

Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro

Costa da Silva, Juliano^{1,3}; Gustavo Antonio Xavier Gerlach²; Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues¹; Orivaldo Arf²

¹Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rua Monção, 226, Zona Norte, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil; ²Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS, Universidade Estadual Paulista - UNESP; ³jcsagro@gmail.com

Costa da Silva, Juliano; Gustavo Antonio Xavier Gerlach; Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues; Orivaldo Arf (2016) Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. Rev. Fac. Agron. Vol 115 (2): 191-199.

Com o objetivo de avaliar se os resultados do efeito hormético de glyphosate em feijoeiro são influenciados pela dose empregada e o estágio fenológico da cultura no momento da aplicação, foi conduzido um estudo no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil, utilizando-se o herbicida glyphosate (Roundup Original[®]) aplicado em baixas doses (zero, 3, 6, 9, 12 e 15 g ha⁻¹ do equivalente ácido) e em diferentes estágios fenológicos do feijoeiro (V₄₋₄; V₄₋₇; ½ V₄₋₄ + ½ V₄₋₇). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com 18 tratamentos dispostos em esquema fatorial 6 x 3, com quatro repetições. De maneira geral, a aplicação de subdoses de glyphosate inferiores a 15 g ha⁻¹ proporcionou redução da massa vegetativa do feijoeiro e incrementos na produtividade de até 375 kg ha⁻¹ quando feita a aplicação de 12 g ha⁻¹ em dois estágios fenológicos, ou seja, 6 g ha⁻¹ em V₄₋₄ e 6 g ha⁻¹ em V₄₋₇. Portanto, neste estudo foi possível verificar a influência da época de aplicação do herbicida glyphosate sobre o efeito hormético e confirmar a hipótese de hormese gerando aumentos de produtividade na cultura do feijão.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., efeito hormético, estágio fenológico, herbicida, produtividade.

Costa da Silva, Juliano; Gustavo Antonio Xavier Gerlach; Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues; Orivaldo Arf (2016) Influence of low doses and application times on the hormesis effect of glyphosate in common bean. Rev. Fac. Agron. Vol 115 (2): 191-199.

With the aim of assessing whether the results of hormetic effect of glyphosate on common bean plants are influenced by the dose used and the phenological stage of the crop at the time of application, a study was conducted in Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brazil, using glyphosate (Roundup Original[®]) applied at low doses (zero, 3, 6, 9, 12 and 15 g ha⁻¹ acid equivalent) and at different growth stages of common bean (V₄₋₄; V₄₋₇; ½ V₄₋₄ + ½ V₄₋₇). The experimental design was randomized blocks with 18 treatments in a factorial 6 x 3, with four replications. In general, the use of lower doses of glyphosate at 15 g ha⁻¹ gave a reduction of vegetative mass and an increase in common bean yield in the order of up to 375 kg ha⁻¹ when done applying 12 g ha⁻¹ in two phenological stages, or 6 g ha⁻¹ in V₄₋₄ and 6 g ha⁻¹ in V₄₋₇. Therefore, in this study it was possible to verify the influence of glyphosate herbicide application timing to guarantee the hormesis effect and confirm the hormesis hypothesis generating increases in productivity in common bean crop.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., hormesis effect, phenological stage, herbicide, productivity.

Recibido: 16/03/2015

Aceptado: 19/08/2016

Disponibile on line: 15/12/2016

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUÇÃO

O efeito hormético é um fenômeno bifásico de dose-resposta, caracterizado por apresentar resposta de estimulação a baixas doses e inibição em altas doses (Calabrese & Blain 2009).

Um dos primeiros relatos de hormese foi o de Southam e Erlich (1943), no qual relataram que um composto originado a partir da casca de carvalho, aplicado em subdoses, estimulou o desenvolvimento de fungos, porém, em doses elevadas foi tóxico e inibiu o seu crescimento.

Seja no setor de produção agrícola, como em outras áreas do conhecimento, como da saúde humana, o efeito de subdoses de compostos inicialmente considerados tóxicos, denominado como hormético, vem sendo amplamente discutido e pesquisado, com o objetivo de compreender o efeito estimulante e benéfico de diversas substâncias (Silva et al., 2009).

Diversos estudos disponíveis na literatura relatam a existência de produtos químicos, originalmente utilizados como herbicidas, que em subdoses estimulam o desenvolvimento das plantas como, por exemplo, trabalhos de Wiedman & Appleby (1972), Pulver & Ries (1973), Allender (1997), Cedergreen et al. (2007), Herrera (2011) e Rosa et al. (2011). No entanto, a molécula que mais tem se destacado é o glyphosate (N-phosphonomethyl glycine), que tem demonstrado respostas horméticas em diversos estudos realizados no Brasil (Wagner et al., 2003; Meschede et al., 2008; Velini et al., 2008; Silva et al., 2009; Latorre et al., 2010; Rabello et al., 2012; Silva et al., 2014) e no mundo (McDonald et al., 2001; Cedergreen et al., 2007; Cakmak et al., 2009; Cedergreen et al., 2009).

O glyphosate é considerado o mais importante ingrediente ativo para controle de plantas daninhas (Belz & Leberle, 2012). É componente fundamental da grande maioria dos sistemas de produção agrícola. Trata-se de um herbicida de aplicação em pós-emergência das plantas, pertencente ao grupo químico das glicinas substituídas, classificado como não-seletivo e de ação sistêmica, que atua na inibição da EPSPs. Possui amplo espectro de ação, que possibilita excelente controle de plantas daninhas anuais ou perenes, tanto de folhas largas quanto estreitas (Galli & Montezuma, 2005).

De acordo com Belz & Leberle (2012), existem diversas situações em que a aplicação em baixas doses apontam potencial de uso comercial do glyphosate como regulador de crescimento, tais como a aplicação para aumentar os níveis de açúcar da cana-de-açúcar ou a utilização de estimuladores de crescimento, assim como doses horméticas para aumentar o rendimento das culturas (Cedergreen et al., 2009; Dalley & Richard, 2010; El-Shahawy & Sharara, 2011; Gitti et al., 2011; Silva et al., 2012; Silva et al., 2016).

No Brasil, a maioria das pesquisas com doses reduzidas de glyphosate visam avaliar os efeitos fitotóxicos decorrentes da deriva do composto nas plantas, como por exemplo, em pinus (Silva et al., 2000; Yamashita et al., 2009), eucalipto (Silva et al., 1994; Tuffi Santos et al., 2006), varjão (*Parkia multijuga* Benth.) (Yamashita et al., 2006), sorgo (Magalhães et al., 2001a) e milho (Magalhães et al., 2001b). Porém, o

fenômeno de hormesis é muitas vezes desconsiderado em seus resultados, mesmo que os dados apontem para sua ocorrência.

Silva et al. (2012) estudaram por dois anos consecutivos o efeito de subdoses de glyphosate em três cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com diferentes hábitos de crescimento. Os autores observaram que a cultivar do tipo II foi mais responsivo aos tratamentos com glyphosate. Posteriormente, tal estudo levantou novas hipóteses no que diz respeito às subdoses e estádios fenológicos da cultura ideais para realização dos tratamentos.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de subdoses e épocas de aplicação de glyphosate no desenvolvimento e na produtividade do feijoeiro comum.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no período de outono-inverno dos anos de 2011 e 2012, em área experimental na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, localizada no município de Selvíria - MS. O tipo climático foi denominado Aw, segundo a classificação de Köppen (2004), caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. De acordo com Centurion (1982), a precipitação total anual é de 1330 mm, a temperatura média anual é de aproximadamente 25°C e a média anual de umidade relativa do ar é de 66%.

O solo do local foi considerado de acordo com a classificação da Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso.

Antes da instalação dos experimentos, o solo do local foi amostrado, na camada 0,00 - 0,20 m, e os resultados da análise de fertilidade do solo, segundo método descrito em Raij & Quaggio (1983), foram: P (resina) = 35 mg dm⁻³; MO = 37 g dm⁻³; pH (CaCl₂) = 6,1; K = 4,1 mmol_c dm⁻³; Ca = 50 mmol_c dm⁻³; Mg = 22 mmol_c dm⁻³; H + Al = 18 mmol_c dm⁻³; Al = 00 mmol_c dm⁻³; SB = 76 mmol_c dm⁻³; CTC = 94,1 mmol_c dm⁻³; e V = 81%.

Em ambos os anos o experimento foi instalado em áreas com sistema de semeadura direta, após a cultura do arroz, em área onde o sistema foi instalado há mais de cinco anos.

O delineamento experimental, em ambos os anos foi o de blocos casualizados com 18 tratamentos dispostos em esquema fatorial 6 x 3. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de subdoses de glyphosate (zero, 3, 6, 9, 12 e 15 g do equivalente ácido (e.a.) ha⁻¹) e épocas de aplicação {V₄₋₄ (quarta folha trifoliolada completamente formada), V₄₋₇ (sétima folha trifoliolada completamente formada) e ½ V₄₋₄ + ½ V₄₋₇ (metade da dose em cada estádio)}, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por cinco linhas de 4,5 m de comprimento, espaçadas 0,45 m entre si, perfazendo área total de 10,1 m² e área útil de 4,7 m². Para a coleta dos dados, foram utilizadas as três linhas centrais e desprezando-se 0,50 m da extremidade de cada uma delas.

A semeadura do feijão foi realizada mecanicamente, nos dias 20 de abril de 2011 e 04 de maio de 2012,

utilizando-se a cultivar de feijoeiro IPR-139. A cultivar é conhecida popularmente como Juriti branco, do grupo carioca, com hábito de crescimento indeterminado (Tipo II), arbustivo, porte da planta ereto e caule pouco ramificado, distribuindo-se quantidade de sementes suficientes para obtenção de 12 – 13 plantas m^{-1} .

A adubação química de base nos sulcos de semeadura foi constituída de 272 $kg\ ha^{-1}$ da fórmula 04-30-10 nos dois anos de cultivo. Após a semeadura a área foi irrigada para promover a germinação das sementes. A emergência ocorreu nos dias 25 de abril de 2011 e 09 de maio de 2012, ambas aos cinco dias após a semeadura.

O fornecimento de água foi realizado por um sistema de irrigação fixo por aspersão com vazão de 3,3 $mm\ hora^{-1}$ nos aspersores, sendo a quantidade de água calculada de acordo com a evapotranspiração da cultura.

No estágio V_{4-3} de desenvolvimento do feijoeiro, aos 20 dias após a emergência das plantas, foi realizada a adubação nitrogenada em cobertura, manualmente, na dose de 80 $kg\ ha^{-1}$ de nitrogênio, utilizando-se como fonte o sulfato de amônio com o intuito de reduzir as perdas deste elemento por volatilização.

A aplicação do glyphosate (Roundup Original® – 360 g e.a. L^{-1}) foi realizada com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO_2 dotado de barra com cinco pontas, modelo TXA 8002 VK, operado a pressão de 3 $kgf\ pol^{-2}$, e volume de calda de 160 $L\ ha^{-1}$, aos 24 dias após a emergência, quando as plantas estavam no estágio V_{4-4} (quarta folha trifoliolada completamente formada), e aos 31 dias após a emergência, quando as plantas estavam no estágio V_{4-7} (sétima folha trifoliolada completamente formada). Em ambos os anos de cultivo, a aplicação do glyphosate foi realizada em horário com temperaturas mais amenas (final de tarde) e baixa interferência do vento. As plantas daninhas foram controladas em pós-emergência, utilizando-se os herbicidas fluazifop-p-butil + fomesafen (120 + 150 $g\ ha^{-1}$, respectivamente). A aplicação foi realizada quando a cultura encontrava-se no estágio de desenvolvimento V_3 e as plantas daninhas em estádios iniciais de desenvolvimento para ambos os anos de cultivo. O manejo dos principais insetos-praga e doenças foi realizado por meio de pulverizações com produtos registrados para a cultura e específicos para cada caso. O florescimento pleno médio das plantas ocorreram nos dias 05 e 18 de junho de 2011 e 2012 respectivamente, portanto aos 40 dias após a emergência das plantas para ambos os anos de cultivo.

A colheita ocorreu nos dias 28 de julho de 2011 para o primeiro ano de cultivo e em 02 de agosto de 2012 para o segundo ano de avaliações, portanto aos 94 e 85 dias após a emergência das plantas respectivamente, sendo colhidas três linhas centrais de 3,50 metros de comprimento.

Por ocasião da colheita, foram coletadas 10 plantas na área útil de cada parcela e levadas ao laboratório para obtenção do número de vagens $planta^{-1}$, número de grãos $planta^{-1}$ e número de grãos $vagem^{-1}$. Também se obteve a massa de 100 grãos, determinada pela coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos por parcela e por fim a produtividade de grãos no qual as plantas da área útil de cada parcela foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol. Após a secagem, as mesmas foram submetidas à trilha

mecânica, posteriormente os grãos foram pesados e os dados transformados em $kg\ ha^{-1}$ (13% base úmida).

Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se o programa SISVAR - Sistema de Análise de Variância (Ferreira, 2011), e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para épocas de aplicação e regressão polinomial para doses de glyphosate. Para apresentar as interações significativas foram ajustados modelos de regressão com o auxílio do software SigmaPlot.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de estande final e massa da matéria seca obtidos em feijoeiro de inverno irrigado em função de subdoses e épocas de aplicação de glyphosate estão expressos na Tabela 1.

Pode-se observar que o estande final do feijoeiro não foi afetado tanto pelas épocas de aplicação como pelas subdoses de glyphosate nos dois anos de cultivo. Por outro lado, no que diz respeito à massa da matéria seca do feijoeiro, houve influência das subdoses de glyphosate para ambos os anos agrícolas quando consideradas todas as épocas de aplicação. Constatou-se que o comportamento do feijoeiro em relação às subdoses de glyphosate foi condizente em ambos os anos agrícolas, gerando equações lineares decrescentes para o acúmulo de massa da matéria seca. Reduções semelhantes também foram relatadas por Rabello et al. (2009), que concluíram que o glyphosate reduziu o crescimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola aos 20 dias após a aplicação (DAA) do produto Roundup WG® nas subdoses de 14,4; 43,2 e 86,4 $g\ ha^{-1}$, diminuindo a produção de matéria seca da parte aérea. Por outro lado, Rabello et al. (2012) avaliaram o crescimento do feijoeiro cv. BR1 – Xodó em decorrência da aplicação de 0; 4,32; 8,64 e 12,96 $g\ ha^{-1}$ de glyphosate e concluíram que 12,96 $g\ ha^{-1}$ estimulou o crescimento do feijoeiro, conferindo-lhe maior massa da matéria seca de ramos e folhas.

Devido à população de plantas em 2012 ter sido inferior ao ano anterior, obteve-se pequena elevação na massa da matéria seca por planta em relação ao cultivo de 2011, provavelmente devido à capacidade de compensação do feijoeiro de hábito de crescimento indeterminado.

No ano de 2011, obteve-se interação entre épocas de aplicação e subdoses de glyphosate para massa da matéria seca do feijoeiro, porém, não foi possível realizar o ajuste das subdoses dentro das épocas de aplicação à nenhum modelo de regressão.

Velini et al. (2006) trabalharam em casa de vegetação com aplicação de doses de glyphosate variando entre 1,8 e 720 $g\ ha^{-1}$ em um total de nove espécies incluindo soja, eucalipto, pinus, milho, café, citros e trapoeraba, e verificaram que, exceto a soja transgênica resistente ao glyphosate, para a qual não houve resposta, ocorreram estímulos ao crescimento da parte aérea de todas as espécies consideradas quando utilizadas doses inferiores a 36 $g\ ha^{-1}$. Em eucalipto, a dose de apenas 3,6 $g\ ha^{-1}$ foi suficiente para estimular o crescimento proporcionando maiores valores de biomassa de parte aérea e maior número de ramos laterais, indicando a

Tabela 1. Valores médios de estande final e massa da matéria seca obtidos em feijoeiro de inverno irrigado em função de subdoses e épocas de aplicação de glyphosate. Selvíria, MS, Brasil, 2011/2012. n.s. - não significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; $^{(1)}Y = 15,9802 - 0,3325x$ ($R^2 = 0,97$).

Tratamentos	Estande final (plantas m ⁻¹)		Matéria seca (g planta ⁻¹)	
	2011	2012	2011	2012
Épocas				
V ₄₋₄	10,33	7,54	12,42	13,71
V ₄₋₇	10,58	7,54	13,38	13,75
½ V ₄₋₄ + ½ V ₄₋₇	10,13	7,21	12,63	12,71
Doses de glyphosate (g e.a. ha ⁻¹)				
0	10,50	7,75	14,00	16,25 ⁽¹⁾
3	9,92	7,58	13,00	15,00
6	10,50	7,50	13,17	13,58
9	10,67	7,33	11,33	13,08
12	10,08	7,33	13,42	11,58
15	10,42	7,08	11,92	11,42
F para:				
Época (E)	1,32 n.s	1,21 n.s	1,87 n.s	0,16 n.s
Dose (D)	1,02 n.s	0,89 n.s	3,62	7,32 **
E * D	0,74 n.s	0,80 n.s	2,22 *	1,83 n.s
DMS Época	0,68	0,60	1,26	1,69
CV(%)	9,47	11,52	14,12	18,01

menor dominância apical. Em trapoeraba, os mesmos autores, constataram que a aplicação do glyphosate em doses compatíveis com as recebidas pelas plantas da espécie em aplicações em pós-emergência inicial na cultura da soja, implicou em aumentos na biomassa de até 115%. Já, para as culturas da soja (convencional) e milho, Velini et al. (2006) desenvolveram procedimentos específicos para a análise estatística dos dados e os resultados indicaram aumentos máximos da biomassa de parte aérea de 27,81% e 25,46% para as doses de 14,2 e 22,6 g ha⁻¹, respectivamente.

A Figura 1 contém os dados da interação das épocas de aplicação dentro de subdoses de glyphosate e destaca o comportamento distinto desta variável principalmente nas doses de 3 e 9 g ha⁻¹ onde ocorrem diferenças, no qual, expõem que o fracionamento das doses em duas épocas (½V₄₋₄ + ½V₄₋₇) é favorável ao acúmulo de matéria seca dentro da subdose de 3 g ha⁻¹ e totalmente prejudicial na subdose de 9 g ha⁻¹. Já, para aplicação de doses cheias em apenas um estágio fenológico (V₄₋₄ ou V₄₋₇) o comportamento se dá de forma semelhante em ambas as doses do herbicida. De maneira semelhante, Silva et al. (2014) trabalhando com oito subdoses de glyphosate (0; 0,45; 0,90; 1,35; 1,80; 2,25; 2,70 e 3,15 g e. a. ha⁻¹) para acompanhar seus efeitos nas características relacionadas ao desenvolvimento de picão preto (*Bidens pilosa*), descrevem que houve diminuição no acúmulo de massa a medida que se aumentou a dose do herbicida. Tavares et al. (2015) avaliaram a influência do método de hormese por subdoses de herbicidas na matéria seca e nas características agrônômicas da cultura da aveia preta e verificaram que o glyphosate na maior dose testada (50,0 g ha⁻¹) foi responsável pelos menores valores de massa seca ha⁻¹, causando

redução em torno de 2360 kg ha⁻¹ em relação ao tratamento sem aplicação. Já, nas demais doses (12,5 e 25,0 g ha⁻¹) não houve diferença.

Quanto aos componentes de produção do feijoeiro (Tabela 2), constatou-se que não houve diferença entre as épocas de aplicação e as subdoses de glyphosate, assim como para sua interação nos dois anos de cultivo. Estes resultados condizem com os obtidos por Silva et al. (2012), no qual não observaram diferenças entre as subdoses de glyphosate (0, 10, 20, 30 e 40 g ha⁻¹) para as mesmas características do feijoeiro comum cv. IPR - Juriti. No entanto, o mesmo não ocorreu com os resultados obtidos por Gitti et al. (2011) na cultura do arroz, onde foi possível observar aumento no número de grãos totais e granados por panícula no intervalo de subdoses entre 11,6 g ha⁻¹ e 32,0 g ha⁻¹, e com o aumento das subdoses de glyphosate o número de panículas por m² foi elevado mas sem influenciar na produtividade da cultura.

Mesmo não diferindo estatisticamente, o número de vagens por planta apresentou comportamento quadrático em função das subdoses de glyphosate nas safras de 2011 ($y = 14,28 - 0,40x + 0,03x^2$) e 2012 ($y = 12,97 - 0,36x + 0,03x^2$), demonstrando uma pequena redução nas menores doses com posterior acréscimo no número de vagens com o aumento das doses.

Com relação à massa de 100 grãos e a produtividade do feijoeiro, não ocorreram diferenças entre as épocas de aplicação, com exceção da produtividade no ano de 2012, em que houve interação entre as épocas de aplicação e as subdoses de glyphosate (Tabela 3).

Para as subdoses de glyphosate, observaram-se diferenças na massa de 100 grãos nos dois anos de estudo, sendo que, em 2011 obteve-se 24,25 g no tratamento sem aplicação de glyphosate e 25,25 g na

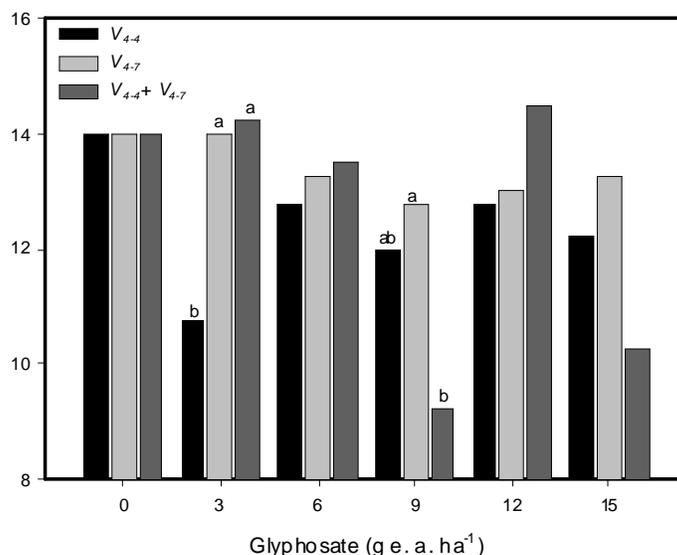


Figura 1. Interação das épocas de aplicação dentro de subdoses de glyphosate na matéria seca do feijoeiro cv. IPR-139 (DMS = 3,09). Selvíria, MS, Brasil, 2011. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Médias de vagens planta⁻¹, grãos planta⁻¹ e grãos vagem⁻¹ em feijoeiro de inverno irrigado em função de subdoses e épocas de aplicação de glyphosate. Selvíria, MS, Brasil, 2011/2012. ^{n.s.} - não significativo. ⁽²⁾ $Y = 14,2789 - 0,3962x + 0,0292x^2$ ($R^2 = 0,45$); ⁽³⁾ $Y = 12,9673 - 0,3622x + 0,0283x^2$ ($R^2 = 0,64$).

Tratamentos	Vagens planta ⁻¹		Grãos planta ⁻¹		Grãos vagem ⁻¹	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Épocas						
V ₄₋₄	13,54	12,54	56,79	69,25	4,13	5,75
V ₄₋₇	13,25	13,00	54,33	66,29	4,04	5,38
½ V ₄₋₄ + ½ V ₄₋₇	14,42	12,21	58,04	75,96	4,04	6,54
Doses de glyphosate (g e. a. ha⁻¹)						
0	14,75 ⁽²⁾	13,50 ⁽³⁾	59,00	64,25	4,00	5,00
3	12,67	11,25	50,83	70,75	3,92	6,67
6	12,92	11,67	54,00	69,08	4,08	6,25
9	12,58	12,42	52,25	70,67	4,17	6,00
12	15,25	13,17	63,83	74,75	4,17	5,67
15	14,25	13,50	58,42	73,50	4,08	5,75
F para:						
Época (E)	1,17 ^{n.s.}	0,68 ^{n.s.}	0,49 ^{n.s.}	2,77 ^{n.s.}	0,44 ^{n.s.}	2,08 ^{n.s.}
Dose (D)	2,13 ^{n.s.}	2,02 ^{n.s.}	1,64 ^{n.s.}	0,77 ^{n.s.}	0,90 ^{n.s.}	0,94 ^{n.s.}
E * D	1,15 ^{n.s.}	0,78 ^{n.s.}	0,84 ^{n.s.}	0,68 ^{n.s.}	0,96 ^{n.s.}	1,11 ^{n.s.}
DMS Época	1,92	1,64	9,23	10,17	0,25	1,41
CV(%)	20,04	18,72	23,48	20,69	8,76	34,39

dose de 15 g ha⁻¹ e, em 2012 a massa de 100 grãos foi de 24,25 g na ausência dos tratamentos para 25,50 g na subdose de 15 g ha⁻¹. Portanto, nota-se um incremento de 0,01 g para cada grão de feijão, ou seja, 4,12% de acréscimo em massa, o que pode resultar em ganhos de produtividade da ordem de 120 kg ha⁻¹ ou dois sacos a mais de feijão, considerando-se um

estande da cultura de aproximadamente 8 plantas m⁻¹. Sendo assim, fica evidente a eficácia do efeito hormético por subdoses de glyphosate quando bem manejado na cultura do feijoeiro, uma vez que, em termos econômicos esta prática pode trazer bons rendimentos adicionais ao produtor rural.

Tabela 3. Médias da massa de 100 grãos e produtividade de grãos em feijoeiro de inverno irrigado em função de subdoses e épocas de aplicação de glyphosate. Selvíria, MS, Brasil, 2011/2012. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{n.s.} - não significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ⁽⁴⁾ $Y = 24,2773 + 0,1687x - 0,0069x^2$ ($R^2 = 0,80$); ⁽⁵⁾ $Y = 24,1389 + 0,6047x - 0,0821x^2$ ($R^2 = 0,78$); ⁽⁶⁾ $Y = 2898,1501 - 59,2969x + 11,7557x^2$ ($R^2 = 0,97$).

Tratamentos	Massa 100 grãos (g)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	2011	2012	2011	2012
Épocas				
V ₄₋₄	25,04	25,13	2.764	2.890 b
V ₄₋₇	24,96	25,04	2.588	2.871 b
½ V ₄₋₄ + ½ V ₄₋₇	25,00	25,17	2.856	3.082 a
Doses de glyphosate (g e.a. ha⁻¹)				
0	24,25 ⁽⁴⁾	24,25 ⁽⁵⁾	2.527	2.890 ⁽⁶⁾
3	24,75	24,92	2.728	2.840
6	25,25	25,92	2.731	2.845
9	24,92	25,17	2.842	2.960
12	25,58	24,92	2.825	3.091
15	25,25	25,50	2.766	3.060
F para:				
Época (E)	0,06 ^{n.s.}	0,06 ^{n.s.}	2,55 ^{n.s.}	10,87 **
Dose (D)	3,77 **	2,22 *	0,88 ^{n.s.}	4,73 **
E * D	0,61 ^{n.s.}	0,99 ^{n.s.}	0,73 ^{n.s.}	2,15 *
DMS Época	0,58	0,92	291,37	120,56
CV(%)	3,34	5,27	15,28	5,87

O manejo correto das subdoses de glyphosate para aumentar a produtividade do feijoeiro fica mais evidente quando são comparados os dados obtidos por Silva et al. (2012), onde na safra de 2010 foi possível observar que a partir da subdose de 30 g ha⁻¹ ocorreu um decréscimo significativo na massa de 100 grãos, no qual, os resultados obtidos se ajustaram a uma função linear decrescente. O mesmo já foi verificado por Melhorança Filho et al. (2010) na cultura da soja convencional, indicando que à medida que aumentaram-se as doses (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 g ha⁻¹) houve decréscimo linear na massa de grãos. Por outro lado, resultados obtidos por Magalhães et al. (2001a) simulando deriva dos herbicidas glyphosate e paraquat, assim como seus efeitos, no desenvolvimento das plantas e no rendimento de grãos de sorgo, demonstraram que a massa de 1000 grãos não foi afetada pelas doses reduzidas dos herbicidas.

As interações dos fatores de variação épocas x doses na produtividade do feijoeiro são apresentadas nas Figuras 3 e 4. Pode-se constatar que ocorreram incrementos na produtividade à medida que se aumentaram as doses de glyphosate quando se realizou aplicação fracionada em duas etapas (½V₄₋₄ +

½V₄₋₇) na cultura do feijão, sendo que os dados apontam uma tendência de comportamento linear crescente: $y = 2959,1 + 16,314x$ ($R^2 = 0,46$) (Figura 2). Em aplicação única no estágio V₄₋₄ da cultura, a produtividade do feijoeiro também foi aumentada pelas subdoses de glyphosate, porém, apresentando comportamento dos dados mais próximos a função quadrática: $y = 2807,7 - 24,429x + 3,2222x^2$ ($R^2 = 0,72$), atingindo os maiores valores na dose de 12 g ha⁻¹. No entanto, em V₄₋₇ não houve ajuste dos dados de produtividade a nenhuma equação testada neste trabalho.

Este comportamento de subdoses dentro das épocas de aplicação era esperado, uma vez que, à medida que se avançam os estádios fenológicos da planta, o metabolismo do vegetal estabelece suas prioridades, direcionando seus metabólitos para os campos onde ocorrem maiores demandas, portanto, pode-se concluir que quanto mais próximo ao máximo desenvolvimento vegetativo e o início da diferenciação floral, melhor serão observados os resultados do efeito hormético na produtividade do feijoeiro.

As diferentes épocas de aplicação interagiram de forma significativa dentro de três diferentes subdoses de glyphosate (3, 6 e 12 g ha⁻¹), conforme a Figura 3. Comportamento semelhante para as três foi o fato de que o fracionamento das doses em duas etapas (½V₄₋₄ + ½V₄₋₇) proporcionou as maiores produtividades, com destaque para a subdose de 12 g ha⁻¹ em que se obteve média de produtividade acima de 3.200 kg ha⁻¹. Assim como nos resultados aqui obtidos, incrementos em produtividade também foram observados por Cedergreen et al. (2009) e Furlani Júnior et al. (2009) nas culturas de cevada e algodão respectivamente. Em outro trabalho, Gitti et al. (2011) observaram que o aumento das subdoses de glyphosate proporcionou incremento do número de panículas por m² de plantas de arroz de terras altas, havendo, também, efeito estimulante no intervalo de subdoses entre 11,6 e 32,0 g ha⁻¹ quando analisaram o número de grãos totais e granados por panícula. Já, Rosa et al. (2011) obtiveram acréscimos na produtividade do algodão em caroço com a subdose de 2,72 g ha⁻¹ de 2,4-D, demonstrando a diversidade de respostas no que diz respeito à características importantes das culturas com o emprego de doses reduzidas de herbicidas.

Como demonstrado anteriormente, o fracionamento das doses em dois estádios fenológicos da cultura (½V₄₋₄ + ½V₄₋₇) proporcionou redução da matéria seca e acréscimo da produtividade de forma linear, comprovando o efeito de compensação e redirecionamento dos metabólitos das estruturas vegetativas para as reprodutivas do feijoeiro.

Vale ressaltar o baixo custo e a segurança da técnica emprega por se tratar de um herbicida responsável por grande parte do mercado mundial e que atua somente em organismos fotossintetizantes. Portanto, deve-se atentar para novas possibilidades de uso dos benefícios do fenômeno de hormese em plantas, pois estas descobertas podem contribuir para garantir maior renda ao produtor rural e a segurança alimentar do planeta.

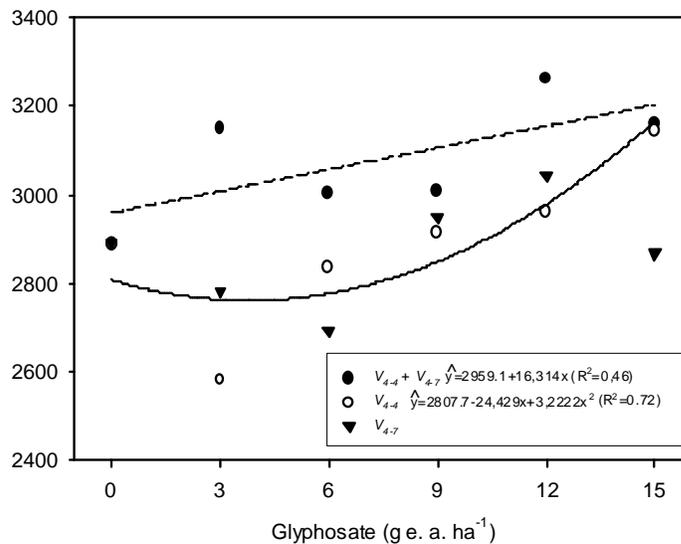


Figura 2. Interação das subdoses de glyphosate dentro de épocas de aplicação na produtividade do feijoeiro cv. IPR-139. Selvíria, MS, Brasil, 2012.

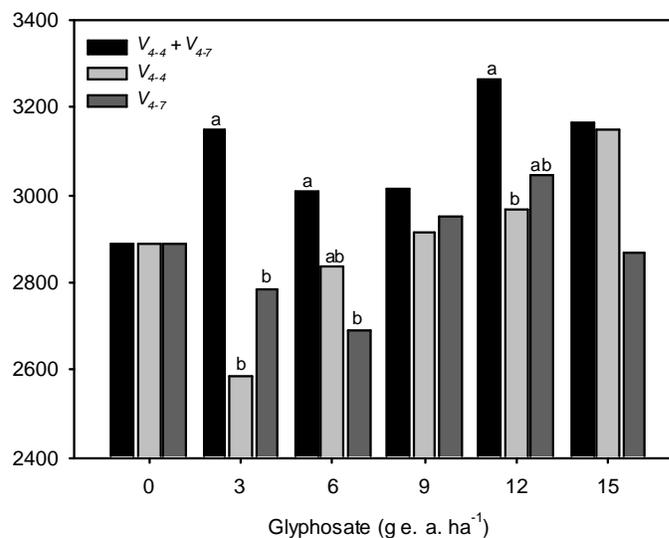


Figura 3. Interação das épocas de aplicação dentro de subdoses de glyphosate na produtividade do feijoeiro cv. IPR-139 (DMS = 326,09). Selvíria, MS, Brasil, 2012. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

De maneira geral, a aplicação de subdoses de glyphosate inferiores a 15 g ha⁻¹ proporcionou redução da massa vegetativa do feijoeiro e incrementos na produtividade de até 375 kg ha⁻¹ quando feita a aplicação de 12 g ha⁻¹ em dois estádios fenológicos, ou seja, 6 g ha⁻¹ em V₄₋₄ e 6 g ha⁻¹ em V₄₋₇. Portanto, neste estudo foi possível verificar a influência da época de aplicação do herbicida glyphosate para garantia do efeito hormético e confirmar a hipótese de hormese

gerando aumentos de produtividade na cultura do feijão.

REFERÊNCIAS

Allender, W.J. 1997. Effect of trifluoperazine and verapamil on herbicide stimulated growth of cotton. Journal of Plant Nutrition, 20: 69-80.

- Belz, R.G. & C. Leberle.** 2012. Low dose responses of different glyphosate formulations on plants. In: german conference on weed biology and weed control, 25. Braunschweig. Conference... Berlin: [s.n.]: 13-15.
- Cakmak, I., A. Yazici, Y. Tutus & L. Ozturk.** 2009. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *European Journal of Agronomy*, 31: 114-119.
- Calabrese, E.J. & R.B. Blain.** 2009. Hormesis and plant biology. *Environmental Pollution*, 157: 42-48.
- Cedergreen, N., J. Streibig, P. Kudsk, S. Mathiassen & S.O. Duke.** 2007. The occurrence of hormesis in plants and algae. *Dose-Response*, Amherst, 5: 150-162.
- Cedergreen, N., C. Felby, J.P. Porter, J.C. Streibig.** 2009. Chemical stress can increase crop yield. *Field Crops Research*, Amsterdam, 114: 54-57.
- Centurion, J.F.** 1982. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. *Científica*, Jaboticabal, 10: 57-61.
- Dalley, C. D. & J.R.E.P. Richard.** 2010. Herbicides as ripeners for sugarcane. *Weed Science*, Lawrence, 58: 329-333.
- El-Shahawy, F.A. & F.A.A. Sharara.** 2011. Hormesis influence of glyphosate in between increasing growth, yield and controlling weeds in faba bean. *Journal of American Science*, Nova York, 7: 139-144.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (Embrapa).** 2006. Sistema brasileiro de classificação dos solos. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS.
- Ferreira, D.F.** 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 35: 1039-1042. <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Furlani Junior, E., D.C. Neves, W.V. Valério Filho, J.F. Marinho, P.R.T. Silva, T. Rincão.** 2009. Efeito de subdoses de glifosato na produtividade do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, pp. 1295-1300.
- Galli, A.J.B. & M.C. Montezuma.** 2005. Glifosato: Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura. São Paulo: ACADCOM - Gráfica e Editora Ltda. Janeiro, 67 pp.
- Gitti, D. C., O. Arf, I.B.G. Peron, J.R. Portugal, D.C.D. Chaves, R.A.F. Rodrigues.** 2011. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 41: 500-507.
- Herrera, A.E.U.** 2011. Efecto de hormesis del herbicida paraquat sobre el aumento del área foliar en el frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). 2011. 53 f. Tesis para optar al título de Biólogo - Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala.
- Köppen, W.** 2004. Classificação de Köppen – significado dos símbolos e critérios para classificações. In: Vianello, R. L.; Alves, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: Editora da UFV, 449 pp.
- Latorre, D.O., D.M. Araújo, A.C.D. Correr, M. Granato, L.L. Perez, F.N. Ibrahim & E. Alves.** 2010. Efeitos da interação de glyphosate e fósforo sobre a cultura do milho. In: XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 321., 2010, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: XXVII CBCPD, 1517-1521.
- Magalhães, P.C., J.B. Silva, F.O.M. Durães, D. Karam & L.S. Ribeiro.** 2001a. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva sobre a cultura do sorgo. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 19: 255-262.
- Magalhães, P.C., J.B. Silva, F.O.M. Durães, D. Karam & L.S. Ribeiro.** 2001b. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do milho. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 19: 247-253.
- Mcdonald, L., T. Morgan & P. Jackson.** 2001. The effect of ripeners on the CCS of 47 sugarcane varieties in the burdekin. *Proceedings of the 2001. In: Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists held at Mackay. Conference... Queensland: [s.n.], 102-108.*
- Melhorança Filho, A.L., D. Martins, M.R.R. Pereira & W.R. Espinosa.** 2010. Efeito de glyphosate sobre características produtivas em cultivares de soja transgênica e convencional. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 26: 322-333.
- Meschede, D.K., E.D. Velini & C.A. Carbonari.** 2008. Baixas doses de glyphosate e seus efeitos no crescimento de *Commelina benghalensis*. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Jaboticabal, 7: 53-58.
- Pulver, E.L. & S.K. Ries.** 1973. Action of simazine in increasing plant protein content. *Weed Science*, Ithaca. 21: 233-237.
- Rabello, W.S., M. Campanharo, J. Ogliari, G. Ribeiro & P.H. Monnerat.** 2009. Efeito do glyphosate no crescimento do feijoeiro comum. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos. Univap, pp. 1-4.
- Rabello, W.S., P.H. Monnerat, M. Campanharo, M.C. Espindula & G. Ribeiro.** 2012. Crescimento e absorção de fósforo do feijoeiro comum -Xodó sob efeito de subdoses de glyphosate. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Jaboticabal, 11: 204-212.
- Raij, B. Van & J.A. Quaggio.** 1983. Método de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agronômico. (Boletim técnico, 81), 31 pp.
- Rosa, C.E., Jr. E. Furlani, S. Ferrari, A.P.P.G. Luques, J.V. Ferrari, D.M.A. Santos, J.E. Rossetto & I.C. Silva.** 2011. Teores foliares de macronutrientes, índice SPAD e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de subdoses de 2,4-D. *Congresso Brasileiro De Algodão*, 8.; Cotton Expo, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: Anais... Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 1228-1233. (CD-ROM).
- Silva, J.C., O. Arf, G.A.X. Gerlach, C.S. Kuryiama & R.A.F. Rodrigues.** 2012. Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 42: 295-302.
- Silva, J.C., G.A.X. Gerlach, R.A.F. Rodrigues & O. Arf.** 2016. The impact of water regimes on hormesis by glyphosate on common bean. *Australian Journal of Crop Science*, 10: 237-243.
- Silva, M.A., N.A. Aragão, M.A. Barbosa, E.M. Jeronimo & S.D. Carlin.** 2009. Efeito hormético de glyphosate no desenvolvimento inicial de Cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, 68: 973-978.
- Silva, R.A., S.N. Matsumoto, J.L. Santos, L.S. Oliveira & M.N. Oliveira.** 2014. Desenvolvimento de picão preto (*Bidens pilosa*) em resposta à aplicação de subdoses de glyphosate. *Brazilian Journal of Applied*

Technology for Agricultural Science, Guarapuava-PR, 7: 63-69.

Silva, W. Da., J.F. Da Silva, A.A. Cardoso & N.F. de Barros. 1994. Tolerância de *Eucalyptus* spp. a diferentes herbicidas. Revista Árvore, 18: 287-300.

Silva, W., L.R. Ferreira & H.B. Melo. 2000. Tolerância de cinco espécies de *Pinus* a herbicidas. Revista Árvore, 24: 21-25.

Tavares, L.A.F., S.F.G. Sousa, T.P.S. Correia, P.R.A. Silva & E.D. Velini. 2015. Hormesis method for increasing oat straw with a view to viability of direct-seeding systems. Revista Ciência Agronômica, 46: 48-53.

Tuffi Santos, L.D., F.A. Ferreira, L.R. Ferreira, W.M. Duarte, R.A.S. Tiburcio & M.V. Santos. 2006. Intoxicação da espécie de eucalipto submetido a deriva do glyphosate. Planta Daninha, 24: 359-364.

Velini, E.D., E. Alves, M.R. Correa, T.M. Correa, C.A.S. Queiroz & R.T. Souza. 2006. Sub-doses de glyphosate estimulam o crescimento de plantas daninhas e cultivadas. In: XXV Congresso Brasileiro Da

Ciência Das Plantas Daninhas, 25, Brasília. Anais...: Sociedade Brasileira da Ciências das Plantas Daninhas, pp. 1-4.

Velini, E.D., E. Alves, M.C. Godoy, D.K. Meschede & S.O. Duke. 2008. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. Pest Management Science, London. 64: 489-496.

Yamashita, O.M., R.G. Vieira, A. Santi, R.M. Rondon Neto & S.E. Alberguini. 2006. Resposta de varjão (*Parkia multijuga*) a subdoses de glyphosate. Planta Daninha, Viçosa-MG, 24: 527-531.

Wagner, R., M. Kogan & A.M. Parada. 2003. Phytotoxic activity of root absorbed glyphosate in corn seedlings (*Zea mays* L.). Weed Biology Management, Danvers-MA, 3: 228-232.

Wiedman, S.J. & A.P. Appleby. 1972. Plant growth stimulation by sublethal concentrations of herbicides. Weed Research, Oxford, 12: 65-74.

Yamashita, O.M., J.R. Betoni, S.C. Guimarães, M.M. Espinosa. 2009. Influência do glyphosate e 2,4-D sobre o desenvolvimento inicial de espécies florestais. Scientia Forestalis, Piracicaba, 37: 359-366.