

## Parâmetros fisiológicos e nutricionais de cultivares de soja resistentes ao glifosato em comparação com cultivares isogênicas próximas

### Physiological and nutritional evaluation of soybean resistant to glyphosate in comparison with near isogenic lines

Juliano Fuhrmann Wagner<sup>I</sup> Aldo Merotto Junior<sup>II</sup>

#### RESUMO

Cultivares de soja resistentes ao herbicida glifosato podem apresentar variação de adaptação em função dos efeitos do processo de transformação e da consequência do herbicida glifosato sobre a disponibilidade de micronutrientes. O objetivo deste estudo foi avaliar a variação de adaptação em cultivares de soja resistentes a glifosato, em comparação com cultivares isogênicas próximas sobre parâmetros fisiológicos, nutricionais, de crescimento e no rendimento de grãos da cultura. Foi realizado experimento em campo, utilizando sete cultivares resistentes ao herbicida glifosato e seis cultivares convencionais, correspondentes a isolíneas próximas das cultivares transgênicas. O tratamento herbicida constou da ausência ou presença da aplicação do herbicida glifosato nas cultivares transgênicas, na dose de 900g ha<sup>-1</sup> e. a. Os parâmetros de teores e fluorescência da clorofila não apresentaram relação com os tratamentos efetuados entre as cultivares avaliadas. A cultivar 'BRS Taura RR' apresentou menor acúmulo de Fe foliar, em comparação com a sua linha isogênica BRS 154, devido à aplicação do herbicida glifosato. A aplicação do herbicida glifosato reduziu o rendimento de grãos de três cultivares resistentes. Os resultados encontrados indicam a existência de variação entre cultivares de soja resistentes a glifosato em relação ao efeito deste herbicida sobre parâmetros nutricionais, de fluorescência da clorofila e rendimento de grãos.

**Palavras-chave:** ferro, fluorescência da clorofila, manganês, Roundup Ready.

#### ABSTRACT

Fitness penalty in glyphosate-resistant (GR) soybean can occur due to the effects of transformation process and as a consequence of the glyphosate on the availability of micronutrients. The aim of this study was to evaluate the effect of glyphosate on physiological, nutritional, and growth parameters and grain yield in 'GR' soybean cultivars in comparison with near isogenic lines.

The field experiment was conducted using seven 'GR' cultivars and six near isogenic cultivars. The herbicide glyphosate was applied or not in 'GR' cultivars at a dose of 900g ha<sup>-1</sup> i.a. The parameters of chlorophyll fluorescence were not related with the glyphosate effect on the evaluated cultivars. The cultivar 'BRS Taura RR' had lower leaf Fe accumulation compared with its isogenic line BRS 154 due to application of the herbicide glyphosate. The application of glyphosate at a dose of 900g ha<sup>-1</sup> reduced the grain yield of three 'GR' cultivars. The obtained results indicate the occurrence of variability among soybean cultivars resistant to glyphosate in relation to the effect of this herbicide on nutrient availability, chlorophyll fluorescence and grain yield.

**Key words:** iron, Chlorophyll fluorescence, Manganese, Roundup Ready.

#### INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de plantas transgênicas resistentes a herbicidas ocorreu a partir da necessidade de facilitar o controle de plantas daninhas e racionalizar o uso de herbicidas na agricultura (MONQUEIRO, 2005). Cultivares de soja resistentes ao herbicida glifosato são utilizadas em diversos países do mundo, sendo que, no Brasil, correspondem a 60% da área de 30,8 milhões de hectares cultivadas com soja na safra 2011/2012 (ISAAA, 2012). O herbicida glifosato apresenta uma característica quelante que pode causar a imobilização de nutrientes no solo e nas plantas (EKER et al., 2006). Esse problema foi identificado no Brasil e nos Estados Unidos através de observações em campo de sintomas de amarelecimento das folhas

<sup>I</sup>Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 7712, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: juliano.wagner@yahoo.com.br. Autor para correspondência.

<sup>II</sup>Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

após a aplicação do herbicida (HUBER, 2006). Essa sintomatologia pode estar relacionada ao efeito de glifosato como fator de indução a deficiência de Fe, Zn e Mn em plantas resistentes a este herbicida (JOLLEY et al., 2004). Esses efeitos podem ocorrer tanto nas cultivares de soja resultantes do primeiro evento de transgenia denominado 40-3-2 como também no evento MON89788 comercializado como *Roundup Ready 2 Yield*<sup>TM</sup> (DE VRIES et al., 2011).

O herbicida glifosato aplicado em soja resistente é distribuído por toda a planta e interage com esta por um longo período. A longa permanência do glifosato nas plantas possibilita que esse composto entre em interação com nutrientes e metabólitos, ou, ainda, que o composto possa ser exudado para a rizosfera (NEUMANN et al., 2006). A identificação desses efeitos pode ser melhor realizada através de comparações entre a cultivar de soja modificada geneticamente para a resistência ao herbicida glifosato e sua cultivar isogênica. Um dos estudos originais sobre o assunto, utilizando várias cultivares 'GR' e 'isogências' encontram diminuição do rendimento nas cultivares resistentes (ELMORE et al., 2001). Entretanto, outros estudos utilizaram comparações de apenas um par de cultivares (ANDRADE & ROSOLEM, 2011) ou apresentam apenas avaliações de efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (DE VRIES et al., 2011). A grande interação de fatores relacionados a cultivares, disponibilidade de nutrientes, e efeito do herbicida, por exemplo, dificulta a realização de estudos sobre variação de adaptação em soja GR. As avaliações do efeito de variação de adaptação relacionado a resistência a herbicidas deve contemplar um maior número de genótipos, a fim de proporcionar o isolamento dos efeitos pleiotrópicos relacionados à resistência em relação ao efeito do ambiente e demais causas de diversidades genética entre os genótipos em avaliação (VILA-AIUB et al., 2011).

A determinação dos efeitos de fitointoxicação causados pelos herbicidas requer a identificação de forma rápida da ocorrência de efeitos subletais causados por estes compostos no metabolismo das plantas. A medição da fluorescência da clorofila indica o estado de estresse de uma planta em relação ao funcionamento do sistema de transferência de energia do complexo fotossintético (LAZÁR, 1999) e é uma metodologia de fácil utilização por ser não destrutiva e de rápida avaliação (BAKER & ROSENQVIST, 2004). O herbicida glifosato pode provocar alterações nas características de indução de fluorescência, associados com as modificações no metabolismo do carbono fotossintético (ZOBIOLE et al., 2011). As bases científicas dos efeitos de inibidores não fotossintéticos

como o glifosato na emissão de fluorescência não foram ainda identificadas. No entanto, é provável que a inibição das reações metabólicas não envolvidas na fotossíntese irá influenciar na taxa de síntese de metabólitos intermediários chave no metabolismo fotossintético e, conseqüentemente, interferir na taxa de fotossíntese e características de emissão de fluorescência (BARBAGALLO et al., 2003).

O objetivo deste estudo foi avaliar a variação de adaptação em cultivares de soja transgênicas resistentes a glifosato em comparação com cultivares isogênicas próximas sobre parâmetros fisiológicos, nutricionais, de crescimento e no rendimento de grãos da cultura.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, RS, cujas coordenadas geográficas são 30°05'22" S de latitude e 51°39'08" W de longitude. O experimento foi conduzido em delineamentos de blocos casualizados em arranjo fatorial com quatro repetições. O fator A constou de 13 cultivares, sendo sete transgênicas resistentes ao herbicida glifosato e seis convencionais, correspondentes a isolinesas próximas das cultivares transgênicas. O fator B constou da aplicação ou não do herbicida glifosato (*Roundup Original*, Concentrado solúvel, 360g L<sup>-1</sup> e. a.) na dose de 900g ha<sup>-1</sup> e. a. A aplicação foi realizada no estádio V3 no horário compreendido entre as 8 e 10h, através de pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> munido de bicos DG 110,02, mantido à pressão constante de 200kPa e calibrado para vazão de 200L ha<sup>-1</sup>.

As unidades experimentais corresponderam a parcelas com oito linhas de soja, espaçamento entre linhas de 0,45m e comprimento de 5m. A adubação antes da semeadura foi realizada com 300kg ha<sup>-1</sup> de adubo químico NPK da fórmula 5-20-20. As sementes foram tratadas com inseticida fipronil e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* estirpes SEMIA 5079 e 5080 nas doses recomendadas. A semeadura foi realizada no dia 5 de janeiro de 2011, objetivando-se uma população de plantas de 350.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O controle de inseto-praga foi realizado com os inseticidas *Bacillus thuringiensis*, var. *kurstaki* linhagem HD-I, lambda-cialotrina e metamidofós, e o controle de doenças com o fungicida piraclostrobina e epoxiconazol nas doses recomendadas. O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente. Foram realizadas três irrigações de 20mm cada durante o desenvolvimento da cultura.

As avaliações realizadas foram fluorescência da clorofila, teores foliares de Fe e Mn, componentes do rendimento e rendimento de grãos. A fluorescência da clorofila foi avaliada através de leituras realizadas no folíolo central do terceiro trifólio em três plantas de cada repetição. O aparelho utilizado foi o OS1-FL Chlorophyll Fluorometer (Opti-sciences). As leituras foram realizadas antes, 24 e 96 horas após a aplicação do herbicida. A avaliação do teor de Fe e Mn foliar foi realizado através da coleta de 20 trifólios de cada parcela antes, 24 e 96 horas após a aplicação do herbicida. As análises foram realizadas pelo método de digestão úmida nítrico-perclórica/ICP-OES/ 2mg kg<sup>-1</sup>. Os componentes do rendimento de grãos analisados foram o número de legumes por planta, peso de 100 grãos, número de grãos por legume e também o número ramos por planta. O rendimento de grãos foi corrigido para 12% de umidade. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, com complementação através do teste de Dunett ao nível de 5% de significância. As análises foram realizadas através do programa SAS versão 8.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sintomas cloróticos visuais, observados em cultivares de soja resistentes ao glifosato, após a aplicação do herbicida, são considerados não-persistentes e possuem tendência de desaparecimento dentro das primeiras duas semanas após a sua aplicação (REDDY & ZABLOTOWICZ, 2003). No entanto, existem estudos em que estes sintomas persistiram até o estágio R1, e os efeitos do herbicida, mesmo em uma única aplicação, foram relacionados a alterações em parâmetros fotossintéticos e na fluorescência de clorofila (ZOBIOLE et al., 2011). No presente estudo, a cultivar 'BRS Estância RR' apresentou menor fluorescência variável (Fvs) em relação a sua isogênica BRS 153, na dose 0 e 900g ha<sup>-1</sup> de glifosato, na avaliação realizada 96 horas após a aplicação do herbicida (Tabela 1). As demais comparações não indicaram diferenças entre a Fvs das cultivares transgênicas e convencionais. A eficiência quântica (Yield) da cultivar 'Fepagro 36RR' independente da aplicação do herbicida glifosato foi maior em relação a sua isogênica 'RS-7' Jacuí, na avaliação realizada 24 horas após a aplicação do herbicida (Tabela 1). A cultivar 'BRS Taura RR' apresentou maior eficiência quântica na leitura realizada 24 horas após a aplicação do herbicida na dose de 900g ha<sup>-1</sup> de glifosato, em relação a sua isogênica 'BRS 154' (Tabela 1).

A eficiência quântica é uma estimativa da atividade fotoquímica da planta que expressa a captura da energia de excitação pelos centros de reação abertos do fotossistema II e pode representar a eficiência do transporte de elétrons através desse fotossistema, sendo também um indicador de danos fotoinibitórios (KRAUSE & WEISS, 1991). No presente trabalho, a eficiência quântica esteve abaixo dos valores de referência para plantas conduzidas na ausência de estresses de 0,75 a 0,85 (MAXWELL & JOHNSON, 2000), mesmo nas situações controle. Assim, o valor de referência apresentado pode não ser representativo em relação a generalizações para diversas cultivares ou situações de cultivo. Alguns autores afirmam que qualquer alteração em Fvs ou Fms altera a eficiência quântica, pois esse parâmetro é a relação Fvs/Fms (Zobiole et al., 2011). No presente estudo, as modificações em Fvs ou Fms não se refletiram em alterações na mesma proporção da eficiência quântica (Tabela 1). Esses resultados corroboram os estudos de MAXWELL & JOHNSON (2000) e de ZOBIOLE et al. (2011), em que os valores apresentadas nos parâmetros Fvs e Fms também não tiveram relação direta com a eficiência quântica.

Outro parâmetro importante da fluorescência é a taxa de transporte de elétrons (ETR), que é uma medida em tempo real da atividade fotoquímica dos fotossistemas, sendo mais sensível às variações das condições ambientais, em comparação com a eficiência quântica (PIMENTEL et al., 2011). A taxa de ETR da cultivar 'Fepagro 36RR', na avaliação realizada 24 horas após a aplicação do herbicida, foi maior quando da aplicação do herbicida glifosato em relação a ausência deste (Tabela 1). Já na avaliação realizada 96 horas após a aplicação do herbicida, a aplicação do herbicida resultou em maior 'ETR' na cultivar 'Fepagro 36RR' em comparação com a ausência deste e com a sua isogênica RS-7 Jacuí (Tabela 1). A cultivar 'Coodetec 206 RR' apresentou menor ETR nas plantas que não receberam aplicação de glifosato, quando comparada com a sua isogênica Coodetec 206 na avaliação realizada 24 horas após a aplicação do herbicida (Tabela 1). A fluorescência basal (Fs) e a fluorescência máxima (Fms) da clorofila também são parâmetros indicativos da ocorrência de estresses em plantas. De forma geral, esses parâmetros foram menos informativos em relação aos efeitos dos tratamentos, em comparação com o Fvs, Yield e ETR (dados não apresentados).

Os resultados encontrados neste experimento corroboram os de ZOBIOLE et al. (2011), em que o glifosato reduziu a ETR em plantas de soja de primeira geração, sendo que o efeito

Tabela 1 - Fluorescência variável (Fvs), eficiência quântica (Yield) e taxa de transporte de elétrons e (ETR) de diferentes cultivares transgênicas em comparação com a cultivar isogênica avaliada 24 e 96 horas após a aplicação de glifosato. Eldorado do Sul, RS, 2011.

Genótipos	Glifosato g ha <sup>-1</sup> e. a.	-----Fvs-----		-----Yield-----		-----ETR-----	
		24 horas	96 horas	24 horas	96 horas	24 horas	96 horas
RS-7 Jacuí	0	295,2 <sup>ns</sup>	477,8 <sup>ns</sup>	B 0,582	0,646 <sup>ns</sup>	A 136,8	B 61,6
Fepagro 36RR	0	332,8 <sup>ns</sup>	533,5 <sup>ns</sup>	A 0,635	0,673 <sup>ns</sup>	B 89,3 b	B 80,6
Fepagro 36RR	900	326,5 <sup>ns</sup>	489,4 <sup>ns</sup>	A 0,617	0,649 <sup>ns</sup>	A 136,6 a	A 85,6
CV %		6,92	10,95	3,13	6,49	12,35	16,42
BRS 153	0	344,3 <sup>ns</sup>	A 526,6	0,624 <sup>ns</sup>	0,668 <sup>ns</sup>	82,6 <sup>ns</sup>	55,4 <sup>ns</sup>
BRS Estância RR	0	419,8 <sup>ns</sup>	B 443,5	0,592 <sup>ns</sup>	0,653 <sup>ns</sup>	123,4 <sup>ns</sup>	57,9 <sup>ns</sup>
BRS Estância RR	900	372,6 <sup>ns</sup>	B 443,5	0,592 <sup>ns</sup>	0,633 <sup>ns</sup>	140,4 <sup>ns</sup>	67,3 <sup>ns</sup>
CV %		31,25	11,03	4,72	4,75	22,31	18,41
BRS 154	0	297,8 <sup>ns</sup>	487,4 <sup>ns</sup>	B 0,581	0,674 <sup>ns</sup>	116,3 <sup>ns</sup>	52,4 <sup>ns</sup>
BRS Taura RR	0	280,8 <sup>ns</sup>	469,2 <sup>ns</sup>	B 0,595	0,653 <sup>ns</sup>	136,5 <sup>ns</sup>	64,1 <sup>ns</sup>
BRS Taura RR	900	315,2 <sup>ns</sup>	482,4 <sup>ns</sup>	A 0,620	0,666 <sup>ns</sup>	112,3 <sup>ns</sup>	73,5 <sup>ns</sup>
CV %		10,26	12,78	3,62	4,64	29,95	22
Fundacep 39	0	280,9 <sup>ns</sup>	471,3 <sup>ns</sup>	0,595 <sup>ns</sup>	0,659 <sup>ns</sup>	177,2 <sup>ns</sup>	52,3 <sup>ns</sup>
Fundacep 59 RR	0	279,1 <sup>ns</sup>	465,2 <sup>ns</sup>	0,591 <sup>ns</sup>	0,659 <sup>ns</sup>	160,7 <sup>ns</sup>	45,1 <sup>ns</sup>
Fundacep 59 RR	900	327,4 <sup>ns</sup>	445,9 <sup>ns</sup>	0,622 <sup>ns</sup>	0,638 <sup>ns</sup>	147,8 <sup>ns</sup>	74,4 <sup>ns</sup>
CV %		14,8	8,59	5,08	3,88	16,3	16,53
BRS 137	0	284,7 <sup>ns</sup>	504,2 <sup>ns</sup>	0,572 <sup>ns</sup>	0,682 <sup>ns</sup>	166,7 ns	60,9 ns
BRS 255 RR	0	314,0 <sup>ns</sup>	478,8 <sup>ns</sup>	0,604 <sup>ns</sup>	0,667 <sup>ns</sup>	129,4 ns	66,3 ns
BRS 255 RR	900	274,7 <sup>ns</sup>	512,5 <sup>ns</sup>	0,568 <sup>ns</sup>	0,690 <sup>ns</sup>	191,9 ns	60,4 ns
BRS Tertúlia RR	0	259,3 <sup>ns</sup>	442,6 <sup>ns</sup>	0,517 <sup>ns</sup>	0,647 <sup>ns</sup>	124,6 ns	68,7 ns
BRS Tertúlia RR	900	286,4 <sup>ns</sup>	461,6 <sup>ns</sup>	0,570 <sup>ns</sup>	0,636 <sup>ns</sup>	173,6 ns	71,8 ns
Fepagro 37RR	0	292,9 <sup>ns</sup>	409,0 <sup>ns</sup>	0,608 <sup>ns</sup>	0,627 <sup>ns</sup>	156,8 ns	86,8 ns
Fepagro 37RR	900	255,4 <sup>ns</sup>	422,8 <sup>ns</sup>	0,569 <sup>ns</sup>	0,627 <sup>ns</sup>	198,7 ns	88,4 ns
CV %		16,05	13,34	11,26	6,3	28,76	30,12
Coodetec 206	0	265,0 <sup>ns</sup>	519,0 <sup>ns</sup>	0,555 <sup>ns</sup>	0,679 <sup>ns</sup>	A 176,0	52,6 ns
Coodetec 206 RR	0	235,3 <sup>ns</sup>	435,8 <sup>ns</sup>	0,521 <sup>ns</sup>	0,643 <sup>ns</sup>	B 126,2	68,2 ns
Coodetec 206 RR	900	264,0 <sup>ns</sup>	473,6 <sup>ns</sup>	0,550 <sup>ns</sup>	0,661 <sup>ns</sup>	A 156,0	86,7 ns
CV %		13,28	8,53	8,99	2,88	6,18	44,53

ns – não significativo ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes referem-se à comparação de médias na coluna em cada grupo de genótipos, em relação à cultivar convencional isogênica, e letras minúsculas se referem à comparação na coluna entre as doses do herbicida, nas cultivares transgênicas pelo teste Dunnet em nível de 5% de significância.

foi maior quando o glifosato foi aplicado na dose de 2400g ha<sup>-1</sup> em diferentes estádios de aplicação e, nas plantas de segunda geração, este efeito foi mais evidenciado em aplicações no estádio V6. Os efeitos relacionados ao efeito sobre a ETR em soja transgênica podem ser mais evidentes se realizadas avaliações por períodos mais longos após a aplicação do herbicida. A explicação para isso é devido ao fato de o mecanismo de ação do glifosato estar relacionado à inibição da síntese de aminoácidos aromáticos e não diretamente à inibição do fotossistema II. No entanto, o maior objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos secundários, relacionados à imobilização de nutrientes causada pelo herbicida glifosato. Esses efeitos possuem maior importância de ocorrência logo após a aplicação do herbicida, e isso está

relacionado ao fato de o período de avaliação destes efeitos no presente estudo terem sido concentrados nas primeiras 96 horas após a aplicação.

Os efeitos negativos do glifosato na cultura da soja, em relação à disponibilidade de Ferro e Manganês foliar, no presente estudo, não foram comprovados de forma generalizada como consequência da aplicação do herbicida nas cultivares avaliadas. A cultivar ‘BRS Taura RR’ apresentou menor teor de ferro nas folhas do que a sua cultivar isogênica ‘BRS 154’ antes e 24 horas após a aplicação do herbicida glifosato (Tabela 2). Já para o grupo composto pela cultivar convencional ‘BRS 137’ e as cultivares transgênicas ‘BRS Tertúlia RR’ e ‘Fepagro 37RR’, não houve diferenças entre estas e a cultivar convencional, em relação à aplicação do

Tabela 2 - Teores de Ferro e Manganês em plantas de soja de diferentes cultivares resistentes a glifosato, em comparação com a cultivar isogênica, avaliada antes e 24 horas após a aplicação de glifosato. Eldorado do Sul, RS, 2011.

Genótipos	Glifosato g ha <sup>-1</sup> e. a.	-----Ferro mg kg <sup>-1</sup> -----		-----Manganês mg kg <sup>-1</sup> -----	
		Antes	24 horas	Antes	24 horas
BRS 154	0	A 138,29	A 152,75	79,75 <sup>ns</sup>	B 60,07
BRS Taura RR	0	B 101,25	B 111,00	70,00 <sup>ns</sup>	A 155,67 a
BRS Taura RR	900	B 88,00	B 104,20	77,70 <sup>ns</sup>	B 87,87 b
CV %		18,57	19,75	18,06	30,15
BRS 137	0	89,25 <sup>ns</sup>	90,50 <sup>ns</sup>	60,92 <sup>ns</sup>	76,25 <sup>ns</sup>
BRS Tertúlia RR	0	125,98 <sup>ns</sup>	94,25 <sup>ns</sup>	83,07 <sup>ns</sup>	63,25 <sup>ns</sup>
BRS Tertúlia RR	900	99,88 <sup>ns</sup>	99,28 <sup>ns</sup>	60,49 <sup>ns</sup>	66,58 <sup>ns</sup>
Fepagro 37RR	0	84,34 <sup>ns</sup>	85,28 <sup>ns</sup>	92,58 <sup>ns</sup>	80,25 <sup>ns</sup>
Fepagro 37RR	900	91,75 <sup>ns</sup>	97,75 <sup>ns</sup>	53,15 <sup>ns</sup>	56,25 <sup>ns</sup>
CV %		25,62	9,75	27,55	27,09

ns – não significativo ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes referem-se à comparação de médias na coluna em cada grupo de genótipos em relação à cultivar convencional isogênica; e letras minúsculas se referem à comparação na coluna entre as doses do herbicida nas cultivares transgênicas, pelo teste Dunnett em nível de 5% de significância.

herbicida glifosato tanto para os teores de ferro como para manganês foliar (Tabela 2).

Os intervalos de deficiência de Fe e Mn são descritos como sendo de 50 a 100mg kg<sup>-1</sup> e 10 a 20mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, dependendo da espécie vegetal e cultivar (MARSCHNER, 1995). Teores deficientes de Fe, Mn, Zn, Cu e B na cultivar 'BRS 242 RR' de ciclo precoce foram relacionados como consequência do gene de resistência ao herbicida glifosato, quando este foi aplicado na dose de 1200g ha<sup>-1</sup> e. a. (ANDRADE & ROSOLEM, 2011). No presente estudo, a menor disponibilidade do Mn em relação à aplicação do herbicida está de acordo com os resultados de ANDRADE & ROSOLEM (2011). Porém, a diferença em relação ao efeito da resistência ao herbicida glifosato não foi evidenciada, sendo que os grupos de cultivares apresentaram comportamentos diferentes (Tabela 2). As reduções nos teores de nutrientes nas cultivares transgênicas podem estar relacionadas com o grupo de maturação das cultivares em avaliação, sendo que as cultivares de ciclo precoce possuem maior redução nos teores de nutrientes sob influência do gene da resistência ao glifosato (ZOBIOLE et al., 2009). No presente estudo, as cultivares 'BRS Tertúlia RR' e 'Fepagro 37RR', que não apresentaram diferenças nos teores de nutrientes foliares Fe e Mn, possuem ciclo semi-precoce e precoce, respectivamente (Tabela 2). Assim, a relação do efeito da deficiência de Fe e Mn com o ciclo da cultivar apresentado por ZOBIOLE et al. (2009) não foi constatado no presente estudo.

O peso de 100 grãos foi menor na cultivar 'BRS Estância RR' com a aplicação de glifosato, em relação à cultivar 'BRS 153' (Tabela 3). A cultivar 'BRS Taura RR' teve menor peso de 100 grãos nas plantas em

que foi aplicado o herbicida glifosato, em relação a sua cultivar isogênica próxima 'BRS 154'. O peso de 100 grãos foi menor nas cultivares 'BRS 255 RR', 'BRS Tertúlia RR' e 'BRS Fepagro 37RR', independente da aplicação ou não do herbicida, em comparação com a cultivar isogênica próxima 'BRS 137' (Tabela 3). O número de grãos por legumes foi maior na cultivar 'Fepagro 36RR' em relação a sua cultivar isogênica 'RS-7 Jacuí' (Tabela 3). Os demais grupos de cultivares não apresentaram diferenças relacionadas a este componente do rendimento de grãos.

O rendimento de grãos das cultivares 'Fepagro 36RR', 'BRS Estância BRS', 'Taura RR RR' e 'Fundacep 59 RR' foi menor quando da aplicação de 900g ha<sup>-1</sup> de glifosato em relação a sua respectiva cultivar (testemunha). Enfatiza-se que neste estudo a semeadura foi realizada fora do período preferencial e que, dessa forma, os resultados encontrados podem ser alterados quando da realização de semeaduras dentro do período recomendado. Em estudo, avaliando diferentes tipos de formulação de glifosato, foi constatado que a utilização da formulação Roudup Transorb diminuiu o rendimento de grãos de soja da cultivar 'CD 219 RR' como consequência da toxicidade causada pelo herbicida na planta e seu reflexo na capacidade de produção de fotoassimilados (SANTOS et al., 2007). Outro trabalho observou que doses de 1440 e 2880g ha<sup>-1</sup> e. a. de glifosato reduziram o rendimento de grãos e o número de legumes por planta da cultivar 'CD 219 RR' (ALBRECHT et al., 2011). Estes trabalhos evidenciam a variação nas respostas que a aplicação de glifosato causou em função dos diferentes genótipos, doses e condições de ambiente ocorrentes

Tabela 3 - Componentes do rendimento e rendimento de grãos de diferentes cultivares de soja resistente a glifosato em comparação com a cultivar isogênica próxima. Eldorado do Sul, RS, 2011.

Genótipos	Glifosato g ha <sup>-1</sup> e. a.	N <sup>o</sup> Legumes/planta	Peso 100 grãos (g)	N <sup>o</sup> grãos/ legume	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
RS-7 Jacuí	0	A 72,52	20,42 <sup>ns</sup>	B 1,51	A 3636,81
Fepagro 36RR	0	B 50,56	19,84 <sup>ns</sup>	A 2,07	A 3371,40 a
Fepagro 36RR	900	B 56,86	19,59 <sup>ns</sup>	B 1,95	B 2845,49 b
BRS 153	0	B 44,00	A 26,57	1,73 <sup>ns</sup>	A 3252,60
BRS Estância RR	0	A 54,22	B 20,74	1,98 <sup>ns</sup>	A 3034,95 a
BRS Estância RR	900	A 56,56	B 20,48	1,86 <sup>ns</sup>	B 2540,71 b
BRS 154	0	50,22 <sup>ns</sup>	A 22,46	2,36 <sup>ns</sup>	A 3493,92
BRS Taura RR	0	64,92 a	B 18,79	2,25 <sup>ns</sup>	A 3539,41 a
BRS Taura RR	900	47,00 b	B 19,09	2,06 <sup>ns</sup>	B 2904,51 b
Fundacep 39	0	B 93,42	16,34 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	A 3686,46
Fundacep 59 RR	0	B 82,44 b	15,02 <sup>ns</sup>	1,62 <sup>ns</sup>	A 3406,83
Fundacep 59 RR	900	A 127,00 a	15,97 <sup>ns</sup>	1,92 <sup>ns</sup>	B 3142,36
BRS 137	0	A 79,22	A 20,63	1,70 <sup>ns</sup>	3151,98 <sup>ns</sup>
BRS 255 RR	0	B 60,89	B 17,17	1,78 <sup>ns</sup>	3302,78 <sup>ns</sup>
BRS 255 RR	900	B 61,58	B 16,27	1,87 <sup>ns</sup>	2973,96 <sup>ns</sup>
BRS Tertúlia RR	0	70,06 b	B 17,89	1,73 <sup>ns</sup>	3483,33 <sup>ns</sup>
BRS Tertúlia RR	900	92,11 a	B 18,15	1,53 <sup>ns</sup>	3317,71 <sup>ns</sup>
Fepagro 37RR	0	B 62,22	B 17,96	1,60 <sup>ns</sup>	3496,28 <sup>ns</sup>
Fepagro 37RR	900	B 56,99	B 18,83	1,63 <sup>ns</sup>	3152,78 <sup>ns</sup>
Coodetec 206	0	69,17 <sup>ns</sup>	17,79 <sup>ns</sup>	1,57 <sup>ns</sup>	3315,50 <sup>ns</sup>
Coodetec 206 RR	0	74,90 <sup>ns</sup>	18,28 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	3184,75 <sup>ns</sup>
Coodetec 206 RR	900	80,24 <sup>ns</sup>	17,88 <sup>ns</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	3354,79 <sup>ns</sup>

ns – não significativo ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes referem-se à comparação de médias na coluna em cada grupo de genótipos, em relação à cultivar convencional isogênica; e letras minúsculas se referem à comparação na coluna entre as doses do herbicida nas cultivares transgênicas pelo teste Dunnett em nível de 5% de significância.

durante as avaliações realizadas. A diminuição do rendimento de grãos em cultivares transgênicas pode estar relacionada aos efeitos descritos como *yield lag* que se deve às consequências do processo de seleção e desenvolvimento que independe do processo de transgenia, ou ao *yield drag* que está relacionado aos efeitos da transformação ou do herbicida (ELMORE et al., 2001).

## CONCLUSÃO

Os parâmetros dos teores e fluorescência da clorofila não foram consistentes em relação à identificação dos efeitos fisiológicos causados pelo herbicida glifosato logo após a sua aplicação em soja GR. As oscilações dos parâmetros encontradas no presente estudo indicam que a utilização dessa ferramenta necessita de maiores aprimoramentos para utilização em trabalhos de campo.

O efeito do herbicida glifosato não alterou a dinâmica dos micronutrientes Fe e Mn nas cultivares ‘BRS Tertúlia RR’ e ‘Fepagro 37RR’, em comparação

com a respectiva cultivar isogênica próxima. A cultivar ‘BRS Taura RR’ apresentou menor acúmulo de Fe foliar, em comparação com a sua linha isogênica ‘BRS 154’, devido à aplicação do herbicida. A aplicação do herbicida glifosato reduziu o rendimento de grãos das cultivares ‘Fepagro 36RR’, ‘BRS Estância BRS’, ‘Taura RR RR’ e ‘Fundacep 59 RR’, e não afetou o rendimento de grãos de outras cinco cultivares, em comparação com a ausência de aplicação do herbicida.

Os resultados encontrados indicam a existência de variação entre cultivares de soja resistentes a glifosato, em relação ao efeito deste herbicida sobre parâmetros nutricionais, de fluorescência da clorofila e produtividade de grãos.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fornecimento de bolsa ao primeiro autor. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelo financiamento parcial da pesquisa. À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), CCGL TECNOLOGIA (CCGL-TEC), COODETEC e FEPAGRO, pelo fornecimento das sementes das cultivares.

## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L.P. et al. **Desempenho da soja roundup ready sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios**. Planta Daninha, v.29, n.3, p.585-590, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-83582011000300012&script=sci\_arttext>. Acesso em: 27 abr. 2012. Doi: 10.1590/S0100-83582011000300012.
- ANDRADE, G.J.M.; ROSOLEM, C.A. Absorção de manganês em soja RR sob efeito do glifosato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.961-968, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000300030&script=sci\_arttext>. Acesso em: 4 jun. 2012. Doi: 10.1590/S0100-06832011000300030.
- BAKER, N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.403, p.1607-1621, 2004. Disponível em: <http://jxb.oxfordjournals.org/content/55/403/1607.abstract>. Acesso em: 25 jan. 2012. Doi: 10.1093/jxb/erh196.
- BARBAGALLO, R.P. et al. Rapid, noninvasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiology**, v.132, p.485-493, 2003. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC166991/>. Acesso em: 25 jan. 2012. Doi: 10.1104/pp.102.018093.
- DE VRIES, B.D.; FEHR, W.R. Impact of the MON89788 event for glyphosate tolerance on agronomic and seed traits of soybean. **Crop science**, v.51, n.3, p.1023-1027, 2011. Disponível em: <https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/51/3/1023>. Acesso em: 27 jan. 2012. Doi: 10.2135/cropsci2010.11.0642.
- ELMORE, R.W. et al. Glyphosate-resistant soybean cultivar yields compared with sister lines. **Agronomy Journal**, v.93, n.2, p.408-412, 2001. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1028&context=agronomyfacpub>. Acesso em: 02 fev. 2012. Doi: 10.2134/agronj2001.932408x.
- EKER, S. et al. Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.54, n.26, p.10019-10025, 2006. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf0625196>. Acesso em: 20 jan. 2012. Doi: 10.1021/jf0625196.
- HUBER, D.M. Strategies to ameliorate glyphosate immobilization of manganese and its impact on the rhizosphere and disease. In: \_\_\_\_\_. **Proceedings of the glyphosate potassium symposium**. Iowa, Ohio State University: AG Spectrum, 2006.
- ISAAA. **Report on global status of biotech/GM crops**. Disponível em: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/43/ppts/default.asp>. Acesso em: 21 maio, 2012.
- JOLLEY, V.D. et al. Nutritional and management related interactions with iron-deficiency stress response mechanisms. **Soil Science Plant Nutrition**, v.50, n.7, p.973-981, 2004. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00380768.2004.10408563>. Acesso em: 3 fev. 2012. Doi: 10.1080/00380768.2004.10408563.
- KRAUSE, G.H.; WEISS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review Plant Physiology** **Plant Molecular Biology**, v.42, n.1, p.313-349, 1991. Disponível em: <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.42.060191.001525?journalCode=arplant.2>. Acesso em: 02 mar. 2012. Doi: 10.1146/annurev.pp.42.060191.001525.
- LAZÁR, D. Chlorophyll- a fluorescence induction. **Biochemistry Biophysics Acta**, v.1412, n.1, p.1-28, 1999.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic, 1995. 889p.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v.51, n.345, p.659-668, 2000. Disponível em: <http://jxb.oxfordjournals.org/content/51/345/659.full>. Acesso em: 10 mar. 2012. Doi: 10.1093/jxb/51.345.659.
- MONQUERO, P.A. Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: situação e perspectivas. **Bragantia**, v.64, n.4, p.517-531, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v64n4/a02v64n4.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2012. Doi: org/10.1590/S0006-87052005000400002.
- NEUMANN, G. et al. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v.20, n.1, p.963-969, 2006. Disponível em: <http://www.jpdp-online.com/artikel.dll/02-Roemheld\_MTAyNzEw.PDF?UID=D8AB65100CA595B5DE89B42C19A4A4864250D0475DDB7930>. Acesso em: 23 jan. 2012. Doi: 10.1016/j.eja.2009.03.007
- PIMENTEL, C. et al. Características fotossintéticas de *Phaseolus vulgaris* L. **Hoehnea**, v.38, n.2, p.273-279, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2236-89062011000200007&script=sci\_arttext>. Acesso em: 10 fev. 2012. Doi: org/10.1590/S2236-89062011000200007.
- REDDY, K.N.; ZABLOTOWICZ, R.M. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. **Weed Science**, v.51, n.4, p.496-502, 2003. Disponível em: <http://naldc.nal.usda.gov/download/48637/PDF>. Acesso em: 23 jan. 2012. Doi: 10.1614/0043-1745(2003)051[0496:GS RTVS]2.0.CO;2.
- SANTOS, J.B. et al. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.165-171, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-83582007000100018&script=sci\_arttext>. Acesso em: 23 jan. 2012. Doi: org/10.1590/S0100-83582007000100018.
- VILA-AIUB, M.M. et al. A unified approach to the estimation and interpretation of resistance costs in plants. **Heredity**, v.107, p.386-394, 2011. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3199924/>. Acesso em: 02 fev. 2012. Doi: 10.1038/hdy.2011.29.
- ZOBIOLE, L.H.S. et al. Glyphosate reduces shoot concentration of mineral nutrients in glyphosate resistant soybeans. **Plant and Soil**, v.328, n.1, p.57-69, 2009. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-009-0081-3?LI=true>. Acesso em: 15 fev. 2012. Doi: 10.1007/s11104-009-0081-3.
- ZOBIOLE, L.H.S. et al. Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation of “second generation” glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.99, p.53-60, 2011. Disponível em: <http://www.dag.uem.br/napd/up/Public-NAPD\_a9ed0ad7abcbde68c6ea692a8cc87a821943o.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2012. Doi: 10.1016/j.pestbp.2010.10.005.