



NILMA PORTELA OLIVEIRA

**FOSFITO FORNECIDO VIA RADICULAR E
FOLIAR SOBRE A PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO DE
FÓSFORO E AMENIZAÇÃO DA TOXIDEZ DE
GLIFOSATO EM SOJA**

**LAVRAS - MG
2011**

NILMA PORTELA OLIVEIRA

**FOSFITO FORNECIDO VIA RADICULAR E FOLIAR SOBRE A
PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO DE FÓSFORO E AMENIZAÇÃO DA
TOXIDEZ DE GLIFOSATO EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Valdemar Faquin

**LAVRAS - MG
2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Oliveira, Nilma Portela.

Fosfito fornecido via radicular e foliar sobre a produção, nutrição de fósforo e amenização da toxidez de glifosato em soja / Nilma Portela Oliveira. – Lavras : UFLA, 2011.

61 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Valdemar Faquin.

Bibliografia.

1. Soja transgênica. 2. *Glycine max*. 3. Fósforo. 4. Produção de grãos. 5. Solução nutritiva. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.34895

NILMA PORTELA OLIVEIRA

**FOSFITO FORNECIDO VIA RADICULAR E FOLIAR SOBRE A
PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO DE FÓSFORO E AMENIZAÇÃO DA
TOXIDEZ DE GLIFOSATO EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2011.

Dr. Evaristo Mauro de Castro

UFLA

Dr. Francisco Dias Nogueira

EPAMIG

Dr. Valdemar Faquin

Orientador

**LAVRAS - MG
2011**

*A minha mãe e aos meus irmãos,
exemplos de dignidade, caráter e solidariedade e, pelo carinho e apoio sempre
dados a mim.*

*Aos meus sobrinho,:
pela alegria que me proporcionam e pelo estímulo de lutar por um futuro
melhor.*

Dedico

*“Quando iniciamos a vida,
cada um recebe um bloco de mármore
e as ferramentas necessárias para convertê-lo em escultura.
Podemos arrastá-lo intacto pela vida toda,
podemos reduzi-lo a cascalho
ou podemos dar-lhe uma forma gloriosa”.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente, guiando os meus passos, dando-me fé e força diante de todos os obstáculos da vida.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

Ao professor Dr. Valdemar Faquin, pelo apoio, exemplo de profissionalismo e vida durante todo tempo de convivência, pelos ensinamentos atualizados e principalmente pela credibilidade depositada em mim.

Aos membros da banca, Dr. Francisco Dias Nogueira e Dr. Evaristo Mauro de Castro pelas valiosas contribuições e orientações seguras.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, Luciane (Ritinha), Cristina, Dirce, José Roberto (Pezão), Roberto e Eliana pela boa vontade, dedicação, alegre convívio e amizade.

Aos colegas e amigos, Andressa, Carla, Danilo, Paulo e em especial ao Fabrício, pelo auxílio nos trabalhos e relacionamento agradável no dia a dia.

Aos professores, Dr. Alfredo e Dra. Janice pelos conselhos e palavras amigas.

Carla (*in memoriam*), Ana Flávia, Marilena, Adriano Guerra & Dani; Julian, minha pequena grande Camila, a vocês pela sincera amizade.

Às irmãs de república, Helen, Luiza e Tássia, pela paciência, compreensão e cumplicidade.

Aos amigos de Piumhi, que mesmo distantes, tornam a felicidade presente em minha vida.

Aos antigos amigos e aos outros que fiz durante esses anos em Lavras, e que por sincronicidade nos encontramos.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O glifosato é um dos herbicidas mais empregados nas lavouras por abranger com eficiência um amplo espectro de plantas invasoras, porém, muitas vezes tem causado toxidez às culturas econômicas. Recentemente tem-se questionado sobre o potencial do ânion fosfito em amenizar o efeito tóxico do glifosato nas plantas. Produtos à base de fosfito têm sido amplamente comercializados como fungicida, bioestimulador e como fonte de fósforo para as culturas, embora a efetividade desse último seja inconclusiva. No presente trabalho foi avaliado o efeito do fornecimento de fosfito via radicular e foliar sobre a produção, nutrição de fósforo e amenização da toxidez de glifosato em soja. Dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado com seis repetições foram conduzidos simultaneamente em solução nutritiva, sob condições de casa de vegetação. Um dos experimentos, no qual o fosfito foi fornecido via radicular, foi delineado como um esquema fatorial $6 \times 2 \times 2$, sendo seis concentrações de fosfito na solução nutritiva (0; 5; 16; 48; 128 e 448 μM de fosfito), duas cultivares de soja (Conquista = susceptível ao glifosato, e RR = tolerante ao glifosato), e sem e com pulverização foliar de glifosato. O outro experimento, no qual o fosfito foi fornecido via foliar, foi também constituído por um esquema fatorial $6 \times 2 \times 2$, sendo seis doses de fosfito aplicadas nas folhas (0; 0,03; 0,16; 0,65; 2,42 e 4,84 mmol planta^{-1} de fosfito), duas cultivares de soja (Conquista e RR), e sem e com pulverização foliar de glifosato. Na época do florescimento pleno da soja, em três repetições de cada tratamento para ambos os experimentos, foram feitas medições indiretas do teor de clorofila através da leitura SPAD e, em seguida, essas plantas foram colhidas para avaliação da nutrição de fósforo. As outras três repetições de cada tratamento, também para ambos os experimentos, foram conduzidas até maturação plena dos grãos, nas quais foram determinadas as produções de massa seca de raiz, parte aérea e grãos. Os resultados mostraram que o fornecimento do ânion fosfito via radicular ou via foliar não influencia a produção de grãos da soja cultivada sob adequada disponibilidade de fosfato e ausência de patógenos. Embora o fornecimento fosfito na solução nutritiva elevasse a eficiência de absorção e o acúmulo de fósforo na raiz, esse ânion não influenciou na eficiência de utilização desse nutriente. A aplicação foliar do ânion fosfito, ou, mesmo quando fornecido de forma contínua através da solução nutritiva, não é capaz de amenizar os efeitos tóxicos causados pelo glifosato na soja. A soja cv. RR possui satisfatória tolerância ao glifosato, enquanto que a cv. Conquista é negativamente afetada na presença desse herbicida.

Palavras-chave: *Glycine max*. Solução nutritiva. Produção de grãos. Soja transgênica

ABSTRACT

Glyphosate is one of the most employed herbicides in the agriculture for its efficient inhibitory effect on the growth of several weeds, however, many times it also has caused toxicity to the economic cultures. Recently the potential of the phosphite anion to minimize the harmful effect of the glyphosate on plant yield has been questioned. Phosphite-based products have been widely marketed as fungicides, biostimuladors, and as a phosphorus source for the cultures, although the effectiveness of latter is inconclusive. In the present work the effect of the phosphite supplied via root and foliar applications on yield, phosphorus nutrition and amelioration of glyphosate toxicity in soybean was evaluated. Two experiments in a completely randomized design with six replications were conducted simultaneously in nutrient solution, under greenhouse environment conditions. One of the experiments, in which the phosphite was supplied via root application, was designed in a 6 x 2 x 2 factorial scheme, with six phosphite concentrations in the nutrient solution (0, 5, 16, 48, 128 and 448 μM of phosphite), two soybean cultivars (Conquista = susceptible to glyphosate, and RR = tolerant to glyphosate), and with and without foliar spraying of glyphosate. The other experiment, in which the phosphite was supplied via foliar application, was also constituted by a 6 x 2 x 2 factorial scheme, with six phosphite doses applied via foliar (0, 0.03, 0.16, 0.65, 2.42 e 4.84 mmol plant⁻¹ of phosphite), two soybean cultivars (Conquista and RR), with and without foliar spraying of glyphosate. At the time of the soybean full flowering, in three replications of each treatment for both experiments, indirect measurements were carried out of the chlorophyll level through leaf SPAD readings and, soon afterwards, those plants were harvested for phosphorus nutrition determination. The other three replications of each treatment, also for both experiments, were conducted until complete grain maturation, in which the root, shoot and grain dry mass yields were determined. The results showed that the supply of the phosphite anion via root or foliar applications does not influence the grain yield of soybean grown under adequate phosphate availability and absence of pathogens. Although the supply of phosphite anion in the nutrient solution increased the uptake efficiency and accumulation of phosphorus in the root, that anion did not influence the phosphorus utilization efficiency of the soybean. The foliar application of the phosphite, even when supplied in continuous way through the nutrient solution, is not capable of lessening the harmful effects of the glyphosate on the soybean yield. The cv. RR possesses satisfactory tolerance to the glyphosate, while the cv. Conquista is negatively affected in the presence of that herbicide.

Keywords: *Glycine max*. Nutrient solution. Grain yield. Transgenic soybean

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	A cultura da soja.....	12
2.2	Importância da soja tolerante ao glifosato para o sistema de plantio direto.....	14
2.3	Efeito do glifosato na planta.....	16
2.4	Fosfito e sua utilização na agricultura.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, diversos produtos à base de fosfito vêm sendo comercializados em todo o mundo como fungicidas, bioestimulantes e fertilizantes líquidos para aplicação foliar e fertirrigação (THAO; YAMAKAWA, 2009).

Sais de fosfito são recomendados como fertilizantes por conter um cátion, que muitas vezes é nutriente de planta, e o ânion fosfito (H_2PO_3^- e HPO_3^{2-}), que seria uma fonte de fósforo (P). Contudo, em relação à nutrição fosfatada, não há evidências que o ânion fosfito possa ser metabolizado pelas plantas e, ainda, substituir o ânion fosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-}) na nutrição de P. Todavia, recentes trabalhos têm mostrado que, sob deficiência de fosfato, o fosfito inibe o crescimento e desenvolvimento vegetal, mas, o mesmo não ocorre em plantas bem nutridas em fosfato (THAO et al., 2008).

Quanto ao efeito fungicida e bioestimulante, as pesquisas já realizadas indicam, conclusivamente, que o ânion fosfito é eficiente no controle de algumas doenças de plantas, principalmente aquelas causadas por pseudofungos classificados taxonomicamente no filo Oomycota, como, por exemplo, *Phytophthora* spp. Neste aspecto a pesquisa é ampla. Ao que tudo indica, o controle dessas doenças seria pelo efeito direto do fosfito sobre o patógeno e, há indicações que o fosfito pode agir também de forma indireta, estimulando o aumento da síntese de compostos de defesa da planta, como, por exemplo, ácido ascórbico, fitoalexinas, compostos fenólicos e lignina. Todavia, a síntese de inúmeros compostos responsáveis por essa resposta de defesa é altamente dependente da rota metabólica do ácido chiquímico (TAIZ; ZEIGER, 2004). Assim, há evidências que o ânion fosfito pode estimular uma das etapas dessa rota metabólica.

Ao contrário do fosfito, o glifosato, uns dos herbicidas mais utilizados na agricultura por abranger com eficiência um amplo espectro de espécies de plantas invasoras, bloqueia uma das etapas metabólicas do ácido chiquímico (REDDY; RIMANDO; DUKE, 2004) cuja rota proporciona produtos como os aminoácidos aromáticos triptofano, fenilalanina e tirosina, que são vitais para os vegetais. Nesse contexto, há a hipótese de que o ânion fosfito pode atenuar a toxidez de glifosato nas plantas, ativando os mecanismos que são inibidos e, assim, eliminando os sintomas atípicos apresentados quando se usa o herbicida.

Os estudos que relacionam à interação entre o fosfito e glifosato nas plantas são restritos, sendo raros trabalhos publicados em revistas especializadas, restringindo as hipóteses levantadas em simpósios e congressos (CASTRO, 2007).

Foram realizados dois experimentos em solução nutritiva com o objetivo de avaliar o efeito do fornecimento do fosfito sobre a produção, nutrição de fósforo (P) e amenização da toxidez por glifosato em soja cv. Conquista (suscetível ao glifosato) e cv. RR (tolerante ao glifosato). No primeiro experimento o fosfito foi fornecido através das raízes e no segundo, o fosfito foi aplicado via foliar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão exploradas informações sobre a cultura da soja, a importância de sua tolerância ao glifosato para a implantação do sistema de plantio direto, o efeito do glifosato na planta e a utilização do fosfito na agricultura.

2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* L.) é uma planta autógama e de ciclo anual, pertencente à família Fabaceae. Tem como centro de origem a China e, a partir dali, em meados do século XI a.C, teria migrado para outros países do Oriente com o decorrer dos séculos, quando então teve sua importância econômica aumentada (GRIS, 2009).

A produção de soja ficou restrita à China até 1894, época do término da guerra entre este país e o Japão. Embora a soja fosse conhecida e consumida pelos povos orientais por milhares de anos, essa espécie somente foi introduzida na Europa no final do século XV nos jardins botânicos da Inglaterra, França e Alemanha (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2010).

O cultivo da soja começou a ser expressivo quando o teor de proteína do grão despertou o interesse das indústrias mundiais. No entanto, a Rússia, Inglaterra e Alemanha fracassaram na tentativa de introdução comercial da cultura, provavelmente, devido às condições climáticas desfavoráveis (EMBRAPA, 2010).

O histórico sobre o cultivo da soja no Brasil iniciou-se em 1882, na Bahia. Posteriormente, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) promoveu a distribuição de sementes de soja para produtores paulistas em 1900 e 1901 e,

nessa data, obtiveram-se registros do primeiro plantio no estado do Rio Grande do Sul, onde o cultivo dessa cultura encontrou condições favoráveis para se desenvolver, devido às semelhanças climáticas do ecossistema de origem das cultivares, importada dos EUA (GRIS, 2009).

Mais tarde, no final da década de 60, a cultura passou a ser vista como um produto comercial, especialmente, pela demanda por farelo de soja para nutrição de aves e suínos e, pelo fato da cultura servir como alternativa de cultivo no verão no Sul do Brasil visto que, na época, o trigo era a principal cultura nessa região (EMBRAPA, 2010).

Em meados de 1970 o grande aumento no preço da soja em grande parte do mundo incentivou o plantio ainda mais, aos agricultores e ao próprio governo brasileiro. O país se beneficia de uma vantagem competitiva em relação aos outros países produtores: o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, quando os preços atingem as maiores cotações. A partir daí, o país passou a investir em tecnologia para adaptação da cultura às condições do Brasil, o que promoveu um crescimento da produção e capacidade competitiva da soja brasileira (EMBRAPA, 2010).

Com o avanço na pesquisa, cultivares de soja, cada vez mais produtivas e adaptadas às mais diversas regiões foram lançadas no mercado agrícola. A introdução da soja transgênica tolerante ao herbicida glifosato, comercializada pela Monsanto, como soja RR (Roundup Ready[®]), revolucionou-se o mercado de soja mundial. No Brasil, a história da soja transgênica começou em 1995 com a autorização em caráter experimental e, posteriormente, a liberação de plantio e comercialização com o sancionamento da nova Lei de Biossegurança em 2005 (Lei 11.105 de 24/03/2005) (GRIS, 2009).

A partir de então, a soja RR passou a ter uma importância econômica bastante expressiva no mercado brasileiro. Segundo dados do Conselho de Informações sobre Biotecnologia – CIB (2009), a área plantada com soja

transgênica no Brasil alcançou 63,9% de um total de 21,73 milhões de hectares na safra 2008/09. Atualmente, a área estimada para o cultivo da soja na safra 2010/11 totaliza 24,08 milhões de hectares, cerca de 2,6% superior à cultivada em 2009/10 (23,47 milhões hectares). Esse saldo corresponde a uma expansão de 610,8 mil hectares de área plantada. A cultura da soja lidera o *ranking* da produção nacional de grãos (149,09 milhões de toneladas), com participação aproximada de 46% (68,55 milhões de toneladas) e previsão para exportar 31,3 milhões de toneladas de grãos (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2010).

2.2 Importância da soja tolerante ao glifosato para o sistema de plantio direto

O sistema de plantio direto trouxe inúmeros benefícios à agricultura e ao meio ambiente, representando, aproximadamente, 50% da área cultivada com culturas anuais no Brasil. Seu advento só foi possível graças à utilização de herbicidas (AGRIANUAL, 2008).

No Brasil estão registrados cerca de 1500 produtos comerciais de defensivos agrícolas, sendo 476 de herbicidas. Em 2009, o país contou com um mercado de defensivos de US\$ 6,6 bilhões e, deste valor, o mercado de herbicidas representou 38%. (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA – SINDAG, 2010). Dentre os herbicidas se destaca o glifosato que é o defensivo mais utilizado nas lavouras, tanto em âmbito nacional quanto mundial.

O glifosato é um herbicida pós-emergente, classificado como não seletivo e de ação sistêmica. Apresenta largo espectro de ação, o que possibilita um excelente controle de plantas daninhas anuais e perenes, tanto de folhas largas quanto de estreitas (GALLI; MONTEZUMA, 2005). Essa característica

torna o glifosato como o principal herbicida utilizado nos sistemas de cultivo, em especial, para o plantio direto. Entretanto, por não ser seletivo, a utilização do mesmo impõe uma série de condições a serem adotadas, devido o glifosato também ser potencialmente tóxico à maioria das culturas econômicas.

Trabalhos recentes têm evidenciado perdas expressivas de produção em diversas culturas devido à toxidez de glifosato geradas pelo manejo inadequado deste herbicida nas lavouras (GAZZIERO; ADEGAS; VOLL, 2007; MAROCHI, 2006; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2006). Dentre as principais causas responsáveis dessa toxidez se destacam a deriva formada durante a aplicação (comum em lavouras de plantas perenes), a transferência direta de glifosato da planta-alvo para a planta não alvo (planta de interesse econômico) através do contato entre raízes e a absorção pela planta não alvo diretamente do solo (YAMADA; CASTRO, 2004).

O solo é contaminado com glifosato durante a aplicação deste na planta-alvo e, posteriormente, através da liberação pela planta-alvo durante a decomposição ou por meio dos exsudados radiculares. É importante ressaltar que a molécula de glifosato possui persistência considerável no solo, variando de acordo com as condições química, física, mineralógica e microbiológica do solo e com a espécie vegetal predominante na área (RODRIGUES; WORSHAM; CORBIN, 1982; RÖMHELD, 2007; YAMADA; CASTRO, 2004).

Nesse contexto, a utilização do glifosato torna-se dificultada nos manejos de plantas perenes e anuais (devido à toxidez por deriva) e no sistema de plantio direto, onde a dessecação das plantas de cobertura deve ser realizada em pré-emergência, antecedendo a semeadura da cultura a ser instalada (de tal modo que a aplicação do herbicida anteceda por um período relativamente longo de tempo à semeadura).

Atualmente, a única alternativa eficiente encontrada para esses problemas é a introdução de cultivares modificadas geneticamente para a

resistência ao glifosato (CUNHA et al., 2005). A utilização desses transgênicos possibilitou um grande avanço no sistema de plantio direto. No Brasil destaca-se o cultivo da soja cv. RR.

Entretanto, recentes trabalhos têm demonstrado redução de produtividade da soja RR devido à aplicação do glifosato em pós-emergência na cultura. Os melhores resultados em produtividade são obtidos quando se realiza a dessecação das plantas de cobertura em, pelo menos, com uma semana de antecedência da semeadura (GAZZIERO; ADEGAS; VOLL, 2007; MAROCHI, 2006; SILVA et al., 2006). Isso demonstra que a soja RR não é totalmente imune à toxidez por glifosato.

Em virtude desses motivos, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de introduzir alternativas que amenizem o efeito tóxico do glifosato nas culturas econômicas e, ao mesmo tempo, procurando manter a eficiência no controle das plantas invasoras.

2.3 Efeito do glifosato na planta

O principal mecanismo de ação do glifosato na planta é o bloqueio de uma das etapas da rota metabólica do ácido chiquímico, através da inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs). Esta enzima catalisa a síntese do enolpiruvato-chiquimato-fosfato a partir do chiquimato-3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP) (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; GALLI; MONTEZUMA, 2005; REDDY; RIMANDO; DUKE, 2004). Como consequência ocorre um aumento na concentração de chiquimato e uma drástica redução na biossíntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, que são os produtos finais da rota do ácido chiquímico.

A fenilalanina é precursora da classe mais abundante de compostos fenólicos secundários em vegetais, incluindo as fitoalexinas, ligninas,

antocianinas, cumarinas e os flavonóides (TAIZ; ZEIGER, 2004). Esses compostos estão diretamente relacionados com os mecanismos de defesa das plantas aos agentes externos, principalmente pragas e organismos fitopatogênicos.

O triptofano é um aminoácido precursor do ácido indol-3-acético (AIA), sendo este um hormônio vegetal necessário para a expansão celular, manutenção da dominância apical e muitos outros processos metabólicos. Estudos têm mostrado que o fornecimento de triptofano em plantas submetidas à aplicação de glifosato não promove a elevação na concentração de AIA em seus tecidos. Isso ocorre devido a biossíntese do AIA, independente da concentração de triptofano, possuir como precursor o indol-3-glicerol-fosfato, que por sua vez depende do corismato para sua formação. Conforme já descrito, o glifosato inibe a formação de corismato e, conseqüentemente, interrompe totalmente a síntese do AIA (YAMADA; CASTRO, 2004).

Desse modo, em função da menor síntese dos aminoácidos aromáticos e redução na concentração de AIA e compostos fenólicos secundários, os sintomas característicos da toxidez de glifosato nas plantas são: - redução no teor total de proteína (essa redução seria devido à diminuição no pool de fenilalanina, precursora da síntese protéica) (YAMADA; CASTRO, 2004); - seca de gemas apicais e de ponteiros (SANTOS et al., 2009); - diminuição no teor de clorofila devido à inibição da síntese do seu precursor, o ácido aminolevulínico (AAL), resultando em clorose foliar (COLE, 1985); - menor expansão celular (relacionado diretamente com a interrupção da síntese do AIA) (SANTOS et al., 2005; YAMADA; CASTRO, 2004); - elevação da síntese do aminoácido metionina que é precursor do hormônio etileno (ocasiona a desuniformidade e precocidade na maturação de frutos e reduz o ciclo da planta) (GRAVENA, 2006); - elevação da permeabilidade da membrana celular ocasionada pelo etileno (YAMADA; CASTRO, 2004); - aumento na susceptibilidade às pragas e

doenças (DUKE; CERDEIRA; MATALLO, 2006; KEEN; HOLLIDAY; YOSHIKAWA, 1982; YAMADA; CASTRO, 2004).

Além disso, devido à elevação da concentração de chiquimato, a toxidez de glifosato induz a uma maior alocação do carbono absorvível para a rota do ácido chiquímico, resultando em uma redução de até 20% na quantidade total de carbono disponível para o ciclo de Calvin (KILLMER; WIDHOLM; SLIFE, 1981).

2.4 Fosfito e sua utilização na agricultura

O fosfito (H_2PO_3^- e HPO_3^{-2}) é oriundo de sais de metais alcalinos obtidos a partir do ácido fosforoso (H_3PO_3) e que está sendo amplamente comercializado como fungicida, bioestimulador e como fonte de P para as plantas (LOVATT; MIKKELSEN, 2006; MCDONALD; GRANT; PLAXTON, 2001; SMILLIE; GRANT; GUEST, 1989).

O uso do fosfito como fonte nutricional de P é questionado. O número de trabalhos publicados é restrito, sendo que trabalhos nacionais são quase que inexistentes (ARAÚJO, 2008; ÁVILA, 2009). A problemática disso é que não há evidências que o fosfito possa ser utilizado como fonte de P pelos vegetais. Ao contrário, há indicações de que o P na forma de fosfito não é metabolizado pelas plantas e, sob condições de deficiência de fosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{-2} e PO_4^{-3}), causa efeitos negativos sobre seu crescimento (ARAÚJO, 2008; ÁVILA, 2009; FÖRSTER et al., 1998; LEE; TSAI, 2005; LUCAS; WARNCKE; THORPE, 1979; SCHROETTER et al., 2006; SINGH et al., 2003; TICCONI; DELATORRE; ABEL, 2001; VARADARAJAN et al., 2002).

Já em relação às pesquisas realizadas com o uso de fosfito como fungicida, estas indicam conclusivamente que o fosfito é eficiente no controle de diversas doenças de plantas, principalmente aquelas causadas por organismos

conhecidos por “pseudofungos”, classificados taxonomicamente no filo Oomycota; como exemplos *Phytophthora* sp, *Plasmopara* sp, *Bremia* sp e *Pythium* sp. (BRACKMANN et al., 2005; COOK et al., 2009; FENN; COFFEY, 1989; GRANT; GRANT; HARRIS, 1992; GRIFFITH; COFFEY; GRANT, 1993; GUEST; GRANT, 1991; JOHNSON; INGLIS; MILLER, 2004; LOVATT; MIKKELSEN, 2006; NEMESTOTHY; GUEST, 1990; ORBOVIĆ et al., 2008; SALA et al., 2004; SHEARER; FAIRMAN, 2007). De acordo com a literatura, o fosfito pode atuar de duas formas no controle de doenças de plantas. A primeira é uma ação tóxica direta sobre o patógeno diminuindo o crescimento micelial, sendo comprovado por diversos trabalhos (FENN; COFFEY, 1984, 1989; WILKINSON et al., 2001). A segunda é de um modo indireto, onde o fosfito estimula a ativação dos mecanismos de defesa da planta, como, por exemplo, intensificação da síntese de ácido ascórbico (MOOR et al., 2009), fitoalexinas (AFEK; SZTEJNBERG, 1989; NEMESTOTHY; GUEST, 1990), compostos fenólicos e lignina (ÁVILA, 2009; DANIEL; GUEST, 2006; JACKSON et al., 2000).

Conforme já exposto, nos vegetais, grande parte dos mecanismos relacionados com indução de resistência são, obrigatoriamente, dependente da rota do ácido chiquímico, mostrando outro indício da ação do fosfito nessa rota metabólica. Esse fato reforça a hipótese de que o fosfito pode ser um potencial estimulador da síntese dos aminoácidos triptofano, fenilalanina e tirosina.

Recentemente, em simpósios, congressos e *workshops* relacionados com o tema, têm-se questionado várias suposições quanto ao potencial efeito que o fosfito pode exercer na amenização da toxidez promovido pelo glifosato (CASTRO, 2007). Nesse contexto, entre as diversas suposições existentes sobre o modo de ação do fosfito, duas hipóteses são as mais convincentes: a primeira seria a estimulação na atividade da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs), promovendo a interrupção do efeito inibitório do glifosato e, a

segunda, o estabelecimento de uma rota alternativa para a biossíntese dos aminoácidos aromáticos que não dependesse dessa enzima (CASTRO, 2007). Nesse contexto, procuram-se informações científicas objetivando definir mais precisamente a conveniência do uso do fosfito, na produção vegetal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA) situada à altitude média de 918m, com coordenadas: latitude 21°14'S e longitude 45°00'W GRW; o clima da região segundo a classificação de Koppen é denominado Cwa, ou seja, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). Dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado foram conduzidos simultaneamente em vasos com solução nutritiva sob aeração constante. Em um dos experimentos o fosfito foi fornecido constantemente às plantas via sistema radicular através da solução nutritiva e, no outro experimento, o fosfito foi fornecido às plantas por meio de uma pulverização foliar. Utilizaram-se duas cultivares de soja (*Glycine max* L.), a MG BR-46 conhecida por Conquista (susceptível ao glifosato) e a BRS Favorita Roundup Ready® conhecida por RR (tolerante ao glifosato). A condução experimental teve início em 23/09/2009 (semeio das sementes) e término em 05/02/2010 (colheita de plantas com maturação plena de grãos).

Foram utilizadas bandejas de isopor contendo substrato vermiculita para semeio das sementes de soja. Cinco dias após emergência, as plântulas foram transferidas para bandejas de plástico com capacidade de 36 L contendo solução nutritiva a 20% de sua força iônica para adaptação à solução. Após esse período, as plantas foram selecionadas conforme a uniformidade em tamanho e área foliar e transferidas definitivamente para vasos plásticos contendo 4,6 L de

solução nutritiva a 50% de sua força iônica original, com os respectivos tratamentos (no caso do experimento com fornecimento de fosfito via radicular), recebendo arejamento constante. A substituição da solução ocorreu uma vez por semana, sendo que nessa fase, a força iônica foi acrescida em 10% semanalmente até atingir 100%, sendo esta mantida até o final do experimento. As concentrações de nutrientes da solução foram baseadas na solução de Hoagland (HOAGLAND; ARNON, 1950) com pequenas modificações, sendo que em 100 % de sua força iônica continha: 1 mM P (na forma de fosfato); 1 mM N-NH₄⁺; 14 mM N-NO₃⁻; 6 mM K; 4 mM Ca; 2 mM Mg; 2 mM S; 89,61 μM Fe-EDTA; 46,30 μM B; 9,14 μM Mn; 0,76 μM Zn; 0,31 μM Cu e 0,10 μM Mo. Diariamente, o volume de solução dos vasos foi completado com água deionizada e o pH ajustado para valores entre 5,5 e 6,0 pela adição de NaOH ou HCl, 0,5 mM.

O experimento com fornecimento de fosfito via sistema radicular foi constituído por um esquema fatorial 6 x 2 x 2, sendo seis concentrações de fosfito na solução nutritiva (0; 5; 16; 48; 128 e 448 μM de fosfito), duas cultivares de soja (Conquista e RR) e sem e com aplicação foliar de glifosato. O experimento com fornecimento de fosfito via foliar foi também constituído por um esquema fatorial 6 x 2 x 2, sendo seis doses de fosfito aplicadas nas folhas (0; 0,03; 0,16; 0,65; 2,42 e 4,84 mmol planta⁻¹ de fosfito), duas cultivares de soja (Conquista e RR) e sem e com aplicação foliar de glifosato. Em ambos os experimentos a fonte de fosfito utilizada foi o fosfito de potássio p.a. e o glifosato foi aplicado na dose de 18,9 mg planta⁻¹ de i.a. de glifosato (equivalente a dose aproximada de 2,66 L ha⁻¹ do herbicida comercial com 36% de i.a. glifosato). Cada experimento foi conduzido com seis repetições, compondo 144 parcelas experimentais, sendo cada parcela representada por um vaso com uma planta cada.

A aplicação foliar de glifosato em ambos os experimentos foi efetuada quando a soja se apresentava no estágio fenológico V8 (onde 8 é o número de nós, acima do nó cotiledonar, com folha completamente desenvolvida). No experimento com fornecimento de fosfito via foliar, a aplicação foliar do fosfito de potássio foi feita quando a soja se apresentava em estágio fenológico V7, para que o fosfito fosse absorvido pelas folhas anteriormente ao glifosato. As aplicações foliares foram feitas através de um pulverizador manual. Os estádios fenológicos da soja foram classificados conforme Fehr e Caviness (1977).

Os nutrientes foram fornecidos através das seguintes fontes (reagentes p.a.): $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; KNO_3 ; MgSO_4 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; NH_4NO_3 (este apenas no experimento com fornecimento de fosfito via radicular); $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; H_3BO_3 ; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; Fe-EDTA. No experimento com fornecimento de fosfito via radicular, o KNO_3 e NH_4NO_3 foram calculados diferencialmente em cada tratamento para nivelar o potássio que foi adicionado com as diferentes doses de fosfito de potássio, de tal modo que a concentração desse nutriente na solução nutritiva foi a mesma em todos os tratamentos (6 mM). Também para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular, a concentração de fosfato (forma de P que é metabolizável pelas plantas) foi igual em todos os tratamentos (1 mM), enquanto que a dose de P total da solução nutritiva variou de acordo com os tratamentos de fosfito de potássio.

Para ambos os experimentos, na época do florescimento pleno da soja (estádio R2), em três repetições de cada tratamento, foram realizadas medições indiretas dos teores de clorofila nos primeiro e segundo trifólios totalmente expandidos a partir do ápice da planta, utilizando-se o clorofilômetro Minolta SPAD-502 (BLACKMER; SCHEPERS, 1995). O SPAD fornece leituras que se correlacionam com o teor de clorofila presente nas folhas. O clorofilômetro possui diodos que emitem radiação em 650nm (luz vermelha) e 940nm (radiação

infravermelha), sendo que, a absorvância das clorofilas é eficiente em 650nm. (NEVES et al., 2005).

Depois de realizadas as leituras SPAD, essas plantas foram coletadas para avaliação do estado nutricional de P. Após obtenção da massa seca de raízes e parte aérea, o material vegetal foi triturado (em moinho do tipo Willey) separadamente para a quantificação dos teores de P total (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). De posse desses dados calculou-se o acúmulo de P (através da relação entre os teores de P com o peso de massa seca em cada parte) e os índices de eficiência de absorção (EAP) (SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994), utilização (EUP) (SIDDIQI; GLASS, 1981) e transporte (TP) de P por meio das fórmulas: $EAP = (\text{acúmulo total do nutriente na planta})/(\text{massa seca de raízes})$; $EUP = (\text{massa seca total})^2/(\text{acúmulo total de P})$; e $TP = (\text{acúmulo de P na parte aérea})/(\text{acúmulo total de P na planta})$.

As outras três repetições de cada tratamento em ambos os experimentos foram conduzidas até maturação plena dos grãos (estádio R8) para avaliação da produção de biomassa. Nesse estágio, as plantas foram colhidas e determinaram-se os pesos de massa seca de raízes, parte aérea e grãos. Para complementar a avaliação foi calculada a relação entre a massa seca de raiz e massa seca de parte aérea e o peso de 100 grãos secos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de médias (Scott-Knott, 5%), utilizando-se do *software* SISVAR (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que, tanto no experimento com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 1) quanto no experimento com fornecimento de fosfito via foliar (Gráfico 2), a produção de massa seca de parte aérea da soja conduzida até maturação plena dos grãos (estádio fenológico R8) foi influenciada pela interação tripla entre os fatores estudados (doses de fosfito na solução nutritiva, aplicação foliar de glifosato e cultivar de soja).

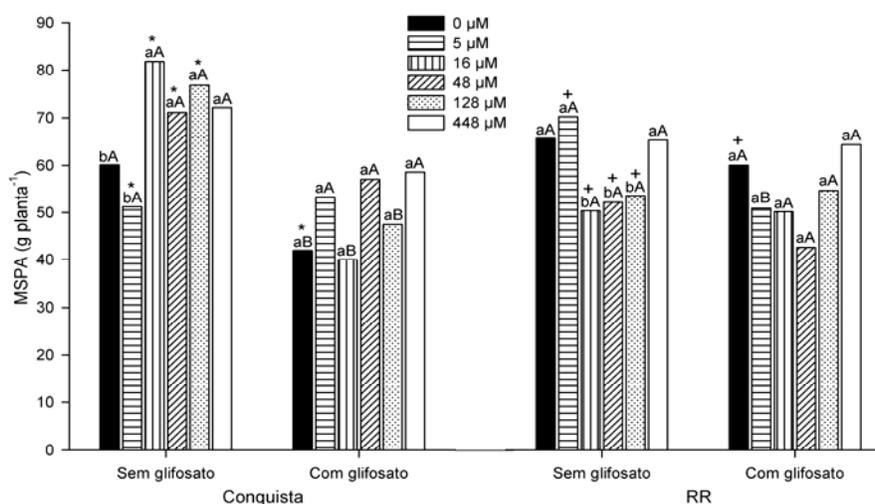


Gráfico 1 Massa seca de parte aérea (MSPA) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato e de concentrações de fosfito. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de fosfito dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada concentração de fosfito e cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Médias seguidas por símbolos diferentes (* e +), comparando as cultivares dentro de cada concentração de fosfito e aplicação de glifosato, diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

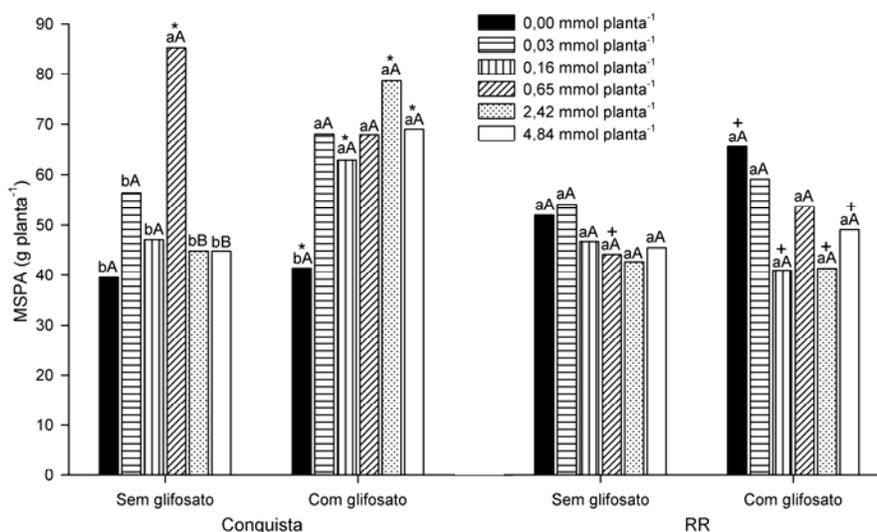


Gráfico 2 Massa seca de parte aérea (MSPA) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fósforo via foliar, em função de aplicações foliares de glifosato e de fósforo de potássio. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as doses de fósforo dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada dose de fósforo e cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Médias seguidas por símbolos diferentes (* e +), comparando as cultivares dentro de cada dose de fósforo e aplicação de glifosato, diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

Para o experimento com fornecimento de fósforo via radicular (Gráfico 1), o peso de massa seca de parte aérea da cv. Conquista sem aplicação de glifosato foi cerca de 36% maior com a adição de fósforo na solução nutritiva a partir da concentração de 16 μM , enquanto que, com a aplicação de glifosato, esse efeito foi menos pronunciado e sem uma tendência clara. Em relação aos efeitos do glifosato no peso de massa seca de parte aérea, independentemente das doses de fósforo, verificou-se que houve uma tendência de redução nos valores da cv. Conquista com a aplicação do herbicida, porém, de pouca expressividade. As concentrações de fósforo na solução nutritiva e a aplicação de glifosato, em geral, não tiveram efeitos acentuados sobre a cv. RR, onde foi

observado apenas leve decréscimo na produção de massa seca sem aplicação de glifosato e sob concentrações intermediárias de fosfito.

Já o fornecimento de fosfito via foliar (Gráfico 2) teve efeitos distintos sobre a produção de massa seca de parte aérea da cv. Conquista, quando comparado ao fornecimento via radicular. Na ausência de glifosato, apenas a dose de $0,65 \text{ mmol planta}^{-1}$ de fosfito de potássio se sobressaiu em relação às outras doses testadas. Considerando que $0,65 \text{ mmol planta}^{-1}$ é uma dose intermediária em relação às demais, esse comportamento isolado não é suficiente para inferir em um possível efeito na produção de biomassa de parte aérea. Já nas plantas que receberam aplicação foliar de glifosato em estágio fenológico V8 (onde 8 é o número de nós, acima do nó cotiledonar, com folha completamente desenvolvida), a pulverização de fosfito de potássio na cv. Conquista em estágio fenológico V7 (portanto, previamente à aplicação de glifosato), independentemente da dose aplicada, elevou a massa seca de parte aérea, em média de 41%, em comparação ao tratamento $0,00 \text{ mmol planta}^{-1}$.

Comparando o fator aplicação de glifosato (sem glifosato e com glifosato) dentro de cada dose de fosfito de potássio, observou-se que a aplicação de $2,42$ e $4,44 \text{ mmol planta}^{-1}$ de fosfito de potássio promoveu, significativamente, maior massa seca de parte aérea. Entretanto, para as demais doses de fosfito de potássio (especialmente $0,00 \text{ mmol planta}^{-1}$) não houve diferença significativa entre os tratamentos sem glifosato e com glifosato, inferindo-se que apenas a aplicação foliar de glifosato não alterou o peso de massa seca de parte aérea, mas, as doses de $2,42$ e $4,44 \text{ mmol planta}^{-1}$ de fosfito de potássio na presença de glifosato, interessantemente, aumentou os valores dessa variável. As doses de fosfito não tiveram efeitos sobre a cv. RR, independente da aplicação ou não de glifosato.

Ressalta-se que os coeficientes de variação obtidos na análise de variância para a massa seca de parte aérea foi de 17,7% e 20,3% para os

experimentos com fornecimento de fosfito via radicular e via foliar, respectivamente, que se encontram dentro dos padrões aceitáveis para experimentações agrícolas. Provavelmente, o baixo efeito inibitório do glifosato na produção de matéria seca de parte aérea da cv. Conquista, em ambos os experimentos está relacionado com a época de aplicação do herbicida, que foi realizada quando as plantas se apresentavam no estágio fenológico V8, no qual grande parte da massa seca de parte aérea já tinha sido produzida.

O aumento de massa seca de parte aérea da cv. Conquista sem aplicação de glifosato e com a adição de fosfito na solução nutritiva a partir da concentração de 16 μM (Gráfico 1) ou, com a pulverização foliar de fosfito de potássio na presença de glifosato (Gráfico 2), talvez, estejam associados a um possível efeito estimulante do ânion fosfito sobre processos bioquímicos, principalmente relacionados com o metabolismo secundário. Entretanto, recentes trabalhos têm mostrado que esse efeito estimulante não tem refletido em aumento de produção de massa seca de plantas adequadamente nutridas em fosfato e sob ausência de patógenos (ARAÚJO, 2008; ÁVILA, 2009; MOOR et al., 2009).

A produção de massa seca de raízes da soja conduzida até o estágio fenológico R8 foi influenciada significativamente pelas interações duplas entre cultivares x aplicação de glifosato e cultivares x doses de fosfito para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular (Gráficos 3a e 3b), e, pela interação tripla entre os fatores estudados para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar (Gráfico 4).

Para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular, a massa seca de raiz da cv. Conquista foi significativamente reduzido em, aproximadamente, 38% com a aplicação foliar de glifosato, enquanto que na cv. RR essa diminuição foi de apenas 12% (não significativa). Assim, o glifosato aplicado nas folhas teve influência direta na produção de massa seca de raiz da

soja não tolerante ao glifosato, mesmo a pulverização sendo realizada nas plantas já apresentando uma considerável biomassa (estádio fenológico V8). Comparando os pesos de massa seca de raiz das cultivares dentro de um mesmo tratamento de glifosato, observou-se que não houve diferença significativa entre as cultivares, embora a cv. Conquista tenha apresentado tendência não significativa de aumento na ausência e de diminuição na presença de glifosato, respectivamente (Gráfico 3a). Os efeitos da interação dupla entre cultivares x concentrações de fosfito foi, em geral, pouco evidente. Verificou-se uma tendência de aumento (não significativa) no peso de massa seca de raiz da cv. Conquista com a adição de fosfito na solução nutritiva a partir da concentração de 16 μM , enquanto que para a cv. RR houve uma tendência de decréscimo (também não significativa) com o aumento das concentrações de fosfito, exceto para a dose 448 μM (Gráfico 3b).

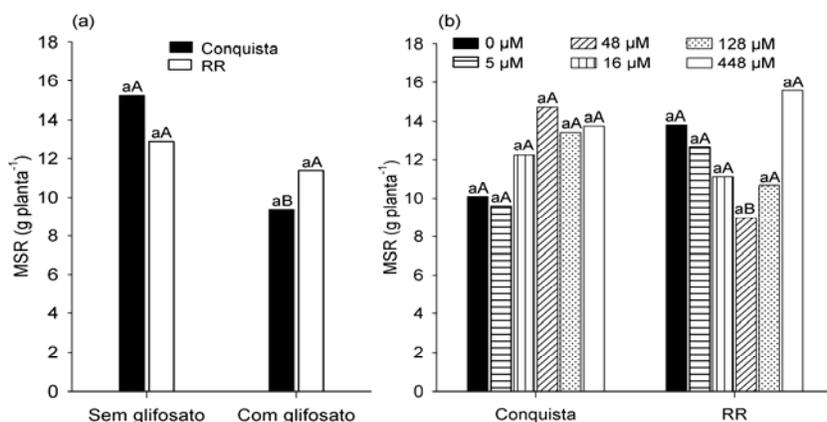


Gráfico 3 Massa seca de raiz (MSR) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato (a) e de concentrações de fosfito (b). Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato e comparando as concentrações de fosfito em cada cultivar, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada cultivar e comparando as cultivares dentro de cada concentração de fosfito, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

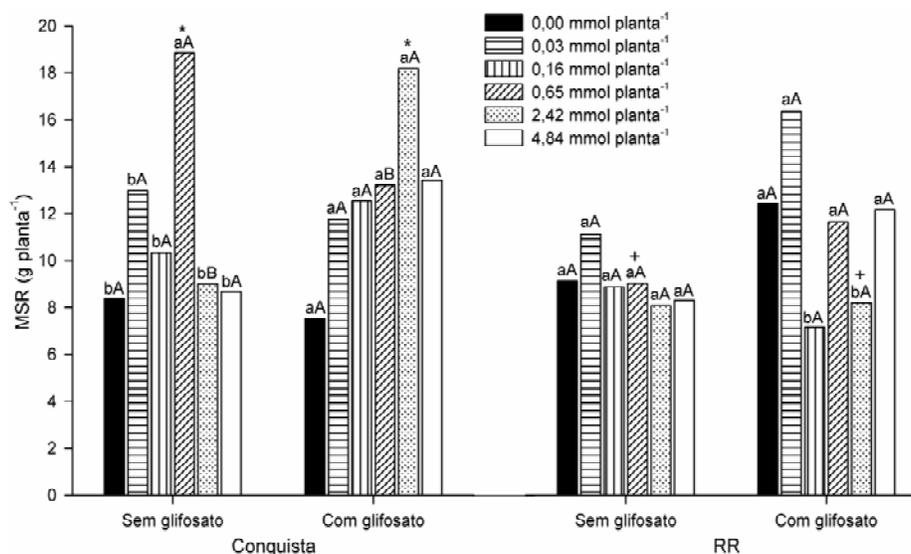


Gráfico 4 Massa seca de raiz (MSR) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar, em função de aplicações foliares de glifosato e de fosfito de potássio. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as doses de fosfito dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada dose de fosfito e cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Médias seguidas por símbolos diferentes (* e +), comparando as cultivares dentro de cada dose de fosfito e aplicação de glifosato, diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

Para o fornecimento de fosfito via foliar, o peso de massa seca de raiz das plantas em função das doses de fosfito de potássio aplicadas (Gráfico 4) teve comportamento semelhante com aquele relatado para o peso de massa seca de parte aérea (Gráfico 2), inferindo-se que foi um comportamento da planta como um todo. Analisando o fator aplicação de glifosato (sem glifosato e com glifosato) dentro de cada dose de fosfito de potássio, observou-se que, em geral, a pulverização foliar de glifosato não inibiu a produção de massa seca de raiz, para ambas as cultivares.

A relação entre os pesos de massa seca de raiz e massa seca de parte aérea (relação raiz: parte aérea) da soja conduzida até estágio R8 não foi influenciado pelos tratamentos no experimento com fornecimento de fosfite via radicular, enquanto que, para o experimento com fornecimento de fosfite via foliar, houve interação dupla significativa entre cultivares x aplicação de glifosato (Gráfico 5) mas, de pouca expressividade. Observa-se que a relação raiz: parte diminuiu 7% e aumentou 15% na presença de glifosato para a cv. Conquista e cv. RR, respectivamente. Esse resultado para a cv. Conquista foi reflexo da maior elevação no peso de massa seca de parte aérea em relação ao peso de massa seca de raiz com a aplicação de glifosato, enquanto que, para a cv. RR, o peso de massa seca de raiz, em geral, teve maior incremento (não significativo) (Gráficos 2 e 4).

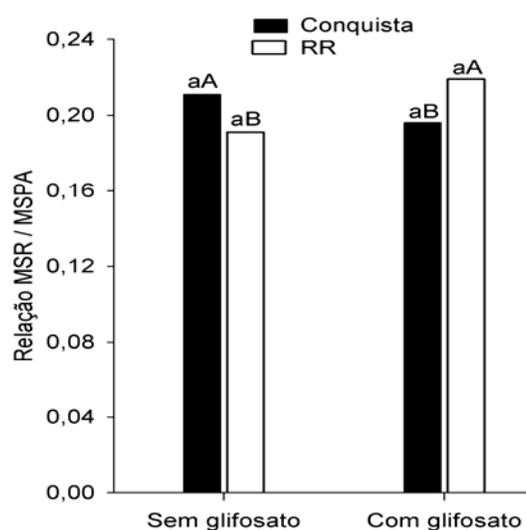


Gráfico 5 Relação entre MSR e MSPA de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfite via foliar, em função da aplicação foliar de glifosato. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

A relação raiz: parte aérea na maioria dos casos é aumentada em plantas sob estresse hídrico e deficiência de alguns nutrientes, em especial o P, como uma indução de mecanismos de superação a esses fatores adversos. Sob tais condições, as plantas destinam boa parte de fotoassimilados para uma maior produção de biomassa radicular em detrimento a biomassa de parte aérea (CLARKSON, 1985).

A produção de grãos foi significativamente influenciada apenas pela interação dupla entre cultivares x aplicação de glifosato, tanto no experimento com fornecimento de fosfito via radicular (Gráficos 6a e 6b) quanto no experimento com fornecimento de fosfito via foliar (Gráfico 7a).

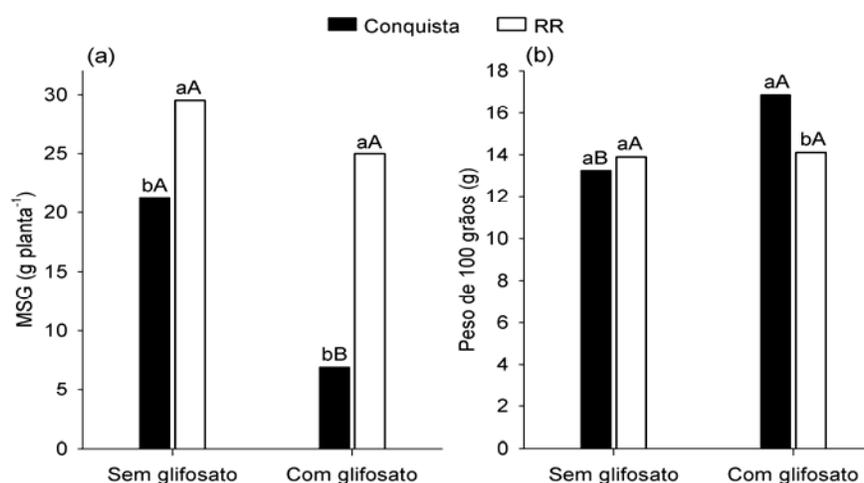


Gráfico 6 Massa seca de grãos (MSG) (a) e peso seco de 100 grãos (b) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

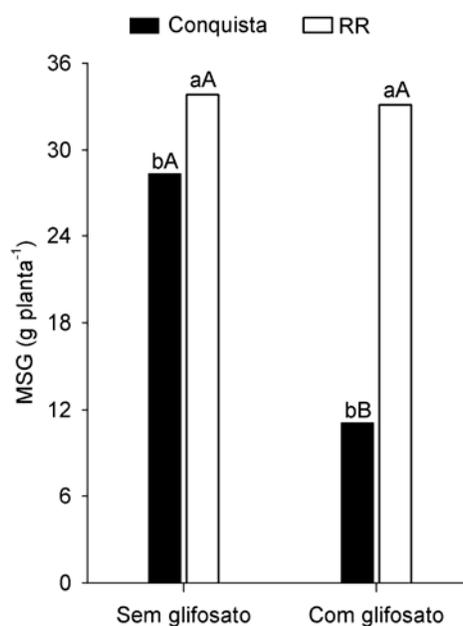


Gráfico 7 Massa seca de grãos (MSG) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar, em função da aplicação foliar de glifosato. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

A massa seca de grãos da cv. Conquista foi significativamente reduzida em 67% e 61% com a aplicação de glifosato para os experimentos com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 6a) e via foliar (Gráfico 7), respectivamente. Já para a cv. RR, o peso de massa seca de grãos na presença de glifosato foi reduzido em apenas 15% e 2% (ambos não significativos) para os experimentos com fornecimento de fosfito via radicular e via foliar, respectivamente, mostrando satisfatória tolerância da cv. RR a esse herbicida. Esses resultados mostram que a aplicação foliar de glifosato na cv. Conquista em estágio fenológico V8 refletiu diretamente sobre a produção de grãos, embora esse efeito não ocorresse na mesma intensidade para a produção de massa seca de parte aérea.

A menor produção de grãos da cv. Conquista deve-se, possivelmente, ao efeito inibitório do glifosato em uma das etapas da rota do ácido chiquímico (GALLI; MONTEZUMA, 2005). O principal mecanismo de ação do glifosato na planta é a inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs). Esta enzima catalisa a síntese do enolpiruvato-chiquimato-fosfato a partir do chiquimato-3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP). Como consequência ocorre um aumento na concentração de chiquimato e uma drástica redução na biossíntese de inúmeros compostos, como, por exemplo, os aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, constituintes básicos de compostos essenciais ao metabolismo normal das plantas (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; GALLI; MONTEZUMA, 2005; REDDY; RIMANDO; DUKE, 2004). De acordo com Kruse, Trezzi e Vidal (2000), aproximadamente 20% do carbono fixado pela fotossíntese segue por essa rota metabólica e 35% da massa seca de plantas é representada por derivados do ácido chiquímico. Assim, qualquer interferência nessa importante via pode implicar em efeitos negativos na produção das culturas. Resultados similares foram obtidos por Melhorança Filho et al. (2010), cuja aplicação de glifosato nas doses acima de 11,5 g i.a. ha⁻¹ afetou a produção de grãos de soja da cultivar suscetível analisada (cultivar CD - 216).

Como esperado, o peso da massa seca de grãos da cv. RR com aplicação de glifosato foi 3,6 e 3,0 vezes maior em comparação a cv. Conquista para os experimentos com fornecimento de fosfito via radicular e via foliar, respectivamente. Na ausência de glifosato, a cv. RR também apresentou uma pequena superioridade na produção de massa seca de grãos, cerca de 1,4 e 1,2 vezes maior para os experimentos com fornecimento de fosfito via radicular e via foliar, respectivamente.

As concentrações de fosfito na solução nutritiva não tiveram efeitos significativos sobre a produção de grãos em ambos os experimentos,

independentemente da aplicação ou não de glifosato e da cultivar de soja utilizada. Diversas pesquisas têm sido conduzidas visando encontrar formas alternativas que eliminem ou, ao menos, amenizem a toxidez por glifosato nas culturas. Dentre esses estudos têm sido levantadas algumas hipóteses sobre o potencial efeito do fosfito na redução da toxidez de glifosato nas plantas (CASTRO, 2007). As suposições mais aceitas são que o fosfito pode atuar de forma contrária à ação do glifosato (CASTRO, 2007), ativando os mecanismos que são inibidos. Os resultados encontrados neste trabalho contrariam a hipótese de que o fosfito exerça efeito amenizante à toxidez causada pelo glifosato, visto que a produção de grãos foi prejudicada, independentemente da concentração de fosfito fornecida na solução nutritiva ou através da aplicação nas folhas.

Já o efeito da interação dupla entre cultivares x aplicação de glifosato sobre o peso seco de 100 grãos foi significativo apenas para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 6b), não sendo observada alteração nessa variável no experimento com fornecimento de fosfito via foliar. No experimento com fornecimento de fosfito via radicular, o peso seco de 100 grãos foi igual entre as cultivares na ausência de glifosato, mas, interessante, a cv. Conquista apresentou um leve aumento (cerca de 27%) nos valores dessa variável com a aplicação do herbicida. O fato da massa seca de grãos da cv. Conquista ter apresentado drástica redução com a aplicação de glifosato (Gráfico 6a) levaria a inferir que o peso seco de 100 grãos também diminuiria. Porém, o aumento neste último, verificado no experimento com fornecimento de fosfito via radicular, deve-se, possivelmente, pelo fato de a maturação de grãos ocorrer quando é cessada a produção de tecidos de raízes e parte aérea e, com a senescência dos mesmos, é desencadeada a remobilização de reservas dos órgãos que estão senescendo para os grãos (MUNDSTOCK, 2005).

Quanto à nutrição de P das cultivares colhidas na época do florescimento pleno da soja (estádio fenológico R2), observou-se que os teores de P na parte aérea foram influenciados pela interação dupla entre cultivares x aplicação de glifosato no experimento com fornecimento de fosfíto via radicular (Gráfico 8) e pela interação dupla entre cultivares x doses de fosfíto no experimento com fornecimento de fosfíto via foliar (Gráfico 9).

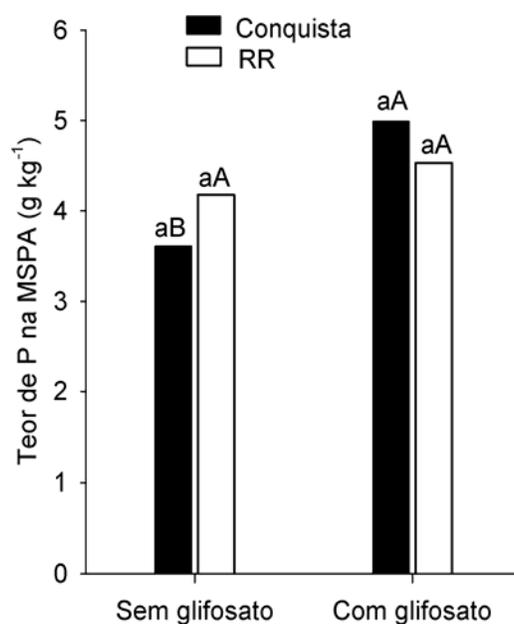


Gráfico 8 Teor de P na massa seca de parte aérea de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfíto via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

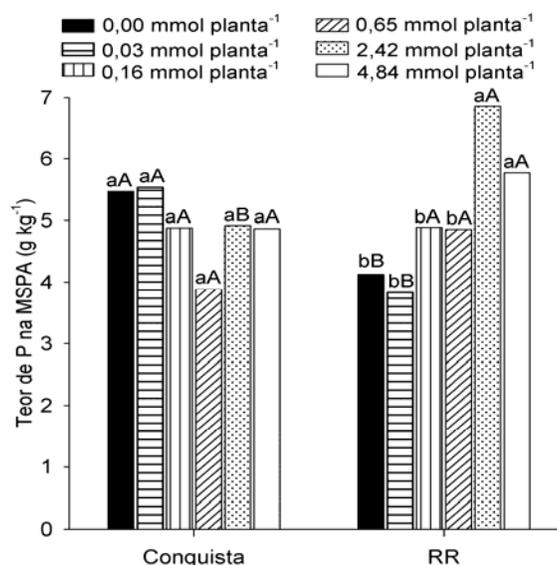


Gráfico 9 Teor de P na massa seca de parte aérea de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar, em função da aplicação foliar de fosfito de potássio. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as doses de fosfito em cada cultivar, e maiúscula, comparando as cultivares dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

Para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 8), a cv. Conquista apresentou elevação (cerca de 38%) no teor de P da massa seca de parte aérea quando submetida à aplicação de glifosato, enquanto que, para a cv. RR, esse efeito não ocorreu. Porém, essa elevação no teor de P coincide com a leve redução no peso de massa seca de parte aérea, concluindo-se que esse resultado foi, em grande parte, oriundo do “efeito de concentração” (FAQUIN, 2005). De fato, o acúmulo de P nessa parte da planta no experimento com fornecimento de fosfito via radicular não foi afetado pelos fatores em estudo. O teor de P da massa seca de parte aérea não variou significativamente entre cultivares com e sem aplicação de glifosato (Gráfico 8).

Para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar (Gráfico 9), observou-se que, dentro de uma mesma cultivar, o teor de P na massa seca de parte aérea em função das doses de fosfito de potássio teve comportamento contrário aos encontrados para o peso de massa seca de parte aérea (Gráfico 2). Assim, os efeitos de “concentração” e “diluição” tiveram influência direta nos valores do teor de P da massa seca de parte aérea. Ressalta-se que o acúmulo de P na parte aérea das plantas no experimento com fornecimento de fosfito via foliar foi afetado pela interação tripla entre os fatores, contudo, de forma branda e sem uma tendência clara entre as doses de fosfito (Gráfico 10), o que não deve ter influenciado fortemente nos teores de P da massa seca de parte aérea.

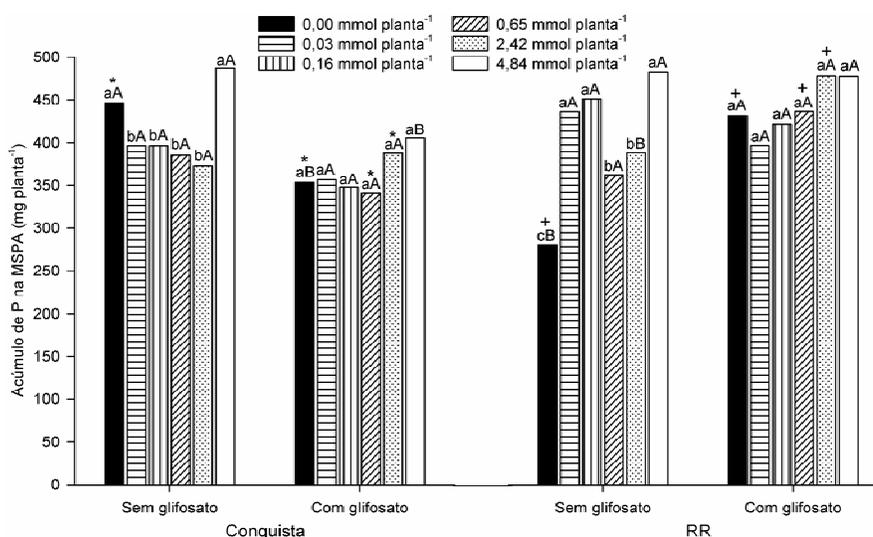


Gráfico 10 Acúmulo de P na MSPA de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar, em função de aplicações foliares de glifosato e de fosfito de potássio. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as doses de fosfito dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada dose de fosfito e cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Médias seguidas por símbolos diferentes (* e +), comparando as cultivares dentro de cada dose de fosfito e aplicação de glifosato, diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

O teor de P na massa seca de raiz da soja conduzida até o estágio fenológico R2 foi significativamente afetado pela interação dupla entre cultivares x aplicação de glifosato em ambos os experimentos (Gráficos 11a e 12a) e, no experimento com fornecimento de fosfite via radicular, essa variável também foi alterada pelo efeito isolado das concentrações de fosfite na solução nutritiva (Gráfico 11b). Já o acúmulo de P na massa seca de raiz foi influenciado apenas pelo efeito isolado das concentrações de fosfite no experimento com fornecimento de fosfite via radicular (Gráfico 11c), e pela interação dupla entre cultivares x aplicação de glifosato no experimento com fornecimento de fosfite via foliar (Gráfico 12b).

Verificou-se que o teor de P na massa seca de raiz da cv. Conquista foi elevado em 60% e 86% com a aplicação de glifosato para os experimentos com fornecimento de fosfite via radicular (Gráfico 11a) e via foliar (Gráfico 12a), respectivamente. Para a cv. RR, esses efeitos se apresentaram em menor intensidade. Para o experimento com fornecimento de fosfite via radicular, esse considerável acréscimo no teor de P da massa seca de raiz da cv. Conquista sob aplicação de glifosato coincide com a redução do peso da massa seca de raiz (Gráfico 3), deduzindo que esse comportamento foi, em grande parte, oriundo do “efeito de concentração”, e não ao efeito direto do glifosato sobre a absorção de P, mesmo porque, o acúmulo de P nessa parte da planta não foi afetado pela aplicação de glifosato. Entretanto, para o experimento com fornecimento de fosfite via foliar, não foi observado, em geral, decréscimo do peso de massa seca de raiz da cv. Conquista com a pulverização de glifosato (Gráfico 4) e, ainda assim, o acúmulo de P da massa seca de raiz dessa cultivar foi aumentado com a presença do herbicida (Gráfico 12b). Nota-se que, nesse caso, a aplicação foliar de glifosato favoreceu diretamente a absorção de P na forma de fosfato pelas raízes. Na literatura há relatos desse efeito sinérgico do glifosato sobre a

absorção de P pelas plantas (CAKMAK et al., 2009; DENIS; DELROT, 1993; GODOY, 2007; LATORRE et al., 2010; MORIN et al., 1997).

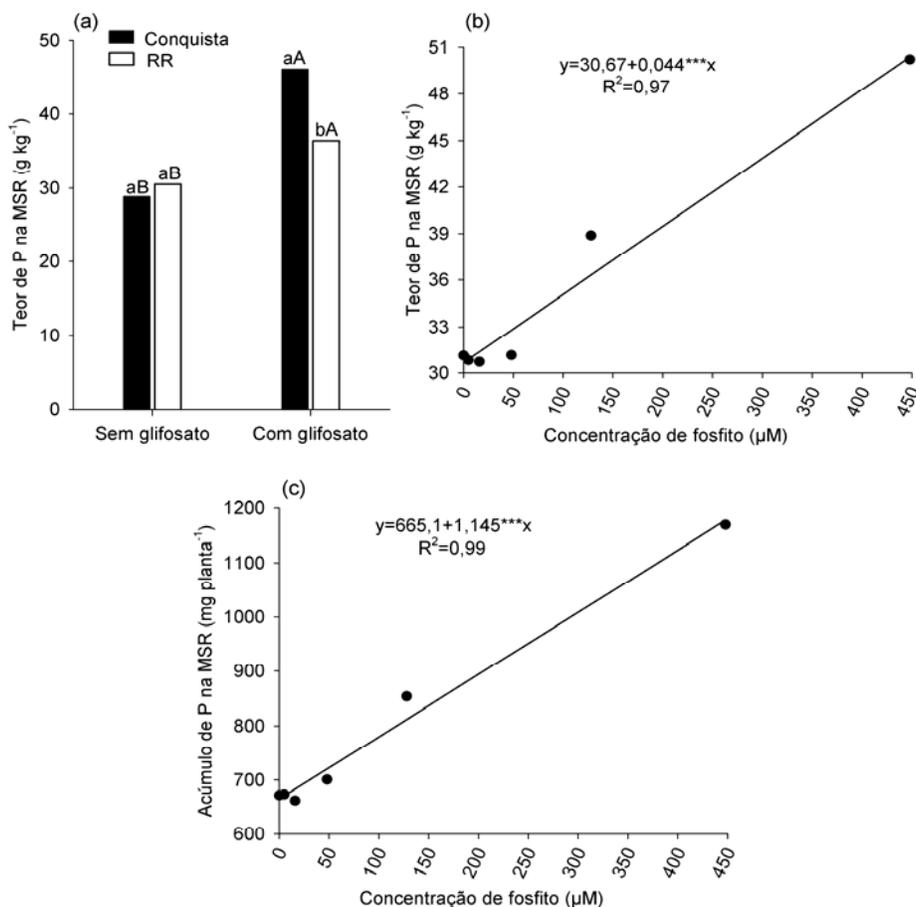


Gráfico 11 Teor de P na massa seca de raiz de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfite via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato (a), e teor (b) e acúmulo (c) de P na massa seca de raiz em função das concentrações de fosfite na solução nutritiva. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). *** Significativo a 0,1% de probabilidade

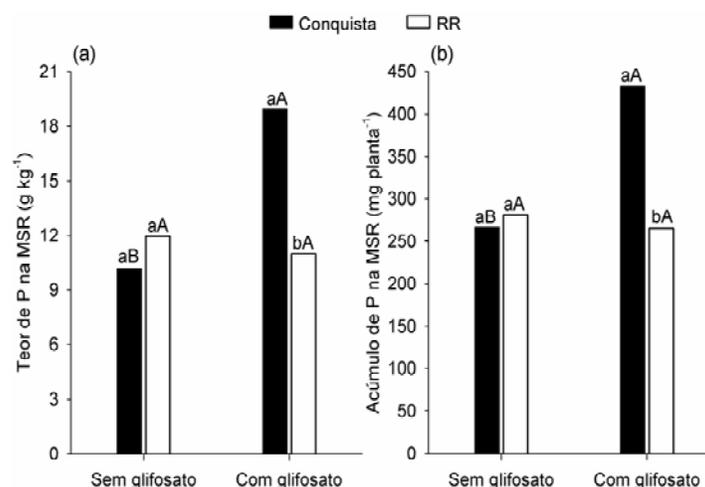


Gráfico 12 Teor (a) e acúmulo (b) de P na MSR de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar, em função da aplicação foliar de glifosato. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

O teor (Gráfico 11b) e acúmulo (Gráfico 11c) de P na massa seca de raiz foram incrementados linearmente à medida que se elevou a concentração de fosfito na solução nutritiva, enquanto que, para o fornecimento de fosfito via foliar, independentemente da dose, isoladamente não interferiu nessa variável. Conforme estimativas, o teor e acúmulo de P incrementaram 0,044 mg kg⁻¹ e 1,145 mg planta⁻¹, respectivamente, para cada unidade (em μM) de acréscimo de fosfito na solução nutritiva. Nesse caso, provavelmente, a absorção do P na forma de ânion fosfito pelas plantas ocasionou esse maior teor de P na massa seca de raiz. Thao, Yamakawa e Shibata (2009), em trabalhos com alface em sistema hidropônico, verificaram aumentos de teor de P nos tecidos do sistema radicular com o acréscimo da concentração de fosfito na solução nutritiva.

A eficiência de absorção de P (EAP) e o transporte de P (TP) da soja conduzida até estágio fenológico R2 foram afetados pela interação dupla entre

cultivares x aplicação de glifosato em ambos os experimentos (Gráficos 13a, 13c, 14a e 14b). No experimento com fornecimento de fosfito via radicular, a EAP e TP também foram alterados pelo efeito isolado das doses de fosfito na solução nutritiva (Gráficos 13b e 13d) e, no experimento com fornecimento de fosfito via foliar, o TP também foi modificado pelos efeitos das interações duplas entre cultivares x aplicação de glifosato, aplicação de glifosato x doses de fosfito e cultivares x doses de fosfito (14b, 14c e 14d). O termo eficiência de absorção indica a habilidade da planta em “adquirir” um dado nutriente do substrato (ROZANE et al., 2007).

A aplicação foliar de glifosato aumentou os valores de EAP da cv. Conquista em 43% e 35% para os experimentos com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 13a) e via foliar (Gráfico 14a), respectivamente, inferindo-se que, para cada unidade de biomassa de raiz produzida, houve maiores unidades de P acumulado na planta, apesar de no experimento com fornecimento de fosfito via radicular o acúmulo total de P não foi significativamente influenciado pela aplicação de glifosato. A EAP da cv. RR em geral foi pouco alterada com a presença do glifosato. No experimento com fornecimento de fosfito via radicular, a EAP foi aumentada linearmente com o aumento das concentrações do ânion fosfito na solução nutritiva (Gráfico 13b), devido à absorção adicional de P (Gráfico 11c), provavelmente, na forma desse ânion. Já a pulverização foliar de fosfito de potássio, independentemente da dose aplicada, não alterou a EAP pelas raízes da soja.

A aplicação foliar de glifosato reduziu os valores de TP da cv. Conquista em 30% e 25% para os experimentos com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 13c) e via foliar (Gráfico 14b), respectivamente. A influência do glifosato no TP da cv. RR foi menos pronunciado, sendo significativo apenas no experimento com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 13c).

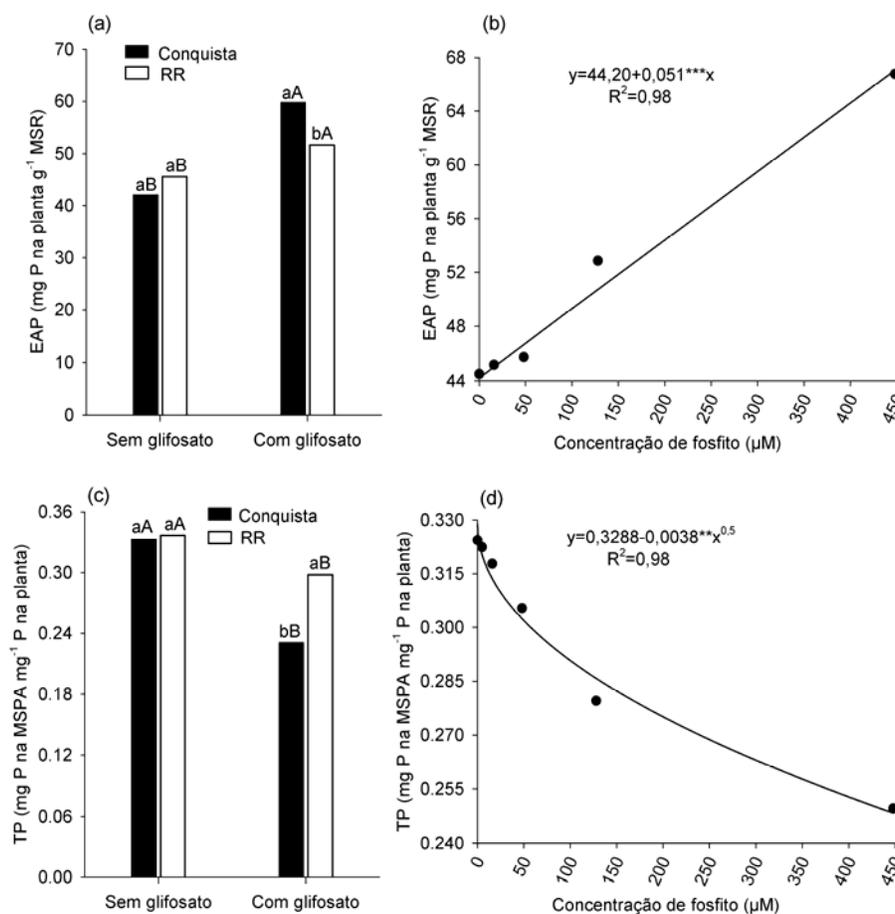


Gráfico 13 Eficiência de absorção (EAP) (a) e transporte (TP) (c) de P de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato, e EAP (b) e TP (d) em função das concentrações de fosfito na solução nutritiva. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** e *** Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente

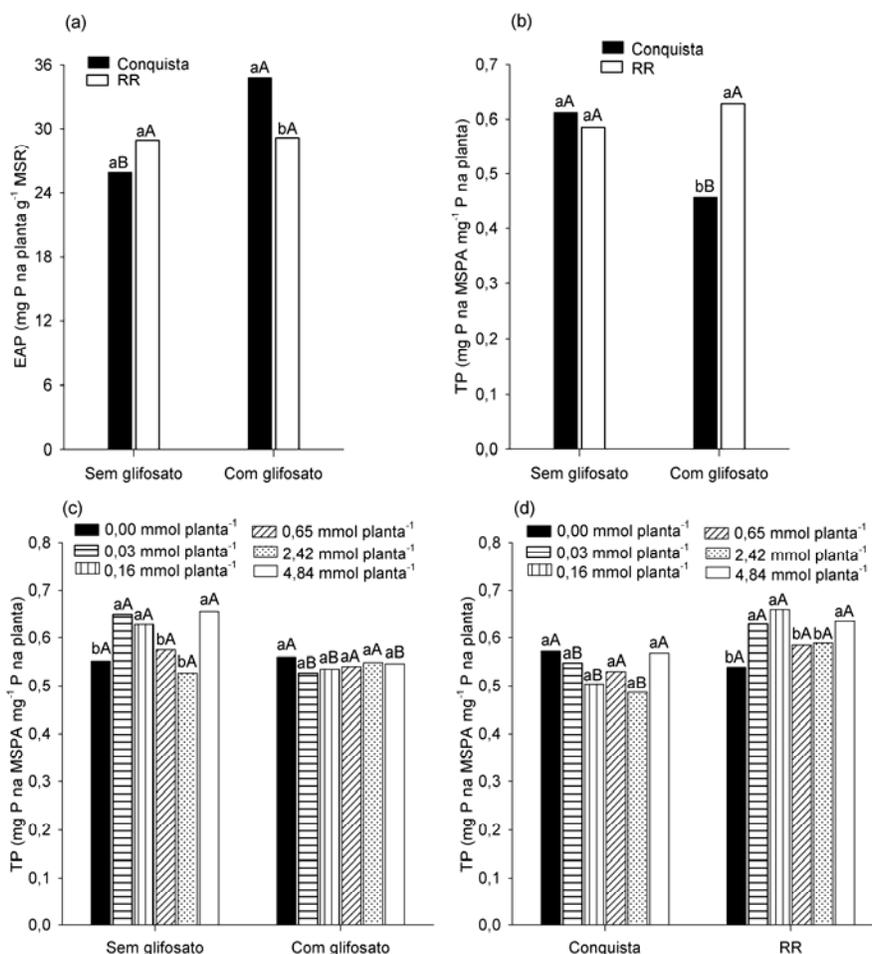


Gráfico 14 Eficiência de absorção (EAP) (a) e transporte (TP) (b) de P das cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar; e TP assim como afetados pelas interações duplas entre aplicação de glifosato x doses de fosfito (c) e cultivares x doses de fosfito (d). Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando cultivares dentro de aplicação de glifosato, doses de fosfito dentro de aplicação de glifosato e doses de fosfito em cada cultivar; e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada cultivar, a aplicação de glifosato dentro de cada dose de fosfito e cultivares dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

As alterações dos pesos de massa seca de raiz e massa seca de parte aérea na presença de glifosato, em ambos os experimentos (Gráficos 1, 2, 3a, 4), resultaram em modificações nos acúmulos de P na massa seca de raiz e massa seca de parte aérea (não significativa no caso do experimento com fornecimento de fosfito via radicular) (Gráficos 10 e 12b) e, conseqüentemente, alteraram os valores do TP.

As concentrações de fosfito fornecidas via radicular reduziram o TP (Gráfico 13d) da soja, mostrando que o adicional de P absorvido pelas plantas com o fosfito adicionado na solução nutritiva não foi, em grande parte, transportado para a parte aérea. Os valores de TP variaram significativamente com as doses de fosfito de potássio fornecido via foliar em função da aplicação foliar de glifosato e das cultivares estudadas, entretanto, essa variação foi pouco pronunciada e sem uma tendência clara (Gráficos 14c e 14d).

A eficiência de utilização de P (EUP) da soja conduzida até estágio fenológico R2 foi influenciada pela interação dupla entre cultivares x aplicação de glifosato em ambos os experimentos (Gráficos 15 e 16a) e, para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar, também pela interação dupla entre aplicação de glifosato x doses de fosfito (Gráfico 16b).

A cv. Conquista apresentou redução de 68% e 53% nos valores de EUP com a aplicação de glifosato para os experimentos com fornecimento de fosfito via radicular (Gráfico 15) e via foliar (Gráfico 16a), respectivamente. Em relação à cv. RR, esse efeito do glifosato foi significativo apenas no experimento com fornecimento de fosfito via radicular, no qual a EUP foi reduzida em 31% com a aplicação do herbicida (Gráfico 15). Essa considerável redução de EUP da cv. Conquista com a aplicação de glifosato em ambos os experimentos indicam que, sob presença do herbicida, a produção de massa seca não acompanhou, proporcionalmente, o aumento dos teores de P nos tecidos. Ressalta-se novamente que, no caso do experimento com fornecimento de

fosfite via radicular, esse maior teor de P (Gráficos 8 e 11a) da cv. Conquista sob pulverização de glifosato foi reflexo da diminuição do peso de massa seca (Gráficos 1, 3, 8 e 11a). Já para o experimento com fornecimento de fosfite via foliar, esse comportamento foi em grande parte oriundo da considerável elevação no acúmulo de P observado no sistema radicular (Gráficos 12a e 12b), embora o acúmulo de P na massa seca de parte aérea tenha reduzido, mas, nesse caso ocorreu em menor proporção (Gráfico 10). Em resumo, para ambos os experimentos, a aplicação de glifosato favoreceu a EAP, mas, prejudicou consideravelmente o TP e a EUP da soja susceptível à toxidez por glifosato (cv. Conquista).

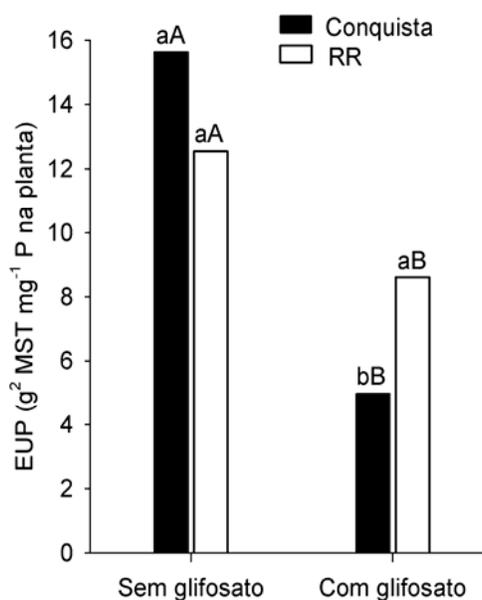


Gráfico 15 Eficiência de utilização de P (EUP) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfite via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as cultivares dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

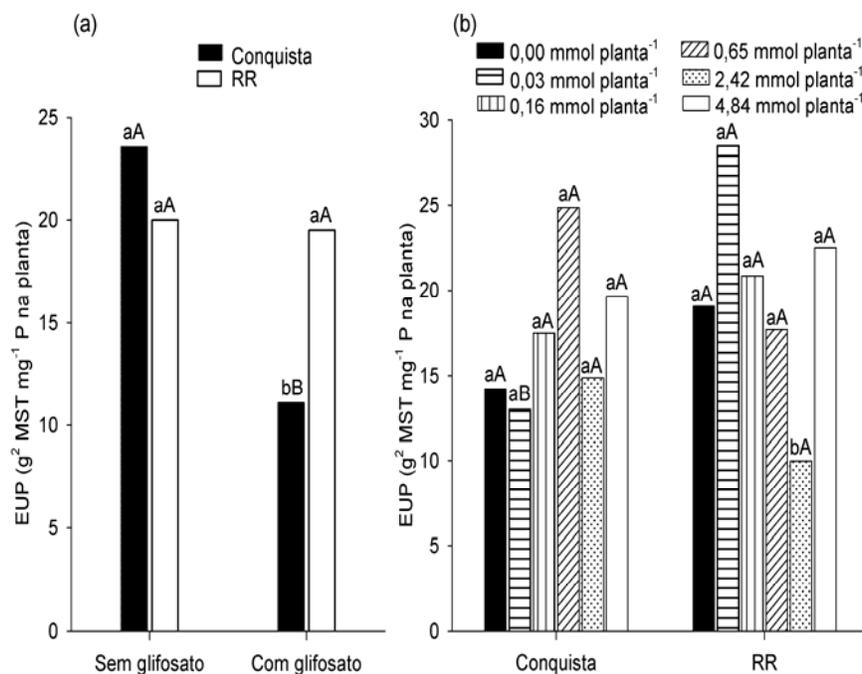


Gráfico 16 Eficiência de utilização de P (EUP) de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via foliar, em função de aplicações foliares de glifosato (a) e de fosfito de potássio (b). Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando cultivares dentro de aplicação de glifosato e doses de fosfito em cada cultivar, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada cultivar e cultivares dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

No experimento com fornecimento de fosfito via radicular, a EUP não foi significativamente afetada pelas concentrações de fosfito, mostrando que, embora a EAP fosse aumentada, com a adição de fosfito na solução nutritiva, este efeito não resultou em melhor EUP. No experimento com fornecimento de fosfito via foliar, a EUP foi significativamente influenciada pela interação dupla entre cultivares x doses de fosfito, mas, de forma pouco pronunciada e sem uma tendência clara.

A Leitura SPAD, realizada nos primeiro e segundo trifólios totalmente expandidos a partir do ápice da soja em estágio fenológico R2, foi afetada significativamente pela interação tripla entre os fatores estudados, em ambos os experimentos. No entanto, a variação dos valores, embora significativa, em geral não foi pronunciada (Gráficos 17 e 18).

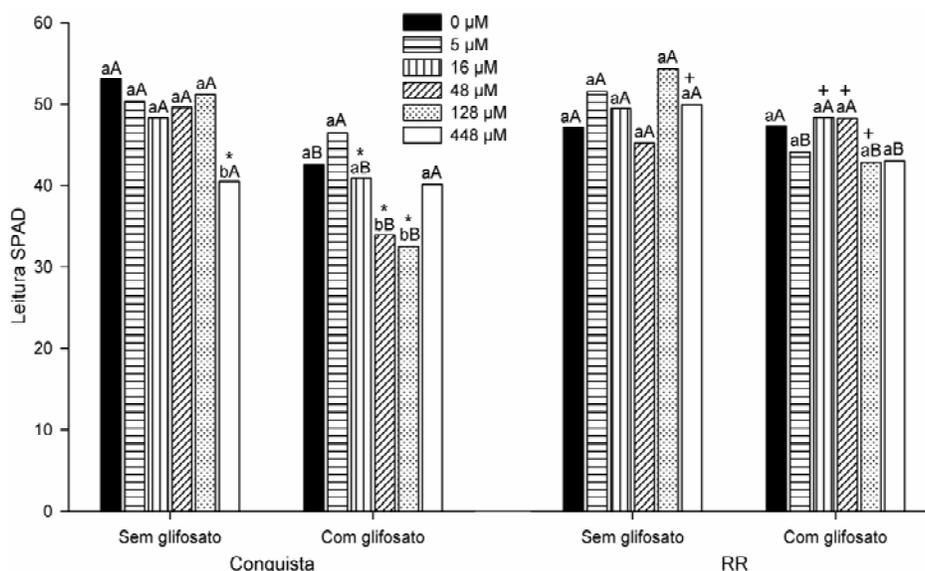


Gráfico 17 Leitura SPAD do limbo foliar de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfito via radicular, em função da aplicação foliar de glifosato e concentrações de fosfito. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de fosfito dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando as aplicações de glifosato em cada concentração de fosfito e cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Médias seguidas por símbolos diferentes (* e +), comparando as cultivares dentro de cada concentração de fosfito e aplicação de glifosato, diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

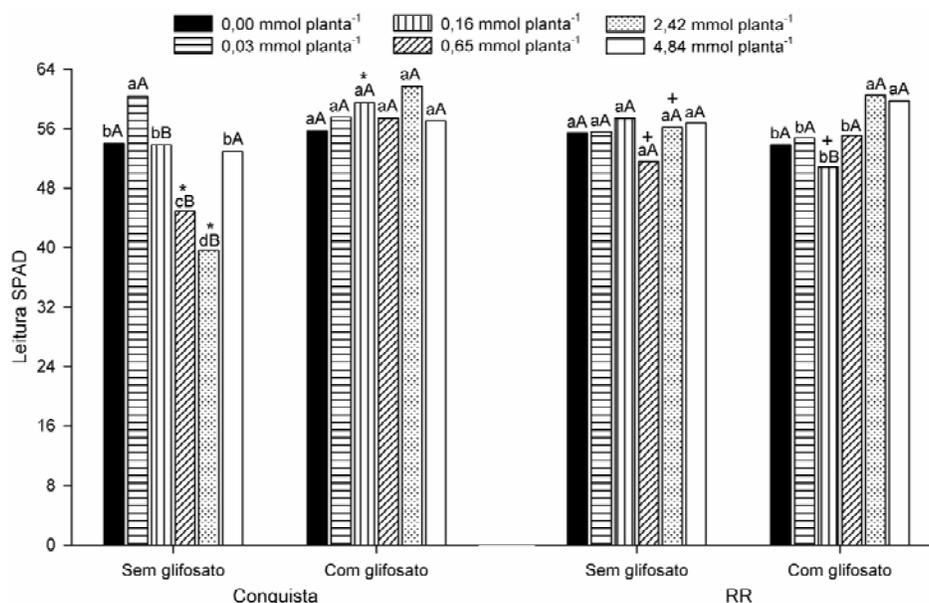


Gráfico 18 Leitura SPAD do limbo foliar de cultivares de soja (Conquista e RR) para o experimento com fornecimento de fosfíto via foliar, em função de aplicações foliares de glifosato e de fosfíto de potássio. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as doses de fosfíto dentro de aplicação de glifosato, e maiúscula, comparando a aplicação de glifosato em cada dose de fosfíto e cultivar, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Médias seguidas por símbolos diferentes (* e +), comparando as cultivares dentro de cada dose de fosfíto e aplicação de glifosato, diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

Observou-se que a leitura SPAD tendeu a diminuir para a cv. Conquista com a aplicação do glifosato no experimento com fornecimento de fosfíto via radicular (Gráfico 17) e, comportamento inverso foi encontrado no experimento com fornecimento de fosfíto via foliar (Gráfico 18) em doses intermediárias de fosfíto de potássio. A cv. RR não teve variações consideráveis de valores da leitura SPAD em função dos tratamentos, para ambos os experimentos. Em geral, quando houve alterações significativas de leitura SPAD em função dos efeitos das concentrações de fosfíto fornecidas na solução nutritiva, ou, das

doses de fosfito de potássio, aplicadas via foliar, não foi verificado uma tendência clara para ambas as cultivares.

A leitura SPAD constitui numa estimativa do teor de clorofilas na folha; o aparelho que efetua essa leitura possui diodos que emitem luz na faixa de 650nm e 940nm, sendo que, a absorbância das clorofilas é eficiente em 650nm (BLACKMER; SCHEPERS, 1995; NEVES et al., 2005). As clorofilas são pigmentos cloroplastídios responsáveis pela captura de radiação solar que durante o processo de fotossíntese é convertida em energia química na forma de ATP e NADPH, por isso são estreitamente relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, ao seu crescimento e adaptabilidade a diferentes condições (TAIZ; ZEIGER, 2004).

No experimento com fornecimento de fosfito via radicular, a branda redução nos valores da leitura SPAD exibida pela cv. Conquista tratada com glifosato pode ser devido ao dano do herbicida à clorofila ou à imobilização de Mg e Mn requeridos para a produção e exercício do papel da clorofila, respectivamente (REDDY; RIMANDO; DUKE, 2004; ZOBIOLE et al., 2010a, b). Nandula et al. (2007) e Moldes et al. (2008) relataram diminuição do teor de clorofila em soja sob aplicação de glifosato.

5 CONCLUSÃO

O fornecimento do ânion fosfito na solução nutritiva sob adequada disponibilidade de fosfato e ausência de patógenos aumenta o acúmulo de fósforo nos tecidos do sistema radicular da soja, entretanto, não há alteração na produção de grãos da mesma.

O ânion fosfito, mesmo quando fornecido de forma contínua através da solução nutritiva, ou, quando fornecido através de pulverização foliar, não é capaz de amenizar os efeitos tóxicos causados pelo glifosato na soja.

A soja cv. RR possui boa tolerância ao glifosato, enquanto que a cv. Conquista é negativamente afetada na presença desse herbicida.

REFERÊNCIAS

AFEK, U.; SZTEJNBERG, A. Effects of Fosetyl-Al and phosphorus on scoparone, a phytoalexin associated with resistance of citrus to *Phytophthora citrophthora*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 79, n. 7, p. 736-739, 1989.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. 13. ed. São Paulo: FNP, 2008. 504 p.

ARAÚJO, J. L. **Crescimento e nutrição fosfatada do feijoeiro em função da aplicação via radicular e foliar do fosfito**. 2008. 77 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ÁVILA, F. W. **Fosfito no crescimento, nutrição fosfatada e aspectos da indução de resistência em milho**. 2009. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 9/10, p. 1791-1800, 1995.

BRACKMANN, A. et al. Controle de podridão pós-colheita de *Penicillium* spp. em maçã ‘fuji’ com fosfitos e fungicidas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 251-254, 2005.

CAKMAK, I. et al. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium and iron in nonglyphosate resistant soybean. **European Journal of Agronomy**, Córdoba, v. 31, n. 3, p. 114-119, 2009.

CASTRO, P. R. C. A rota do ácido chiquímico e sua importância na defesa da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 119, p. 3, set. 2007.

Disponível em:

<[http://www.ipni.net/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/\\$FILE/Page1-3-119.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/$FILE/Page1-3-119.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2010.

CLARKSON, D. T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Los Angeles, v. 36, n. 1, p. 77-115, 1985.

COLE, D. J. Mode of action of glyphosate: a literatura analysis. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p. 48-74.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos, terceiro levantamento. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_12_09_16_39_39_boletim_portugues_-dez_de_2010..pdf>. Acesso em: 15 dez. 2010.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. Adoção e consumo no Brasil e no mundo. In: _____. **O que você precisa saber sobre transgênicos**. São Paulo, 2009. p. 16-17. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/guia_transgenicos_maio09.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2010.

COOK, P. J. et al. Inhibition of *Pythium* spp. and suppression of Pythium Blight of Turfgrasses with phosphonate fungicides. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 93, n. 8, p. 809-814, Aug. 2009.

CUNHA, C. S. M. et al. Comparação de métodos na detecção de sementes de soja geneticamente modificada resistente ao glifosato. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 27, n. 1, p. 167-175, 2005.

DANIEL, R.; GUEST, D. Defense responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora*-challenged *Arabidopsis thaliana*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 67, n. 3/5, p. 194-201, 2006.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DENIS, M. H.; DELROT, S. Carrier-mediated uptake of glyphosate in broad bean (*Vicia faba*) via a phosphate transporter. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 87, n. 4, p. 569-575, 1993.

DEVINE, M. D.; DUKE, S. O.; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 441 p.

DUKE, S. O.; CERDEIRA, A. L.; MATALLO, M. B. Uso de herbicidas e seus efeitos em doenças vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 115, p. 1-4, set. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A origem do grão, histórico no Brasil**. 2010. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=112&cod_pai=33>. Acesso em: 01 jan. 2011.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 182 p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University Cooperative Extension Service, 1977. 12 p. (Special report, 80).

FENN, M. E.; COFFEY, M. D. Quantification of phosphonate and ethyl phosphonate in tobacco and tomato tissues and significance for the mode of action of two phosphonate fungicides. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 79, n. 1, p. 76-82, 1989.

FENN, M. E.; COFFEY, M. D. Studies on the *in vitro* and *in vivo* antifungal activity of Fosetyl-Al and phosphorous acid. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 74, n. 5, p. 606-611, 1984.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FÖRSTER, H. et al. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 82, n. 10, p. 1165-1170, Oct. 1998.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura**. [S. l.]: ACADCOM, 2005. 66 p. ISBN 85-98437-01-8.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E. **Indicações para o uso de glyphosate em soja transgênica**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 3 p. (Circular técnica, 49).

GODOY, M. C. **Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fósforo pela soja**. 2007. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)– Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2007.

GRANT, B. R.; GRANT, J.; HARRIS, J. Inhibition of growth of *Phytophthora infestans* by phosphate and phosphonate in defined media. **Experimental Mycology**, Aberdeen, v. 16, p. 240-244, Sept. 1992.

GRAVENA, R. **Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas de citros atingidas pelo glyphosate**. 2006. 144 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)—Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

GRIFFITH, J. M.; COFFEY, M. D.; GRANT, B. R. Phosphonate inhibition as a function of phosphate concentration in isolates of *Phytophthora palmivora*. **Journal of General Microbiology**, Reading, v. 139, n. 9, p. 2109-2116, 1993.

GRIS, C. F. **Qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e RR associada ao conteúdo de lignina**. 2009. 134 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

GUEST, D.; GRANT, B. R. The complex action of phosphonates as antifungal agents. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 66, n. 2, p. 159-187, 1991.

HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. **Circular California Agricultural Experiment Station**, Berkeley, n. 347, p. 1-32, Jan. 1950.

JACKSON, T. J. et al. Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 147-154, Feb. 2000.

JOHNSON, D.; INGLIS, D. A.; MILLER, J. S. Control of potato tuber rots caused by oomycetes with foliar applications of phosphorous acid. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 88, n. 10, p. 1153-1159, Oct. 2004.

KEEN, N. T.; HOLLIDAY, M. J.; YOSHIKAWA, M. Effects of glyphosate on glyceollin production and the expression of resistance to *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* in soybean. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 72, n. 11, p. 1467-1470, 1982.

KILLMER, J.; WIDHOLM, J.; SLIFE, F. Reversal of glyphosate inhibition of carrot cell culture growth by glycolytic intermediates and organic and amino acids. **Plant Physiology**, Rockville, v. 68, n. 6, p. 1299-1302, 1981.

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPs: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 139-146, 2000.

LATORRE, D. O. et al. Efeitos da interação de glyphosate e fósforo sobre a cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 1517-1521.

LEE, T. M.; TSAI, P. F. The effects of phosphate on phosphate starvation responses of *Ulva lactuca* (*Ulvales chlorophyta*). **Journal of Phycology**, Oxford, v. 41, n. 5, p. 975-982, Oct. 2005.

LOVATT, C. J.; MIKKELSEN, R. L. Phosphite fertilizers: what are they? Can you use them? What can they do? **Better Crops**, California, v. 90, n. 4, p. 1-11, 2006.

LUCAS, R. E.; WARNCKE, D. D.; THORPE, V. A. Phosphite injury to corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 1063-1065, Nov./Dec. 1979.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MAROCHI, A. Estudos sobre o manejo antecipado da soja Roundup Ready®. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 115, p. 28, set. 2006. Disponível em: <[http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/7759ddc6878ca7eb83256d05004c6dd1/\\$FILE/Page-28-115.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/7759ddc6878ca7eb83256d05004c6dd1/$FILE/Page-28-115.pdf)> Acesso em: 15 dez. 2010.

MCDONALD, A. E.; GRANT, B. R.; PLAXTON, W. C. Phosphite (phosphorous acid): its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 10, p. 1505-1519, Oct. 2001.

MELHORANÇA FILHO, A. L. et al. Efeito de glyphosate sobre características produtivas em cultivares de soja transgênica e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 322-333, 2010.

MOLDES, C. A. et al. Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 30, n. 4, p. 469-479, 2008.

MOOR, U. et al. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 119, n. 3, p. 264-269, Feb. 2009.

MORIN, F. et al. Glyphosate uptake in *Catharanthus roseus* cells: role of a phosphate transporter. **Pesticide Biochemistry Physiology**, Amherst, v. 58, n. 1, p. 13-22, May 1997.

MUNDSTOCK, C. M. **Soja**: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Evangraf, 2005. 31 p.

NANDULA, V. K. et al. Glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine max*) and canola (*Brassica napus*) dose response and metabolism relationships with glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 9, p. 3540-3545, Apr. 2007.

NEMESTOTHY, G. S.; GUEST, D. I. Phytoalexin accumulation, phenylalanine ammonia lyase activity and ethylene biosynthesis in Fosetyl-Al treated resistant and susceptible tobacco cultivars infected with *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 37, p. 207-219, Sept. 1990.

NEVES, O. S. C. et al. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 517-521, 2005.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. et al. Interação entre sistemas de manejo e de controle de plantas daninhas em pós-emergência afetando o desenvolvimento e a produtividade da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 721-732, 2006.

ORBOVIĆ, V. et al. Citrus seedling growth and susceptibility to root rot as affected by phosphite and phosphate. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 4, p. 774-787, 2008.

REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 52, n. 56, p. 5139-5143, Aug. 2004.

RODRIGUES, J. J. V.; WORSHAM, A. D.; CORBIN, F. T. Exudation of glyphosate from wheat (*Triticum aestivum*) plants and its effects on intraplanting corn (*Zea mays*) and soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**, Chichester, v. 30, n. 1, p. 316-320, 1982.

RÖMHELD, V. Dinâmica do glifosato nas rizosferas das plantas alvo e não alvo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 119, p. 3-5, set. 2007.

Disponível em:

<[http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/\\$FILE/Page3-5-119.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/$FILE/Page3-5-119.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2010.

ROZANE, D. E. et al. Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por portas-enxerto de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1020-1026, 2007.

SALA, F. C. et al. Phosphite effect on hot and sweet pepper reaction to *Phytophthora capsici*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 492-495, 2004.

SANTOS, L. D. T. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.

SANTOS, L. D. T. et al. Micromorfologia foliar na análise da fitotoxidez por glyphosate em *Eucalyptus grandis*. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 711-720, 2009.

SCHROETTER, S. et al. Effects of phosphite on phosphorus supply and growth of corn (*Zea mays*). **Landbauforschung Volkenrode**, Braunschweig, v. 56, n. 3/4, p. 87-99, Sept. 2006.

SHEARER, B. L.; FAIRMAN, R. G. A stem injection of phosphate protects *Banksia* species and *Eucalytus marginata* from *Phytophthora cinnamomi* for at least four years. **Australian Plant Pathology**, Collingwood, v. 36, n. 1, p. 78-86, 2007.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimations and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, A. C. et al. Micorrização e épocas de dessecação de *Brachiaria brizantha* no desenvolvimento da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 271-277, 2006.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA. **Anuários estatísticos**: 1999 a 2008. São Paulo, 2010. Disponível em:
<<http://www.sindag.com.br/upload/OSetordeDefensivosagricolasnoBrasil.doc>>.
Acesso em: 27 nov. 2010.

SINGH, V. K. et al. Phosphite accelerates programmed cell death in phosphate-starved oilseed rape (*Brassica napus*) suspension cell cultures. **Planta**, Berlin, v. 218, n. 2, p. 233-239, Dec. 2003.

SMILLIE, R.; GRANT, B. R.; GUEST, D. The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora spp.* in plants. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 79, n. 9, p. 921-926, 1989.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

THAO, H. T. B. et al. Growth response of komatsuma (*Brassica rapa* var. peruviridis) to root and foliar applications of phosphate. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 308, n. 1/2, p. 1-10, July 2008.

THAO, H. T. B.; YAMAKAWA, T. Phosphite (phosphorous acid): fungicide, fertilizer or bio-stimulator? **Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 55, n. 2, p. 228-234, 2009.

THAO, H. T. B.; YAMAKAWA, T.; SHIBATA, K. Effect of phosphite-phosphate interaction on growth and quality of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 172, n. 3, p. 378-384, 2009.

TICCONI, C. A.; DELATORRE, C. A.; ABEL, S. Attenuation of phosphate starvation responses by phosphite in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 127, n. 3, p. 963-972, Nov. 2001.

VARADARAJAN, D. K. et al. Phosphite, an analog of phosphate suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 129, n. 3, p. 1232-1240, July 2002.

WILKINSON, C. J. et al. Effect of phosphite on in planta zoospore production of *Phytophthora cinnamomi*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 50, n. 5, p. 587-593, Oct. 2001.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. Glifosato, herbicida com singular modo de ação: efeitos secundários e implicações fisiológicas e agronômicas. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMA AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL EM COLHEITA ECONÔMICA MÁXIMA, 1., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SASCEM, 2004. p. 1-45. Disponível em:
<[http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/b2aaf15da221a95785256a6d006d7a23/425d07bd384d51950325704a004dbe75/\\$FILE/Anais%20Yamada%20e%20Paulo%20Castro.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/b2aaf15da221a95785256a6d006d7a23/425d07bd384d51950325704a004dbe75/$FILE/Anais%20Yamada%20e%20Paulo%20Castro.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2011.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Glyphosate affects lignin content and amino acid production in glyphosate-resistant soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 32, n. 5, p. 831-837, 2010a.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Uso de aminoácido exógeno na prevenção de injúrias causadas por glyphosate na soja RR. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 643-653, 2010b.