

Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* como estratégia para amenizar os efeitos da desfolha na soja

*Nitrogen fertilization associated with inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* to lessen the effects of soybean defoliation*

Alan Mario Zuffo¹, Rafael Felipe Ratke², Jorge González Aguilera³, Karen Annie Dias de Moraes⁴, Jorge Xavier da Silva⁴, Amanda Camila Silva Trento⁴

RESUMO: O nitrogênio (N) promove a fotossíntese, a produção e a translocação de fotoassimilados, bem como aumenta a taxa de crescimento das plantas. Este estudo teve como objetivo avaliar a resposta da soja a desfolha e a doses de N, associada à inoculação de *B. japonicum*. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 4×4 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro níveis de desfolha (0, 33, 66 e 99%) realizado no estágio R₃ (legume - canivete com 5mm) e quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N). A fonte de N utilizada foi a ureia (45% de N), sendo realizadas distribuições manuais a lanço dois dias após a desfolha. Quando os grãos estavam perceptíveis ao tato - 10% de granação (estádio R_{5,1}) foram avaliadas a altura das plantas, teor de clorofila, área foliar e matéria seca aérea. Na colheita foram determinados a inserção do primeiro legume, número de legume, número de grãos por legume, massa de mil grãos, produtividade e o teor de proteínas dos grãos. A adubação nitrogenada não teve a capacidade de amenizar o efeito da desfolha na cultura da soja, independentemente do nível de desfolha e das doses de N na aplicação. Níveis de desfolhas a partir de 30% durante a formação do legume (canivete com 5mm) culminaram na redução da área foliar, matéria seca da parte aérea, altura de plantas, número de legumes por planta, número de grãos por legume, massa de mil grão, produtividade dos grãos e o teor de proteína dos grãos.

PALAVRAS-CHAVE: Área foliar. Fixação biológica de nitrogênio. *Glycine Max* (L.) Merrill. Ureia.

ABSTRACT: Nitrogen (N) enhances photosynthesis, production and the translocation of photo-assimilates, coupled to an increase in plants' growth rates. Current paper evaluates response soybean response to defoliation and N doses associated to the inoculation of *B. japonicum*. Randomized blocks at factorial design 4×4 , with four replications, were employed. Treatment comprised four defoliation levels (0, 33, 66 and 99%) at stage R₃ (legume – with 5mm) and four doses of nitrogen (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹ N). N source consisted of urea (45% N), with manual distribution two days after defoliation. When the grain was perceptible to touch - 10% graining (stage R_{5,1}), plant high, chlorophyll rate, leaf area and dry matter were evaluated. At harvest, the insertion of the first legume, number of legumes, number of grains per legume, mass of one thousand grains, productivity and protein rates of grains were determined. Nitrogen fertilization did not mitigate the effect of defoliation in soybean, regardless of defoliation level and N dose applied. Defoliation levels as from 30% during the formation of legume (with 5mm) culminated in a decrease of foliar area, dry matter of the aerial section, plant height number of legumes per plant, number of grains per legume, mass of one thousand grains, productivity of grains and grains' protein rate.

KEY WORDS: Biological fixing of nitrogen. Foliar area. *Glycine Max* (L.) Merrill. Urea.

Autor correspondente:

Alan Mario Zuffo - alan_zuffo@hotmail.com

Recebido em: 11/12/2019

Aceito em: 03/03/2020

¹ Doutor em Agronomia, docente visitante do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão (MS), Brasil.

² Doutor em Agronomia, docente colaborador do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão (MS), Brasil.

³ Doutor em Agronomia, docente visitante do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão (MS), Brasil.

⁴ Discentes do curso de Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS), Brasil.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a principal oleaginosa cultivada no mundo, sendo o Brasil o segundo maior produtor de soja, com aproximadamente 36 milhões de hectares cultivados com essa cultura na safra 2018/2019 (CO-NAB, 2019). Entre os fatores limitantes para o incremento da produtividade dos grãos de soja destaca-se a ocorrência de insetos desfolhadores (SEDIYAMA, 2016) e a incidência de doenças como a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) (REIS *et al.*, 2019), que tem provocado danos expressivos à cultura.

No Brasil, os melhoristas já desenvolveram cultivares resistentes com a tecnologia INTACTA RR2 PRO™, que tem proteção contra as principais lagartas da cultura da soja [lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*), lagarta falsa medideira (*Chrysodeixis includens*), lagarta das maçãs do algodoeiro (*Chloridea virescens*), broca das axilas (*Crociodosema aporema*), e a supressão da lagarta helicoverpa (*Helicoverpa armigera*) e da lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*)], além da tolerância ao herbicida glifosato. Mas nem todas as cultivares são contempladas com essas tecnologias, ou até mesmo, as que possuem, podem sofrer injúrias por outros insetos e pragas desfolhadoras como as lagartas do complexo “S” Spodoptera: (*Spodoptera eridania*, *S. cosmiodes*, *S. frugiperda* e *S. albula*) (SEDIYAMA, 2016), assim, o monitoramento nas lavouras cultivadas com cultivares com a tecnologia INTACTA RR2 PRO deve ser constante. Há também a tecnologia Inox® e a Tecnologia Shield®; em ambas, as cultivares têm resistência à ferrugem asiática.

Em condições de campo, as pragas desfolhadoras e algumas doenças causam injúrias, reduzem a área foliar e conseqüentemente a capacidade fotossintética da planta (ZUFFO *et al.*, 2015). Todavia, o nível de dano depende do tempo de permanência da praga na planta, do percentual de desfolhamento e do estágio fenológico da planta (HOFFMAN-CAMPO *et al.*, 2012), sendo que as desfolhas acima de 25% e no estágio reprodutivo são os estádios mais sensíveis à desfolha, ocorrendo maior redução no potencial produtivo da soja e a produtividade dos grãos de soja (GLIER *et al.*, 2015; ZUFFO *et al.*, 2015).

A soja é uma oleaginosa que necessita de 80kg de nitrogênio (N) para produzir uma tonelada de grãos (KASCHUK *et al.*, 2016), principalmente no início do enchimento dos legumes (KASCHUK *et al.*, 2010; HUNGRIA; MENDES, 2015), e são geralmente cumpridos por fixação biológica de nitrogênio (FBN) pela simbiose que as raízes das plantas estabelecem com *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* (DOMINGOS *et al.*, 2015), além da absorção de N do solo (ZUFFO *et al.*, 2018), que pode ser fornecido pela aplicação de N mineral.

Pesquisas recentes mostram que a aplicação de fertilizantes nitrogenados não melhora o rendimento e o teor de proteínas dos grãos (KORBER *et al.*, 2017; ZUFFO *et al.*, 2018; ZUFFO *et al.*, 2019; ZUFFO *et al.*, 2020). Todavia, em condição do estresse abiótico, a exemplo a desfolha, o N mineral pode auxiliar na recuperação da planta principalmente na fase reprodutiva. Segundo Zuffo *et al.* (2015), como reflexo da redução da área foliar, há inibição na produção de fotoassimilados, pois é nessa estrutura que ocorre a fotossíntese e na fase reprodutiva são priorizados esses assimilados para a formação de legumes e enchimentos dos grãos.

Embora a soja tenha capacidade de expansão foliar (PROCÓPIO *et al.*, 2003), em condições de total desfolha, esta não é suficiente para a compensação (ZUFFO *et al.*, 2015). Sendo assim, a aplicação complementar de N pode ser viável, pois, segundo Taiz *et al.* (2017) o N promove a formação das raízes, a fotossíntese, a produção e a translocação de fotoassimilados, bem como aumenta a taxa de crescimento entre folhas e raízes.

Portanto, a suplementação com N mineral pode amenizar os efeitos da desfolha na soja. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a resposta da soja à desfolha e a doses de N, associada à inoculação de *B. japonicum*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em área experimental da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, em Chapadão do Sul (MS), Brasil (18°46'17,9" Sul; 52°37'25,0" Oeste e altitude média de 810m), durante a safra 2018/2019. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm, 23,97 °C e 64,23%, respectivamente. Os dados de precipitação durante a condução dos experimentos são mostrados na Figura 1.

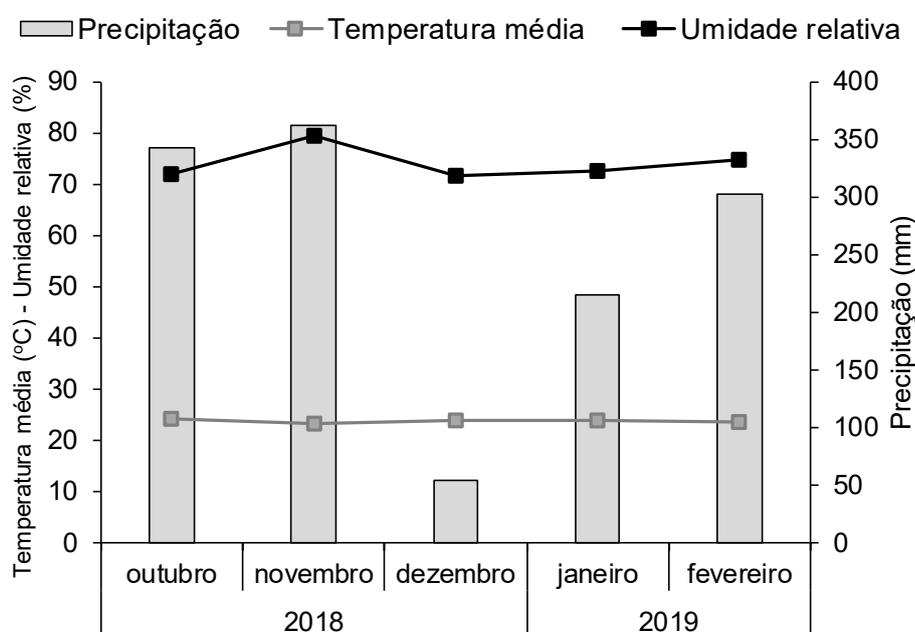


Figura 1. Médias mensais da temperatura, umidade relativa do ar e o acúmulo da precipitação pluvial ocorridas em Chapadão do Sul (MS) na safra 2018/19, durante o ciclo da soja.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho baseado no Sistema Brasileiro de Classificação do solo (SANTOS *et al.*, 2018). Antes de iniciar o experimento, os solos foram amostrados nas camadas 0-0, 20m e as principais propriedades químicas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Principais propriedades químicas dos solos utilizados no experimento

pH	MO	P _{Mehlich} ⁻¹	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%
4,3	22,8	12,8	5,7	0,37	2,20	0,40	0,27	8,6	33,5

MO: Matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: Saturação de bases.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação superficial de calcário (CaO: 29%; MgO: 20%; PRNT: 90,1%; PN: 101,5%), visando elevar a saturação por base dos solos a 60%. A calagem foi realizada 60 dias antes da implantação do experimento. Utilizou-se o método de saturação por bases para cálculo da dose de calcário, para elevar a saturação para 60%, seguindo as recomendações de Sousa e Lobato (2004); dessa forma foi aplicado 0,4 t ha⁻¹ desse calcário, considerando o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 4×4 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro níveis de desfolha (0, 33, 66 e 99%) realizado no estágio R₃ (legume - canivete com 5mm) de acordo com Fehr *et al.* (1981), e quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150kg ha⁻¹ de N). As desfolhas foram caracterizadas pela retirada de um (folíolo terminal), dois (folíolos opostos) e três (todos os folíolos) de todas as folhas desenvolvidas na planta, com o auxílio de uma tesoura. A fonte de N utilizada foi a ureia (45% de N), sendo realizadas distribuições manuais a lanço dois dias após a desfolha. Cada unidade experimental foi constituída por três fileiras espaçadas em 0,45m entre si e com 5m de comprimento, totalizando 6,75m². Como área útil, foi considerada a linha central, sendo-se desprezado 1m em cada extremidade, perfazendo uma área de 1,35m².

2.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O preparo da área foi realizado com uma dessecação usando os produtos Glifosato (720 g ha⁻¹ i.a) + Haloxi-fope-P-metílico (63 g ha⁻¹ i.a). Após 10 dias foi realizada a instalação dos ensaios que seguiu o sistema de plantio direto (SPD). A cultura da soja cultivar BRASMAX BONÛS IPRO (hábito de crescimento indeterminado, ciclo de 114 a 121 dias, grupo de maturação 7,9) foi semeada no dia 04 de outubro de 2018 mecanicamente por meio de semeadora-adubadora, com mecanismo sulcador tipo haste (facão), para SPD, a uma profundidade de aproximadamente 3 centímetros, com espaçamento de 0,45cm e 13 sementes por metro, para atingir estande final de 24.000 a 28.000 plantas por ha. A adubação de base foi constituída de 150 kg ha⁻¹ de MAP (11% de N-amoniaco e 52% de P₂O₅). A adubação de cobertura foi 100 kg ha⁻¹ de K₂O, cuja fonte foi o cloreto de potássio aos 40 dias após a emergência (DAE). Aos 40 DAE realizou-se a aplicação de adubação foliar dos produtos Actilase ZM (Zn 50,22 g L⁻¹; S 41,65 g L⁻¹; Mn 30,01 g L⁻¹) e Racine (Mo 108,75 g L⁻¹; Co 10,88 g L⁻¹; Carbono total 123,25 g L⁻¹) nas doses de 1 L ha⁻¹ e 120 mL por ha⁻¹, respectivamente.

As sementes de soja foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top[®]) na dose de 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente, foram inoculadas com *B. japonicum*, utilizou-se o inoculante comercial líquido Simbiose Nod Soja[®] (Simbiose: Agrotecnologia Biológica) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de 7,2 x 10⁹ células viáveis por mL), na dose de 150mL para 50kg de sementes. A quantidade de inoculante utilizada foi dissolvida em uma solução contendo 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente de aditivo para inoculante Protege[®] TS (Total Biotecnologia) e, então, ambos os produtos (inoculante + aditivo) foram aplicados nas sementes. O aditivo para inoculante é constituído de metabólitos ativos de bactérias, complexo de açúcares e biopolímeros encapsulantes e tem a finalidade de melhorar a proteção e a viabilidade das bactérias sobre as sementes. Para potencializar a nodulação da soja, as sementes também receberam a aplicação de micronutrientes, especialmente de molibdênio. A fonte utilizada foi o fertilizante comercial para sementes Nódulus[®] Premium 125 (Biosoja) contendo: Mo, 10%; Co, 1%; S, 1%; Ca, 1%; Fe, 0,2%.

Para o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças durante o desenvolvimento da cultura, foram utilizados os produtos: glifosato, haloxi-fope-p-metílico, piraclostrobina + epoxiconazol, picoxistrobina + benzovindiflupir, mancozeb, azoxistrobina + ciproconazole, teflubenzurom, clorpirifós, cipermetrina e imidacloprido + beta-ciflutrina nas doses recomendadas pelo fabricante.

2.4 MENSURAÇÃO DAS AVALIAÇÕES

Quando os grãos estavam perceptíveis ao tato - 10% de granação (estádio R_{5,1}) foram avaliadas em cinco plantas por parcela: teor foliar de clorofila - (índice de clorofila Falker, ICF) com clorofilômetro digital CFL 1030 (Falker, Porto Alegre (RS)), as leituras foram realizadas no terceiro trifólio desenvolvido de cima para baixo (folha diagnóstico); área foliar (cm²) com o auxílio de um medidor de área foliar eletrônico modelo Li-Cor, L1-3100[®]; matéria seca aérea (g planta⁻¹) - as plantas foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa a 65°C por 72h e, posteriormente, pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001g.

Por ocasião da colheita (estádio R₈) foram obtidos em cinco plantas por parcela as seguintes variáveis: altura das plantas (cm) - determinada da superfície do solo até a inserção da última folha com auxílio de uma régua milimetrada; altura de inserção do primeiro legume (cm) - determinada da superfície do solo até a inserção do primeiro legume; número de legumes e número de grãos por legume (unidade) - por meio da contagem manual; massa de mil grãos (g) - de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2009); produtividade de grãos (kg ha⁻¹) - determinada com a colheita da área útil da parcela e padronizada para o grau de umidade dos grãos de 13%; teor de proteína bruta pelo método de Kjeldahl conforme Detmann *et al.* (2012).

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) utilizando o programa estatístico Sisvar[®] versão 5.3 para *Windows* (*Software* de Análises Estatísticas, UFLA, Lavras (MG), BRA). Para as variáveis que obtiveram efeito significativo para desfolha e doses de N isoladas foram analisadas por equação de regressão polinomial e escolhidas as equações significativas pelo teste t de Student com os maiores coeficientes de determinação (teste F, $p < 0,05$) foram ajustadas. A análise de regressão foi realizada usando o *software* SigmaPlot 11.0 para *Windows* (Systat Software, Inc., San José, CA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância não mostraram efeitos significativos ($p > 0,05$) para as interações entre os fatores estudados (níveis de desfolha e doses de N) para nenhuma das características avaliadas (Quadro 2). Portanto, os resultados são apresentados separadamente para os principais efeitos desses fatores. A ausência das interações significativas entre os fatores estudados indica que a adubação nitrogenada apresenta resposta coincidente na cultura da soja, independentemente do nível de desfolha, bem como não tem a capacidade de aliviar o efeito da desfolha na cultura da soja. Com exceção da clorofila e da altura de inserção de legumes, para as demais variáveis os resultados reportaram efeitos significativos entre os níveis de desfolha da soja (Quadro 2). Reduções nas características agrônômicas da soja em função dos níveis de desfolha também foram verificadas por Glier *et al.* (2015) e Zuffo *et al.* (2015).

Quadro 2. Valores de probabilidade do teste F da análise de variância para caracteres agrônômicos associados à morfologia e componentes de produção da cultura da soja, obtidos no ensaio com desfolha e doses de aplicação do fertilizante nitrogenado na soja durante a safra 2018/2019. Chapadão do Sul (MS), Brasil

Fontes de variação	TCF	AF	MSA	AP	AIPL	NLP	NGL	MMG	PG	TPG
Desfolha (DE)	0,259	<0,01	<0,01	<0,01	0,662	<0,01	0,017	<0,01	<0,01	<0,01
Dose (DO)	0,190	0,120	<0,01	0,077	0,062	0,444	0,957	0,012	0,304	0,440
Interação (DE × DO)	0,270	0,110	0,225	0,626	0,136	0,072	0,876	0,713	0,541	0,921
CV (%)	5,64	20,43	18,53	5,75	11,20	16,09	17,99	7,58	18,87	8,30

TFC: teor foliar de clorofila; AF: área foliar; MSA: matéria seca da parte aérea; AP: altura de plantas; AIPL: altura da inserção do primeiro legume; NLP: número de legumes por planta; NGL: número de grãos por legume; MMG: massa de mil grãos; PG: produtividade dos grãos; TPG: teor de proteína dos grãos; CV: coeficiente de variação.

3.1 EFEITO DOS NÍVEIS DE DESFOLHA NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA

Para as variáveis teor foliar de clorofila (Figura 2a), e altura da inserção do primeiro legume (Figura 2e), os resultados não reportaram efeitos significativos entre os níveis de desfolha da soja, sendo que a média geral foi 45,16 e 16,59cm, respectivamente. Souza *et al.* (2014) também verificaram que o índice de clorofila em plantas de soja não é afetado pela desfolha. Portanto, nas folhas remanescentes não houve alteração na concentração de clorofilas e, possivelmente, na taxa fotossintética.

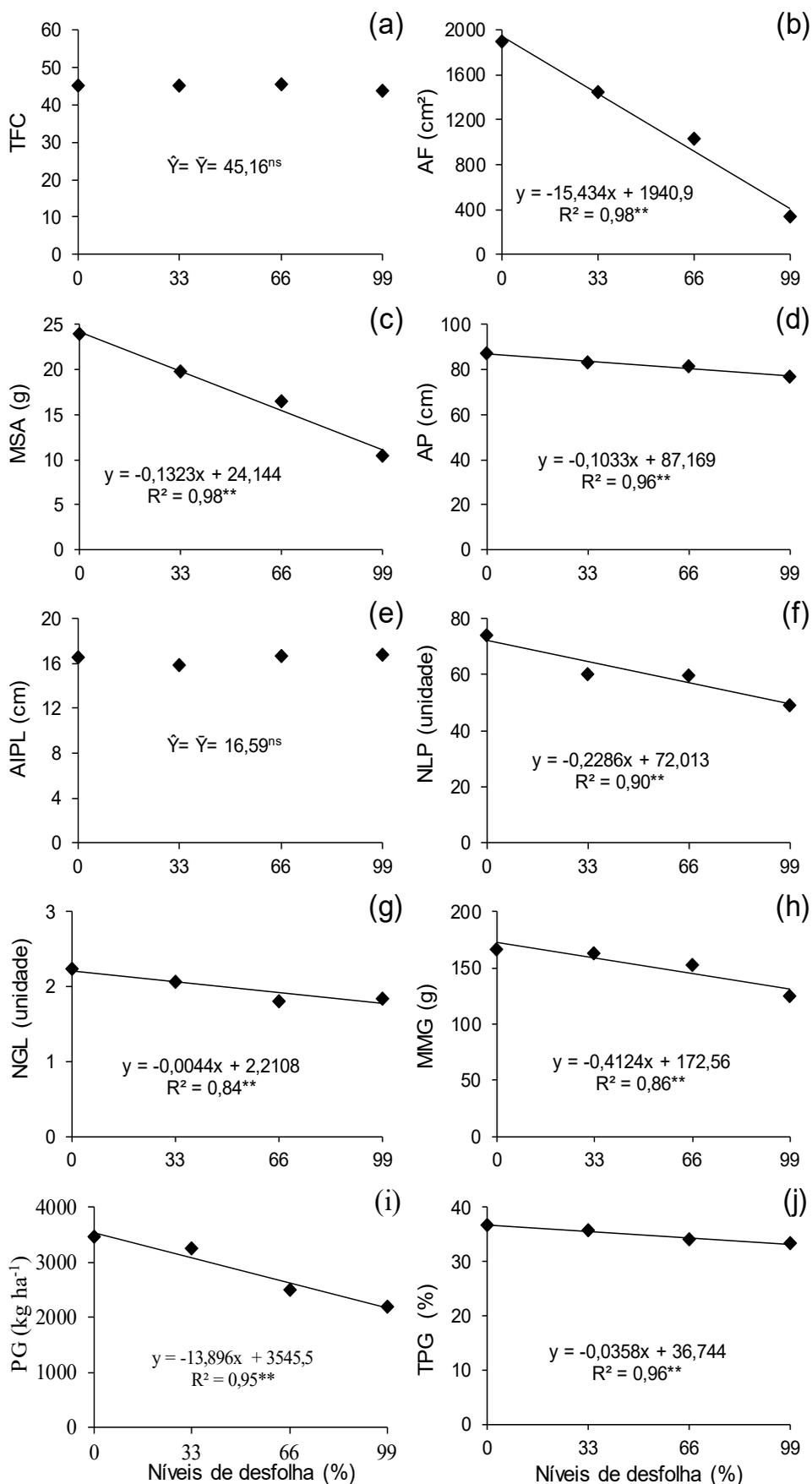


Figura 2. Valores médios do teor foliar de clorofila - TFC (a), área foliar - AF (b), matéria seca da parte aérea - MAS (c), altura de plantas - AP (d), altura da inserção do primeiro legume - AIPL (e), número de legumes por planta - NLP (f), número de grãos por legume - NGL (g), massa de mil grãos - MMG (h), produtividade dos grãos - PG (i) e o teor de proteína dos grãos - TPG (j) em função dos níveis de desfolha na cultura da soja durante a safra 2018/2019. Chapadão do Sul (MS), Brasil.

De maneira geral, percebe-se que todos os níveis de desfolha afetam linearmente a área foliar (Figura 2b), matéria seca da parte aérea (Figura 2c), altura de plantas (Figura 2d), número de legumes por planta (Figura 2f), número de grãos por legume (Figura 2g), massa de mil grãos (Figura 2h), produtividade dos grãos (Figura 2i) e o teor de proteína dos grãos (Figura 2j). Reduções no número de legumes por planta, número de grãos por legumes e produtividade dos grãos da soja em função dos níveis de desfolha também foram verificados por Glier *et al.* (2015) e Zuffo *et al.* (2015).

Os níveis de desfolha reduziram drasticamente a área foliar, sendo que esta não conseguiu se recuperar após 15 dias. Sabe-se que nas folhas há clorofilas e essas por sua vez são responsáveis pela produção de fotoassimilados que culminam no crescimento da planta (TAIZ *et al.*, 2017). Assim, com a redução das folhas foi inibida a produção de fotoassimilados e translocação para os drenos, como galhos, raízes e grãos. Dessa forma, a inibição na altura de plantas, massa seca aérea, número de legumes, número de grãos, massa de mil grão, produtividade dos grãos e o teor da proteína dos grãos estão relacionados à redução da produção de fotoassimilados em virtude da redução da área foliar, demonstrando assim a importância da manutenção das folhas no estágio reprodutivo à formação do legume (canivete com 5mm) e a redução linear decrescente nessas variáveis quando as plantas são submetidas a níveis de desfolha.

3.2 EFEITO DAS DOSES DE N ASSOCIADAS À INOCULAÇÃO COM *B. JAPONICUM* NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA

Ao avaliar as doses de N na cultura da soja, são percebidas diferenças na variável matéria seca da parte aérea (Quadro 3). Entretanto, não houve reflexos nos componentes produtivos e no teor de proteína da soja com o uso de N mineral associada à inoculação com *B. japonicum*. Esses resultados corroboram os obtidos por Zuffo *et al.* (2018) e Zuffo *et al.* (2020), que observaram efeito significativo do N mineral na matéria seca da parte aérea, contudo, para os demais componentes de produção não houve efeito significativo.

Quadro 3. Valores médios para caracteres agronômicos influenciados pelas doses do fertilizante nitrogenado, durante a segunda safra 2018/2019. Chapadão do Sul (MS), Brasil

Doses de N (kg ha ⁻¹)	TCF	AF	MSA	AP	AIPL	NLP	NGL	MMG	PG	TPG
	-	(cm ²)	(g)	(cm)		(unidade)		g	kg ha ⁻¹	%
0	43,54	43,54	43,54 ⁽¹⁾	78,93	15,60	63,52	1,99	146	2851	35
50	44,73	44,73	44,73	82,67	15,95	62,25	2,05	157	2614	35
100	45,54	45,54	45,54	84,37	17,58	57,53	1,98	157	3008	34
150	45,56	45,56	45,56	82,26	16,67	59,48	1,96	149	2957	36

⁽¹⁾MSA = 6E-05x² + 0,0156x + 21,76 (R² = 0,99**). ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste "t" de Student. TFC: teor foliar de clorofila; AF: área foliar; MSA: matéria seca da parte aérea; AP: altura de plantas; AIPL: altura da inserção do primeiro legume; NLP: número de legumes por planta; NGL: número de grãos por legume; MMG: massa de mil grãos; PG: produtividade dos grãos; TPG: teor de proteína dos grãos; CV: coeficiente de variação.

Para a matéria seca da parte aérea os resultados foram ajustados ao modelo quadrático de regressão, sendo que o ponto máximo foi de 23,8g e foi verificado na dose de 130 ha⁻¹ de N. Esse fato está relacionado ao N envolvido na síntese de clorofilas, enzimas, compostos proteicos e, conseqüentemente, maximizar a capacidade das plantas em produzir gemas reprodutivas (MALAVOLTA, 2006).

Assim, as doses de N favoreceram o crescimento vegetativo das plantas, entretanto, tais efeitos não foram observados nos componentes de produção da soja, bem como no teor de proteína. Tais achados também foram verificados por Werner *et al.* (2016) e Zuffo *et al.* (2018), que também observaram que a fertilização com N mineral no

início do ciclo de desenvolvimento, dependendo das condições ambientais, pode aumentar o crescimento das plantas, mas não reflete os incrementos no rendimento e o teor de proteína dos grãos de soja.

Segundo Zuffo *et al.* (2020) em relação ao N não melhorar a produtividade dos grãos, pode ser atribuído à utilização pelas plantas de soja do N fixado pela simbiose *Bradyrhizobium*, que pode ter sido a fonte de todo o N que as plantas necessitaram. Assim, a quantidade de nitrogênio fixada pela cultura mais a aplicação do MAP estavam dentro das necessidades das plantas, tornando dispensável a adubação complementar com N mineral. Dessa forma, fica evidente a importância da inoculação com as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* para o fornecimento de N na cultura da soja. Adicionalmente, as reservas de N do solo pela própria mineralização da matéria orgânica (22,8 g dm⁻³) foi suficiente para atender à exigência para formação dos legumes e dos grãos. Portanto, para essas condições, a escolha de se fazer a aplicação ou não de N não resultará em melhorias quantitativa e qualitativa dos grãos de soja.

De modo geral, mesmo em condição de desfolha severa (100%), as plantas suprimidas com N não apresentaram a capacidade de se recuperar do estresse sofrido. Para Sangoi *et al.* (2014) com a eliminação total da área foliar, a radiação fotossinteticamente ativa não é interceptada, prejudicando a fotossíntese. Assim, mesmo sobre essas condições as plantas de soja podem ser suprimidas apenas com o N fixado pela simbiose *Bradyrhizobium*. Para Souza *et al.* (2014) quando ocorre o ataque das pragas desfolhadoras a planta realiza a remobilização de reservas e que podem contribuir para o suprimento, pelo menos temporário, dos órgãos drenos.

Sangoi *et al.* (2014) verificaram que o sucesso da aplicação de N como estratégia para atenuar os prejuízos ocasionados pela desfolha depende do estágio do milho em que esta é imposta, da área foliar perdida e da dose de N utilizada. Assim, a aplicação em V₈ (oito folhas expandidas) aumentou a área foliar verde da planta no espigamento, mas não incrementou a produtividade da cultura. Já a aplicação de nitrogênio após a desfolha em V₁₅ (quinze folhas expandidas) não interferiu na área foliar remanescente da planta no espigamento, mas aumentou o rendimento de grãos. E desfolhas realizadas em V_T (pendoamento) causam grandes prejuízos à produtividade do milho que não pode ser recuperada pela aplicação de nitrogênio em cobertura.

O milho é pertence à família das gramíneas e não tem a capacidade de FBN. Portanto, é totalmente dependente do N do solo e da aplicação do N mineral. Mas evidencia-se que o sucesso da aplicação de N como estratégia para atenuar os prejuízos ocasionados pela desfolha depende do estágio em que a perda de área foliar ocorre. Dessa forma, novos trabalhos devem ser realizados, testando outros estádios fenológicos da soja, haja vista que nesse estudo foi avaliado apenas no estágio R₃.

Em resumo, nossos resultados mostraram que é possível obter altos rendimentos de soja sem fornecimento de fertilizante N, corroborando os resultados demonstrados por Kaschuk *et al.* (2016), Korber *et al.* (2017), Zuffo *et al.* (2018), Zuffo *et al.* (2020). Portanto, além da eficácia conhecida desse processo biológico de fixação de N, é possível agregar a alta eficiência das cepas de *Bradyrhizobium* utilizadas no Brasil e sua alta competitividade com os microrganismos nativos desses solos tropicais (HUNGRIA; MENDES, 2015). Assim, atualmente os produtores brasileiros de soja adotam a inoculação de *Bradyrhizobium* sp. como a principal fonte de N para as lavouras, por se tratar de uma prática eficiente, com baixo custo econômico, quando comparado ao uso de minerais N fertilizante.

4 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada não tem a capacidade de amenizar o efeito da desfolha na cultura da soja, independentemente do nível de desfolha e das doses de N na aplicação.

Níveis de desfolhas a partir de 30% durante a formação do legume (canivete com 5mm)-culminaram na redução da área foliar, matéria seca da parte aérea, altura de plantas, número de legumes por planta, número de grãos por legume, massa de mil grão, produtividade dos grãos e o teor de proteína dos grãos.

As estirpes de *B. japonicum* são eficientes para a nutrição de soja cultivada em solo de média fertilidade, não havendo necessidade de se aplicar nitrogênio durante a formação do legume (canivete com 5mm).

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação Agrisus (Projeto nº 2530/18) pela concessão de recursos financeiros, à Fundação Chapadão e à Universidade Federal do Mato Grosso do Sul pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento**, agosto 2019. Brasília: Conab, 2019. 107p.

DETMANN, E.; QUEIROZ, A. C.; CABRAL, L. S. Avaliação do nitrogênio total (proteína bruta) pelo método de Kjeldahl. *In*: DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; BERCHIELLI, T. T.; CABRAL, L. S.; LADEIRA, M. M.; SOUZA, M. A.; QUEIROZ, A. C.; SALIBA, E. O. S.; PINA, D. S.; AZEVEDO, J. A. G. (ed.). **Métodos para análise de alimentos**: INCT - Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. v. 1, cap. 4, p. 51-68.

DOMINGOS, C. S.; SILVA LIMA, L. H.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. *Sci. Agrar. Paran.*, v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v14n3p132-140> Acesso em: 21 ago. 2019.

FEHR, W. R.; LAWRENCE, B. K.; THOMPSON, T. A. Critical stage of development for defoliation soybean. *Crop Science*, v. 21, n. 2, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183x002100020014x> Acesso em: 10 nov. 2019.

GLIER, C. A. da S.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; FACHIN, G. M.; COSTA, A. C. T. da.; GUIMARÃES, V. F.; MROZINSKI, C. R. Defoliation percentage in two soybean cultivars at different growth stages. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, v. 19, n. 6, p. 567-573, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p567-573> Acesso em: 10 nov. 2019.

HOFFMAN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes**-Praga: Artrópodes que atacam as folhas da soja. Embrapa Soja. 2012. 859p.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? *In*: BRUIJN, F. (ed.). **Biological Nitrogen Fixation**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2015. p. 1005-1019.

KASCHUK, G.; HUNGRIA, M.; LEFFELAAR, P. A.; GILLER, K. E.; KUYPER, T. W. Differences in photosynthetic behaviour and leaf senescence of soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) dependent on N₂ fixation or nitrate supply. *Plant Biology*, v. 12, p. 60-69, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00211.x> Acesso em: 22 ago. 2019.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M. A.; LUCA, M. J. de; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. *Field Crops Res.*, v. 195, p. 21-27, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.010> Acesso em: 21 ago. 2019.

KORBER, A. H. C.; PINTO, L. P.; PIVETTA, L. A.; ALBRECHT, L. P.; FRIGO K. D. de A. Adubação nitrogenada e potássica em soja sob sistemas de semeadura. **Rev Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 4, p. 38-45, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i4.1653> Acesso em: 20 ago. 2019.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; COSTA, L. C. Desenvolvimento foliar das culturas da soja e do feijão e de planta daninhas. **Ciênc Rural**, v. 33, n. 2, p. 207-211, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782003000200005> Acesso em: 10 nov. 2019.

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; REIS, A. C. Relationship between soybean plant defoliation and Asian soybean rust severity. **Summa phytopathol**, v. 45, n. 3, p. 252-254, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/186505> Acesso em: 15 nov. 2019.

SANGOI, L.; PICOLI JÚNIOR, G. J.; VARGAS, V. P.; VIEIRA, J.; SCHMITT, A.; ZOLDAN, S. R.; SIEGA, E.; CARNIEL, G. Cobertura nitrogenada como estratégia para reduzir os prejuízos da desfolha em diferentes estádios fenológicos do milho. **Semina: Ciênc. Agrár.**, v. 35, n. 2, p. 671-682, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenaz, 2016. 310p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D. N.; BAHRY, C. A.; CARON, B. O.; ZIMMER, P. D. Caracteres morfofisiológicos e produtividade da soja em razão da desfolha no estágio vegetativo. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 216-223, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n3p216-223> Acesso em: 15 nov. 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MÖLLER, I. M.; MURPH, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

ZUFFO, A. M.; ZAMBIAZZI, E. B.; GESTEIRA, G. de S.; REZENDE, P. M. de.; SOARES, I. O.; GWINNER, R.; BIANCHI, M. C. Agronomic performance of soybean according to stages of development and levels of defoliation. **Afr. J. Agric. Res.**, v. 10, n. 19, p. 2089-2096, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/ajar2014.9369> Acesso em: 15 nov. 2019.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; ZOZ, T. Response of early soybean cultivars to nitrogen fertilization associated with *Bradyrhizobium japonicum* inoculation. **Pesqui. Agropecu. Trop.**, v. 48, n. 4, p. 436-446, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v48i4p436-446> Acesso em: 20 ago. 2019.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; SANTOS, D. M. S. Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. **Rev. Agro. Amb.**, v. 12, n. 2, p. 333-349, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p333-349>. Acesso em: 10 nov. 2019.

ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; AGUILERA, J. G.; SANTOS FILHO, F. N.; YOKOTA, L. A.; MORAIS, D. B. Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* pode aumentar a produtividade e o teor de proteínas de grãos de soja? **Rev. Agro. Amb.**, v. 13, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1391-1407>. Acesso em: 10 nov. 2019.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; MARCELO, A. De A.; DEBIASI, S. H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v. 20, n. 8, p. 734-738, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p734-738>. Acesso em: 22 ago. 2019.