

# AVALIAÇÃO DO USO DE GLYPHOSATE EM SOJA GENETICAMENTE MODIFICADA E SUA RELAÇÃO COM O ÁCIDO CHIQUÍMICO<sup>1</sup>

*Evaluation of Glyphosate Application on Transgenic Soybean and its Relationship with Shikimic Acid*

FRANCO, D.A.S.<sup>2</sup>, ALMEIDA, S.D.B.<sup>2</sup>, CERDEIRA, A.L.<sup>3</sup>, DUKE, S.O.<sup>4</sup>, MORAES, R.M.<sup>5</sup>, LACERDA, A.L.S.<sup>6</sup> e MATALLO, M.B.<sup>2</sup>

**RESUMO** - Com o aumento da comercialização de culturas geneticamente modificadas (GM) resistentes ao glyphosate, é importante investigar a relação entre o uso desse herbicida e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento de plantas de soja GM, assim como sua relação com o ácido chiquímico. Nesse sentido, foi conduzido um ensaio de campo e outro em casa de vegetação, com o objetivo de verificar a influência do glyphosate no crescimento, no desenvolvimento e na qualidade dos grãos da soja GM, bem como sua exsudação radicular e posterior absorção por plântulas de soja convencional cultivada sob condições hidropônicas. O ensaio de campo foi realizado em Eng. Coelho-SP, em 2007/08, sob delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, com aplicações isoladas (720 e 960 g e.a. ha<sup>-1</sup> equivalente ácido) e sequenciais de glyphosate, com intervalo de 15 dias (720/720, 960/720 e 960/720/720 g e.a. ha<sup>-1</sup>). Transcorridos 42 dias da última aplicação de glyphosate, foram avaliados os efeitos sobre a densidade, altura de plantas e produtividade do cv. BRS Valiosa RR. Avaliou-se também o teor de ácido chiquímico sete dias após a última aplicação de glyphosate e o conteúdo de óleo e proteína dos grãos. No ensaio em casa de vegetação, conduzido sob o delineamento inteiramente casualizado com três repetições, soja GM cv. M8045RR e soja convencional cv. Conquista foram mantidas crescendo conjuntamente em solução hidropônica após aplicação de 2.400 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate no cultivar transgênico. O acúmulo de ácido chiquímico foi medido por HPLC a 0, 1, 3, 7 e 10 dias após aplicação do glyphosate, determinando-se também sua concentração e de seu metabólito, ácido aminometilfosfônico (AMPA), na solução nutritiva, por GC-MS. Os resultados mostraram que nenhum parâmetro fitométrico nem a qualidade nutricional dos grãos foram alterados pelas aplicações de glyphosate. Houve acúmulo de ácido chiquímico nas plantas de soja transgênica no campo quando tratadas de forma isolada com glyphosate. Os resultados também mostraram exsudação radicular do glyphosate por soja transgênica, com posterior absorção por soja convencional. Foram detectados resíduos de glyphosate e ácido aminometilfosfônico na solução nutritiva.

**Palavras-chave:** chiquimato, transgenia, exsudação radicular, AMPA, hidroponia.

**ABSTRACT** - *Glyphosate [N-(phosphonomethyl) glycine]-resistant crops (GRC) are the transgenic crops most extensively grown worldwide, with soybean being the major GRC. It is important to evaluate the impact of glyphosate on transgenic soybean and its relationship with shikimic acid. A field experiment was conducted at Engenheiro Coelho-SP, Brazil, during the agricultural year 2007/2008 to evaluate the effect of glyphosate on the growth, development, and seed quality of GRC soybean variety BRS Valiosa RR. A randomized block design was used with four replications. Glyphosate was applied at 720 and 960 g a.e. ha<sup>-1</sup> (acid equivalent) and in sequence at the doses 720/720, 960/720, and 960/720/720 g a.e. ha<sup>-1</sup> (acid equivalent). To evaluate transfer from GRC soybean to non GRC soybean cultivated in nutrient solution, a pot experiment was conducted at*

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 11.6.2011 e aprovado em 2.5.2012.

<sup>2</sup> Pesquisador Científico, Laboratório da Ciência das Plantas Daninhas, Instituto Biológico, 13092-543 Campinas-SP, Brasil; <matallo@biologico.sp.gov.br>; <sup>3</sup> Pesquisador Científico, Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, 13820-000 Jaguariúna-SP, Brasil; <sup>4</sup> USDA-ARS, National Products Utilization Research Unit (NPURU), University, Oxford, MS, 38677; <sup>5</sup> Biological Field Station, University of Mississippi, 15 County Road 2078 Abbeville, MS 38601. <sup>6</sup> Bolsita FAPESP.



*Instituto Biológico, SP, Brazil. Glyphosate was applied on the GRC soybean (M8045RR) at 2,400 g a.e. ha<sup>-1</sup>. Both GRC soybean and non GRC soybean were sown in the same box with nutrient solution. At 0, 1, 3, 7, and 10 days after application, shikimic acid was measured by HPLC and the glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) levels in nutrient solution were determined by GC-MS. The results showed that yield, plant height, seed oil, and protein contents were not affected by glyphosate application. GRC soybean accumulated shikimic acid in the field. Glyphosate and AMPA were released through the roots of GRC soybean, and subsequently taken up by non-GRC soybean, exerting inhibitory effects on their shikimic pathway.*

**Keywords:** shikimate, root exudation, AMPA, nutrient solution.

## INTRODUÇÃO

O glyphosate [N-(fosfonometilglicina)] tem dominado o mercado de herbicidas desde sua introdução comercial, em 1974. Seu amplo espectro de ação, alta eficiência e baixo risco ambiental e toxicológico contribuem para a sua preferência. Seu mecanismo de ação está intrinsecamente ligado à inibição competitiva da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs E.C. 2.5.1.19), essencial na via do ácido chiquímico, que é usada na biossíntese de uma variedade de metabólitos das plantas (Nandula et al., 2007). A inibição da enzima EPSPs leva a um acúmulo do ácido chiquímico nos tecidos vegetais, que pode ser determinado principalmente através de técnicas cromatográficas. Esse protocolo é um excelente bioindicador da exposição das plantas ao glyphosate (Velini et al., 2008).

Apesar da sua baixa toxicidade e de possuir características ambientais favoráveis, diversos trabalhos têm relatado efeitos negativos do uso de glyphosate sobre organismos não alvo em diferentes agroecossistemas (Neumann et al., 2006).

De acordo com Machado et al. (2009), o movimento do glyphosate na planta está associado ao fluxo de carboidratos de órgãos tidos como fontes para os drenos metabólicos, e sua velocidade de translocação para as raízes está associada ao transporte de açúcares no floema. Ainda segundo esses autores, o glyphosate pode ser liberado para o solo através da exsudação radicular ou da morte e liberação celular dos tecidos de plantas tratadas com esse herbicida, podendo afetar plantas adjacentes que compartilham a mesma zona radicular das plantas tratadas. A exsudação radicular do <sup>14</sup>C-glyphosate para o solo já foi reportada para

o trigo, com sua subsequente absorção por plantas de milho adjacentes (Rodrigues et al., 1982).

Apesar de resistente ao glyphosate, sob determinadas condições a soja geneticamente modificada (GM) tem apresentado injúrias a aplicações desse herbicida associadas à formulação utilizada (Cerdeira et al., 2007). Muito embora não tenham sido reportadas reduções significativas na produção da soja GM, Albrecht & Ávila (2010) afirmam que aplicações de glyphosate alteraram a qualidade das sementes e seu vigor, reduzindo também a produtividade da soja GM. Já Correia & Durigan (2007) concluíram que o uso de diferentes formulações de glyphosate não alterou o acúmulo de matéria seca na parte aérea de diferentes cultivares de soja GM.

Diante da controvérsia, um ensaio de campo foi conduzido com o objetivo de verificar a influência do glyphosate no crescimento, no desenvolvimento e na qualidade dos grãos da soja GM. Além disso, investigou-se a potencial transferência através da exsudação radicular do glyphosate aplicado via foliar em plântulas de soja GM para plântulas de soja convencional cultivadas sob condições hidropônicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi desenvolvido no ano agrícola de 2007 no município de Engenheiro Coelho-SP, a 627 m de altitude, com latitude de 22° 30' 20" e longitude de 47° 10' 32", em solo classificado como Barrento, subclasse Limo argiloso, com os seguintes atributos: pH 4,8 (CaCl<sub>2</sub>); MO: 39,0 g dm<sup>-3</sup>; P: 130,0 mg dm<sup>-3</sup>; K: 2,2; Ca: 29,0; Mg: 9,0; H+Al: 47,0; SB: 40,2; CTC: 87,2 (mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>); e V de 46,1%. O clima da região é classificado como Cwa,



caracterizado por um inverno seco. O cultivar de soja GM utilizado foi o BRS Valiosa RR, recomendado para o Estado de São Paulo. A semeadura foi realizada no dia 24/10/2007, numa densidade de 16 plantas/metro e espaçamento de 0,5 m entre linhas.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo as parcelas experimentais constituídas por seis linhas de soja GM com 5,0 m de comprimento, considerando-se como área útil as quatro linhas centrais com 4,0 m de comprimento e 0,5 m de bordadura.

Os tratamentos constaram de aplicações únicas e isoladas de glyphosate nas concentrações de 720 e 960 g ha<sup>-1</sup> de equivalente ácido (e.a.) e glyphosate aplicado sequencialmente nas doses de 720/720, 960/720 e 960/720/720 g e.a ha<sup>-1</sup> (produto comercial Roundup Ready®, contendo 480 g L<sup>-1</sup> e.a.), com intervalos quinzenais entre as aplicações, além de uma testemunha capinada e outra sem capina. Os tratamentos foram aplicados sempre no período matutino, utilizando-se um pulverizador propeldido a CO<sub>2</sub>, regulado para um consumo de calda de 300 L ha<sup>-1</sup>, e bicos tipo leque 110-04, com a soja nos estádios V2 (aplicações isoladas), V2+V5 (duas aplicações sequenciais) e V2+V5+V8 (três aplicações sequenciais), de acordo com a escala de Fher et al. (1971). No momento da aplicação foram registradas a temperatura e a umidade relativa do ar (Tabela 1).

Os parâmetros fitométricos avaliados foram a densidade e a altura das plantas de soja GM aos 42 dias após aplicação dos tratamentos (DAT), as quais foram determinadas pelo número de plantas em duas linhas de 1,0 m de comprimento dentro da área útil de cada parcela e em 10 plantas por parcela desde a base até a gema apical da haste principal, respectivamente. A produtividade de grãos foi

determinada pela colheita da área útil de cada parcela, com os dados corrigidos para um teor de 13,0% de umidade dos grãos.

Os parâmetros fisiológicos avaliados foram o teor de proteína em 1,0 g e de óleo em 0,1 g de amostra, determinados, respectivamente, pelo método de Kjeldhal, tendo como catalisador o sulfato de cobre, e pelo método de Soxhlet, com hexano como solvente (Bonato et al., 2000). O teor de ácido chiquímico foi determinado nas folhas de soja GM sete dias após a última aplicação de glyphosate por cromatografia líquida de alta eficiência em sistema isocrático e a mistura de água MilliQ:metanol na proporção de 95:5, a pH 3,0, como fase móvel, de acordo com método descrito por Matallo et al. (2009).

Todos os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste F a 5% de probabilidade; quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey nesse mesmo nível de probabilidade.

Para o estudo da absorção de glyphosate por soja não transgênica a partir de exsudatos de raiz de soja GM cultivada em sistema hidropônico, foi realizado um ensaio em casa de vegetação, onde plântulas de soja não transgênica cv. Conquista e transgênica cv. M8045 RR foram mantidas conjuntamente em caixas de plástico com capacidade para 15 L, marca Ezelone, próprias para cultivo em solução nutritiva completa, conforme descrito por Prado et al. (2010), cujo volume foi repostado diariamente ao seu nível inicial.

Ao atingirem o estágio V2, as plântulas de soja GM foram pulverizadas com glyphosate na dose de 2.400 g e.a L<sup>-1</sup>, utilizando-se o produto comercial Roundup Ready®. No momento da aplicação as plantas de soja cv. Conquista foram momentaneamente retiradas da caixa, tomando-se o cuidado de tampar os orifícios para evitar a contaminação da solução nutritiva. Após a aplicação, as plântulas do cv. Conquista retornaram imediatamente à caixa, convivendo durante todo o período do experimento com as plantas de soja GM tratadas com glyphosate.

Imediatamente antes da aplicação de glyphosate (dia 0) e 1, 3, 7 e 10 dias após a pulverização na soja GM, determinou-se a concentração de ácido chiquímico nas folhas

**Tabela 1** - Dados climáticos no início e no final das aplicações de glyphosate. Eng. Coelho-SP

Data da aplicação	Umidade relativa (%)		Temperatura (°C)	
	início	fim	início	fim
10/01/07	67	65	25,4	26,3
02/02/07	75	73	27,3	28,4
17/02/07	68	70	29,0	29,3



tanto da soja convencional como da soja GM, de acordo com o método descrito anteriormente (Matallo et al., 2009).

Paralelamente, ambos os cultivares de soja foram cultivados em caixa hidropônica e manejados da mesma forma descrita anteriormente, porém pulverizados somente com água destilada. No estágio V2, as folhas foram coletadas nos mesmos períodos, determinando-se o nível de ácido chiquímico endógeno (testemunha).

Ao final do experimento foi determinada a concentração de glyphosate e seu metabólito AMPA na solução hidropônica, segundo método descrito por Abreu et al. (2008), empregando GC-MS. O ensaio foi realizado sob o delineamento inteiramente casualizado com três repetições, com as médias comparadas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da resposta da soja GM ao glyphosate (ensaio de campo) são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, e os resultados da absorção de glyphosate por soja convencional, nas Tabelas 5 e 6 (casa de vegetação).

A altura das plantas de soja GM não foi significativamente afetada pelas aplicações de glyphosate, o mesmo ocorrendo com relação à densidade, com as plantas apresentando altura média de 72,2 cm e densidade média de 15,7 plantas m<sup>-1</sup> (Tabela 2). Petter et al. (2007) relatam a redução na altura do cultivar

Valiosa quando tratado com glyphosate aplicado isoladamente aos 35 DAS, atribuindo essa redução à interferência das plantas daninhas, aliado à resposta diferenciada dos cultivares.

Preferencialmente translocado para tecidos reprodutivos e nódulos da soja (Reddy et al., 2004), pode haver potencial efeito desse herbicida no metabolismo do nitrogênio na soja GM e, conseqüentemente, na sua produção (Cerdeira et al., 2007). Entretanto, os dados da Tabela 3 mostram que a produtividade de grãos não foi significativamente alterada pelas aplicações de glyphosate tanto quando aplicado isoladamente como sequencialmente. As menores produtividades obtidas na testemunha sem capina demonstram a agressividade das plantas daninhas, com perda de 65,1% em relação à testemunha capinada (Tabela 3).

O efeito do glyphosate na composição dos grãos de soja GM pode ser visto na Tabela 4, assim como o teor de ácido chiquímico nas folhas sete dias após a última aplicação do herbicida. Os resultados mostram que os tratamentos com glyphosate não alteraram significativamente os teores de óleo e proteínas dos grãos de soja GM, com valores médios de 18,6 e 38,5%, respectivamente. Bonato et al. (2000) afirmam existir correlação negativa significativa entre os teores de óleo e proteína no grão de soja, enquanto Böhm & Rombaldi (2010) relataram que as aplicações de glyphosate não interferem nas características nutricionais e funcionais do grão de soja GM.

**Tabela 2** - Valores médios de densidade e altura de plantas de soja GM cv. BRS valiosa RR tratadas com glyphosate. Engenheiro Coelho-SP

Tratamento	Dose (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	Densidade (plantas m <sup>-1</sup> )	Altura (cm)
1. glyphosate	720	18	76,8
2. glyphosate	960	15	68,9
3. glyphosate/glyphosate	720/720	15	74,9
4. glyphosate/glyphosate	960/720	18	71,0
5. glyphosate/glyphosate/glyphosate	960/720/720	14	73,0
6. testemunha capinada	---	16	71,6
7. testemunha sem capina	---	14	69,0
teste F		0,33 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
CV (%)		17,4	8,9

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade. e.a.: equivalente ácido.

**Tabela 3** - Valores médios de produtividade da soja GM cv. BRS Valiosa RR tratada com glyphosate. Engenheiro Coelho-SP

Tratamento	Dose (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
1. glyphosate	720	1874 a
2. glyphosate	960	2091 b
3. glyphosate/glyphosate	720/720	2400 b
4. glyphosate/glyphosate	960/720	2077 b
5. glyphosate/glyphosate/glyphosate	960/720/720	2761 b
6. Testemunha capinada	---	2175 b
7. Testemunha sem capina	---	760 c
teste F		12,02*
DMS Tukey (5%) kg ha <sup>-1</sup>		787
CV (%)		48,4

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. e.a.: equivalente ácido. \* significativo a 5% de probabilidade.

**Tabela 4** - Valores médios do teor de óleo e proteínas nos grãos colhidos e da concentração de ácido chiquímico nas folhas de soja GM sete dias após a última aplicação de glyphosate

Tratamento	Dose (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	Ácido chiquímico (µg g <sup>-1</sup> )	Óleo (%)	Proteína (%)
1. glyphosate	720	0,9271a	18,4	39,2
2. glyphosate	960	0,9026a	18,9	37,8
3. glyphosate/glyphosate	720/720	0,8057b	18,4	38,1
4. glyphosate/glyphosate	960/720	0,7804bc	18,4	38,7
5. glyphosate/glyphosate/glyphosate	960/720/720	0,7507c	18,5	38,7
6. testemunha capinada	---	0,8312b	18,8	38,6
teste F		38,23*	2,17 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>
DMS Tukey (5%)		0,0516	--	--
CV (%)		8,14	1,9	2,2

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. e.a.: equivalente ácido. <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 4 que o ácido chiquímico acumulou nas plantas de soja GM (tratamentos 1 e 2) em concentrações significativamente maiores do que a da testemunha sete dias após as aplicações isoladas. Por outro lado, não há diferença significativa entre os níveis de ácido chiquímico nas plantas de soja GM tratadas com duas aplicações sequenciais de glyphosate (tratamentos 3 e 4) e as plantas do tratamento testemunha capinada. O tratamento sequencial com três aplicações de glyphosate (tratamento 5) apresentou concentração de ácido chiquímico significativamente inferior à das plantas do tratamento testemunha capinada. De acordo com Bonini et al. (2009), o bloqueio da enzima EPSPS, com o consequente acúmulo de ácido

chiquímico, é o mecanismo pelo qual o glyphosate age nas plantas. Diversas variáveis podem influir na velocidade e intensidade de absorção dos herbicidas. O incremento significativo no teor do ácido chiquímico observado nos tratamentos com aplicação isolada de glyphosate pode estar relacionado com o estágio das plantas. No momento das aplicações isoladas de glyphosate, as plantas de soja GM encontravam-se no estágio V2, enquanto no caso de duas e três aplicações sequenciais elas encontravam-se nos estágios V5 e V8, respectivamente. Kogan & Perez (2003) afirmam que a penetração epicuticular de herbicidas e sua absorção simplástica é um processo que depende, entre outros fatores, da idade da planta.





Observa-se (Tabela 5) que a aplicação de glyphosate em plântulas de soja GM induziu o acúmulo de ácido chiquímico em plantas de soja convencional não tratadas com esse herbicida, porém cultivadas no sistema hidropônico conjuntamente com o cultivar transgênico. Embora não significativo, foi observado aumento nas concentrações de ácido chiquímico das plantas de soja convencional um dia após o produto ser aplicado nas plantas transgênicas, alcançando máxima concentração aos 3 DAT, diferindo significativamente ( $p < 0,05$ ) da concentração de ácido chiquímico nas plantas testemunhas. A partir daí observa-se decréscimo significativo no teor de ácido chiquímico aos 7 DAT ( $p = 0,0403$ ), com traços de ácido chiquímico detectados aos 10 DAT nas plantas testemunhas de soja convencional.

Apesar de não significativo e muito inferior àqueles observados nas plantas de soja convencional, as plantas de soja GM também apresentaram ligeiro acúmulo no teor do ácido chiquímico aos 3 DAT (Tabela 5); por outro lado, a queda nos teores de ácido chiquímico do cultivar transgênico a partir dessa época pode indicar uma pronta mobilização do glyphosate ao seu metabólito AMPA (Tabela 6). Pline et al. (2002) examinaram o acúmulo de ácido chiquímico em variedades de algodão tanto sensíveis como resistentes ao glyphosate e também constataram aumento na concentração de ácido chiquímico nas folhas de algodão transgênico, sendo esse aumento muito

inferior ao conteúdo encontrado nos frutos. Segundo esses autores, provavelmente esse aumento pode ser devido a uma menor demanda dos produtos da via do ácido chiquímico nas folhas. Mecanismos alternativos também podem estar envolvidos no acúmulo do ácido chiquímico, conforme descrito por Mueller et al. (2003).

Resultados observados na Tabela 6 demonstram a liberação de glyphosate e do AMPA pelas raízes das plantas de soja GM, ficando disponíveis na solução hidropônica para posterior absorção pelas plantas de soja convencional. Apesar de Reddy et al. (2004) terem observado rápida conversão do glyphosate em AMPA em soja, pouco se sabe a respeito dessa degradação nas plantas. Duke et al. (2003) afirmam que esse composto é medianamente tóxico à soja, com modo de ação aparentemente diferente do glyphosate, porém menos fitotóxico do que a molécula original, sendo apenas comprovado que injúrias como a redução nos níveis de clorofila e a redução no crescimento das plantas podem ser causadas pela degradação do glyphosate em AMPA (Albrecht & Ávila, 2010).

Esses resultados podem ser explicados pela fácil translocação sistêmica do glyphosate desde as folhas até as raízes do cultivar transgênico (Teshamarian et al., 2009) e sua posterior exsudação radicular e absorção pelas plantas de soja convencional, com o conseqüente acúmulo do ácido chiquímico

**Tabela 5** - Teores de ácido chiquímico ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) nas plantas de soja em diferentes épocas de coleta (DAT) após a aplicação de 2.440 g (e.a.)  $\text{ha}^{-1}$  de glyphosate nas plantas de soja transgênica (GM)

Tratamento	0 DAT		1 DAT		3 DAT		7 DAT		10 DAT	
	NT	RR	NT	RR	NT	RR	NT	RR	NT	RR
Glyphosate	88,74	74,86	215,45	103,91	2.812,67	162,55	1.621,77	148,69	766,77	125,05
Testemunha	89,54	96,75	148,06	131,56	155,37	94,91	84,11	99,27	---	---
valor-p	0,9721	0,1444	0,5812	0,1086	0,0337	0,0863	0,0403	0,1571	x	x

— traços de ácido chiquímico (não quantificável). NT: soja convencional.

**Tabela 6** - Concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de glyphosate (gly) e ácido aminometilfosfônico (AMPA) na solução hidropônica nos diferentes tempos

0 DAT		1 DAT		3 DAT		7 DAT		10 DAT	
gly	AMPA	gly	AMPA	gly	AMPA	gly	AMPA	gly	AMPA
0,040	0,030	1,125	0,012	1,137	0,018	1,286	0,046	1,086	0,048

nessas plantas (Tabela 5). Neuman et al. (2006) constataram o acúmulo de ácido chiquímico em plantas de girassol não tratadas com esse herbicida a partir de plantas de *Brachiaria brizantha* e de soja resistente e suscetível ao glyphosate, cultivadas tanto em solução hidropônica como em solo e tratadas com glyphosate via aplicação foliar. Tuffi Santos et al. (2005) concluíram que plantas de eucalipto cultivadas em consórcio com *B. decumbens* em hidroponia ou no solo, tratadas com glyphosate, exsudaram o herbicida em baixa concentração, como uma provável causa da não ocorrência de toxicidade nas plantas de eucalipto. Em campo, entretanto, o glyphosate exsudado por plantas tratadas com esse herbicida é rapidamente adsorvido pelos colóides do solo, tornando-se menos disponível à solução do solo e à reabsorção pelas plantas.

Conclui-se que aplicações isoladas ou sequenciais de glyphosate não interferiram no crescimento e na produtividade da soja GM cultivar BRS Valiosa RR. Tanto o teor de óleo como o de proteínas do cultivar GM não foram alterados pelo glyphosate, independentemente de sua época e dose de aplicação, observando-se ligeiro acúmulo de ácido chiquímico nas plantas de soja GM tratadas com aplicações isoladas desse herbicida. Houve também acúmulo de ácido chiquímico em plantas de soja convencional cultivadas hidroponicamente em conjunto com soja GM submetida à aplicação de glyphosate, o que demonstra ocorrer exsudação radicular desse herbicida e seu metabólito AMPA, detectados na solução nutritiva, com posterior absorção por soja convencional, exercendo efeito inibitório na via do ácido chiquímico.

## LITERATURA CITADA

- ABREU, A. B. G.; DA MATA, M. H. R.; MONTAGNER, E. Desenvolvimento e validação de método de análise de glifosato em grãos de soja. **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 5-9, 2008.
- ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R. Manejo de glyphosate em soja RR e a qualidade das sementes. **Inf. Abrates**, v. 20, n. 1,2, p. 45-54, 2010.
- BÖHM, G. M. B. & ROMBALDI, C. V. Transformação genética e aplicação de glifosato na microbiota do solo, fixação biológica do nitrogênio, qualidade e segurança de grãos de soja geneticamente modificada. **Ci. Rural**, v. 40, n. 1, p. 213-221, 2010.
- BONATO, E. R. et al. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 35, n. 12, p. 2391-2398, 2000.
- BONINI, E. A. et al. A simple chromatographic assay to discriminate between glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine max*) cultivars. **Europ. J. Agron.**, v. 31, n. 3, p. 173-176, 2009.
- CERDEIRA, A. L. Et al. Review of potential environmental impacts of transgenic glyphosate – resistant soybean in Brazil. **J. Environ. Sci. Health (B)**, v. 42, n. 5, p. 539-549, 2007.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Seletividade de diferentes herbicidas à base de glyphosate à soja RR. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 375-379, 2007.
- DUKE, S. O. et al. Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid levels in seed of glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **J. Agric. Food Chem.**, v. 51, n. 1, p. 340-344, 2003.
- FHER, W. E. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Sci.**, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.
- KOGAN, M. A.; PÉREZ, J. A. Dinámica de los herbicidas aplicados al follaje y factores determinantes de su actividad. In: KOGAN, M. A.; PÉREZ, J. A. (Ed.) **Herbicidas: fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción**. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2003. p. 88-136.
- MACHADO, A. F. L. Et al. Absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 549-554, 2009.
- MATALLO, M. B. et al. Microwave-assisted solvent extraction and analysis of shikimic acid from plant tissues. **Planta Daninha**, v. 27, p. 987-994, 2009. Número Especial
- MUELLER, T. C. Et al. Shikimate accumulates in both glyphosate-sensitive and glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis* L. Cronq.). **J. Agric. Food Chem.**, v. 51, n. 3, p. 680-684, 2003.
- NANDULA, V. K. et al. Glyphosate-resistant and-susceptible soybean (*Glycine max*) and canola (*Brassica napus*) dose response and metabolism relationships with glyphosate. **J. Agric. Food Chem.**, v. 55, n. 9, p. 3540-3545, 2007.
- NEUMANN, G. et al. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. **J. Plant Dis. Protec.**, v. 1, p. 963-969, 2006. Número Especial



PETTER, F. A. et al. Manejo de herbicidas na cultura da soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 557-566, 2007.

PLINE, W. A. Et al. Tolerance and accumulation of shikimic acid in response to glyphosate applications in glyphosate-resistant and nonglyphosate-resistant cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **J. Agric. Food Chem.**, v. 50, n. 3, p. 506-512, 2002.

PRADO, R. M.; FRANCO, C. F.; PUGA, A. P. Deficiências de macronutrientes em plantas de soja cv. BRSMG 68 (Vencedora) cultivada em solução nutritiva. **Comunicata Sci.**, v. 1, n. 2, p. 114-119, 2010.

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.

RODRIGUES, J. F. V.; WORSHAM, A. D.; CORBIN, F. T. Exsudation of glyphosate from wheat (*Triticum aestivum*) plants and its effects on interplanted corn (*Zea mays*) and soybeans (*Glycine max*). **Weed Sci.**, v. 30, n. 3, p. 316-320, 1982.

TESFAMARIAN, T. et al. Glyphosate in the rhizosphere – Role of waiting times and different glyphosate binding forms in soils for phytotoxicity to non-target plants. **Europ. J. Agron.**, v. 1, n. 3, p. 126-132, 2009.

TUFFI SANTOS, L. D. Et al. Exsudação radicular do glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto e na respiração microbiana do solo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 143-152, 2005.

VELINI, E. D. Et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pestic. Manag. Sci.**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

