

DESEMPENHO DA SOJA ROUNDUP READY SOB APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE EM DIFERENTES ESTÁDIOS¹

Performance of Roundup Ready Soybean under Glyphosate Application at Different Stages

ALBRECHT, L.P.², BARBOSA, A.P.³, SILVA, A.F.M.³, MENDES, M.A.³, MARASCHI-SILVA, L.M.⁴ e ALBRECHT, A.J.P.⁵

RESUMO - Em razão de estudos e especulações envolvendo a questão da soja RR sob aplicação de glyphosate, são necessárias investigações que permitam esclarecer melhor essa situação. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho agrônomico e os teores de óleo e proteínas sob aplicação do herbicida glyphosate na cultura da soja transgênica. Para isso, foi desenvolvido um ensaio em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em que os tratamentos avaliados consistiram da pulverização foliar contendo glyphosate, em doses crescentes, aplicadas nos estádios V₆ e R₂. As variáveis avaliadas foram: altura média das plantas, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade, assim como os teores de óleo e proteínas. Verificou-se que o glyphosate, especialmente quando usado em R₂, pode comprometer o desempenho agrônomico e os teores de proteínas.

Palavras-chave: *Glycine max*, herbicida, produção.

ABSTRACT - *Previous studies and speculation involving the behavior of Roundup Ready soybean under glyphosate application requires further investigations to clarify this issue. This study aimed to evaluate the agronomic performance and oil and protein contents of transgenic soybean culture under glyphosate application. Thus, an assay was carried out in a completely randomized block design, with four replications. Treatments consisted of foliar sprays in increasing doses of glyphosate applied at stages V6 and R2. The variables evaluated were: plant height, number of pods per plant, thousand grain weight and yield, as well as oil and protein contents. It was verified that glyphosate, especially when used in R2, can compromise both the agronomic performance and protein contents.*

Keywords: *Glycine max*, herbicide, yield.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja tem apresentado intensa atividade de pesquisa dirigida à obtenção de informações que possibilitem aumentos na produtividade e redução nos custos de produção. Isso tem exigido a constante reformulação e adaptação de tecnologias, como o manejo do herbicida glyphosate, aplicado via foliar sobre a cultura da soja Roundup Ready (RR).

O glyphosate pode possuir algum efeito indesejável mesmo em plantas de soja RR, para as quais é seletivo. Qualquer estresse acarreta efeito negativo sobre o crescimento e desenvolvimento normal das espécies vegetais (Taiz & Zeiger, 2009). Reddy & Zablotowicz (2003) observaram, por exemplo, o potencial de dano do glyphosate que se acumulou nos nódulos radiculares. Resultados de Santos et al. (2007a,b) reforçam a hipótese de que o

¹ Recebido para publicação em 16.1.2010 e aprovado em 24.2.2011.

² D.Sc., M.Sc., Eng^a-Agr^a, Professor, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus de Palotina, Rua Pioneiro, 2153, Jardim Dallas, 85950-000 Palotina-PR, <lpalbrecht@yahoo.com.br>; ³ Graduando do Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus de Umuarama; ⁴ Mestranda em Produção Vegetal, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC;

⁵ Graduando do curso de Agronomia, UEM, Campus de Maringá.



glyphosate pode prejudicar a simbiose entre rizóbio e soja, além de alterar o balanço nutricional da planta.

Segundo muitas pesquisas recentes, o glyphosate pode, além de influenciar o balanço nutricional, gerar efeito fitotóxico, afetar a eficiência no uso da água, na fotossíntese, na rizosfera, no acúmulo de biomassa, na síntese de aminoácidos e compostos secundários (Kremer et al., 2005; Neumann et al., 2006; Zobiole et al. 2010a,b,c,d,e; Albrecht & Ávila, 2010). Esses resultados denotam a possibilidade de comprometimento do desempenho agrônomo da soja.

Albrecht & Ávila (2010) mencionam a observação de tendência linear decrescente na qualidade das sementes com o incremento na dose de glyphosate, justificada pelo possível efeito deletério de altas doses desse herbicida. No entanto, o resultado do impacto do uso de glyphosate ainda carece de informações mais amplas, referentes ao efeito sobre os componentes de produção e qualidade das sementes colhidas, assim como sobre a causa bioquímica e fisiológica das possíveis consequências.

Portanto, é necessária a busca de informações científicas que permitam diagnosticar a real viabilidade do uso do glyphosate em diferentes estádios fenológicos, bem como suas implicações no desempenho agrônomo e nos teores de óleo e proteínas das sementes produzidas. Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo e os teores de óleo e proteínas nas sementes de soja transgênica sob uso de glyphosate aplicado em diferentes estádios na cultura da soja transgênica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado nas condições edafoclimáticas do Arenito Caiuá, localizado em latitude de 23°47' sul e longitude de 53°14' a oeste de Greenwich, com altitude média de 403 m, no município de Umuarama-PR, com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa, e tipo climático Cfa, segundo a classificação de Köppen.

Foi realizada a análise química do solo, antes da instalação do experimento. A área

experimental foi dessecada com 4,0 L ha⁻¹ do herbicida Roundup Original® (glyphosate) em mistura com 0,5 L ha⁻¹ de óleo mineral Assist®. A adubação de semente foi realizada com base na análise de solo, seguindo as recomendações da Embrapa (2008).

Foi utilizado no experimento o cultivar de soja CD 219 RR, pertencente ao grupo de maturação médio. As sementes de soja do cultivar em questão foram semeadas no mês de novembro do ano agrícola de 2009/2010, com espaçamento de 0,45 m e profundidade média de 3 cm, com densidade de 16 sementes por metro linear, em área de plantio direto. As parcelas foram constituídas de seis linhas de 5 m de comprimento. Para as avaliações, foi utilizada área útil de 5,4 m², sendo consideradas apenas as quatro fileiras centrais, descartando-se 1 m de cada extremidade das fileiras como bordaduras.

Durante o desenvolvimento da cultura, o controle de pragas e doenças foi realizado conforme a necessidade, de forma homogênea em todo o experimento, com produtos que não afetariam os resultados dos tratamentos com glyphosate. O tratamento de sementes foi feito por ocasião da sementeira, com a aplicação do fungicida Vitavax + Thiram® 200 SC (Carboxin + Thiram) na dose de 250 mL 100 kg⁻¹ de sementes, além de inoculação com o produto comercial turfoso MasterFix® (*Bradyrhizobium japonicum*), na dose de 250 g para 50 kg de sementes. Os tratamentos avaliados consistiram da pulverização foliar de soluções contendo glyphosate (Roundup Ready®) em dois estádios fenológicos. As dosagens e as combinações mais detalhadas dos tratamentos efetivados encontram-se na Tabela 1.

As aplicações foliares, nos estádios V₆ e R₂, foram realizadas utilizando pulverizador

Tabela 1 - Tratamentos contendo glyphosate realizados em diferentes estádios fenológicos, em Umuarama-PR, 2009/2010

Dose (g e.a. ha ⁻¹)	
Estádio fenológico V ₆	Estádio fenológico R ₂
0	0
1.440	1.440
2.880	2.880

costal propelido a CO₂, com pressão constante de 2 bar (29 PSI), equipado com lança contendo um bico leque da série Teejet tipo XR 110 02, com volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Por ocasião do estágio R₃, ou seja, quando 95% das vagens apresentaram a coloração típica de vagem madura, foram efetuadas as seguintes determinações: altura média das plantas e número de vagens por planta. Dez plantas escolhidas ao acaso na área útil das parcelas foram avaliadas. O número de vagens por planta foi avaliado por ocasião da maturação plena (estádio R₈), através da contagem do número de vagens presentes nas mesmas 10 plantas escolhidas aleatoriamente. Foram calculadas as produtividades em kg ha⁻¹ para cada tratamento, bem como a massa de mil sementes, por meio da pesagem de oito sub-amostras de 100 sementes por repetição, sendo o valor corrigido para 13% base úmida.

A determinação de proteínas foi realizada utilizando-se o método de Kjeldahl, na quantificação de nitrogênio total, conforme recomendação da Association of Official Analytical Chemists, com modificações. No cálculo da conversão de nitrogênio em proteínas foi utilizado o fator 6,25, e a porcentagem de proteínas foi obtida com base na matéria seca. Na determinação de óleo para avaliação dos lipídios totais, utilizou-se o aparelho extrator de Soxhlet e éter de petróleo como solvente, segundo o procedimento descrito nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, com refluxo de seis horas. Os resultados foram expressos em porcentagem de óleo extraído, determinados por diferença de pesagem.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 3 (dois estádios e três doses). Atendidas as pressuposições básicas, os dados foram submetidos à análise de variância e, independentemente da significância pelo teste F (p<0,05), nas interações, prosseguiram-se os desdobramentos necessários para diagnosticar possíveis efeitos da interação. O teste F foi conclusivo na comparação das médias dos efeitos de estádios fenológicos. A análise de regressão linear foi utilizada para verificar o comportamento das variáveis, em função das doses de glyphosate aplicadas via foliar, em nível de 5% de probabilidade.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os resultados obtidos, caracterizou-se efeito significativo (p<0,05) seja no efeito principal (dose) para diferentes variáveis (como número de vagens por planta e produtividade), seja na interação doses x estádios (altura de plantas, estande, massa de cem sementes e teores de proteínas).

A altura de plantas foi menor no estágio reprodutivo (R₂), quando a dose de glyphosate foi a maior (2.880 g e.a. ha⁻¹), como pode ser observado na Tabela 1. Esse fato é aparentemente incomum, já que a aplicação foi realizada no reprodutivo, porém constata-se que injúrias severas visualizadas no terço superior das plantas podem ter sido as responsáveis, o que corrobora as explicações de Albrecht & Ávila (2010). A variável estande foi avaliada somente para eventuais elucidações necessárias (Tabela 2).

O desdobramento da interação permitiu identificar efeito significativo (p<0,05) para a variável altura de plantas, também por meio da análise de regressão (Figura 1), em que foi possível o ajuste de um modelo linear decrescente (com coeficiente angular de 0,006181) em função do aumento das doses – isso apenas dentro do estágio reprodutivo. Esse fato diagnosticado caracteriza a nocividade de emprego do glyphosate nas doses testadas, quando aplicações são direcionadas fora do estágio indicado pelas recomendações técnicas (Embrapa, 2008), ou seja, no período reprodutivo, no caso do ensaio em questão.

Tabela 2 - Valores médios de altura de plantas e estande de plantas, obtidos de soja transgênica sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios (Umuarama-PR, 2009/2010)

Dose (g e.a. ha ⁻¹)	Altura média (cm por planta)		Estande médio (nº de plantas m ⁻¹ linear)	
	V ₆	R ₂	V ₆	R ₂
0	94,75 A	106,40 A	7,00 B	10,13 A
1.440	101,90 A	99,40 A	9,63 A	8,33 A
2.880	106,50 A	80,60 B	8,91 A	8,16 A
Média	101,05	98,15	8,51	8,87

* Médias acompanhadas de letras maiúsculas iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

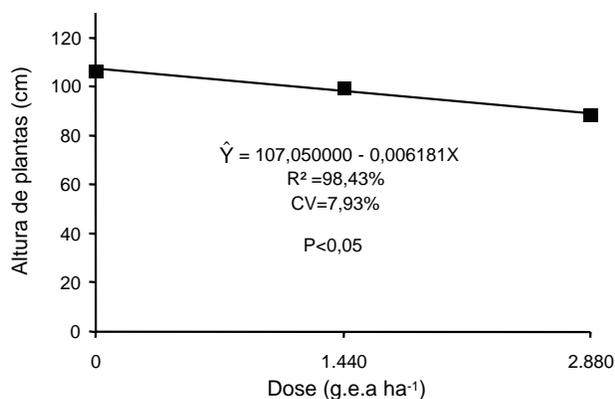


Figura 1 - Regressão linear para altura de plantas de soja transgênica sob aplicação de glyphosate no estágio reprodutivo (R_2) (Umuarama-PR, 2009/2010).

Quanto a número de vagens e altura de inserção da primeira vagem, não houve significância ($p < 0,05$) no efeito principal estádios (Tabela 3), porém foi possível captar diferença significativa ($p < 0,05$) dentro do efeito principal doses (Figura 2), com ajuste de modelo linear decrescente para número de vagens. Portanto, independentemente de as doses serem aplicadas no reprodutivo ou no vegetativo (V_6), a elevação nas doses de glyphosate diminuiu o número de vagens por planta, altamente correlacionada com a produtividade. Tal fato pode estar associado à diminuição na retenção de vagens, devido a problemas nutricionais (Zobiolo et al., 2010e), na fotossíntese e no uso da água (Zobiolo et al., 2010b).

A massa de cem sementes foi menor dentro da maior dose, quando aplicada no vegetativo (Tabela 3), e diminuiu linearmente quando as doses foram aplicadas no reprodutivo (Figura 3). Esse aspecto denota o comprometimento de um componente de produção diante das doses empregadas em estádios não adequados.

Quanto à produtividade, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) quanto a estádios (Tabela 4), no entanto isso foi observado para doses (Figura 4), indiferentemente do estágio de aplicação, diminuindo $0,406661 \text{ kg ha}^{-1}$ a cada g e.a. aplicado por ha . Essa constatação coloca em questão o uso de glyphosate em soja transgênica, criando horizontes para maiores pesquisas que posicionem

Tabela 3 - Número médio de vagens e inserção média de primeira vagem, obtidos de soja transgênica sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios (Umuarama-PR, 2009/2010)

Dose (g e.a. ha^{-1})	Número médio de vagens (vagens por planta)		Inserção média de primeira vagem (cm por planta)	
	V_6	R_2	V_6	R_2
0	91,50	81,60	24,05	24,40
1.440	83,75	83,07	25,45	22,40
2.880	81,23	68,33	22,45	25,10
Média	85,49	77,67	23,98	23,97

* Médias acompanhadas de letras maiúsculas iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

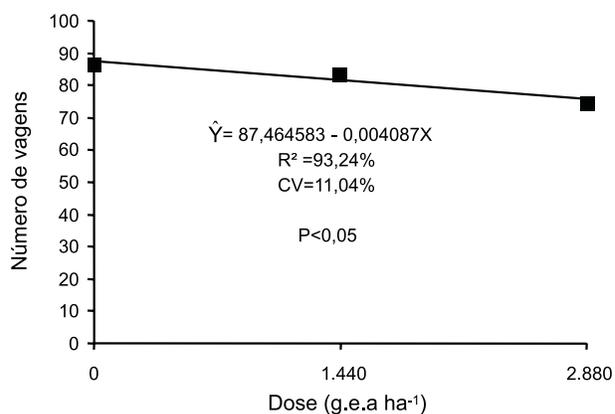


Figura 2 - Regressão linear para número de vagens de soja transgênica sob aplicação de glyphosate (Umuarama-PR, 2009/2010).

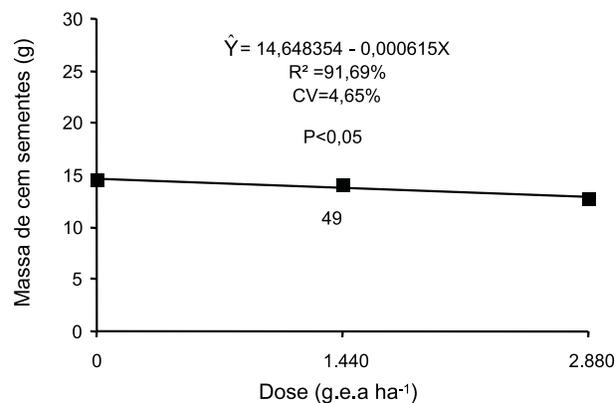


Figura 3 - Regressão linear para massa de cem sementes obtida de sementes de soja transgênica sob aplicação de glyphosate no estágio reprodutivo (R_2) (Umuarama-PR, 2009/2010).

Tabela 4 - Massa de cem sementes e produtividade média obtidas de sementes de soja transgênica sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios (Umuarama-PR, 2009/2010)

Dose (g e.a. ha ⁻¹)	Massa de cem sementes (g)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	V ₆	R ₂	V ₆	R ₂
0	14,32 A	14,49 A	3.875,16	3.434,83
1.440	14,26 A	14,07 A	3.446,66	3.342,71
2.880	14,79 B	12,72 A	2.349,69	2.617,93
Média	14,46	13,76	3.223,84	3.131,83

* Médias acompanhadas de letras maiúsculas iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

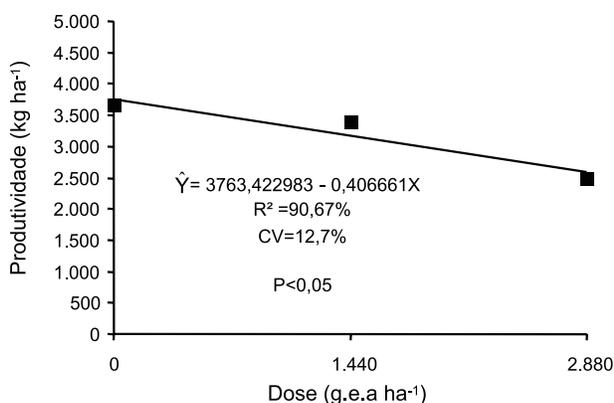


Figura 4 - Regressão linear para produtividade de soja transgênica sob aplicação de glyphosate (Umuarama-PR, 2009/2010).

limites no tocante a evitar prejuízos nos cultivos de soja RR pelo uso de altas doses de glyphosate em estádios inadequados (aplicações tardias).

Há consequências possíveis do uso de glyphosate em pós-emergência na cultura da soja RR, como alterações diretas na nutrição de mineral das plantas de soja, no caso do Mn, e outros nutrientes, como N, Ca, Mg, Fe e Cu, podem ter seus níveis alterados sob a aplicação de glyphosate (Huber, 2007; Santos et al., 2007a; Zobiolo et al., 2010c,e). Plantas com problemas nutricionais podem apresentar menor acúmulo de biomassa e, por conseguinte, menor produtividade.

Sabe-se também que as plantas de soja RR possuem em seu interior resíduos de AMPA (ácido aminometilfosfônico), produto da degradação do glyphosate, após a aplicação desse

princípio ativo (Arregui et al., 2003; Reddy et al., 2004). O aumento na dose de glyphosate pode elevar o conteúdo de AMPA, potencializando assim o efeito fitotóxico desse metabólito (Duke et al., 2003; Reddy et al., 2004).

Na Tabela 5 é possível verificar os valores relativos aos teores de óleo e proteínas sob o uso de glyphosate em diferentes estádios. Tanto o teor de proteínas como o de óleo foram reduzidos com a aplicação de glyphosate no estágio reprodutivo (Figura 5).

A partir dos resultados de proteínas, compreende-se que o glyphosate também pode influenciar negativamente a composição química das sementes quando aplicado no florescimento, nas doses utilizadas no ensaio. A influência do glyphosate na composição química das plantas foi demonstrada por

Tabela 5 - Porcentagem de teores médios de óleo e de proteína obtidos de sementes de soja transgênica sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios (Umuarama-PR, 2009/2010)

Dose (g e.a. ha ⁻¹)	Teor de proteína (%)		Teor de óleo (%)	
	V ₆	R ₂	V ₆	R ₂
0	50,05 B	53,31 A	28,91	29,06
1.440	51,53 A	46,10 B	27,97	29,59
2.880	51,27 A	48,11 B	29,14	30,46
Média	50,95	49,17	28,67	29,46

* Médias acompanhadas de letras maiúsculas iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

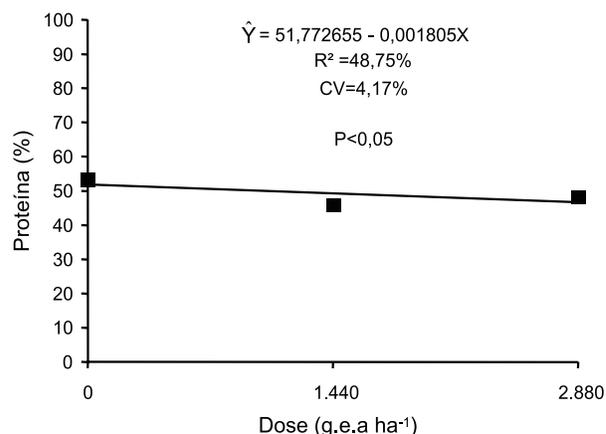


Figura 5 - Regressão linear para porcentagem de teores de proteína obtidos de sementes de soja transgênica sob aplicação de glyphosate no estágio reprodutivo (R₂) (Umuarama-PR, 2009/2010).



resultados de Zobiolo et al. (2010d). Outra causa poderia ser um menor aporte de nitrogênio via fixação biológica, que pode ser afetado por aplicações com glyphosate (Zablotowicz & Reddy, 2004; María et al., 2006; Santos et al., 2007a,b; Dvoranen et al., 2008; Zobiolo et al., 2010a).

Os efeitos identificados nos caracteres de interesse agrônomo corroboram resultados discutidos por Albrecht & Ávila (2010), estando provavelmente relacionados ao potencial de injúria ou à ação deletéria do glyphosate (Reddy et al., 2004; Huber, 2007; Zobiolo et al., 2010a,b,c,d,e).

Ficou evidente o potencial de modificação na composição química das sementes, via mudanças nos teores de proteínas, quando do uso de glyphosate no período reprodutivo. Portanto, o desempenho agrônomo e os teores de proteínas são potencialmente alterados com aplicação de glyphosate em doses de 1.440 a 2.880 g.e.a. ha⁻¹ sobre a soja CD219 RR, especialmente quando essas aplicações são feitas no período reprodutivo.

LITERATURA CITADA

- ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R. Manejo de glyphosate em soja RR e a qualidade das sementes. *Inf. Abrates*, v. 20, n. 2, p. 45-54, 2010.
- ARREGUI, M. C. et al. Monitoring glyphosate residues in transgenic glyphosate-resistant soybean. *Pest Manag. Sci.*, v. 60, n. 2, p. 163-166, 2003.
- DUKE, S. O. et al. Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid levels in seeds of glyphosate-treated, glyphosateresistant soybean. *J. Agric. Food Chem.*, v. 51, n. 1, p. 340-344, 2003.
- DVORANEN, E. C. et al. Nodulação e crescimento de variedades de soja RR sob aplicação de glyphosate, fluazifop-p-butyl e fomesafen. *Planta Daninha*, v. 26, n. 3, p. 619-625, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** – região central do Brasil – 2008. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 280 p. (Sistemas de Produção, 12).
- HUBER, D. M. What about glyphosate-induced manganese deficiency? *Fluid J.*, FALL 2007, p. 20-22. Disponível em: www.fluidfertilizer.com/PastArt/pdf/58P20-22.pdf. Acesso em: 18 mar. 2008.
- KREMER, R. J.; MEANS, N. E.; KIM, S. Glyphosate affects soybean an root exudation and rhizosphere microorganisms. *Inter. J. Environ. Anal. Chem.*, v. 85, n. 15, p. 1165-1174, 2005.
- MARÍA, N. et al. New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: role of shikimate accumulation. *J. Agric. Food Chem.*, v. 54, n. 7, p. 2621-2628, 2006.
- NEUMANN, G. et al. Relevance of glyphosate transfer to non-target via the rhizosphere. *J. Plant Dis. Protec.*, v. 20, p. 963-969, 2006. (Special Issue)
- 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, n. 1, p. 496-502, 2003.
- SANTOS, J. B. et al. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. *Planta Daninha*, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007a.
- SANTOS, J. B. et al. Efeito de formulações na absorção e translocação do glyphosate em soja transgênica. *Planta Daninha*, v. 25, n. 2, p. 381-388, 2007b.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Impact of glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: A minireview. *J. Environ. Quality*, v. 33, n. 3, p. 825-831, 2004.
- ZOBILOLE, L. H. S. et al. Effect of glyphosate on symbiotic N2 fixation and nickel concentration in glyphosate-resistant soybeans. *Applied Soil Ecol.*, v. 44, n. 1, p. 176-180, 2010a.
- ZOBILOLE, L. H. S. et al. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. *Pestic. Biochem. Physiol.*, v. 97, n. 3, p. 182-193, 2010b.
- ZOBILOLE, L. H. S. et al. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. *Plant Soil*, v. 328, n. 1, p. 57-69, 2010c.
- ZOBILOLE, L. H. S. et al. Glyphosate affects lignin content and amino acid production in glyphosate-resistant soybean. *Acta Physiol. Plant.*, v. 32, n. 5, p. 831-837, 2010d.
- ZOBILOLE, L. H. S. et al. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. *J. Plant Nutr.*, v. 33, n. 12, p. 1860-1873, 2010e.

