

NODULAÇÃO E CRESCIMENTO DE VARIEDADES DE SOJA RR SOB APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE, FLUAZIFOP-P-BUTYL E FOMESAFEN¹

GR Glycine max Nodulation and Growth Under Glyphosate, Fluazifop-p-Butyl and Fomesafen Application

DVORANEN, E.C.^{2,5}, OLIVEIRA JR., R.S.^{3,5}, CONSTANTIN, J.^{3,5}, CAVALIERI, S.D.^{4,5} e BLAINSKI, E.^{4,5}

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos causados por aplicações dos herbicidas glyphosate, fluazifop-p-butyl e fomesafen, em diferentes formas de aplicação, sobre a nodulação e o crescimento inicial de duas variedades de soja RR. Os tratamentos foram organizados em arranjo fatorial 6 x 2, no qual foram avaliadas seis formas de aplicação de herbicida (testemunha sem herbicida, aplicação seqüencial de fomesafen/fomesafen, aplicação seqüencial de fomesafen/[fomesafen+fluazifop-p-butyl], fluazifop-p-butyl em aplicação única, aplicação seqüencial de glyphosate/glyphosate e glyphosate em aplicação única) e duas variedades de soja (BRS 245 RR e BRS 247 RR). Com relação à nodulação, a aplicação seqüencial de fomesafen/fomesafen foi a forma mais seletiva. A variedade BRS 245 RR mostrou-se mais tolerante do que a variedade BRS 247 RR às aplicações dos herbicidas. Número e matéria seca de nódulos da variedade BRS 247 RR são reduzidos por aplicações em dose única de fluazifop-p-butyl e glyphosate.

Palavras-chave: fixação biológica, herbicida, *Rhizobium*, simbiose, transgênicos.

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate the effects of the herbicides glyphosate, fluazifop-p-butyl and fomesafen, applied by different methods, on nodulation and initial growth of two glyphosate-resistant (GR) soybean varieties. Treatments were arranged in a 6 x 2 factorial, with six herbicide application methods (no-herbicide check, fomesafen/fomesafen sequential application, fomesafen/[fomesafen+fluazifop-p-butyl sequential application], fluazifop-p-butyl single application, glyphosate/glyphosate sequential application and glyphosate single application) and two soybean varieties (BRS 245 RR and BRS 247 RR). Regarding soybean nodulation, fomesafen/fomesafen sequential application was the most selective herbicide application method. Variety BRS 245 RR was more tolerant than BRS 247 RR to the herbicides evaluated. Number and dry weight of nodules decreased after single applications of fluazifop-p-butyl and glyphosate.

Keywords: biological fixation, herbicide, *Rhizobium*, symbiosis, transgenic crops.

INTRODUÇÃO

Em soja, a fixação biológica do nitrogênio atmosférico é realizada pela simbiose com bactérias da espécie *Bradyrhizobium japonicum*,

Bradyrhizobium elkanii ou ambas (Hungria et al., 1999). Os nódulos radiculares, centros de fixação, assimilação e exportação do nitrogênio fixado, são formados após as bactérias entrarem em contato e penetrarem nas raízes

¹ Recebido para publicação em 28.6.2007 e na forma revisada em 3.1.2008.

² Eng^o-Agr^o, M.Sc., Universidade Estadual de Maringá (UEM). Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, área de concentração em Proteção de Plantas; ³ Professor Associado, Núcleo de Estudos Avançados em Ciência das Plantas Daninhas (NAPD/UEM), Dep. de Agronomia, UEM. Av. Colombo, 5790 87020-9000 Maringá-PR, <rsojunior@uem.br>; ⁴ Bolsista de Iniciação Científica, NAPD/UEM, ⁵Bolsista do CNPq.



da planta hospedeira, via células radiculares pilosas ou outras células epidérmicas.

Avanços na biotecnologia resultaram na criação de variedades de soja resistentes ao glyphosate (RR), proporcionando o uso na cultura do herbicida glyphosate com reconhecida eficácia e amplo espectro de controle de plantas daninhas. Essa tecnologia rapidamente ganhou espaço entre os sojicultores, mas, até o momento, nenhum estudo foi desenvolvido no sentido de avaliar o impacto dessa técnica sobre a fixação simbiótica de nitrogênio na soja ou sobre a variabilidade de tolerância entre as variedades mais plantadas.

O glyphosate inibe a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), da rota do shiquimato, que leva à síntese dos aminoácidos aromáticos tirosina, fenilalanina e triptofano. As variedades de soja RR contêm a enzima EPSPS proveniente de *Agrobacterium* sp. (Padgett et al., 1995), a qual é resistente ao glyphosate. Apesar disso, os simbioses fixadores de N₂ presentes nas raízes da soja, *Bradyrhizobium* spp., contêm a forma sensível desta enzima (Moorman et al., 1992).

A aplicação de herbicidas em culturas que realizam simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico pode prejudicar a eficiência na assimilação desse nutriente (Marengo et al., 1993; Royuela et al., 1998; Santos et al., 2004). Esses prejuízos devem-se à interferência do herbicida no metabolismo do microssimbionte, na planta hospedeira ou em ambos (Arruda et al., 2001). Acredita-se que a maior interferência desses compostos ocorre quando eles agem sobre a biossíntese de aminoácidos ou rotas metabólicas comuns a microrganismos e plantas (Santos et al., 2006).

A sensibilidade do *Bradyrhizobium* spp. ao glyphosate é influenciada pela concentração do herbicida e pela estirpe da bactéria (King et al., 2001; Santos et al., 2004). Há indicações de que o glyphosate pode provocar intoxicação em estirpes de rizóbios e de que pode prejudicar a nodulação da soja (Hernandez et al., 1999; King et al., 2001). No entanto, a maioria dessas evidências tem sido descrita a partir de ensaios em que as estirpes são colocadas diretamente em contato com o herbicida. Moorman et al. (1992) aplicaram doses de 0,5 mM de

glyphosate em *B. japonicum* e encontraram inibição de crescimento nas estirpes testadas e completa inibição quando expostas à dose de 5 mM. Santos et al. (2004) expuseram estirpes de *B. japonicum* (SEMIA 5079) e *B. elkanii* (SEMIA 5019 e SEMIA 587) à dose de 0,26 mM de glyphosate e constataram diferenças de crescimento entre as estirpes de rizóbios e formulações utilizadas no experimento. A estirpe menos tolerante à maioria das formulações testadas foi a SEMIA 587, e a mais sensível ao glyphosate, a SEMIA 5019. Maly et al. (2006) constataram que doses de 0,21 mM de glyphosate inibem 50% do crescimento da estirpe de *B. japonicum* BR 86 e que doses de 0,45 mM inibem 100% do crescimento de todas as estirpes de rizóbios testadas. Procópio et al. (2004) observaram que os herbicidas imazethapyr e fomesafen aplicados em meio YM para crescimento de *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 5019) reduziram em mais de 40% o crescimento dessa estirpe.

Assim como o glyphosate, outros herbicidas considerados seletivos podem afetar a nodulação de leguminosas. Santos et al. (2006) constataram que a mistura entre os herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen causou maior inibição de crescimento das colônias de bactérias de uma das estirpes de *Rhizobium tropici* avaliadas, em relação ao uso isolado de cada um dos herbicidas. Observaram ainda inibição do crescimento das colônias de bactérias ao longo do período de avaliação com o aumento da concentração do fomesafen, isolado ou em mistura.

No presente trabalho, o objetivo foi avaliar os efeitos dos herbicidas fluazifop-p-butyl, fomesafen e glyphosate sobre a nodulação e o acúmulo de biomassa em duas variedades de soja RR.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Núcleo de Estudos Avançados em Ciência das Plantas Daninhas (NAPD/UEM) no município de Maringá, situado a 23°25'31" de latitude sul, 51°56'19" de longitude oeste de Greenwich e a 542 m de altitude. O período de tempo compreendido entre o início e o fim do experimento foi de 10/12/2005 a 8/3/2006. Foram utilizadas duas variedades de soja



transgênica resistente ao glyphosate (RR), provenientes da Embrapa Soja, em Londrina: BRS 245 RR e BRS 247 RR.

A variedade BRS 245 RR tem hábito de crescimento determinado, grupo de maturação semiprecoce e ciclo total de 123 a 143 dias, sendo recomendada para plantio nos Estados do PR, SP e SC. É originada do cruzamento das linhagens BRS 133 e E96-246. A variedade BRS 247 RR tem hábito de crescimento determinado, grupo de maturação médio e ciclo total de 124 a 145 dias, sendo recomendada para plantio nos Estados do PR, SP e SC; é proveniente do cruzamento das linhagens BRS 134, Embrapa 59 e E96-246.

Dez sementes de cada variedade foram semeadas a 3 cm de profundidade, em vasos de 5 dm³. Os vasos foram preenchidos com solo de textura franco-argilo-arenosa no horizonte A, de onde foi coletado, após peneiramento (10 mesh). As análises química e granulométrica encontram-se na Tabela 1. A semeadura foi efetuada com sementes tratadas com [Carbendazim+Tiram] + Imidacloprid nas doses de [30+70 g] + 60 g para cada 100 kg de sementes.

Como inoculante foi utilizado Rhizofix, formulação turfosa, produzido com as estirpes de *Bradyrhizobium elkanii*, SEMIA 587 e SEMIA 5019, e *Bradyrhizobium japonicum*, SEMIA 5079 e SEMIA 5080, na concentração de 3 x 10⁹ rizóbios por grama. Após a semeadura, a superfície do solo foi coberta com palha de aveia picada, com o equivalente a 5.000 kg ha⁻¹. Quando as plantas atingiram o estágio V1, foi feito desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso.

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com sete repetições. Os tratamentos resultaram do arranjo fatorial entre as duas

variedades de soja RR e seis formas de aplicação de herbicidas. As formas de aplicação avaliadas foram as seguintes: testemunha sem herbicida; aplicação seqüencial de fomesafen: 0,125/0,125 kg ha⁻¹ (12 e 24 dias após a emergência - DAE); aplicação seqüencial de fomesafen/[fomesafen + fluazifop-p-butyl]: 0,125/[0,125+0,125] kg ha⁻¹ (12 e 24 DAE); aplicação única de fluazifop-p-butyl: 0,125 kg ha⁻¹ (20 DAE); aplicação única de glyphosate: 0,720 kg ha⁻¹ (20 DAE); e aplicação seqüencial de glyphosate: 0,540/0,360 kg ha⁻¹ (12/24 DAE).

Foi adicionado o adjuvante Energic à calda de pulverização na proporção de 0,2% (v/v) nas aplicações com os herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butyl, de acordo com a recomendação do fabricante. Os dados referentes a doses, épocas de aplicação dos herbicidas e estádios de desenvolvimento da soja (Fehr & Caviness, 1971) são apresentados na Tabela 2.

Nas aplicações utilizou-se barra equipada com quatro bicos com pontas tipo leque (Teejet XR 110.02), espaçadas a 50 cm entre si, posicionadas na altura de 50 cm da superfície do solo e com volume relativo de calda de 200 L ha⁻¹. Por ocasião da aplicação de 12 DAE, a temperatura estava a 25 °C, com umidade relativa do ar (UR) de 72%, solo úmido, velocidade do vento de 5 km⁻¹ e céu aberto sem nebulosidade; na aplicação de 20 DAE, a temperatura era de 21 °C, com UR = 81%, solo úmido, velocidade do vento de 1 km h⁻¹ e céu com nuvens esparsas; e na aplicação de 24 DAE, a temperatura era de 28 °C, com UR = 70%, solo úmido, velocidade do vento de 8 km h⁻¹ e céu com nuvens esparsas. Após as aplicações do herbicida, os vasos foram irrigados apenas no dia seguinte, garantindo assim a absorção foliar do herbicida. Os vasos foram irrigados

Tabela 1 - Resultado das análises química e granulométrica do solo utilizado (camada de 0-20 cm de profundidade)

pH		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	P	C
CaCl ₂	H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----						- mg dm ⁻³ -		-- g dm ⁻³ --
5,2	5,8	0,0	3,68	3,91	1,95	0,40	6,26	9,94	3,0	6,97
Areia grossa		Areia fina			Silte			Argila		
----- g kg ⁻¹ -----										
370		320			80			230		



Tabela 2 - Doses e épocas de aplicação dos herbicidas sobre as duas variedades de soja RR e estádios de desenvolvimento da cultura

Tratamento	Doses ^{1/}	Época de aplicação ^{2/, 3/}	Estádio da soja
Testemunha	-	-	-
Seqüencial de fomesafen	0,125/0,125	12/24 DAE	V3/V5
Seqüencial de fomesafen/[fomesafen + fluazifop-p-butyl]	0,125/[0,125+0,125]	12/24 DAE	V3/V5
Dose única de fluazifop-p-butyl	0,125	20 DAE	V4
Dose única de glyphosate	0,720	20 DAE	V4
Seqüencial de glyphosate	0,540/0,360	12/24 DAE	V3/V5

^{1/} Doses de fomesafen e fluazifop-p-butyl em kg ha⁻¹; doses de glyphosate em kg ha⁻¹.

^{2/} DAE = dias após a emergência.

^{3/} A presença de barra entre épocas de aplicação, estádios da soja, doses e herbicidas indica aplicação seqüencial.

diariamente, de forma a conservar o solo úmido, e mantidos livres de plantas daninhas por meio de capinas manuais.

Ao atingirem o estágio R3, as plantas de soja foram cortadas rente ao solo, embaladas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar a 60 °C até peso constante, quando a massa da matéria seca foi determinada. As raízes foram lavadas em água corrente e, em seguida, foi feito o destaque e a contagem do número de nódulos. Da mesma forma, foi feita a secagem das raízes e dos nódulos, para posterior determinação da sua matéria seca. Foram avaliadas as matérias secas de parte aérea, do sistema radicular, do total de nódulos acumulados, bem como o número de nódulos por vaso.

Os erros dos dados passaram pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk, com o objetivo de avaliar a sua variância e normalidade. Os dados foram transformados em porcentagem em relação à testemunha, a fim de que se

obtivesse homocedasticidade e normalidade dos erros. Todos os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade, pelo SISVAR (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variável MSSR foi afetada negativamente pelos tratamentos com dose única de fluazifop-p-butyl e glyphosate, com redução de 14,55 e 9,94%, respectivamente, para esses tratamentos. Por outro lado, as aplicações seqüenciais de fomesafen/[fomesafen+fluazifop-p-butyl] e de glyphosate não reduziram significativamente a MSSR, ao passo que a dose única de fluazifop-p-butyl reduziu esta variável (Tabela 3). A última aplicação seqüencial de [fomesafen+ fluazifop-p-butyl] foi realizada quatro dias mais tarde do que a aplicação de fluazifop-p-butyl em dose única, o que pode ter levado ao incremento na tolerância ou na capacidade de metabolização das plantas. O

Tabela 3 - Valores médios da produção relativa de matéria seca do sistema radicular (MSSR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de nódulos totais acumulados (MSNT) e número de nódulos acumulados (NN) sob diferentes formas de aplicação de herbicidas

Tratamento	MSSR	MSPA	MSNT	NN
Testemunha	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Seqüencial de fomesafen	95,37 a	95,84 a	90,21 a	87,09 b
Seqüencial de fomesafen/[fomesafen + fluazifop-p-butyl]	92,48 a	94,99 a	88,92 a	82,54 b
Dose única de fluazifop-p-butyl	85,45 b	93,63 a	72,11 b	71,78 b
Dose única de glyphosate	90,06 b	89,66 a	76,15 b	72,88 b
Seqüencial de glyphosate	93,94 a	95,86 a	87,77 a	83,92 b

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

fato de a aplicação seqüencial de glyphosate não ter causado redução significativa na MSSR pode estar associado tanto às épocas de aplicação quanto às doses de glyphosate, de forma semelhante ao que observaram Reddy & Zablutowicz (2003). A variável matéria seca da parte aérea (MSPA) não foi influenciada significativamente por nenhuma das formas de aplicação de herbicidas, o que é coerente com a esperada seletividade dos herbicidas em relação à soja.

Os mesmos tratamentos que causaram redução na MSSR também diminuíram a MSNT (Tabela 3). Essa redução foi de 27,89 e 23,85% para fluazifop-p-butyl e glyphosate, respectivamente. Da mesma forma, as aplicações seqüenciais que contêm esses dois ingredientes ativos não causaram redução nessa variável. A hipótese levantada para a MSSR é igualmente aplicável para explicar os resultados encontrados para a MSNT.

O número de nódulos acumulados (NN) foi reduzido em todos os tratamentos com herbicidas, em relação à testemunha sem aplicação (Tabela 3). As reduções variaram entre 12,81 e 28,22% para fomesafen em dose única e fluazifop-p-butyl em dose única, respectivamente. A resposta dessa variável aos tratamentos diferiu das respostas encontradas para as outras duas variáveis afetadas significativamente.

Herbicidas como o fluazifop-p-butyl e o glyphosate possuem ação sistêmica nas plantas, isto é, quando aplicados na parte aérea destas, podem se translocar até as raízes. Esses herbicidas e seus metabólitos podem, portanto, entrar em contato direto com os simbiossomas da raiz. Santos et al. (2006) descreveram a inibição do crescimento de *Rhizobium tropici* quando em contato com mistura formulada de herbicidas contendo fluazifop-p-butyl. Kishinevsky et al. (1988), Delannay et al. (1995) e Reddy et al. (2004) descreveram o efeito tóxico do glyphosate sobre bactérias fixadoras de nitrogênio, o que pode ter sido a causa da redução do número de nódulos nos tratamentos que continham esses herbicidas. O fomesafen é considerado um herbicida de contato (Vidal, 2002), sendo de pouca ou nenhuma mobilidade nas plantas. No entanto, mesmo não havendo translocação significativa deste herbicida para o sistema radicular, é possível que pequenas quantidades de fomesafen possam atingir

o solo e, por consequência, entrar em contato com o sistema radicular ou diretamente com os nódulos. Essa possibilidade é reforçada pelo fato de que a toxicidade do fomesafen para espécies de rizóbios já foi demonstrada por testes *in vitro* (Santos et al., 2006).

O fato de ter havido redução no número de nódulos e não ter ocorrido o mesmo para a matéria seca destes no tratamento com glyphosate em aplicação seqüencial relaciona-se à época de aplicação do produto. A aplicação de 0,54 kg ha⁻¹ de glyphosate aos 12 DAE reduziu o número de nódulos formados nesta primeira etapa da nodulação, ao passo que a segunda aplicação de glyphosate foi menos nociva à nodulação, em razão da menor dose (0,36 kg e.a. ha⁻¹) e do estágio mais avançado de desenvolvimento das plantas, possibilitando, dessa forma, que a soja compensasse o menor número de nódulos formados na primeira etapa com nódulos de maior massa individual nesta segunda etapa de formação.

Ao analisar o desdobramento da interação entre as variedades e formas de aplicação de herbicidas (Tabela 4), podem-se observar fatos específicos de relevância. A única diferença significativa entre as variedades foi encontrada para matéria seca do sistema radicular na aplicação de dose única de fluazifop-p-butyl, para a qual a variedade BRS 245 RR demonstrou maior tolerância em relação à variedade BRS 247 RR.

Em relação ao efeito das formas de aplicação dos herbicidas, não se observou nenhum efeito negativo sobre a variedade BRS 245 RR. No entanto, para a variedade BRS 247 RR, três das quatro variáveis-resposta analisadas foram afetadas por uma ou mais formas de aplicação de herbicidas: a aplicação de dose única de fluazifop-p-butyl afetou o acúmulo de matéria seca das raízes e de nódulos, assim como o número de nódulos; a aplicação de glyphosate em dose única afetou a matéria seca e o número de nódulos; e a aplicação seqüencial de fomesafen/[fomesafen+fluazifop-p-butyl] reduziu o número de nódulos.

Os resultados sugerem que há significativas diferenças em termos de tolerância de variedades aos efeitos de herbicidas sobre a nodulação. A ausência de efeitos significativos sobre variáveis relacionadas ao acúmulo de



Tabela 4 - Produção relativa de matéria seca do sistema radicular (MSSR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de nódulos totais acumulados (MSNT) e número de nódulos acumulados (NN) em duas variedades de soja RR, em função de seis formas de aplicação de herbicidas

Tratamento	MSSR		MSPA		MSNT		NN	
	BRS247 RR	BRS245 RR	BRS247 RR	BRS245 RR	BRS247 RR	BRS245 RR	BRS247 RR	BRS245 RR
	----- % -----							
Testemunha	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA
Seqüencial de fomesafen	91,29 aA	99,44 aA	98,27 aA	93,41 aA	86,88 aA	93,55 aA	86,49 aA	87,69 aA
Seqüencial de fomesafen/[fomesafen + fluazifop-p-butyl]	92,94 aA	92,01 aA	95,15 aA	94,83 aA	88,44 aA	89,40 aA	80,55 bA	84,53 aA
Dose única de fluazifop-p-butyl	80,44 bB	90,46 aA	93,10 aA	94,17 aA	73,71 bA	70,51 aA	75,28 bA	68,27 aA
Dose única de glyphosate	89,57 aA	90,55 aA	88,15 aA	91,16 aA	70,96 bA	81,34 aA	65,04 bA	80,72 aA
Seqüencial de glyphosate	91,62 aA	96,25 aA	96,19 aA	95,52 aA	88,32 aA	87,21 aA	87,53 aA	80,30 aA

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas linhas (para uma mesma variável-resposta) não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

biomassa nas raízes e na parte aérea das plantas indica que a ausência de sintomas de fitotoxicidade dos herbicidas pode subestimar a capacidade destes em afetar a fixação simbiótica de nitrogênio em soja.

A aplicação seqüencial de fomesafen/fomesafen foi a mais seletiva para nodulação da soja. O número de nódulos foi a variável mais afetada pelas formas de aplicação dos herbicidas. A variedade BRS 245 RR foi mais tolerante aos herbicidas glyphosate, fluazifop-p-butyl e lactofen do que a variedade BRS 247 RR, em relação à nodulação. Número e matéria seca de nódulos da variedade BRS 247 RR foram reduzidos por aplicações em dose única de fluazifop-p-butyl e glyphosate. A forma de aplicação e a dose de ingrediente ativo influenciaram os efeitos causados pelos herbicidas sobre a nodulação e o desenvolvimento da soja RR.

AGRADECIMENTOS

À equipe de estagiários e bolsistas de Iniciação Científica do Núcleo de Estudos Avançados em Ciência das Plantas Daninhas (NAPD/UEM), pelo auxílio na condução e avaliação dos trabalhos: Luiz Henrique Morais Franchini, Diego Gonçalves Alonso e Denis Fernando Biffe.

LITERATURA CITADA

ARRUDA, J. S.; LOPES, N. F.; MOURA, A. B. Behavior of *Bradyrhizobium japonicum* strains under different herbicide concentrations. **Planta Daninha**, v. 19, n. 1, p. 111-117, 2001.

DELANNAY, X. et al. Yield evaluation of a glyphosate-tolerant soybean line after treatment with glyphosate. **Crop Sci.**, v. 35, p. 1461-1467, 1995.

FEHR, W. R., CAVINESS, C. E. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Sci.**, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.

HERNANDEZ, A.; GARCIA-PLAZAOLA, J. I.; BACERRIL, J. M. Glyphosate effects on phenolic metabolism of nodulated soybean (*Glycine max* L. Merril). **J. Agric. Food Chem.**, v. 47, p. 2920-2925, 1999.

HUNGRIA, M. et al. Microbiologia do solo e produtividade da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa, 1999. p. 126-137.

KING, C. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. **Agron. J.**, v. 93, n. 1, p. 176-186, 2001.

KISHINEVSKY, B. et al. Effects of some commercial herbicides on rhizobia and their symbiosis with peanuts. **Weed Res.**, v. 28, p. 291-196, 1988.

MALTY, J. S.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 41, n. 2, p. 285-291, 2006.

MARENCO, R.; LOPES, N. F.; MOSQUIM, P. R. Nodulation and nitrogen fixation in soybeans treated with herbicides. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 5, n. 2, p. 121-126, 1993.

MOORMAN, T. B. et al. Production of hydroxybenzoic acids by *Bradyrhizobium japonicum* strains after treatment with glyphosate. **J. Agric. Food Chem.**, v. 40, n. 1, p. 289-293, 1992.

PADGETTE, S. R. et al. Development, identification, and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line. **Crop Sci.**, v. 35, n. 5, p. 1451-1461, 1995.

PROCÓPIO, S. O. et al. Crescimento de estirpes de *Bradyrhizobium* sob influência dos herbicidas glyphosate potássico, fomesafen, imazethapyr e carfentrazone-ethyl. **R. Ceres**, v. 51, n. 294, p. 179-188, 2004.

REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **J. Agric. Food Chem.**, v. 52, n. 16, p. 5139-5143, 2004.

REDDY, K. N.; ZABLOTOWICZ, R. M. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. **Weed Sci.**, v. 51, p. 496-502, 2003.

ROYUELA, M. et al. Imazethapyr inhibition of acetolactate synthase in *Rhizobium* and its symbiosis with pea. **Pestic. Sci.**, v. 52, n. 4, p. 372-380, 1998.

SANTOS, J. B. et al. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 293-299, 2004.

SANTOS, J. B. et al. Ação de herbicidas sobre o crescimento de estirpes de *Rhizobium tropici*. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 457-465, 2006.

VIDAL, R. A. Mecanismo de ação dos herbicidas. In: **Ação dos herbicidas: absorção, translocação, e metabolização**. Porto Alegre: Evangraf, 2002. p. 60-70.

