de probabilidade de 5%.

Figura 5. Número de legumes por planta (A), número de grãos por planta (B), massa de grãos por planta (C) e produtividade (D) de plantas de soja cultivadas sob quatro níveis de interferência no sombreamento, 0, 30%, 50% e 70% em diferente densidade de planta. Letras minúsculas se referem à densidades de plantas e letras maiúsculas se referem à diferentes níveis de interferência no sombreamento. Frederico Westphalen, RS, 2020.



Há diferenças para a densidade 40- entre a que apresentou melhores resultados. Embora a redução da densidade de plantas possibilite incremento nas variáveis: número de legumes por planta, número de grãos por planta e massa de grãos por planta, esse aumento não é capaz de aumentar a produtividade devido o número reduzido de plantas por hectare. Os valores obtidos no estudo foram superiores à estimativa de produtividade nacional que foi de 2.882 kg ha⁻¹ para a safra 2015/2016 (CONAB, 2019).

Tibolla et al. (2019), trabalhando com diferentes níveis de sombreamento na cultura da soja, obteve maiores valores de produtividade com 0% de interferência, porém com maiores valores de estatura de plantas para o nível de 50% de interferência, ou seja, à medida que se elevou os níveis de sombreamento, as plantas apresentaram um maior investimento no alongamento celular resultando num maior crescimento. Porém, nem sempre as maiores alturas resultam em maiores rendimentos (Souza et al., 2013).

Conclusão

Os maiores valores de eficiência do uso da radiação foram obtidos com níveis de radiação de 70% de interferência, na densidade de cultivo -40, porém esse fator não indica aumento de produtividade. As diferentes densidades de plantas influenciam na produtividade da soja, confirmando a hipótese. Com densidade muito baixas, o aumento de legumes devido ao engalhamento não é capaz de compen-

sar o número reduzido de plantas. Os diferentes níveis de sombreamento exercem influências como o aumento a eficiência de conversão da radiação solar conforme diminui a incidência no dossel e, além disso, o crescimento também é alterado devido à alongação das plantas em busca de luminosidade. À partir de níveis acima de 50% de interferência na radiação a soja diminui o seu rendimento em produtividade.

Nesse sentido, caso a soja seja utilizada em sistemas consorciados deve ser feito a escolha das plantas que vão compor o sistema, buscando espécies arbóreas e arranjos que não interfiram mais que 50% na chegada de radiação no interior do dossel e aumento da densidade em 40% partindo da densidade recomendada possibilitando que a soja atenda sua demanda de radiação e permitindo um cultivo ideal. Mesmo assim, é necessário estudos específicos nesses sistemas pois existem outras variáveis que podem interferir na produtividade além da radiação solar.

Contribuição dos autores

A. F. SILVA e C. NARDINI foram responsáveis pela condução do projeto e redação do artigo. J. SGARBOSSA pelo desenvolvimento do projeto, organização e planejamento de tratamentos. D. SCHMIDT e B. O. CARON pelo desenvolvimento do projeto e revisão do artigo.

Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas**. Agropecuária, Guairá, 2002. 478p.
- ASSIS, F. N.; MENDEZ, M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.24, p.797-800, 1989.
- BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: Funep, 1988. p.41.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C.; SANTOS, P. M.; NICODEMO, M. L.F. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, p.449-456, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000600006
- CARON, B. O.; LAMEGO, F. P.; SOUZA, V. Q. D.; COSTA, E. C.; ELOY, E.; BEHLING, A.; TREVISAN, R. Interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas. *Ciência Rural*, v. 42, p.75-82, 2012. DOI: 10.1590/S0103-8782012000100013
- CARON, B. O.; SGARBOSSA, J.; SCHWERZ, F.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; BEHLING, A. Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3799-3812, 2018. DOI: 10.1590/0001-3765201820180282
- CONAB, 2016. Observatório agrícola; **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V3 – SAFRA 2015/16 – N.9 - Nono levantamento, junho 2016. Disponível em: file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/Boletim_Graos_junho_2016.pdf. Acesso em: 27 ago. 2020.
- CONAB, 2019. Companhia Nacional de Abastecimento; Boletim da Safra de Grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10> Acesso em: 28 jun. 2020.
- CRISTO, E. D.; SGARBOSSA, J.; SCHWERZ, F.; NARDINI, C.; TIBOLLA, L. B.; CARON, B. O. Growth and yield of soybean cultivated in agroforestry systems. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 67, p.165-175, 2020. DOI: 10.1590/0034-737X202067030001
- CRUZ, S. C. S.; JUNIOR, D. G. S.; DOS SANTOS, D. M. A.; LUNEZZO, L. O.; MACHADO, C. G. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. *Journal of Neotropical Agriculture*, v.3, p.1-6, 2016.
- ELLI, E. F.; CARON, B. O.; ELOY, E.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q. D.; SCHWERZ, F. Productive, morphological and qualitative characteristics of sugarcane in the understory tree species in agroforestry systems. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, p.1576-1584, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2015.10579
- EMBRAPA, 2003 **Sistemas de produção. Tecnologias de produção de soja**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/468831/1/SistemasdeProducao3.pdf> Acesso em: 25 Jun. 2020.
- FERREIRA J. J. A.; ESPINDOLA, S. M. C. G.; GONÇALVES, D. A. R.; LOPES, E. W. Avaliação de genótipos de soja em diferentes épocas de plantio e densidade de semeadura no município de Uberaba-MG. *FAZU*, p.13- 21, 2010.
- HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. 2002, 97p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and forest meteorology*, v.103, p.137-157, 2000. DOI: 10.1016/S0168-1923(00)00108-8
- KOLLER, D. The control of leaf orientation by light. *Photochemistry and photobiology*, v.44, p.819-826, 1986. DOI: 10.1111/j.1751-1097.1986.tb05542.x
- MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; NETO, A. I. A.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. *Agrarian*, v.3, p.175-181, 2010.
- MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1.ed. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2009. 530p.
- MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, London, v.281, p.277-294, 1977. DOI: 10.1098/rstb.1977.0140
- MONTEITH, J.; UNSWORTH, M. **Principles of environmental physics: plants, animals, and the atmosphere**. Academic Press, 2013.422p.
- NARDINI, C.; SGARBOSSA, J.; SCHWERZ, F.; ELLI, E. F.; MEDEIROS, S. L. P.; CARON, B. O. Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v.31, p.535-543, 2019. DOI: 10.9755/ejfa.2019.v31.i7.1977
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 1981. 440p.
- PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. D. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. *Scientia agricola*, v.57, p.89-96, 2000. DOI: 10.1590/S0103-90162000000100015
- PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas : IAC, Boletim Técnico, 1987. 33p.
- PILAU, J.; ELLI, E. F.; NARDINO, M.; KORCELSKI, C.; SCHMIDT, D.; CARON, B. O. Desenvolvimento e qualidade do azevém no sub-bosque de angico-vermelho em sistema silvipastoril. *Communicata Scientiae*, v. 6, p.437-444, 2015. DOI: 10.14295/cs.v6i4.1079
- PIVATTO, G.L.; ANDOLFI, P.F.; TINTORI, J.L.; MOREIRA, G.R.; CUNHA, G. D. M. Efeito do sombreamento e métodos de amostragem dos frutos em café arábica cultivado sob estiação prolongada, na região do Caparaó, Espírito Santo. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, p.1434-1441, 2014.
- SANFORD, W. G. Pineapple crop log-concept and development. *Better Crops Plant Food*, v. 46, p.32-43, 1962.
- SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. D.; SIMON, A.; PSCHIEDT, H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, v. 42, p.361-370, 2014.
- SCHWERZ, F. **Interações dinâmicas no crescimento de tungue e cana-de-açúcar em sistemas agroflorestais**. 2017. 143 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen.
- SGARBOSSA, J.; ELLI, E. F.; SCHWERZ, F.; NARDINI, C.; CRISTO, E. D.; OLIVEIRA, D. D.; CARON, B. O. Morphology, growth and yield of black oats cultivated in agroforestry systems in southern Brazil. *Agricultural Systems*, v. 184, p. 102911, 2020. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.102911
- SGARBOSSA, J.; DA SILVA, D. R. O., ELLI, E. F., SCHWERZ, F., CARON, B. O., SCHMIDT, D.; MEDEIROS, S. L. P. Changes in the spatial distribution of maize plants affect solar radiation use efficiency. *Australian Journal of Crop Science*, v. 12, p.1609, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.10.p1187
- SILVA, L. S.; MOURA, M. C. C. L.; VALADARES, R. N.; SILVA, R. G.; SILVA, A. F. A. Seleção de variedades de soja em função da densidade de plantio, na microrregião de chapadinha, nordeste maranhense. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 6, p.07-14, 2010. DOI: 10.30969/acsa.v7i2.121
- SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. *Bioscience Journal*, v.29, p.634-643, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 858p.
- TIBOLLA, L. B.; SCHWERZ, F.; SGARBOSSA, J.; ELLI E. F.; NARDINI, C.; MEDEIROS, S. L. P.; CARON, B. O. Effect of artificial shading on soybean growth and yield. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, v.14, e6876, 2019. DOI: 10.5039/agraria.v14i4a6876.

REFERENCIAÇÃO

SILVA, A. F.; SGARBOSSA, J.; NARDINI, C.; SCHMIDT, D.; CARON, B. O. O sombreamento e densidade modificam a eficiência do uso da radiação, crescimento e produtividade da soja? **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.29, e026786, 2021.



Does the shading and density change the efficiency of the use of radiation, growth and productivity of soybean?

Alisson Frizon da Silva¹, Jaqueline Sgarbossa², Claiton Nardini¹, Denise Schmidt¹ and Braulio Otomar Caron^{1(*)}

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus Frederico Westphalen (UFSM/FW). Linha 7 de Setembro s/n, Rodovia BR 386, km 40, CEP 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brazil.

E-mails: alissonfrizon@hotmail.com, claitonnardini@live.com, denise@ufsm.br and otomarcaron@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Avenida Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brazil.

E-mail: sgarbossajs@yahoo.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 September 2020

Accepted 6 February 2021

Index terms:

leaf area index

dry mass

growth

ABSTRACT

Soybean is considered one of the main agricultural commodities, as it is a basic product for food production. Thus, the objective was to analyze the efficiency of the use of solar radiation, growth and productivity of soybean submitted to different levels of shading, and with different sowing densities. The study was carried out in Frederico Westphalen - RS in the 2016/2017 harvest. The experimental design used was in randomized blocks arranged in a 4 x 4 factorial system, characterized by four levels of interference in the arrival of radiation in the canopy and four sowing densities, with the ideal density (250,000 plants / ha) and other 3 variations depending on of that density (-40%, + 40% and + 80%). Better results for productivity were found at the level of 50% interference with density + 40% plants per hectare. The treatments influenced the leaf area index values, absolute growth rate, radiation conversion efficiency and productivity. Therefore, radiation levels with up to 50% interference and density of + 40% of the ideal density increase productivity, with significant differences for the level of 0% interference and 70% in that density. Therefore, if soybeans are grown in intercropping systems, radiation interference must be less than 50%.

© 2021 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

SILVA, A. F.; SGARBOSSA, J.; NARDINI, C.; SCHMIDT, D.; CARON, B. O. O sombreamento e densidade modificam a eficiência do uso da radiação, crescimento e produtividade da soja? *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.29, e026786, 2021.