

**ABSORÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS EM FEIJOEIRO COMUM
EM RESPOSTA A SUBDOSES DE GLYPHOSATE**

WANDERSON SOUZA RABELLO

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
OUTUBRO – 2010**

ABSORÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS EM FEIJOEIRO COMUM
EM RESPOSTA A SUBDOSES DE GLYPHOSATE

WANDERSON SOUZA RABELLO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Pedro Henrique Monnerat

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

OUTUBRO – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 003/2011

Rabello, Wanderson Souza

Absorção de nutrientes minerais em feijoeiro comum em resposta a subdoses de glyphosate / Wanderson Souza Rabello. – 2010.
76 f.: il.

Orientador: Pedro Henrique Monnerat

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.

Bibliografia: f. 51 – 64.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Glyphosate 3. Absorção 4. Fósforo I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 635.652

ABSORÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS EM FEIJOEIRO COMUM
EM RESPOSTA A SUBDOSES DE GLYPHOSATE

WANDERSON SOUZA RABELLO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em, 21 de outubro de 2010.

Comissão examinadora:

Prof: Gilmar Santos Costa (D. S., Produção Vegetal) – IFF

Prof^a: Marta Simone Mendonça Freitas (D. S., Produção Vegetal) – UENF

Prof: Silvério de Paiva Freitas (D. S., Fitotecnia) - UENF

Prof: Pedro Henrique Monnerat (Ph. D., Nutrição Mineral de Plantas) – UENF
Orientador

*Quando paro pra pensar em teu grande amor
Penso: Pode Deus amar a mim pecador?
Ao sentir o teu poder manifesto em mim
Eu não consigo compreender porque me amas tanto assim*

*Pois o senhor é minha rocha, meu refúgio é o senhor
Não temerei mais Forte serei quando o mal sobre mim vier
Pois o senhor é minha fortaleza e meu protetor
Se em provação me ajudas, grande é o amor que tens por mim.*

*Quando olho para os céus, obra de tuas mãos
Vejo o quanto és grande ó Deus por tua criação
Ó meu pai, Senhor da luz, sou um pecador
Mas sei que o sangue de Jesus
Faz de mim um **Vencedor***

Sueudo Fernandes

AGRADECIMENTOS

A **Deus** que é merecedor de todo o meu louvor;

A **Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF**, por possibilitar a realização desse trabalho e pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Professor **Pedro Henrique Monnerat** pela amizade, ensinamentos, paciência, orientação e apoio durante todo o curso;

Ao Professor **Silvério de Paiva Freitas** pela ajuda e aconselhamento;

A **Marcela Campanharo** pela amizade, força, companheirismo e ajuda na realização desse trabalho;

Ao **Sr. José Accácio da Silva** pela amizade e ajuda nas análises e aos amigos **Leandro Mendel da Cruz** e **Guilherme Ribeiro**;

A **Igreja Cristã Maranata de Alphaville** – Campos dos Goytacazes, pelo acolhimento, alegrias, força, experiências alcançadas nesses dois anos de convívio;

Aos amigos adquiridos em Campos dos Goytacazes, mas principalmente por ter conhecido **Pedro Gimenes** e **Nielsen Santos**, amigos inesquecíveis;

Aos meus pais, **Antônio e Maria da Penha Rabello** e a toda a **família Rabello** pelo apoio, pelas orações e pela ajuda;

Ao **amor da minha vida, Danuza Barbosa**, pela paciência, pelas orações e por ter estado ao meu lado desde o início desse trabalho;

Aos amigos e colegas da Pós-Graduação em Produção Vegetal.

SUMÁRIO

RESUMO -----	VI
ABSTRACT -----	VIII
1. INTRODUÇÃO -----	1
1.1. Objetivos -----	2
2. REVISÃO DE LITERATURA -----	3
2.1. Glyphosate -----	3
2.1.1. Importância e características -----	3
2.1.2. Absorção, translocação e metabolização pelas plantas -----	5
2.1.3. Mecanismo de ação -----	6
2.1.4. Efeitos secundários -----	8
2.1.5. Efeitos na nutrição mineral de plantas -----	9
3. TRABALHOS -----	13
3.1. CRESCIMENTO E TEORES DE NUTRIENTES DO FEIJOEIRO COMUM EM RESPOSTA A SUBDOSES DE GLYPHOSATE -----	13
RESUMO -----	13
ABSTRACT -----	14
1. INTRODUÇÃO -----	15
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	18
4. CONCLUSÕES -----	28
REFERÊNCIAS -----	29

3.2. ABSORÇÃO DE FÓSFORO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO COMUM EM RESPOSTA A SUBDOSES DE GLYPHOSATE	33
RESUMO -----	33
ABSTRACT -----	34
1. INTRODUÇÃO -----	35
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	38
4. CONCLUSÕES -----	45
REFERÊNCIAS -----	46
RESUMO E CONCLUSÕES -----	49
REFERÊNCIAS -----	51

RESUMO

RABELLO, Wanderson Souza. M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Outubro de 2010. Absorção de nutrientes minerais em feijoeiro comum em resposta a subdoses de glyphosate. Orientador: Prof. Pedro Henrique Monnerat.

O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do glyphosate na absorção de nutrientes e no crescimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Nesse sentido, foram conduzidos dois experimentos. No primeiro experimento avaliou-se o efeito de subdoses de glyphosate no crescimento e nos teores de nutrientes minerais da cultivar Pérola. Este experimento foi conduzido em esquema fatorial 4x2 em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses 0; 14,4; 43,2 e 86,4 g ha⁻¹ de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate correspondentes a 0; 1, 3 e 6% da dose recomendada do produto comercial Roundup WG[®] e o segundo fator constituído pelos solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb. Aos 10 e 20 DAA, duas plantas por vaso, em cada época de coleta, foram coletadas e separadas em folhas e ramos. Posteriormente obteve-se a massa seca das folhas e ramos e os teores de macro e micronutrientes nas folhas do feijoeiro. No segundo experimento avaliou-se o efeito de subdoses de glyphosate na absorção de fósforo, na composição mineral e no crescimento da cultivar Xodó. Este experimento foi conduzido em esquema fatorial 4x2 em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses 0; 4,32; 8,64 e 12,96 g ha⁻¹ de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate correspondente a 0; 0,3; 0,6 e 0,9% da dose recomendada do produto comercial Roundup WG[®] e o

segundo fator constituído por níveis de fósforo no solo (50 e 250 mg dm⁻³). Aos 30 DAA, as plantas foram colhidas e separadas em folhas, ramos, raízes e vagens. Obteve-se então a massa seca de folhas, ramos, raízes, vagens e os teores de macro e micronutrientes nas folhas e ramos. No primeiro experimento observou-se que as subdoses de 43,2 g ha⁻¹ e 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate interferiram negativamente nos teores de nutrientes e no crescimento do feijoeiro Pérola e que a subdose de 14,4 g ha⁻¹ promoveu aumento nos teores de P, K, Ca, Fe, Cu e Ni aos 20 DAA do glyphosate. No segundo experimento observou-se que as subdoses de glyphosate não afetaram a absorção de P, porém observou-se que a subdose de 12,96 g ha⁻¹ aumentou a absorção de N, Ni, Mo e Cu do feijoeiro, assim como proporcionou incrementos na produção de massa seca e no número de folhas do feijoeiro “Xodó”.

ABSTRACT

RABELLO, Wanderson Souza. M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. October, 2010. Absorption of nutrients in the common bean in response to reduced rates of glyphosate. Advisor: Prof. Pedro Henrique Monnerat.

The research aimed to evaluate the effect of glyphosate on nutrient uptake and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Accordingly, two experiments were conducted. In the first experiment will be seen the effect of sublethal glyphosate on growth and mineral nutrient content of Pérola farming. This experiment was conducted in a 4x2 factorial block design with four replications, with the first factor by sublethal 0, 14.4, 43.2 and 86.4 g ha⁻¹ acid equivalent (ae) of the commercial product Roundup WG[®], and the second factor consisting of soil, Quartzipsamment soil and Paleudalf Tb. At 10 and 20 DAA, two plants per pot at each harvest time were collected and separated into leaves and branches. Subsequently obtained a dry mass of leaves and twigs and the levels of macro and micronutrients in leaves of bean. In the second experiment will be seen the effect of sublethal glyphosate phosphorus uptake, mineral composition and growth of the cultivar Xodó. This experiment was conducted in a 4x2 factorial block design with four replications, with the first factor by sublethal 0, 4.32, 8.64 and 12.96 g ha⁻¹ acid equivalent (ae) of the commercial product Roundup WG[®], and the second factor consists of soil phosphorus levels (50 and 250 mg dm⁻³). 30 DAA, the plants were harvested and separated into leaves, branches, roots and pods. Was obtained then the dry mass of leaves, twigs, roots, pods and contents of macro

and micronutrients in leaves and branches. In the first experiment showed that the sublethal 43.2 g ha⁻¹ and 86.4 g ha⁻¹ glyphosate interfered negatively in the nutrient and growth of bean Pérola and that the dose of 14.4 g ha⁻¹ promoted an increase in levels of P, K, Ca, Fe and Cu at 20 days after application of glyphosate. In the second experiment showed that the sublethal glyphosate did not affect P uptake, but there was that the suboptimal dose of 12.96 g ha⁻¹ increased uptake of N, Ni, Mo and Cu bean, as well as caused an increase in dry weight and number of leaves of bean "Xodó".

1.0. INTRODUÇÃO

O glyphosate (N-phosphonomethyl-glycine) é um herbicida não-seletivo, sistêmico, pós-emergente, de elevada eficácia no controle de plantas daninhas anuais ou perenes. É o principal herbicida em utilização no mundo (Baylis, 2000; Santos et al., 2006; Service, 2007), sendo recomendado para controle de plantas daninhas em atividades agrícolas e não-agrícolas. O seu uso crescente no mundo se deve principalmente à sua elevada eficiência, ao baixo custo (Baylis, 2000; Eker et al., 2006; Service, 2007) e nos últimos anos, ao desenvolvimento de cultivares geneticamente modificadas tolerantes ao herbicida (Santos et al., 2007).

Em regiões em que o glyphosate é utilizado intensamente, a deriva pode conduzir quantidades detectáveis de resíduos em áreas que não receberam a aplicação do produto (Laitinen et al., 2007). Segundo Schroder et al. (2000), em pulverizações com ventos de 2 m s^{-1} a deriva de glyphosate pode atingir até 160 m do local considerado alvo.

A detecção dos danos causados por deriva de herbicidas tem grande importância, pois, enquanto as perdas ocasionadas por esse fator não forem facilmente identificadas, produtores de plantas sensíveis em áreas adjacentes podem ter substanciais reduções na produção sem identificar a verdadeira causa (Schroeder et al., 1983). O grau de injúria e os sintomas observados são afetados por fatores como a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta, o clima, o mecanismo de ação e a dose do herbicida (Al-Khatib e Peterson, 2003).

A iminente possibilidade de efeitos indesejáveis da deriva de glyphosate nas plantas tem levado a várias pesquisas. Grande parte dessas pesquisas limita-se a estudar o efeito de subdoses de glyphosate no crescimento, na produção e

sintomas de intoxicação das culturas. Porém, Tuffi Santos et al. (2006) observaram que em eucalipto a intoxicação é caracterizada por alterações morfológicas e sintomas semelhantes aos de distúrbios nutricionais, tais como deficiência de cálcio, zinco e boro. Apesar disso, poucos são os trabalhos que têm sido desenvolvidos com o objetivo de estudar os efeitos do glyphosate na nutrição mineral de plantas.

Nesse sentido, Eker et al. (2006) estudando o efeito da deriva de glyphosate, observaram que a subdose de 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate reduziu a absorção, translocação e acumulação de Fe e Mn no girassol. Por outro lado, Godoy (2007) avaliando o efeito de subdoses de glyphosate no crescimento e absorção de fósforo pela soja transgênica e convencional concluiu que subdoses de glyphosate estimularam o acúmulo de fósforo nas plantas, sendo esse efeito mais pronunciado nas plantas adubadas com 50 mg dm⁻³ de fósforo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de subdoses de glyphosate no:

- Crescimento e teores de nutrientes minerais do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola cultivado em dois tipos de solo.

- Crescimento, absorção de fósforo e composição mineral do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Xodó submetido a duas doses de fósforo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Glyphosate

2.1.1. Importância e características

O glyphosate (N-phosphonomethyl-glycine), originalmente é um ácido que foi sintetizado pela primeira vez em 1950. Somente vinte anos mais tarde, em 1970, J. E. Franz (Monsanto Agricultural) descobriu a propriedade herbicida desta molécula (Braguini, 2005). Devido à limitada solubilidade (1,2% a 25°C) do ácido em água, os sais mais solúveis do ácido são preferidos para as formulações (Yamada e Castro, 2007). Esses sais são obtidos mediante a neutralização do glyphosate ácido com uma base apropriada (Gravena, 2006). Atualmente estão disponibilizadas no mercado mundial mais de 150 marcas comerciais de glyphosate em diversas formulações, que, apesar de apresentarem o mesmo mecanismo de ação, possuem na composição, diferentes sais, sendo os principais: sal potássico, sal de isopropilamina e de amônio (Rodrigues e Almeida, 2005).

O herbicida glyphosate é o mais utilizado em todo o mundo devido à sua elevada eficiência, ao baixo custo (Baylis, 2000; Eker et al., 2006; Service, 2007) e ao desenvolvimento de cultivares geneticamente modificadas e tolerantes ao herbicida (Santos et al., 2007), sendo recomendado para o controle de plantas daninhas em atividades agrícolas e não-agrícolas. É um herbicida sistêmico, pós-

emergente e não-seletivo que controla um grande número de espécies de plantas daninhas, anuais e perenes, liliopsida ou magnoliopsida. A fórmula estrutural e o principal produto de decomposição do glyphosate, o AMPA (Ácido aminometilfosfônico) pode ser verificado abaixo (Figura 1).

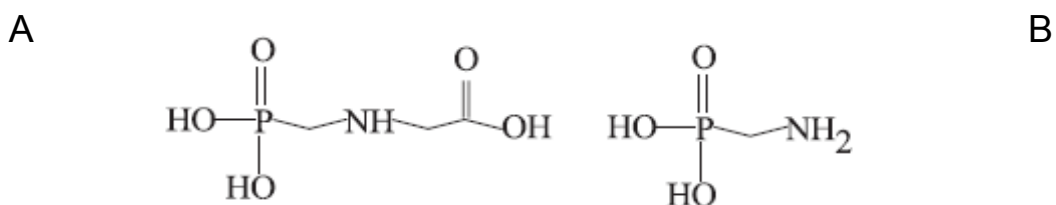


Figura 1 - Fórmula estrutural do glyphosate (A) e de seu principal produto de decomposição, o AMPA (Ácido aminometilfosfônico) (B).

O herbicida cuja fórmula molecular é $C_3H_8NO_5P$ pertence ao grupo químico das glicinas substituídas. Herbicidas derivados da glicina ou herbicidas fosfonados são caracterizados pela presença de um ou mais grupo $R(R-PO(OH)_2)$ (Braguini, 2005). Segundo Barja et al. (2001), o grupo fosfonato tem a habilidade de formar fortes complexos com metais, o que influencia a ocorrência e a velocidade de transporte desses compostos no meio. Além do grupo fosfonato, o herbicida possui outros dois grupos funcionais, o amino ($R-NH_2$) e o carboxilato ($R-COOH$) que também podem se complexar fortemente com íons metálicos (Pearson, 1963) especialmente com os de transição em pH próximo da neutralidade onde os grupos carboxilato e fosfonato estão desprotonados (Subramaniam e Hoggard, 1988).

Para Coutinho e Mazo (2005) a perda da atividade herbicida do glyphosate no solo deve-se principalmente, à formação de complexos metálicos. Nas plantas a formação desses complexos pode reduzir a disponibilidade de nutrientes (Eker et al., 2006; Cakmak et al., 2009). Plantas que secretam cátions, por exemplo, cálcio na superfície foliar, também podem ter a absorção de nutrientes prejudicada, pois pode haver formação de complexos insolúveis com o glyphosate antes do herbicida penetrar a cutícula (Hall et al., 2000). Além disso, a utilização de água dura na solução “spray” de glyphosate, pode resultar na formação de sais complexos insolúveis, que não são absorvidos pelas plantas, reduzindo a eficácia da aplicação do composto (Thelen et al., 1995; Bailey et al., 2002).

A adição de cátions monovalentes, como NH_4^+ ao glyphosate pode resultar em aumento da fitotoxicidade do herbicida (Wills e McWhorter, 1985). Isso ocorre, porque o NH_4^+ pode competir com sítios de ligação no glyphosate (Thelen et al., 1995). Se a forma nitrogenada for o sulfato de amônio, pode ocorrer também a precipitação de sulfato de cálcio (CaSO_4) reduzindo a disponibilidade de cálcio para se ligar ao glyphosate (Nalewaja et al., 1992). A acidificação da calda também favorece a absorção do glyphosate (Wang e Liu, 2006; Young et al., 2003).

2.1.2. Absorção, translocação e metabolização pelas plantas

A absorção do glyphosate é caracterizada por uma rápida penetração inicial através da cutícula, seguida de uma absorção lenta (Gravena, 2006). Em folhas isoladas de feijão, Brecke e Duke (1980) observaram que a absorção foi rápida e linearmente progressiva quatro horas após a sua aplicação. Já para Bridges (2003) essa absorção pelas plantas ocorre de forma mais lenta.

A difusão é o principal processo de transporte de glyphosate pela cutícula (Caseley e Coupland, 1985; Hetherington, 1998). Devido à sua baixa lipofilicidade ($K_{ow} = -4,1$), a sua passagem para o apoplasto segue um caminho aquoso ou hidrofílico através da cutícula lipofílica (Caseley e Coupland, 1985). De forma geral a absorção do glyphosate aumenta com a redução no volume de aplicação (Ramsdale et al., 2003) e com o aumento de sua concentração (Cranmer e Linscott, 1991; Liu et al., 1996).

Após atingir o apoplasto o glyphosate pode ser absorvido por mais de um mecanismo. Quando o herbicida está em baixas concentrações, um transportador de fosfato pode ser responsável pela sua absorção e em altas concentrações o processo predominante é a difusão (Hetherington, 1998). Trabalhando com *Pseudomonas* sp. Strain PG2982, Fitzgibbon e Braymer (1988) observaram que a absorção de glyphosate foi induzida pela deficiência de fósforo e concluíram que o sistema transportador de fosfato, que possui ampla especificidade de substrato, pode ser responsável por essa absorção.

Após ser absorvido o glyphosate é rapidamente distribuído no interior das plantas, tanto via simplasto quanto via apoplasto (Jachetta et al., 1986). Essa

distribuição está associada às velocidades de transporte de açúcares no floema. Isso ocorre porque o glyphosate segue a mesma rota dos produtos da fotossíntese (açúcares), se direcionando das folhas fotossinteticamente ativas às partes das plantas que utilizam esses açúcares (Monquero, 2004), com tendência de se acumular em folhas jovens, raízes e meristemas.

Pouco se sabe sobre a degradação do glyphosate em plantas (Reddy et al., 2004). Entretanto, tem sido conjecturado que sua metabolização pode ocorrer por meio de duas rotas similares àquelas presentes em microrganismos (Franz et al., 1997). A primeira via envolve a clivagem da ligação C-N produzindo o AMPA (Ácido aminometilfosfônico), enquanto que a segunda envolve a clivagem da ligação C-P, pela enzima C-P liase formando sarcosina.

Segundo Toni et al. (2006), o glyphosate não é metabolizado pelas plantas, razão pela qual não apresenta seletividade. Mas, a informação que tem sido aceita é que o glyphosate é pouco metabolizado pelas plantas (Duke et al., 1988; Malik et al., 1989; Reddy et al., 2008).

O mais freqüente produto da degradação do glyphosate em plantas é o AMPA (Reddy et al., 2008). O AMPA é fitotóxico para espécies de plantas, contudo, é considerado menos ativo do que o glyphosate (Hoagland, 1980; Franz et al., 1997). Tem sido encontrado como metabólito em milho (Cessna et al., 1994), trigo (Cessna e Waddington, 1995), canola (Cessna et al., 2000), ervilha e cevada (Cessna et al., 2002), soja RR tratada com glyphosate (Duke et al., 2003) e feijão caupi (Reddy et al., 2008).

Alguns efeitos do glyphosate como redução de crescimento, clorose, necrose e deficiência de nutrientes, segundo Reddy et al. (2004) e Nandula et al. (2007) têm sido atribuídos ao AMPA e à presença de surfactantes na formulação. Por outro lado, em plantas daninhas, a presença de AMPA indica provavelmente um mecanismo de tolerância dessas plantas.

2.1.3. Mecanismo de ação

O mecanismo de ação do glyphosate consiste na inibição da enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintase (EPSPs), que atua na via do ácido chiquímico ou chiquimato. Herrmann e Weaver (1999) conceituaram a via do

chiquimato como os sete passos metabólicos iniciando com a condensação do fosfoenolpiruvato (PEP) e eritrose-4-fosfato (E4P) e finalizando com a síntese de corismato. Sob condições normais, aproximadamente 20% do carbono fixado pelas plantas passa pela rota do ácido chiquímico (Matallo et al., 2007).

A enzima EPSPs catalisa a reação na qual chiquimato-3-fosfato (S3P) reage com fosfoenolpiruvato (PEP), formando 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato (EPSP) e fósforo inorgânico (Pi). Essa reação ocorre em duas etapas, sendo que, inicialmente a enzima EPSPs se liga ao S3P formando o complexo EPSPs-S3P, e posteriormente, o PEP se encaixa nesse complexo, permitindo o prosseguimento da reação produzindo EPSP. O glyphosate não se liga em enzimas livres, mas ao complexo EPSPs-S3P, impedindo a ligação com PEP, formando o complexo inativo EPSPs-S3P-glyphosate (Herrmann e Weaver, 1999).

A ação do glifosato é bastante singular, porque ele é o único herbicida capaz de inibir especificamente a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfosintase (EPSPS) que catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfato piruvato, evitando, assim, a síntese de três aminoácidos essenciais – triptofano, fenilalanina e tirosina (Jaworski, 1972; Zablutowicz e Reddy, 2004). Esses três aminoácidos, além de serem necessários à síntese protéica, atuam como substrato para a produção de muitos outros compostos secundários, como o ácido indol acético (AIA), alcalóides, flavonóides, lignina, entre outros.

A EPSPs está presente em plantas, bactérias e fungos, mas não em animais, o que explica a baixa toxicidade do glyphosate em mamíferos (Gravena, 2006). De acordo com Yamada e Castro (2007), a disrupção da biossíntese de aminoácidos aromáticos de plantas é uma estratégia atrativa para o desenvolvimento de herbicidas com características ambientais favoráveis, porque, apesar da rota do chiquimato estar presente em plantas e em muitos microrganismos, ela é completamente ausente em mamíferos, peixes, pássaros, répteis e insetos. Essas formas de vida não dependem da rota do chiquimato porque retiram da dieta os produtos aromáticos que necessitam. Já as plantas são obrigadas a produzir estes aminoácidos essenciais para sobreviver e se propagar (Gruys e Sikorski, 1999).

2.1.4. Efeitos secundários

A inibição da enzima EPSPs pelo glyphosate impede a condensação do chiquimato a corismato, implicando em acúmulo de chiquimato na planta. O corismato é requerido na síntese de um grande número de metabólitos importantes para as plantas, como a ubiquinona, vitamina K e os aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano. Estes metabólitos por sua vez podem influenciar no crescimento, no desenvolvimento, na produção das culturas e na susceptibilidade ao ataque de patógenos. Na literatura diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de identificar possíveis danos que o glyphosate pode causar quando em contato com as plantas. Mesmo em subdoses tem sido observado que o glyphosate pode reduzir significativamente a produção de diversas culturas.

Na cultura do arroz irrigado, Ferreira et al. (2006) observaram que a subdose de 72 g ha⁻¹ de glyphosate foi suficiente para proporcionar redução no crescimento do arroz. Já na cultura do feijão, Lunkes et al. (1998) observaram que o estágio V₃ foi o mais sensível a subdoses de glyphosate e nessa fase a subdose de 21,6 g ha⁻¹ de glyphosate reduziu o rendimento do feijoeiro. Por outro lado, na cultura da soja, Ellis e Griffin (2002) observaram que subdoses de 9 a 140 g ha⁻¹ de glyphosate não proporcionaram reduções significativas na produção desta cultura. De qualquer forma, tem sido verificado prejuízo utilizando-se subdoses de glyphosate em tomate (Figueiredo et al., 2007), maracujá (Wagner Junior et al., 2008), eucalipto (Tuffi Santos et al., 2007), pêssego (Tuffi Santos et al., 2006) e algodão (Yamashita e Guimarães, 2005) entre outras.

Pelo fato do glyphosate influenciar na produção de metabólitos envolvidos com a defesa das plantas, também pode interferir na susceptibilidade ao ataque de patógenos. Liu et al. (1997), verificaram que a infecção por *Phythium* spp. em feijoeiro pode ser favorecida pelo glyphosate devido à redução na produção de lignina e estímulo à germinação e crescimento dos propágulos do patógeno no solo via exsudados da planta. Em soja, Keen et al. (1982) constaram que o uso de subdoses de glyphosate afetou a expressão da resistência de soja a *phytophthora infestans* f.sp. Glycinea pela redução no acúmulo de gliceolina, uma fitoalexina.

Apesar das inúmeras implicações que o glyphosate pode provocar quando em contato com as culturas agrícolas, em algumas circunstâncias a aplicação de

subdoses de glyphosate pode ser benéfica para plantas cultivadas, como a sua utilização como maturador na cana-de-açúcar. Trabalhos desenvolvidos por (Schabenberger et al., 1999; Duke et al., 2006; Cedergreen, 2008a) têm demonstrado que subdoses de glyphosate também podem estimular o crescimento de algumas plantas. Esse fenômeno que algumas substâncias apresentam, de serem benéficas em baixas doses e letais em doses elevadas, foi descrito como Hormese por Southan e Erlich (1943).

Trabalhando com eucalipto, Vellini et al. (2008) obtiveram incremento de 58,89% na produção de massa seca de folha com a subdose de 3,1 g ha⁻¹ de glyphosate e em soja convencional obtiveram 28,66% e 22,18% de incremento na produção de massa seca da parte aérea e massa seca total, respectivamente, para a subdose de 18 g ha⁻¹ de glyphosate. Os autores também observaram incremento no crescimento do milho, *Commelina benghalensis* e *Pinus caribea*.

Em soja convencional, Godoy (2007) também observou efeitos benéficos do glyphosate. O autor observou que subdoses de glyphosate favoreceram a absorção de P e proporcionaram maior crescimento da soja. Segundo o autor, em um futuro próximo, subdoses de herbicida poderão ser intencionalmente aplicadas nas plantas como método para alterar a concentração de compostos secundários, sendo o glyphosate uma boa alternativa para esse tipo de uso, devido às repostas obtidas em alguns experimentos.

2.1.5. Efeitos na nutrição mineral de plantas

O glyphosate pode influenciar na nutrição mineral das culturas agrícolas, interferindo negativamente na concentração de macro e micronutrientes nos tecidos de algumas plantas (França, 2009; Cakmak et al., 2009). Porém, alguns resultados demonstram que em algumas circunstâncias o glyphosate pode favorecer a absorção de determinados nutrientes (Godoy, 2007).

Segundo Tuffi Santos et al. (2007), áreas de cultivo de eucalipto em que o uso do glyphosate é freqüente, alterações morfológicas e sintomas semelhantes aos distúrbios nutricionais, como deficiência de cálcio, zinco e boro, são comuns. Contudo, esses autores observaram que o glyphosate nas subdoses de 43,2; 86,4; 172,8; 345,6 e 691,2 g ha⁻¹ não reduziu o teor da maioria dos nutrientes

analisados. Ao contrário, observaram-se maiores teores de Ca, Mg, Fe, Mn e B, sobretudo nas maiores subdoses utilizadas. Porém, os próprios autores discutem que esse comportamento pode ser caracterizado como um efeito de concentração motivado pela redução do crescimento. Por outro lado, França (2009) observou que o glyphosate reduziu os teores de N, P, K, Cu e Zn das cultivares de café arábica Topázio, Oeiras e Catucaí Amarelo aos 45 dias após a aplicação.

Na soja convencional, Cakmak et al. (2009) observaram que o glyphosate mesmo em subdoses muito pequenas influenciou a nutrição mineral desta cultura. Esses autores observaram que subdoses de 0,864; 2,88; 8,64 g ha⁻¹ de glyphosate reduziram os teores de Ca em folhas novas e de Mg e Mn em folhas novas e maduras da soja convencional. Os autores não observaram efeito do glyphosate sobre os teores de K, Zn em folhas novas e de P, K, Ca, Cu, Zn e Fe, em folhas maduras, mas encontram maiores teores de P, Fe e Cu em folhas novas da soja após a aplicação do glyphosate.

No girassol o glyphosate também atuou reduzindo a absorção, translocação e distribuição de Fe e Mn (Eker et al., 2006) e diminuindo a disponibilidade de Fe (III) para a enzima redutase férrica, o que promoveu a neutralização desta enzima (Ozturk et al., 2008). Quando aplicado exclusivamente em folhas de soja geneticamente modificada também reduziu a absorção de Mn em mudas de girassol cultivadas simultaneamente no mesmo recipiente, sugerindo a inibição da absorção de nutrientes pelas raízes por transferência do glyphosate pela raiz (Neumann et al., 2006).

Na soja transgênica mesmo na dosagem recomendada para a cultura, Zobiolle et al. (2010a) observaram que o glyphosate reduziu os teores de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu e B. Da mesma forma Santos et al. (2007) também observaram que o glyphosate reduziu os teores de N, Ca, Fe, Cu, mas não verificaram efeito nos teores de P, K, S, Zn e Mn.

A natureza desse antagonismo entre nutrientes e o glyphosate ainda não é totalmente conhecida. De qualquer forma, para Bellaloui et al. (2008) os herbicidas são conhecidos por influenciar o metabolismo do nitrogênio. No caso do glyphosate isso se justifica pelo fato de alguns estudos terem demonstrado que o glyphosate pode reduzir a atividade da nitrogenase (Hernandez et al., 1999; King et al., 2001; Bellaloui et al., 2006), da redutase do nitrato (Bellaloui et al., 2006),

reduzir o conteúdo de clorofila (Pline et al., 1999; Reddy et al., 2000) e, portanto prejudicar a fixação e assimilação de nitrogênio (King et al., 2001).

Em culturas que se associam simbioticamente com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico o contato com herbicidas pode ser ainda mais prejudicial, pois podem prejudicar a eficiência na assimilação desse nutriente (Marenco et al., 1993; Royuela et al., 1998; Santos et al., 2004). Esses prejuízos devem-se à interferência direta do herbicida no metabolismo do microssimbionte, da planta hospedeira ou de ambos (Arruda et al., 2001). As variedades de soja RR contêm a enzima EPSPs proveniente de *Agrobacterium* sp. (Padgett et al., 1995), a qual é resistente ao glyphosate, entretanto os simbiontes fixadores de N₂ presentes nas raízes da soja, *Bradyrhizobium* spp., contêm a forma sensível desta enzima (Moorman et al., 1992).

Malty et al. (2006) constataram que concentrações de 0,21 mmol L⁻¹ de glyphosate inibem 50% do crescimento da estirpe de *B. japonicum* BR 86 e que concentrações de 0,45 mmol L⁻¹ inibem 100% do crescimento de todas as estirpes de rizóbios testadas. Essa sensibilidade do *Bradyrhizobium* spp. ao glyphosate é influenciada pela concentração do herbicida e pela estirpe da bactéria (King et al., 2001; Santos et al., 2004). Hernandez et al. (1999), King et al. (2001), Dvorane et al. (2008), observaram redução na nodulação por glyphosate.

Depois do nitrogênio o fósforo é o nutriente que mais limita o crescimento dos vegetais. Nas cultivares de café arábica, Topázio, Oeiras e Catucaí Amarelo, o glyphosate reduziu o teor de P aos 45 e 120 DAA (França, 2009), mas não alterou a concentração de P do eucalipto (Tuffi Santos et al., 2007). Por outro lado, Godoy (2007) observou que subdoses de glyphosate entre 1,8 e 36 g ha⁻¹ estimularam a absorção e o transporte de fósforo na soja convencional quando esta foi cultivada submetida a dois níveis de fósforo. Segundo esses autores este efeito possivelmente está associado a um aumento na expressão do gene que codifica uma proteína de transporte de fosfato em plantas de soja. Cakmak et al. (2009) também obtiveram incrementos no teor de P após aplicação do glyphosate.

Para os micronutrientes catiônicos o antagonismo com o glyphosate possivelmente está relacionado à formação de complexos insolúveis entre o glyphosate e esses elementos minerais (Hall et al., 2000; Bernards et al., 2005).

Sabe-se que em solução, o glyphosate, forma complexos com cátions metálicos, o que reduz a sua efetividade. No entanto, De Ruiten et al. (1996) também demonstraram que o glyphosate reage com Mn, Fe e outros cátions presentes na seiva do xilema de gramíneas.

Segundo Eker et al. (2006), após a absorção de glyphosate pela planta, a absorção e o transporte de micronutrientes podem ser limitados devido à formação de complexos nos tecidos. Para esses autores a formação de compostos insolúveis em partes jovens de raízes, onde particularmente o glyphosate é acumulado, pode ser responsável pela inativação fisiológica do Fe e Mn. Cakmak et al. (2009) para explicar o efeito do glyphosate sobre o Ca e Mg também postularam que esse efeito poderia ter ocorrido devido à formação de complexos estáveis insolúveis entre o glyphosate e esses cátions.

De acordo com Bott et al. (2008), observações de deficiências de micronutrientes em plantas geneticamente modificadas sugerem efeitos prejudiciais do glyphosate independente da toxidez direta. Segundo esses autores esses efeitos incluem (1) redução na disponibilidade de micronutrientes catiônicos nos solos devido à complexação interna e externa com glyphosate, ou devido aos efeitos tóxicos secundários em certos microrganismos da rizosfera, com funções (particularmente Mn) de mobilização (Huber, 2006; Neumann et al., 2006); e (2) acumulação intracelular de metabólitos tóxicos do glyphosate, como o ácido amino-metilfosfônico (AMPA) em plantas geneticamente modificadas (Reddy et al., 2004; Nandula et al., 2007).

3 – TRABALHOS

3.1. CRESCIMENTO E TEORES DE NUTRIENTES MINERAIS EM FEIJOEIRO COMUM 'PÉROLA' EM RESPOSTA A SUBDOSES DE GLYPHOSATE

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de subdoses do glyphosate no crescimento e os teores de nutrientes minerais do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola cultivado sob dois tipos de solo. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4 x 2 em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses de 0; 14,4; 43,2 e 86,4 g ha⁻¹ de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate correspondentes a 0; 1, 3 e 6% da dose recomendada do produto comercial Roundup WG ® e o segundo fator constituído pelos solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb. As avaliações foram realizadas aos 10 e 20 dias após a aplicação do glyphosate (DAA). Observou-se que o glyphosate, sobretudo nas maiores subdoses utilizadas (43,2 e 86,4 g ha⁻¹) reduziu os teores da maioria dos nutrientes analisados, em pelo menos uma das avaliações, indicando que o glyphosate interfere negativamente nos teores dos nutrientes do feijoeiro comum

cv. Pérola nessas subdoses. Entretanto, não foi observado efeito prejudicial da subdose de 14,4 g ha⁻¹ de glyphosate nos teores de nutrientes do feijoeiro. Pelo contrário, observou-se que com a aplicação desta subdose, houve um incremento nos teores de P, K, Ca, Fe e Cu aos 20 DAA. Quanto ao crescimento do feijoeiro Pérola observou-se que todas as subdoses de glyphosate reduziram a produção de massa seca de ramo e da parte aérea do feijoeiro aos 20 DAA.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris* L. Glyphosate. Nutrientes minerais. Crescimento de plantas.

GROWTH AND MINERAL NUTRIENT LEVELS IN BEAN COMMON 'PÉROLA' IN RESPONSE TO REDUCED RATES OF GLYPHOSATE

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of sublethal glyphosate on growth and mineral nutrient content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola. The experiment was conducted in a factorial 4 x 2 block design with four replications, with the first factor constituted by sublethal 0, 14.4, 43.2 and 86.4 g ha⁻¹ equivalent of acid (and) the product Commercial Roundup ® WG and the second factor consisting of soil, Quartzipsamment soil and Paleudalf Tb. Evaluations were performed at 10 and 20 days after glyphosate application (DAA). It was observed that glyphosate, especially at higher sublethal used (43.2 and 86.4 g ha⁻¹) reduced levels of most nutrients examined, at least one of the evaluations, indicating that glyphosate interferes negatively in the levels of nutrients in the common bean cv. Pérola such underdosing. However was not observed adverse effect dose of 14.4 g ha⁻¹ glyphosate on nutrient levels in bean. Rather it was observed that with the implementation of this subdose, there was an increase in levels of P, K, Ca, Fe and Cu at 20 DAA. The growth of the bean Pérola observed that all the reduced rates of glyphosate reduced the dry mass of branch and shoot of bean plants at 20 DAA.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L. Glyphosate. Nutrients. Plant growth.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no Brasil ocupa posição de destaque, não apenas pelo volume de grãos produzidos, mas também pela importância dessa cultura na alimentação. O feijão constitui-se na principal fonte de proteína da maioria da população brasileira (Furtini Neto, et al., 2000). Apesar de a cultura apresentar grande importância econômica e social para o Brasil, sua produtividade ainda é baixa. Dentre os fatores responsáveis pela ocorrência desse fato pode-se citar o baixo nível tecnológico empregado na cultura, em grande parte pelos pequenos produtores, como adubação e controle fitossanitário ausente ou insuficiente.

O glyphosate (N-phosphonomethyl-glycine) é o principal herbicida em utilização no mundo (Service, 2007), sendo recomendado para o controle de plantas daninhas em diversas culturas, inclusive o feijoeiro. Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs). Essa enzima é crítica na via do ácido chiquímico, e sua inibição resulta em redução na produção de aminoácidos aromáticos, prejudicando assim processos metabólicos como a síntese de proteínas e o processo fotossintético (Eker et al., 2006).

A utilização intensa do glyphosate pode produzir quantidades detectáveis de resíduos em áreas que não receberam a aplicação direta do herbicida (Laitinen et al., 2007). Segundo Schroder et al. (2000), em pulverizações com ventos de 2 m s^{-1} , a deriva de glyphosate pode atingir até 160 m além do local considerado alvo. A ocorrência de deriva acidental pode se tornar um grande problema em muitas áreas de cultivo, pois além de reduzir a eficiência de aplicação, coloca em risco as culturas vizinhas. Diante disso, o objetivo de muitos trabalhos é estudar o efeito de subdoses de herbicidas sobre as culturas.

Cakmak et al. (2009) observaram que subdoses 0,864; 2,88; 8,64 g ha^{-1} de glyphosate reduziram o crescimento e os teores foliares de Ca, Mg e Mn da soja convencional. De forma semelhante França (2009) também observou que subdoses de glyphosate reduziram o crescimento e os teores foliares de N, P, K, Cu, Zn do café arábica. Por outro lado, no eucalipto, subdoses inferiores a 86,4 g ha^{-1} de glyphosate não influenciaram o crescimento, assim como os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e B (Tuffi Santos et al., 2007).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do glyphosate no crescimento e nos teores de nutrientes do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, utilizando como planta teste o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola. Foram utilizados os solos Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, ambos coletados em profundidade de 0 a 20 cm e caracterizados química e fisicamente (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - Características químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e um Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

	pH H ₂ O (1:2,5)	CE μS	P ----mg kg ⁻¹ ----	K -----mmol _c kg ⁻¹ -----	Ca -----mmol _c kg ⁻¹ -----	Mg -----mmol _c kg ⁻¹ -----	Al -----mmol _c kg ⁻¹ -----	H+Al -----mmol _c kg ⁻¹ -----
Argissolo	5,62	119,71	19	180	98,6	13,4	0,5	35,06
Neossolo	5,03	78,77	136	67	39,4	3,9	1,5	36,71
	Na	B	Mo	Mn	Zn	Cu	Fe	Ni
	-----mg kg ⁻¹ -----							
Argissolo	0,41	0,51	0,021	38,1	3,8	0,59	86,9	0,23
Neossolo	0,04	0,1	0,027	13,9	1,2	0,73	47,1	0,12
	S	C	MO	T	t	SB	V	m
	mg kg ⁻¹	---- g kg ⁻¹ ----	-----mmol _c kg ⁻¹ -----	-----mmol _c kg ⁻¹ -----	-----mmol _c kg ⁻¹ -----	-----mmol _c kg ⁻¹ -----	----- % -----	-----mmol _c kg ⁻¹ -----
Argissolo	4,60	13,51	23,59	152,08	117,52	117,02	77	0,42
Neossolo	3,77	8,65	14,91	81,76	46,55	45,05	55	3,22

Tabela 2 - Características físicas de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e um Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Campos dos Goytacazes - RJ, 2008.

Solos	Areia	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----		
Argissolo	552	68	380
Neossolo	937	20	43

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4 x 2 utilizando-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses de 0; 14,4; 43,2 e 86,4g ha⁻¹ de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate, correspondentes a 0; 1; 3 e 6% da dose recomendada de 1440 g ha⁻¹ na forma de sal de amônio do produto comercial Roundup WG® e o segundo fator constituído pelos dois solos descritos acima.

As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 5 dm³. Foram semeadas doze sementes de feijoeiro cv. Pérola por vaso, sendo posteriormente realizado o desbaste das plântulas, mantendo-se quatro plantas por vaso. As plantas foram irrigadas com água desionizada durante todo o experimento.

A aplicação do glyphosate foi realizada quando as plantas estavam no estágio V4 (fase vegetativa em que a terceira folha trifoliada estava totalmente expandida) 25 dias após a semeadura (DAS). Para a aplicação do glyphosate utilizou-se um pulverizador costal, pressurizado a gás carbônico, com pressão constante de 3,0 kgf cm⁻², equipado com um bico Turbo Teejet 100.015, calibrado para aplicar o equivalente a 230 L ha⁻¹ de calda. Foi adicionado à calda do herbicida o espalhante adesivo Adesil®. No momento da aplicação as condições climáticas foram: 27 C° de temperatura do ar, 83 % umidade relativa e 4 Km h⁻¹ de velocidade do vento.

Aos 10 e 20 dias após a aplicação (DAA), duas plantas por vaso, em cada época de coleta, foram coletadas e separadas em folhas (com pecíolo) e ramos. Folhas e ramos foram colocados em sacos de papel identificados, secos em estufa de circulação forçada de ar a 72°C por 48 horas e pesados para determinação da massa seca. Folhas e ramos secos foram moídos em moinho de facas tipo Willey com peneiras de 20 mesh e armazenados em frascos herméticos para posterior determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Cl, Mo e Ni nas folhas.

A determinação do teor de N-orgânico foi realizada a partir da digestão sulfúrica pelo método colorimétrico com reagente de Nessler, segundo Jackson (1965). Os teores de K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Cu e Mn foram obtidos a partir da digestão nítrico-perclórica. Ni, Mo e B foram obtidos por digestão via seca em mufla a 550°C. O teor de P foi obtido pelo método colorimétrico do azul de molibdênio em espectrofotômetro. O teor de S pelo método turbidimétrico do sulfato de bário em espectrofotômetro. Os teores de K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu e Mn,

foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica. Boro foi obtido pelo método colorimétrico da Azometina H em espectrofotômetro. Ni e Mo foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite. O teor de Cl foi obtido por titulação com Nitrato de Prata após extração aquosa do material vegetal.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste t a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 10 DAA as subdoses de glyphosate aplicadas não interferiram no crescimento do feijoeiro (Tabela 3). Porém, aos 20 DAA observou-se que o glyphosate reduziu a massa seca da parte aérea e dos ramos do feijoeiro. A massa seca das folhas, isoladamente, não foi afetada significativamente pelo glyphosate (Tabela 3). Esse fato demonstra a necessidade de um período maior de tempo para que sejam observados efeitos deletérios do glyphosate no crescimento do feijoeiro e reforça a importância da realização de mais de uma avaliação em experimentos com subdoses de herbicidas. Aos 10 DAA, as plantas cultivadas no Neossolo apresentaram maior massa seca de folha, ao passo que as plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior massa seca de ramo independentemente da época de avaliação.

O glyphosate é um composto inibidor da enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintase (EPSPs), que atua na via do ácido chiquímico. Aproximadamente 35% da massa seca de uma planta é representada por derivados da via do ácido chiquímico e 20% do carbono fixado pela fotossíntese segue por essa rota metabólica (Kruse et al., 2000). Assim, a interferência nessa importante via pode implicar em efeitos depressivos no crescimento das plantas.

A subdose de $14,4 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate reduziu em 13,4 % o crescimento da parte aérea do feijoeiro aos 20 DAA, indicando que mesmo em subdoses o glyphosate pode prejudicar o crescimento do feijoeiro. Resultados semelhantes foram obtidos por Lunkes et al. (1998) e Ferreira et al. (2006) no feijoeiro e arroz irrigado, respectivamente. Contudo, a espécie (Vellini et al., 2008), as condições

edafoclimáticas (Zanatta et al., 2007), a dose (Tuffi Santos et al., 2007), o estágio de desenvolvimento (Lunkes et al., 1998) e o tipo de formulação (Santos et al., 2007) podem interferir no efeito do glyphosate sobre as culturas.

Tabela 3 - Massa seca de folhas (MSF), ramos (MSR) e da parte aérea (MSPA) de duas plantas de feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola, submetido a subdoses de glyphosate. Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

Glyphosate (g.e.a.ha ⁻¹)	MSF (g)		MSR (g)		MSPA (g)	
	10DAA	20DAA	10DAA	20DAA	10DAA	20DAA
0	3,10 a	5,03 a	1,57 a	3,56 a	4,58 a	8,60 a
14,4	3,01 a	4,48 a	1,51 a	2,98 b	4,51 a	7,47 b
43,2	3,04 a	4,37 a	1,61 a	2,73 c	4,65 a	7,10 bc
86,4	2,86 a	4,11 a	1,54 a	2,62 c	4,41 a	6,73 c
Solo	10DAA	20DAA	10DAA	20DAA	10DAA	20DAA
Argissolo	2,72 b	4,46 a	1,67 a	3,25 a	4,38 a	7,71 a
Neossolo	3,28 a	4,54 a	1,48 b	2,69 b	4,77 a	7,23 a
Média	3,00	4,50	1,57	2,97	4,57	7,47
CV (%)	15,0	15,2	12,9	11,2	11,7	12,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Aos 10 DAA as plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maiores teores foliares de macro e micronutrientes do que aquelas cultivadas em Neossolo, com exceção de N e Mn, cujos teores não diferiram entre os dois solos (Tabelas 4 e 5). Aos 20 DAA apenas os teores de K, Ca, Cu, B e Cl mantiveram-se maiores no Argissolo, não havendo diferenças entre os solos para os teores de N, P, Mg, S, Fe, Mn, Zn e M (Tabelas 4 e 5). Os teores de Ni foram maiores no Neossolo (Tabela 5). Os maiores teores de nutrientes em plantas cultivadas no Argissolo (Tabelas 4 e 5) se devem, provavelmente, à maior disponibilidade da maioria dos nutrientes nesse solo (Tabela 1).

Apesar de o Neossolo possuir maiores teores de P, Cu e Mo do que o Argissolo (Tabela 1), os teores foliares desses nutrientes nas plantas cultivadas no Argissolo foram superiores aos 10 DAA (Tabela 4). Para nutrientes com baixas taxas de difusão no solo, como os fosfatos, a proximidade entre a superfície absorviva da raiz e a fonte de recurso é muito importante (Harper et al., 1991). Acredita-se que um possível maior crescimento radicular e ainda uma maior eficiência de exploração do feijoeiro cultivado no Argissolo, tenham contribuído para uma maior absorção desses nutrientes. Teruel et al. (2001) observaram que

plantas de soja apresentaram uma maior eficiência de exploração do solo quando cultivadas em uma condição de menor teor de P.

Tabela 4 - Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) em folhas de feijoeiro comum cv. Pérola, cultivado em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e um Neossolo Quartizarênico Órtico típico. Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

Solo	N	P	K	Ca	Mg	S
	10 DAA					
Argissolo	26,3a	2,63a	28,0a	15,5a	5,83a	1,25a
Neossolo	25,0a	1,82b	17,3b	10,7b	4,58b	1,01b
Média	25,6	2,22	22,6	13,1	5,20	1,13
CV(%)	12,8	9,75	21,4	22,0	14,0	10,2
20 DAA						
Argissolo	27,5a	2,99a	23,4a	14,5a	6,28a	1,46a
Neossolo	28,0a	2,89a	16,0b	12,4b	5,97a	1,32a
Média	28,6	2,94	19,7	13,5	6,13	1,39
CV(%)	21,1	15,3	17,0	9,1	12,5	13,2

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Tabela 5 - Teores de micronutrientes em folhas de feijoeiro comum cv. Pérola, cultivado em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e um Neossolo Quartizarênico Órtico típico. Campos dos Goytacazes - RJ, 2008

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Ni	Mo	Cl
	10 DAA							
								mg kg^{-1}
Argissolo	197a	71,0a	36,9a	8,17a	38,5a	1,07a	0,35a	23,6a
Neossolo	145b	65,0a	23,5b	5,27b	30,4b	0,91b	0,27b	1,57b
Média	173	67,1	30,2	6,72	34,4	0,99	0,31	12,6
CV(%)	10,8	19,7	10,2	13,9	10,5	9,60	18,3	20,2
20 DAA								
								mg kg^{-1}
Argissolo	201a	76,2a	37,9a	9,31a	42,9a	0,71b	0,31a	20,7a
Neossolo	187a	81,7a	32,7a	7,54b	32,7b	0,83a	0,35a	2,66b
Média	194	78,9	35,2	8,42	37,3	0,77	0,33	11,7
CV(%)	20,2	19	20,5	14,3	12,5	11,9	27,7	14,8

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Ao analisar o efeito do glyphosate nos teores dos nutrientes, verificou-se que o efeito mais prejudicial foi observado para o N (Figura 1). Aos 10 DAA a redução foi de 26,07%, atingindo 36,28% para a maior subdose de glyphosate utilizada ($86,4 \text{ g ha}^{-1}$) aos 20DAA. Resultado semelhante foi obtido por Bellaloui et

al. (2006), que observaram que o glyphosate reduziu em 20,65% o teor de N da soja aos 14 DAA pela aplicação da subdose de 105 g ha⁻¹ de glyphosate. Em estudos com café, França (2009) também observou que, dentre os nutrientes reduzidos pelas subdoses de glyphosate, o N foi o que apresentou o maior percentual de redução, com decréscimo de 35,51% para a subdose de 460,8 g ha⁻¹ aos 45 DAA.

Segundo Bellaloui et al. (2008), os herbicidas são conhecidos por influenciar o metabolismo do nitrogênio. Acredita-se que as plantas tratadas com glyphosate tenham apresentado uma menor capacidade de fixação e assimilação do nitrogênio, o que pode ter contribuído para redução no teor deste nutriente, uma vez que o glyphosate pode reduzir a nodulação em leguminosas (Dvorane et al., 2008), a atividade da nitrogenase, enzima central no processo de fixação biológica do nitrogênio e a atividade da redutase do nitrato, enzima envolvida no processo de assimilação do nitrogênio (Bellaloui et al., 2006).

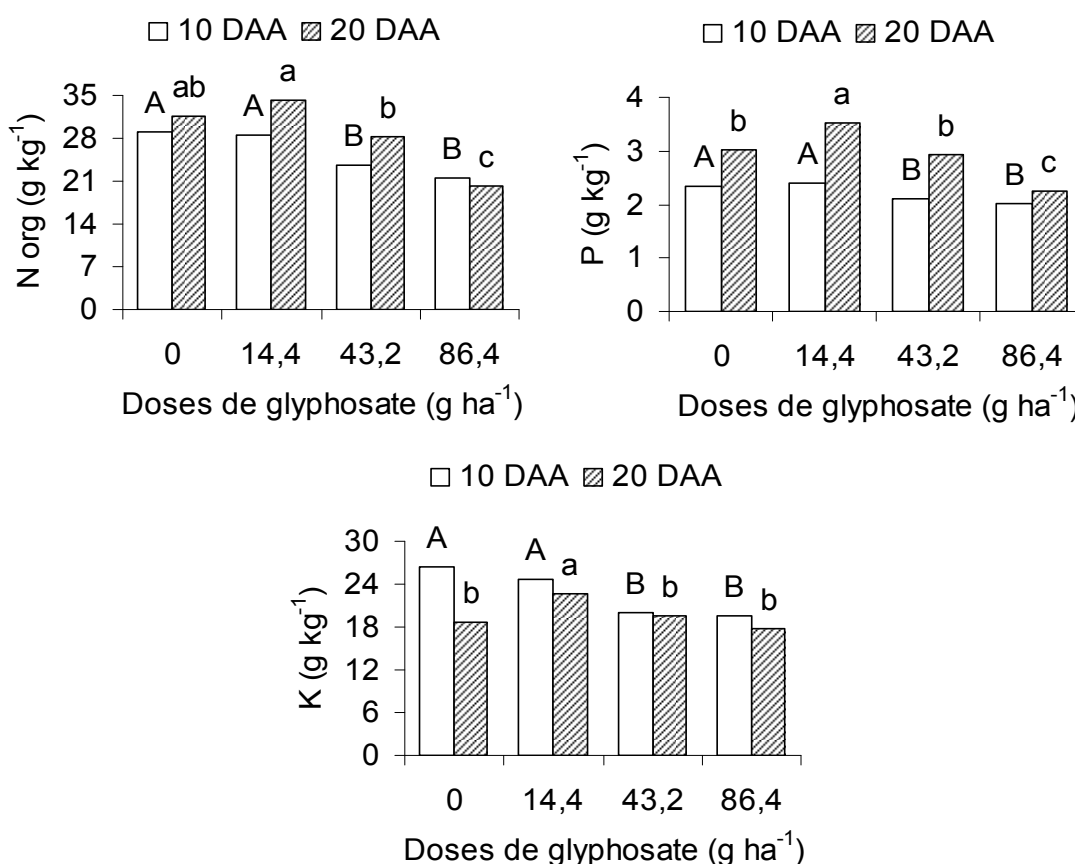


Figura 1 - Efeito do glyphosate sobre o teor de N orgânico, P e K na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 10 e 20 DAA (médias de dois solos). Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses de glyphosate aos 10 DAA e minúsculas aos 20 DAA. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

A subdose de 86,4 g ha⁻¹ reduziu o teor de P do feijoeiro aos 10 e 20 DAA (Figura 1). França (2009) também observou que as subdoses de 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate reduziram o teor de P das cultivares de café arábica Topázio, Oeiras e Catucaí Amarelo aos 45 DAA, não proporcionando efeito do glyphosate nessas subdoses aos 120 DAA.

Por outro lado, a subdose de 14,4 g ha⁻¹ de glyphosate proporcionou um incremento de 16,5% no teor de P da folha do feijoeiro aos 20 DAA (Figura 1), corroborando os resultados obtidos por Cakmak et al. (2009) e por Godoy (2007) trabalhando com soja convencional. Cakmak et al. (2009) constataram que a subdose de 8,64 g ha⁻¹ de glyphosate proporcionou um aumento de 33,33 % no teor de P em folhas jovens da soja convencional. Para Godoy (2007) subdoses de glyphosate aplicadas nas plantas levam a indução de genes transportadores de fósforo de alta afinidade, aumentando a absorção de fósforo.

O teor de K foi reduzido pelas maiores subdoses de glyphosate aos 10 DAA (Figura 1). França (2009) também observou que plantas de café submetidas a subdoses entre 57,6 g ha⁻¹ e 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate apresentaram menores teores de K quando comparadas à testemunha. Aos 20 DAA, assim como ocorreu com o teor de P, observou-se que a subdose de 14,4 g ha⁻¹ proporcionou incremento de 21,17 % no teor de K da folha do feijoeiro. Nessa época subdoses superiores a 14,4 g ha⁻¹ não interferiram nos níveis de K do feijoeiro.

Os teores de Ca e Mg do feijoeiro também foram reduzidos pelas maiores subdoses de glyphosate aos 10 DAA e pela maior subdose aos 20 DAA (Figura 2). Para a maior subdose aos 20 DAA essas reduções foram de 33,23% e 32,26 %, para Ca e Mg, respectivamente, concordando com os resultados obtidos por Cakmak et al. (2009) na soja convencional. Esses autores observaram que a subdose de 8,64 g ha⁻¹ de glyphosate reduziu fortemente os teores de Ca e Mg em folhas jovens e grãos da soja convencional.

Por outro lado, a menor subdose de glyphosate (14,4 g ha⁻¹) proporcionou um ligeiro aumento de 8,16% no teor de Ca. França (2009) também verificou incremento no teor de Ca do café após a aplicação do glyphosate. Para Massenssini (2007) a redução no crescimento de alguns microrganismos solubilizadores de fosfato de cálcio pode fazer com que a energia destinada ao crescimento seja direcionada para a síntese de ácidos orgânicos. Estes por sua vez são excretados da célula, o que pode promover maior solubilização de fosfato

de cálcio, com conseqüente disponibilização de P e Ca. Esse fato poderia causar aumentos nos teores desses nutrientes nas folhas do feijoeiro.

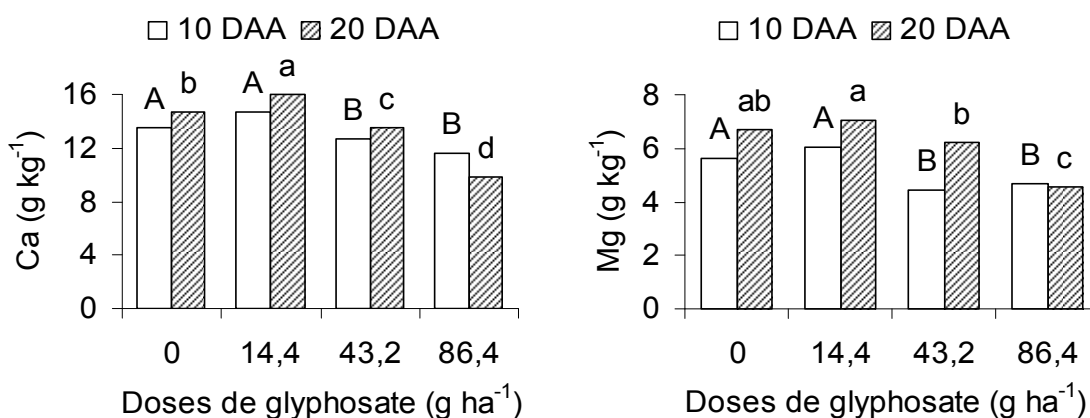


Figura 2 - Efeito do glyphosate sobre o teor Ca e Mg na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 10 e 20 DAA (médias de dois solos). Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses de glyphosate aos 10 DAA e minúsculas aos 20 DAA. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Quanto ao efeito do glyphosate sobre o teor de S, observou-se que as subdoses de 43,2 e 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate reduziram o teor de S aos 10 DAA (Figura 3). Aos 20 DAA observou-se que plantas cultivadas no Neossolo também apresentaram redução no teor de S para as maiores subdoses de glyphosate (Figura 4). Por outro lado, plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maiores teores de S para a subdose de 14,4 g ha⁻¹ de glyphosate.

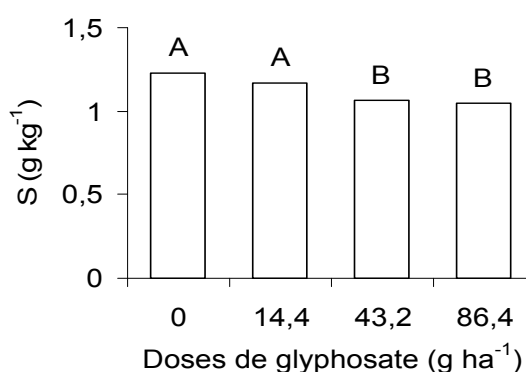


Figura 3 - Efeito do glyphosate sobre o teor de S na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 10 DAA (média de dois solos). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

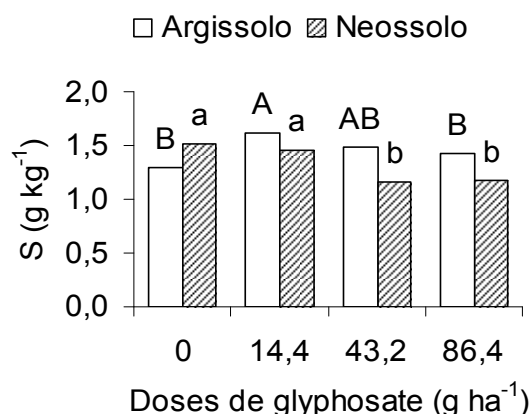


Figura 4 - Efeito do glyphosate sobre o teor de S na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola em um Argissolo e um Neossolo aos 20 DAA. Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses de glyphosate no Argissolo e minúsculas no Neossolo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Nas Figuras 5 e 6 observa-se que as subdoses de 43,2 e 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate reduziram os teores de Fe, Mn, Zn e B aos 10 DAA, enquanto que aos 20 DAA, somente a maior subdose (86,4 g ha⁻¹) proporcionou redução nos teores desses nutrientes. A subdose de 14,4 g ha⁻¹ aumentou significativamente apenas o teor de Fe, comportamento este não esperado, pois, segundo Eker et al. (2006), o glyphosate é antagonista à absorção de Fe. Esses autores observaram que a subdose de 36 g ha⁻¹ de glyphosate proporcionou redução de 68,03%, 40,45% e 5,55% nos teores de Fe, Mn e Zn, respectivamente, em folhas jovens do girassol.

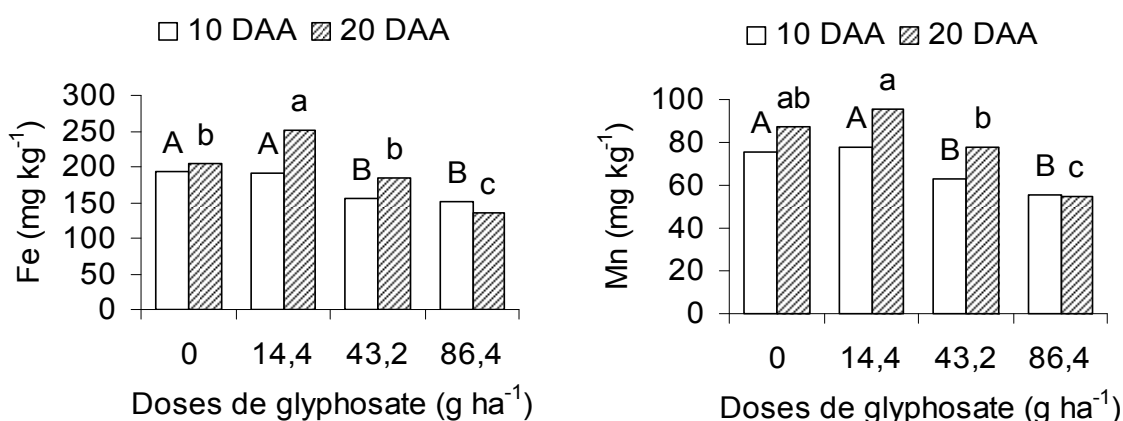


Figura 5 - Efeito do glyphosate sobre o teor de Fe, Mn, Zn e B na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 10 e 20 DAA (médias de dois solos). Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses de glyphosate aos 10 DAA e minúsculas aos 20 DAA. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

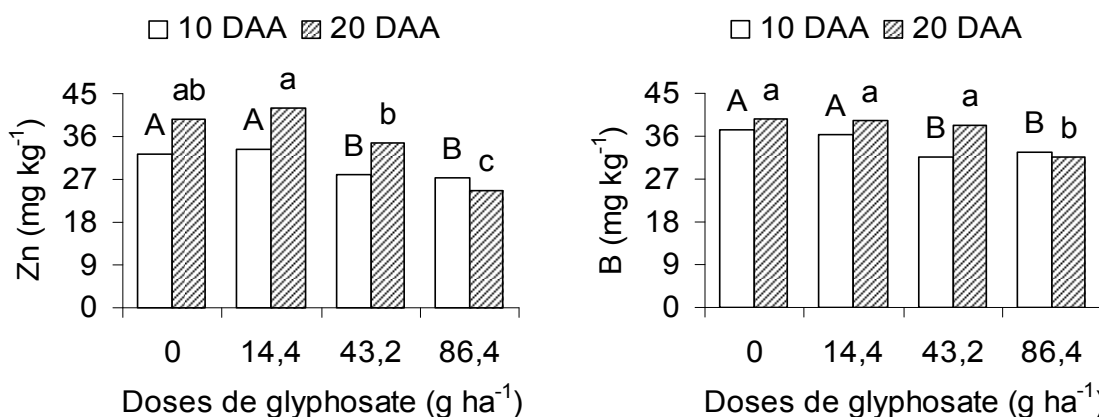


Figura 6 - Efeito do glyphosate sobre o teor de Fe, Mn, Zn e B na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 10 e 20 DAA (médias de dois solos). Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses de glyphosate aos 10 DAA e minúsculas aos 20 DAA. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Uma das explicações para a redução no teor de Fe do feijoeiro após contato com o glyphosate, pode estar relacionada à menor atividade da redutase férrica localizada nas raízes, que realiza a redução do Fe³⁺ para Fe²⁺. Ozturk et al. (2008) observaram que a aplicação de 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate, resultou em 50% de redução da atividade da enzima redutase férrica no girassol, 6h após a aplicação e que após 24h de exposição ao glyphosate a redutase férrica foi completamente inibida.

De acordo com Franzen et al. (2003) e Römheld (2005), observações de campo no Brasil e nos Estados Unidos mostram que freqüentes aplicações de glyphosate podem induzir a deficiências de Fe, Zn e Mn em diferentes espécies agrícolas. Esses efeitos têm sido atribuídos à formação de complexos insolúveis entre o glyphosate e alguns cátions como Ca, Fe, Mg, Mn e Zn (Nilsson 1985; Wills e McWhorter 1985; Thelen et al., 1985). Isto pode ocorrer, porque, o glyphosate possui grupos químicos com elevada afinidade por metais (Barja et al., 2001; Undabeytia et al., 2002), o que possibilita a formação desses complexos que também podem ser formados nos tecidos vegetais (De Rooter et al., 1996). Assim, a acumulação do glyphosate em raízes e partes jovens das plantas poderia limitar a translocação de nutrientes metálicos para a parte aérea, devido à formação desses complexos (Eker et al., 2006) imobilizando os nutrientes nesses tecidos (Cakmak et al., 2009).

Para Zobiolo et al. (2010a) a redução na taxa fotossintética, na condutância estomática e na transpiração da soja também poderia explicar a menor concentração de nutrientes e menor produção de biomassa da soja tratada com o glyphosate. Na verdade pouco se sabe sobre como o glyphosate interfere na absorção de nutrientes das plantas.

Não houve influência de subdoses de glyphosate sobre o teor de Cu aos 10 DAA (Figura 6). Aos 20 DAA a subdose de 14,4 g ha⁻¹ aumentou o teor de Cu e esse mesmo comportamento foi observado em folhas jovens da soja convencional (Cakmak et al. 2009). Ainda nessa época o teor de Cu foi reduzido pela subdose de 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate, o que concorda com os resultados obtidos por Eker et al. (2006) e França (2009) nas culturas do girassol e café arábica, respectivamente.

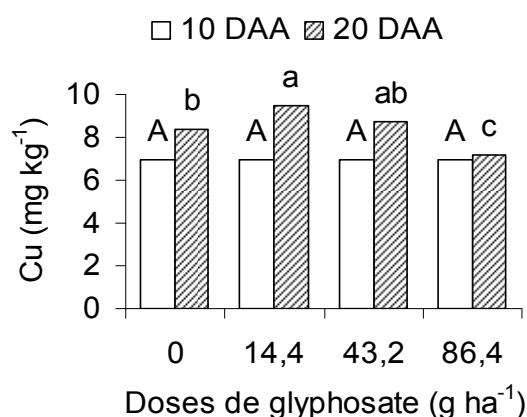


Figura 6 - Efeito do glyphosate sobre o teor de Cu na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 10 e 20 DAA (médias de dois solos). Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses de glyphosate aos 10 DAA e minúsculas aos 20 DAA. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Aos 20DAA, as plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior teor de Cl em todas as subdoses de glyphosate utilizadas, enquanto que plantas cultivadas sobre o Neossolo não foram influenciadas pelas subdoses de glyphosate (Figura 7). Verificou-se, inclusive, que o teor de Cl nas folhas de plantas cultivadas no Argissolo foram maiores que no Neossolo. Esses valores são explicados pela maior quantidade de Cl no argissolo (Tabela 1).

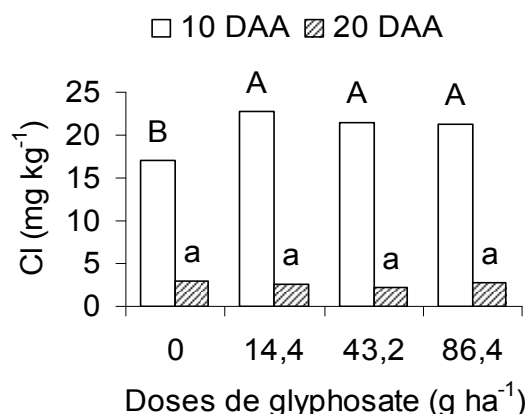


Figura 7 - Efeito do glyphosate sobre o teor de Cl na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 20 DAA. Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses no Argissolo e, minúsculas no Neossolo. Para ambas, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

As subdoses de glyphosate empregadas não interferiram no teor de Ni do feijoeiro cultivado no Argissolo aos 10 DAA (Figura 8A). Por outro lado, plantas cultivadas em Neossolo apresentaram menor teor de Ni nas maiores subdoses de glyphosate utilizadas. Aos 20 DAA a maior subdose de glyphosate reduziu o teor de Ni em ambos os solos (Figura 8B). Plantas cultivadas no Neossolo apresentaram incremento de 45% no teor de Ni para a subdose de 14,4 g ha⁻¹ de glyphosate. Na soja transgênica Zobiolo et al. (2010b) observaram que a aplicação da dose recomendada de glyphosate reduziu o teor de Ni independentemente da forma de aplicação e do tipo de solo adotado.

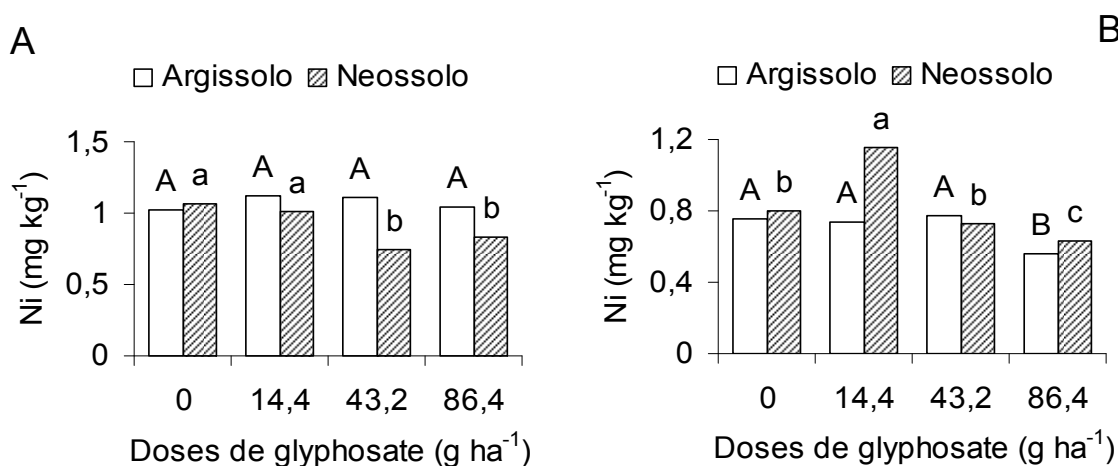


Figura 8 - Efeito do glyphosate sobre o teor de Ni na folha do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola aos 10 DAA (A) e 20 DAA (B). Letras maiúsculas comparam o efeito de subdoses no Argissolo e, minúsculas no Neossolo. Para ambas, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Independentemente da época de avaliação a subdose de 14,4 g ha⁻¹ de glyphosate não reduziu o teor de nutrientes do feijoeiro. Ao contrário, para alguns nutrientes, observou-se que a subdose de 14,4 g ha⁻¹ glyphosate aumentou o teor desses nutrientes nas folhas do feijoeiro aos 20DAA. Os incrementos mais expressivos foram observados para Ni (45%), K (21,16%), Fe (22,1%) e P (16,49%). Nutrientes como Ca e Cu apresentaram incrementos inferiores a 10%. Esses resultados indicam que subdoses de glyphosate podem beneficiar a absorção de alguns nutrientes do feijoeiro cv. Pérola.

Os resultados obtidos no presente trabalho ressaltam a importância da realização de estudos com o objetivo de se conhecer o efeito de subdoses de herbicidas nas culturas, de modo a evitar que a deriva de herbicidas prejudique áreas adjacentes e ainda detectar possíveis efeitos benéficos dos herbicidas, quando aplicados em subdoses.

4. CONCLUSÕES

O glyphosate reduziu o crescimento do feijoeiro cv. Pérola aos 20 DAA.

Aos 10 DAA os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e B foram reduzidos pelas subdoses de 43,2 g ha⁻¹ e 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate.

Aos 20 DAA somente a subdose de 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate reduziu os teores foliares de N, P, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn do feijoeiro cv. Pérola.

Houve aumento nos teores foliares de K, P, Ca, Cu, Fe e Ni aos 20 DAA após aplicação da subdose de 14,4 g ha⁻¹ de glyphosate. Todas as subdoses utilizadas aumentaram o teor foliar de Cl do feijoeiro cultivado no Argissolo.

REFERÊNCIAS

- Barja, B.C., Herszage, J., Afonso, M.S. (2001) Iron (III) – phosphonate complexes. *Polyhedron*, 20:1821-1830.
- Bellaloui, N., Reddy, K.N., Zablotowicz, R.M., Mengistu, A. (2006) Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non-glyphosate-resistant soybean. *J. Agric. Food Chem*, 54:3357-3364.
- Bellaloui, N., Zablotowicz, R.M., Reddy, K.N., Abel, C.A. (2008) Nitrogen metabolism and seed composition as influenced by glyphosate application in glyphosate-resistant soybean. *J. Agric. Food Chem*, 56: 2765-2772.
- Cakmak, I., Yazici, A., Tutus, Yusuf., Ozturk, L. (2009) Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *Europ. J. Agronomy*, 31:114-119.
- Cedergreen, N. (2008a) Herbicides can stimulate plant growth. *Weed Research*, 48: 429-438.
- De Rooter, H., Uffing, A., Meinen, E. (1996) Influence of surfactants and ammonium sulphate on glyphosate phytotoxicity to quackgrass (*Elytrigia repens*). *Weed Technol*, 10:803-808.
- Dvoranen, E.C., Oliveira JR, R.S., Constatin, J., Cavalieri, S.D., Blainski, E. (2008) Nodulação e crescimento de variedades de soja RR sob aplicação de glyphosate, fluasifop-p-butyl e fomesafen. *Planta Daninha*, 26 (3): 619-625.
- Eker, S., Levent, O., Yazici, A., Erenoglu, B., Römheld, V., Cakmak, I. (2006) Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *J Agric Ford Chem* 54:10019-10025.

- Ferreira, F.A., Pinto, J.J.O., Roman, E.S., Galon, L., Rezende, A.L., Procópio, S.O. (2006) Consequências da deriva simulada do herbicida Glyphosate sobre a cultura do Arroz Irrigado (*Oriza Sativa* L.). *R. Bras. Agrocência*, Pelotas, 12(3): 309-312.
- França, A.C. (2009) *Ação do glyphosate sobre o crescimento e teores de nutrientes em cultivares de café arábica*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, UFV- Viçosa, 68p.
- Franzen, D.W., O'Barr, J.H., Zollinger, R.K. (2003) Interaction of a foliar application of iron HEDTA and three postemergence broadleaf herbicides with soybeans stressed from chlorosis. *J. Plant Nutr*, 26:2365-2374.
- Furtini Neto, A.E., Fernandes, L.A., Faquin, V., Silva, I.R., Accioly, A.M.A. (2000) Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. *Pesc. Agropec. Bras*, 35(3): 567-573.
- Godoy, M.C. (2007) *Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fósforo pela soja*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 42p.
- Harper, J.L., Jones, M., Sackville-Hamilton, N.R. (1991) The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: ATKINSON, D. (Ed.) *Plant root growth: na ecological perspective*. Oxford: Blackwell, 3-22.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Kruse, N.D., Michelangelo, M.T., Vidal, A.V. (2000) Herbicidas Inibidores da EPSPs: Revisão de literatura. *Rev. Bras. Herb*, 1(2): 139-146.
- Laitinen, P., Ramo, S., Siimes, K. (2007) Glyphosate translocation from plants to soil - does this constitute a significant proportion of residues in soil? *Plant Soil*, 300:51-60.

- Lunkes, J.A., Silva, J.B., Andrade, M.J.B., Karam, D. (1998) Efeito de subdoses de Glyphosate simulando Deriva sobre a cultura do feijão. *Pesticidas: R.Ecotoxicol e Meio Ambiente*, Curitiba, 8:127-148.
- Massenssini, A. M. (2007) *Solubilização de fosfatos mediada por microrganismos do solo de plantio de eucalipto*. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa, UFV, 107p.
- Nilsson, G. (1985) Interactions between glyphosate and metals essential for plant growth. In: E. Grossbard and D. Atkinson, *The herbicide Glyphosate*. London: Butterworths, 35-47.
- Ozturk, L., Yaciki, A., Eker, S., Gokmen, O., Römheld, V., Cakmak, I. (2008) Glyphosate inhibition of ferric reductase activity in iron-deficient sunflower roots. *New Phytol*, 177:899-906.
- Römheld, V., Guldner, M., Yamada, T., Ozturk, L., Cakmak, I., Neumann, G. (2005) Relevance of glyphosate in the rhizosphere of non-target plants in orchards for plant health. *Proc. XV Int. Plant Nutr. Colloquium*, 476-477.
- Santos, J.B., Ferreira, E.A., Reis, M.R., Silva, A.A., Fialho, C.M.T., Freitas, M.A.M. (2007) Avaliação de formulações de glyphosate sobre a soja roundup ready. *Planta Daninha*, 25 (1): 165-171.
- Schroder, E.P., Pinto, J.J.O., Baptista da Silva, J. Et Al. Avaliação de pulverizações aéreas dos herbicidas sulfosate e glyphosate. (2000) In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 22, Foz do Iguaçu, *Resumos...* Foz do Iguaçu, PR: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas daninhas, p.478.
- Service, R.F. (2007) A growing threat down on the farm. *Science*, 316:1114-1117.

- Teruel, D.A., Neto, D.D., Hopmans, J.W., Reichardt, K. (2001) Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. *Scientia Agricola*, 58 (1): 55-60.
- Thelen, K.D., Jackson, E.P., Penner, D. (1995) The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. *Weed Sci*, 43: 541-548.
- Tuffi Santos, L.D., Siqueira, C.H., Barros, N.F., Ferreira, F.A., Ferreira, L.R., Machado, A.F.L. (2007) Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito de deriva do Glyphosate. *Cerne*, Lavras, 13 (4): 347-352.
- Undabeytia, T., Cheshire, M.V., McPhail, D. (1996) Interaction of the herbicide glyphosate with copper in humic complexes. *Chemosphere*, 32 (7): 1245-1250.
- Velini, E.D., Alves, E., Godoy, M.C., Meschede, D.K., Souza, R.T., Duke, S.O. (2008) Glyphosate applied at low subdoses can stimulate plant growth. *Pest Manag Sci*, 64:489-496.
- Wills, G.D., McWhorter, C.G. (1985) Effect of inorganic salts on the toxicity and translocation of glyphosate and MSMA in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). *Weed Sci*, 33:755-761.
- Zanatta, J.F., Procópio, S.O., Manica, R., Pauleto, E.A., Cargnelutti Filho, A., Vargas, L., Sganzerla, D.C., Rosenthal, M.D.A., Pinto, J.J.O. (2007) Teores de água no solo e eficácia do herbicida glyphosate no controle de *euphorbia heterophylla*. *Planta Daninha*, 25 (3):799-811.
- Zobiolo, L.H.S., Oliveira, R.S., Visentainer, J.V., Kremer, R.J, Bellaloui, N., Yamada, T. (2010a) Glyphosate affects seed composition in glyphosate-resistant soybean. *J. Agric. Food Chem*, 58:4517-4522.

3.2. ABSORÇÃO DE FÓSFORO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO COMUM 'XODÓ' EM RESPOSTA AO GLYPHOSATE

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se o efeito de subdoses de glyphosate na absorção de fósforo, na composição mineral e no crescimento do feijoeiro comum cv. Xodó cultivado sob duas doses de fósforo. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4 x 2 em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses 0; 4,32; 8,64 e 12,96 g ha⁻¹ de equivalente ácido (e.a.) do produto comercial Roundup WG[®] e o segundo fator constituído por subdoses de fósforo no solo (50 e 250 mg dm⁻³). As avaliações foram realizadas aos 30 dias após a aplicação do glyphosate (DAA). Nenhuma das subdoses de glyphosate utilizadas afetou a absorção de P, porém observou-se que a subdose de 12,96 g ha⁻¹ aumentou a absorção de N, Ni, Mo e Cu do feijoeiro, assim como proporcionou incrementos na produção de massa seca e no número de folhas do feijoeiro 'Xodó'.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris* L. Glyphosate. Absorção. Fósforo

ABSORPTION OF PHOSPHORUS AND MINERAL COMPOSITION OF COMMON BEAN 'XODÓ' IN RESPONSE TO GLYPHOSATE

ABSTRACT

This work evaluated the effect of sublethal glyphosate phosphorus uptake, mineral composition and growth of common bean cv. Xodó. The experiment was conducted in a factorial 4 x 2 blocks with four replications, being the first factor by sublethal 0, 4.32, 8.64 and 12.96 g ha⁻¹ acid equivalent (ae) of the commercial product Roundup WG[®] and the second factor consisting of phosphorus levels in soil (50 and 250 mg dm⁻³). Evaluations were performed at 30 days after glyphosate application (DAA). None of sublethal glyphosate used affected the absorption of P, but observed that the subdose, 12.96 g ha⁻¹ increased the uptake of N, Ni, Mo and Cu bean, as provided increments in dry mass production and number of leaves of bean 'Xodó'.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L. Glyphosate. Absorption. Phosphorus

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais difundidas no Brasil, tendo, além do caráter econômico, um alto significado social, por ser um alimento básico para a população. Mesmo sendo uma cultura de grande importância, ainda apresenta uma produtividade relativamente baixa, sobretudo pelo baixo nível tecnológico empregado, em grande parte pelos pequenos produtores.

O glyphosate (N-phosphonomethyl-glycine) é o principal herbicida em utilização no mundo (Service, 2007). Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs). Essa enzima é crítica na via do ácido chiquímico e sua inibição resulta em redução na produção de aminoácidos aromáticos, prejudicando assim processos metabólicos como a síntese de proteínas e o processo fotossintético (Eker et al., 2006).

Apesar de o glyphosate interferir negativamente no crescimento da maioria das espécies vegetais, alguns trabalhos têm demonstrado que subdoses de glyphosate podem estimular o crescimento das plantas. Vellini et al. (2008) observaram que subdoses entre 1,8 e 3,6 g ha⁻¹ de glyphosate proporcionaram incrementos no crescimento de várias espécies como soja convencional, eucalipto e milho. De maneira semelhante, Cedergreen et al. (2008a) obtiveram incrementos no crescimento da cevada após a aplicação do glyphosate.

Além de também ter observado estímulo no crescimento da soja convencional após a aplicação de subdoses de glyphosate, Godoy (2007) observou que subdoses entre 1,8 e 36 g ha⁻¹ estimularam a absorção de fósforo e concluiu que subdoses de glyphosate aplicadas nas plantas podem levar a indução de genes transportadores de fósforo de alta afinidade, aumentando a translocação do fósforo dentro da planta.

Atualmente, tanto no setor de produção agrícola quanto nas diversas áreas da saúde humana, o efeito de subdoses de produtos aplicados, denominado como hormótico, vem sendo amplamente discutido e pesquisado, com o objetivo de compreender o mecanismo de ação estimulante e benéfica de diversas substâncias inicialmente consideradas tóxicas (Silva et al., 2009). Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de subdoses de glyphosate no

crescimento, na absorção de P e na composição mineral do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Xodó submetido a duas subdoses de fósforo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, utilizando-se como planta teste o feijoeiro comum (*P. vulgaris* L.) cv. Xodó. O solo utilizado foi um Argissolo Amarelo, coletado em profundidade de 0 a 20 cm e analisado quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química de um Argissolo Amarelo. Campos dos Goytacazes - RJ, 2009

K	Ca	Mg	Na	SB	Al	t	H+Al	T
-----mmol _c kg ⁻¹ -----								
2,8	7,7	3,6	0,2	14,3	1	15,3	29,9	44,2
P	Zn	Mn	Cu	Fe	pH	V	m	MO
-----mg dm ⁻³ -----					(H ₂ O)	(%)	(%)	g kg ⁻¹
8,85	0,97	22,6	0,39	61,6	4,28	32,29	2,26	10,4

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4x2, em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses de 0; 4,32; 8,64 e 12,96 g ha⁻¹ de glyphosate, correspondentes a 0; 0,3; 0,6 e 0,9 % da dose recomendada de 1440 g ha⁻¹ na forma de sal de amônio do produto comercial Roundup WG[®] e o segundo fator constituído de duas subdoses de fósforo (P) no solo (50 e 250 mg dm⁻³).

Vasos com capacidade de 5 dm⁻³ receberam 8 sementes do feijoeiro comum (*P. vulgaris* L.) cv. Xodó, mantendo-se quatro plantas por vaso após o desbaste. As plantas foram irrigadas com água desionizada durante todo o experimento. Para a constituição dos tratamentos, cada vaso recebeu adubações fosfatadas com a aplicação de superfosfato simples nas dosagens de 50 e 250 mg dm⁻³ de P.

Realizou-se a calagem com o objetivo de se elevar a saturação de bases para 70%, utilizando-se a cal hidratada (Ca (OH)₂). Após a mistura do corretivo, o

solo de cada vaso foi incubado e mantido úmido durante 15 dias. Uma adubação nitrogenada foi realizada aos 30 dias e outra aos 50 dias após a semeadura (DAS) quando foram aplicados 40 mg dm^{-3} e 20 mg dm^{-3} de N, respectivamente, na forma de nitrato de amônio. O Controle fitossanitário foi realizado a partir de pulverizações com Vertimec 18 CE ($0,6 \text{ g L}^{-1}$) e Cercobin 700 WP ($0,7 \text{ g L}^{-1}$) aos 40 e 50 DAP, respectivamente.

A aplicação do glyphosate foi realizada com o auxílio de um pulverizador costal, pressurizado a gás carbônico, com pressão constante de $3,0 \text{ kgf cm}^{-2}$, equipado com um bico Turbo Teejet 100.015, considerando um volume de 230 L ha^{-1} de calda. O glyphosate foi aplicado 30 dias após a semeadura (DAS) quando as plantas se encontravam no estágio V4 em que a terceira folha trifoliada se encontrava totalmente expandida. No momento da aplicação as condições climáticas foram: 29 C° de temperatura do ar, 65% de umidade relativa e $2,5 \text{ Km h}^{-1}$ velocidade do vento.

Aos 30 dias após a aplicação do glyphosate (DAA), as plantas foram colhidas e separadas em folhas, ramos, raízes e vagens. Folhas, ramos, raízes e vagens foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 72°C durante 48 horas e pesados para determinação da massa seca. Folhas e ramos secos foram moídos e armazenados em frascos herméticos para posterior determinação dos teores de nutrientes. As raízes foram extraídas dos vasos por lavagem com água sobre peneira.

A determinação do teor de N-orgânico foi realizada a partir da digestão sulfúrica pelo método colorimétrico com reagente de Nessler, segundo Jackson (1965). Os teores de K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Cu e Mn foram obtidos a partir da digestão nítrico-perclórica. Níquel (Ni), Molibdênio (Mo) e Boro (B) foram obtidos por digestão via seca em mufla a 550°C . O teor de P foi obtido pelo método colorimétrico do azul de molibdênio em espectrofotômetro. O teor de S pelo método turbidimétrico do sulfato de bário em espectrofotômetro. Os teores de K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu e Mn, foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica. Boro foi obtido pelo método colorimétrico da Azometina H em espectrofotômetro. Níquel (Ni) e Molibdênio (Mo) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite. O teor de Cl foi obtido por titulação com nitrato de prata após extração aquosa do material

vegetal. A eficiência de absorção de P foi obtida a partir do quociente entre o conteúdo de P na parte aérea e a massa seca de raiz do feijoeiro.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste t a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plantas submetidas à subdose de 12,96 g ha⁻¹ de glyphosate apresentaram maior massa seca total (MST), da parte aérea (MSPA), de folha (MSF) e número de folhas (NF) independente do nível de fósforo adotado (Figuras 1 e 2). Para a subdose de 8,64 g ha⁻¹ também foi observado aumento nas variáveis de crescimento acima com exceção da MST, que não diferiu da testemunha (Figura 1). A subdose de 4,32 g ha⁻¹ somente afetou a massa seca de ramo (MSRA) do feijoeiro comum cv. Pérola (Figura 3). A massa seca de raiz (MSR) (4,12g) não foi influenciada pelas subdoses de glyphosate utilizadas.

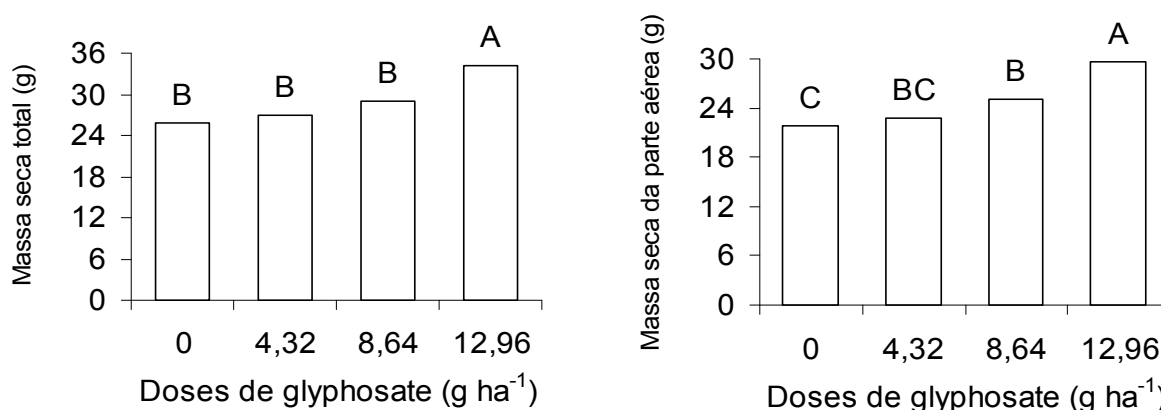


Figura 1 - Massa seca total (MST) e da parte aérea (MSPA) do feijoeiro comum cv. Xodó submetido a subdoses de glyphosate. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

O aumento proporcionado pela subdose de 12,96 g ha⁻¹ de glyphosate na MST, MSPA, MSF e NF foi de 32,35%; 36,35%; 34,08% e 40,05%, respectivamente. De forma semelhante, Vellini et al. (2008) também obtiveram incremento no crescimento da soja convencional com a aplicação da subdose de 18 g ha⁻¹ de glyphosate. O incremento observado por esses autores foi de 16,25%

e 28,66% para a MST e MSPA, respectivamente e não foi observado efeito do glyphosate sobre a MSR.

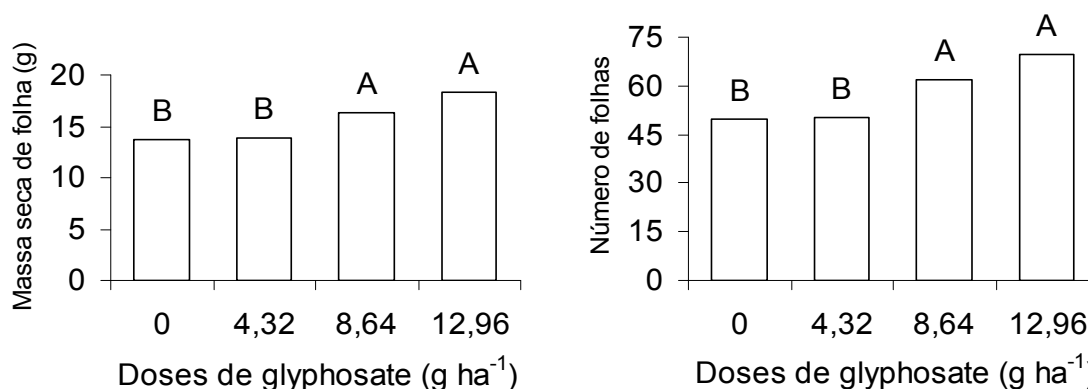


Figura 2 - Massa seca de folha (MSF) e número de folhas (NF) do feijoeiro comum cv. Xodó submetido a subdoses de glyphosate. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Com relação à MSRA observou-se que, quando foi aplicado 50 mg dm⁻³ de P houve efeito menos expressivo do glyphosate, embora esse efeito tenha ocorrido para as duas maiores subdoses de glyphosate. Quando se aplicou 50 mg dm⁻³ de P o incremento observado para a maior subdose de glyphosate foi de 21,6%, enquanto que quando se aplicou 250 mg dm⁻³ de P a maior subdose de glyphosate proporcionou um forte incremento de 59,07% na MSRA do feijoeiro (Figura 3).

Diferentemente do observado no presente trabalho, em soja convencional, Godoy (2007) observou maior incremento na MSRA em uma menor disponibilidade de P. O autor observou que quando foi aplicado 50 mg dm⁻³ de P a subdose de 25 g ha⁻¹ de glyphosate aumentou em 19% a produção de MSRA, enquanto que quando foi aplicado 150 mg dm⁻³ de P, a subdose de 14,2 g ha⁻¹ de glyphosate aumentou em apenas 3,82% a produção de MST da soja convencional.

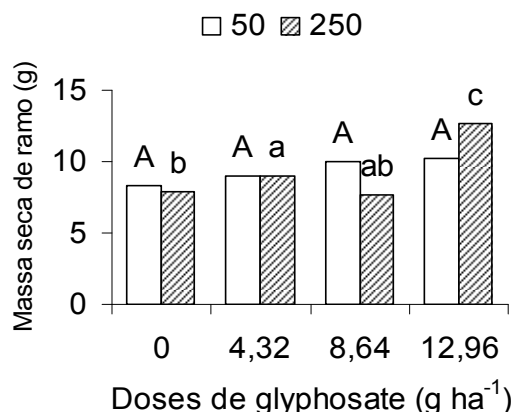


Figura 3 - Massa seca de ramo (MSR) do feijoeiro comum cv. Xodó submetido a subdoses de glyphosate. Letras maiúsculas comparam o efeito do glyphosate sobre o feijoeiro cultivado com 50 mg dm⁻³ de P e minúsculas o efeito do glyphosate sobre o feijoeiro cultivado com 250 mg dm⁻³ de P. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Resultados obtidos por Godoy (2007), Vellini et al. (2008) e Cedergreen (2008a) indicam que subdoses de glyphosate podem estimular o crescimento das plantas. Entretanto, Cedergreen (2008b) observou que o estímulo do glyphosate no crescimento da cevada se manteve somente durante a primeira semana. Mesmo assim, esse crescimento inicial foi suficiente para manter o crescimento das plantas tratadas superior ao da testemunha até 42 DAA. Contudo, após esse período, o crescimento da cevada foi inferior ao da testemunha. Isto pode ser um indicativo de que esse efeito estimulante do glyphosate sobre as plantas pode não ser sustentável, sendo necessária uma análise durante todo o ciclo da cultura.

O possível estímulo no crescimento das plantas pelo glyphosate poderá beneficiar não só as culturas, mas também as plantas daninhas. Assim, a deriva de glyphosate poderá afetar também a habilidade competitiva das plantas daninhas, que em contato com o glyphosate também poderão ter seu crescimento estimulado, como observado por Vellini et al. (2008) e assim prejudicar o crescimento e o desenvolvimento de culturas adjacentes. De qualquer forma, pouco se sabe sobre a causa e a duração desse possível efeito benéfico do glyphosate sobre as plantas, sendo necessário mais estudos para elucidar esse fenômeno.

O glyphosate não influenciou a absorção de P do feijoeiro comum. Porém, com a aplicação de subdoses semelhantes às utilizadas nesse trabalho, Cakmak et al. (2009) e Godoy (2007) obtiveram incrementos no teor de P do eucalipto e

soja, respectivamente. Como o sistema transportador de fósforo é responsável pela absorção de glyphosate (Pipke et al., 1987; Fitzgibbon e Braymer, 1988, Morin et al., 1997), acredita-se que subdoses de glyphosate aplicadas nas plantas podem levar a indução de genes transportadores de fósforo de alta afinidade, aumentando a absorção de fósforo (Godoy, 2007), mas, esse comportamento não foi observado no presente trabalho.

Por outro lado, observou-se que a maior subdose de glyphosate utilizada ($12,96 \text{ g ha}^{-1}$) aumentou o conteúdo de N, Mo e Ni da parte aérea, assim como a eficiência de absorção desses nutrientes pelo feijoeiro comum cv. Xodó (Figuras 4, 5 e 6). A eficiência de absorção de N e Ni do feijoeiro comum cv. Xodó foi dependente do nível de P aplicado (Figura 6). Pode-se observar que com uma menor disponibilidade de P as subdoses de $8,64$ e $12,96 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate aumentaram a eficiência de N e Ni. Entretanto, quando se aplicou uma maior quantidade de P, somente a subdose de $12,96 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate proporcionou aumento na eficiência de absorção desses nutrientes. Esses resultados reforçam a existência de uma relação entre P e glyphosate e apontam para uma subdose ideal de glyphosate e P, por meio da qual possam ser observados efeitos benéficos na absorção de alguns nutrientes minerais do feijoeiro cv. Xodó.

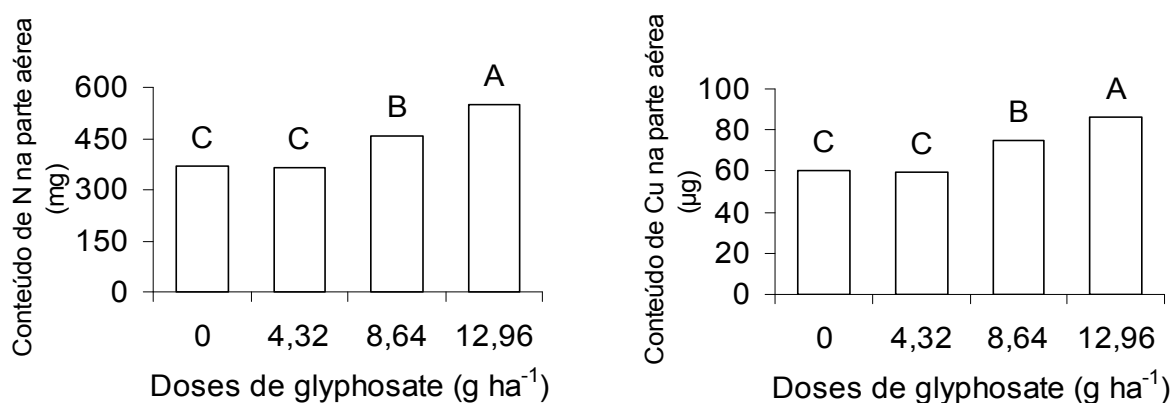


Figura 4 - Conteúdo de N, Cu, Ni e Mo na parte aérea do feijoeiro comum cv. Xodó submetido a subdoses de glyphosate. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

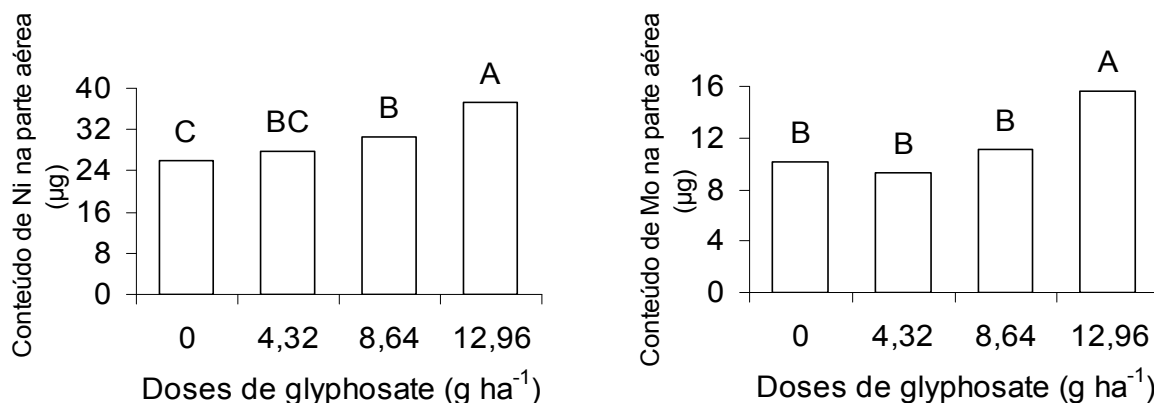


Figura 5 - Conteúdo de N, Cu, Ni e Mo na parte aérea do feijoeiro comum cv. Xodó submetido a subdoses de glyphosate. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

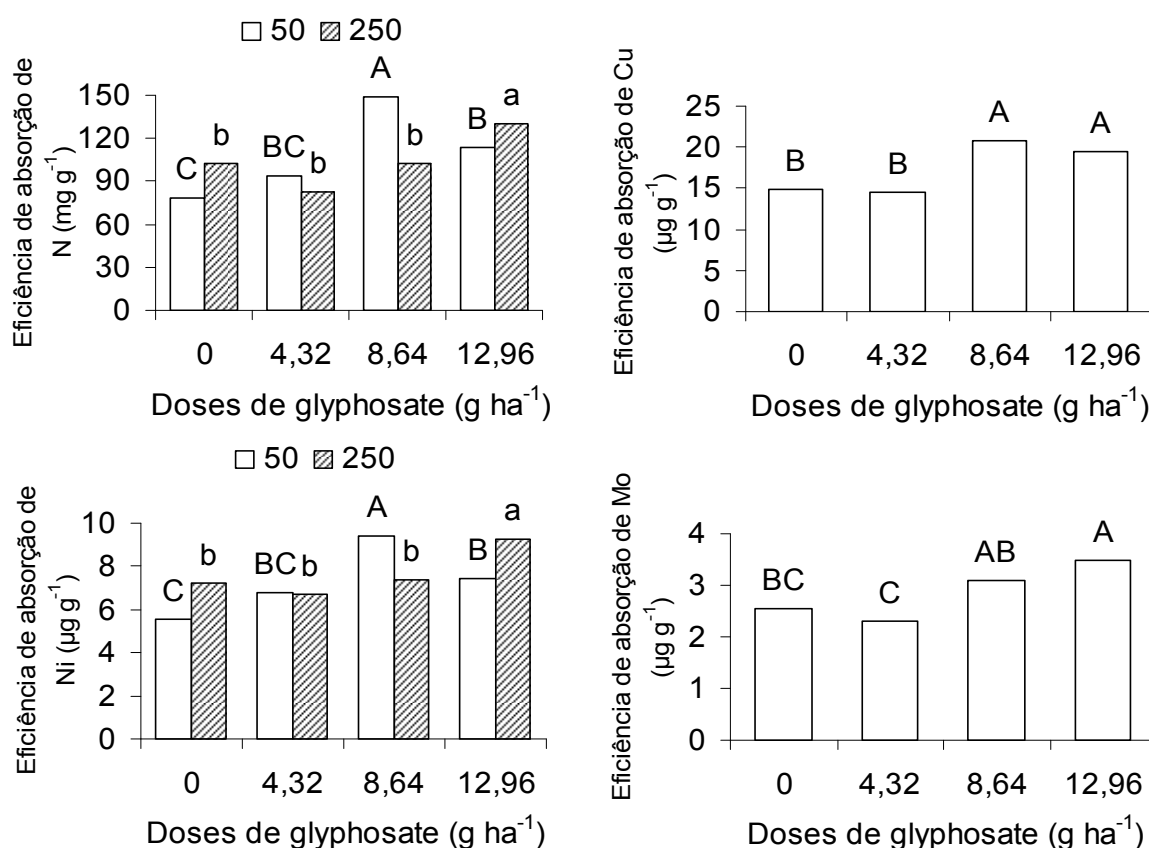


Figura 6 - Eficiência de absorção de N, Cu, Ni e Mo do feijoeiro comum cv. Xodó submetido a subdoses de glyphosate. Letras maiúsculas comparam o efeito do glyphosate sobre o feijoeiro cultivado com 50 mg dm⁻³ de P e minúsculas o efeito do glyphosate sobre o feijoeiro cultivado com 250 mg dm⁻³ de P. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

O aumento observado no conteúdo de N (48,81%), Mo (53,93%), Ni (44,07%) e Cu (42,57%) (Figuras 4 e 5) na maior subdose de glyphosate foi superior ao observado para a massa seca da parte aérea (36,27%), indicando que o glyphosate aumentou a absorção desses nutrientes. Acredita-se que os efeitos observados do glyphosate sobre a absorção de N do feijoeiro tenham ocorrido em virtude do aumento na absorção de Mo e Ni. Esses dois nutrientes estão intimamente relacionados ao processo de fixação biológica e assimilação do N (FBN).

O Mo é considerado fundamental para a FBN, pois é um elemento-chave do centro ativo da nitrogenase, enzima responsável pela fixação biológica de nitrogênio (Mengel e Kirkby, 2001). Processo este que, o N_2 é convertido em amônia (NH_3), forma metabolicamente utilizável pela maior parte dos organismos. Além disso, o Mo é constituinte da redutase do nitrato, enzima responsável pela primeira etapa do processo de redução do NO_3^- a NH_3^+ . No caso das leguminosas, o Mo é necessário na manutenção da atividade de duas enzimas relacionadas ao aproveitamento do N, podendo promover maior acúmulo de N nas plantas (Gualter et al., 2008).

O Ni também possui importante papel na fixação biológica e assimilação do nitrogênio em plantas. O Ni estimula a atividade da hidrogenase em bacterióides nos nódulos formados nas raízes dessas plantas (Klucas et al., 1983), aumentando a eficiência da FBN. Em rizóbio, 30% a 60% da energia fornecida a nitrogenase pode ser perdida como H_2 , diminuindo a eficiência da fixação de N (Schubert et al., 1978). Entretanto, alguns rizóbios contêm hidrogenase, que pode romper as moléculas de H_2 formadas e gerar elétrons para a redução do N_2 , aumentando assim a eficiência da fixação de N (Marschner, 1995).

Outra importante função do Ni no metabolismo de N é a sua participação na estrutura da enzima urease. Essa enzima catalisa a hidrólise da uréia para dióxido de carbono e amônia (Santos e Monteiro, 1994). A uréia além de ser um importante fertilizante nitrogenado, também pode ser formada durante o processo de FBN, quando os ureídeos, forma orgânica de transporte de N oriundo do processo de FBN, são degradados na parte aérea das plantas.

Assim como ocorreu para N, Ni e Mo o glyphosate também aumentou o conteúdo da parte aérea e a eficiência de absorção de Cu do feijoeiro comum cv.

Xodó, sobretudo nas maiores subdoses de glyphosate utilizadas (Figuras 4 e 6). Esses resultados também apontam para um benefício do glyphosate na absorção de Cu.

As plantas tratadas com a maior dose de fósforo apresentaram maiores teores de fósforo na folha e no ramo, maior conteúdo de fósforo na parte aérea e maior eficiência de absorção de P (Tabela 2). Esse aumento na absorção de fósforo do feijoeiro é consequência da maior disponibilidade de P no solo, proporcionada pela adubação fosfatada. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva e Vahl (2002) e Silva et al. (2001).

Tabela 2 - Teor de P na folha e no ramo, conteúdo de P na parte aérea e eficiência de absorção de P do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Xodó submetido a dois níveis de P. Campos dos Goytacazes - RJ, 2009

Dose P (mg dm ⁻³)	Teor de P na folha (g kg ⁻¹)	Teor de P no ramo (g kg ⁻¹)	Conteúdo de P na parte aérea (mg)	Eficiência de absorção de P (mg g ⁻¹)
50	2,05b	1,24b	46,24b	10,9b
250	4,69a	2,23a	89,76a	22,8a
Média	3,4	1,73	68,0	16,9
CV (%)	26,2	23,1	32,8	29,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de significância.

Além do P, os macronutrientes Mg e S também foram influenciados pelas doses de P (Tabela 3). A maior dose de P adotada proporcionou maior teor de S e menor teor de Mg nas folhas do feijoeiro comum. Assim como ocorreu para o P, o incremento no teor de S em virtude da adubação fosfatada é consequência do aumento da disponibilidade desse nutriente no solo, pois o fertilizante fosfatado utilizado (superfosfato simples) possui em sua constituição aproximadamente 12% de S. Quanto ao teor de Mg, Oliveira et al. (2001) também observaram que doses crescentes de P reduziram os teores de Mg no feijoeiro cv. Mexicano. A presença de 18 a 21% de Ca no superfosfato simples pode ter proporcionado efeito antagônico sobre a absorção de Mg.

Tabela 3 - Teores de macronutrientes em folhas do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Xodó submetido a dois níveis de P. Campos dos Goytacazes - RJ, 2009

Dose P (mg dm ⁻³)	N	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹				
50	23,2a	6,92a	22,2a	4,18a	1,92b
250	23,7a	7,17a	23,4a	3,42b	4,40a
Média	23,5	7,0	22,8	3,8	3,2
CV (%)	17,1	13,5	13,6	22,6	13,4

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de significância.

Quanto aos efeitos do P sobre os micronutrientes pode-se visualizar na Tabela 4 que o maior nível de P adotado proporcionou incrementos nos teores de Mn, Cu e Ni (Tabela 4). Diferentemente do observado no presente trabalho, Silva e Vahl (2002) observaram que doses de fósforo entre 50 kg ha⁻¹ e 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não afetaram a concentração de Mn, porém reduziram o teor de Cu do feijoeiro.

Tabela 4 - Teores de micronutrientes em folhas do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L. cv. Xodó submetido a dois níveis de P. Campos dos Goytacazes - RJ, 2009

Dose P (mg dm ⁻³)	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni	Mo	B	Cl
	mg kg ⁻¹							
50	121b	233a	46,3a	3,18b	1,36b	0,35a	37,8a	2,22a
250	184a	242a	53,7a	3,54a	1,49a	0,41a	40,1a	2,14a
Média	155,4	236,7	50	3,4	1,4	0,4	38,9	2,2
CV (%)	19,7	13,3	27,1	13,7	7,05	20,2	10,1	25,6

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de significância.

4. CONCLUSÕES

A subdose de 12,96 g ha⁻¹ de glyphosate estimulou o crescimento, assim como proporcionou uma maior absorção de N, Ni, Mo e Cu pelo feijoeiro comum cv. Xodó.

A absorção de P pelo feijoeiro comum cv. Xodó não foi afetada pelas subdoses de 4,32; 8,64 e 12,96 g ha⁻¹ de glyphosate.

As plantas submetidas à maior dose de fósforo apresentaram maiores teores foliares de P, S, Mn, Cu, Ni e menor teor de Mg.

REFERÊNCIAS

- Cakmak, I., Yazici, A., Tutus, Y., Ozturk, L. (2009) Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *Europ. J. Agronomy*, 31:114-119.
- Cedergreen, N. (2008a) Herbicides can stimulate plant growth. *Weed Research*, 48: 429–438.
- Cedergreen, N. (2008b) Is the growth stimulation by low subdoses of glyphosate sustained over time? *Environmental Pollution*, 156:1099–1104.
- Eker, S., Levent, O., Yazici, A., Erenoglu, B., Römheld, V., Cakmak, I. (2006) Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plants J Agric Food Chem*, 54:10019-10025.
- Fitzgibbon, J., Braymer H.D. (1988) Phosphate starvation induces uptake of glyphosate by *Pseudomonas* sp. strain PG2982. *Appl. Environ. Microbiol*, 54: 1886-1888.
- Godoy, M.C. (2007) *Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fósforo pela soja*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 42p.
- Gualter, R.M.R., Leite, L.F.C., Araujo, A.S.F., Alcantara, R.M.C.M., Costa, D.B. (2008) Inoculação e adubação mineral em feijão-caupi: efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. *Scientia agrária*, 9 (4): 469-474.

Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.

Klucas, R.V.; Hanus, F.J.; Russell, S.A.; Evans, H.J. (1983) Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 80 (8):2253-2257.

Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 889 p.

Mengel, K., Kirkby, E.A. (2001) *Principles of plant nutrition*. 5. Ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

Morin, F., Vera, V., Nurit, F., Tissut, M., Marigo, G. (1997) Glyphosate uptake in *Catharanthus roseus* cells: Role of a phosphate transporter. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 58: 13-22.

Oliveira, I.P., Edwards, D.G., Ascher, C.J., Grundon, N.J., Santos, R.S.M, Faria, C.D. (2001) Modos de aplicação e subdoses de fósforo no crescimento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 31(1): 1-5.

Pipke, R., Schulz, A., Amrhein, N. (1987) Uptake of glyphosate by an *Arthrobacter* sp. *Applied and Environmental Microbiology*, 53: 974-978.

Santos, T.M.C., Monteiro, R.T.R. (1994) Número de microorganismos e atividade da urease na presença de aldicabre e endosulfan no solo. *Sci.agric*, 51(1):123-130.

Schubert, K.R., Lennigs, N.T., Evans, H.I. (1978) Hydrogen reactions of nodulated leguminous plants. *Plant Physiology*, 61: 398-401.

Service, R.F. (2007) A growing threat down on the farm. *Science*, 316 (5828):1114-1117.

- Silva, E.B., Resende, J.C.F., Rennó, W.B.C. (2001) Resposta do feijoeiro á subdoses de fósforo em solo arenoso. *Ciência rural*, 31(6): 973-977.
- Silva, M.A., Aragão, N.C., Barbosa, M.A., Jerônimo, E.M., Carlin, S.A. (2009) Efeito hormótico de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. *Bragantia*, 68(4): 973-978.
- Silva, R.J.S., Vahl, L.C. (2002) Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada num Neossolo litólico distrófico da região sul do rio grande do sul. *R. bras. Agrociência*, 8 (2): 129-132.
- Vellini, E.D., Alves, E., Godoy, M.C., Mechede, D.K., Souza, R.T., Duke, S.O. (2008) Glyphosate applied at low subdoses can stimulate plant growth. *Pest Manag Sci*, 64:489-496.

4. RESUMOS E CONCLUSÕES

O glyphosate, herbicida mais utilizado em todo o mundo tem sido alvo de muitas pesquisas ao longo dos anos. Essas pesquisas são de grande importância, pois através delas tem sido possível conhecer os sintomas e os efeitos que esse herbicida pode proporcionar quando em contato com as culturas. Sabe-se que subdoses de glyphosate quando em contato com as culturas podem provocar a morte dessas. No entanto, alguns trabalhos têm demonstrado que aplicação de subdoses de glyphosate pode ser benéfica a algumas culturas. No presente trabalho ficou claro que subdoses de glyphosate podem prejudicar, mas também estimular o crescimento e a absorção de alguns nutrientes. Verificou-se que as subdoses de 43,2 g ha⁻¹ e 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate reduziram os teores de diversos nutrientes e o crescimento do feijoeiro cv. Pérola, e que a subdose de 14,4 g ha⁻¹ aumentou o teor de K, P, Ca, Fe, Cu e Ni no primeiro experimento. No segundo experimento, observou-se que a maior subdose (12,96 g ha⁻¹) de glyphosate estimulou o crescimento do feijoeiro e a absorção de N, Ni, Mo e Cu do feijoeiro cv. Xodó. Ainda não se sabe qual o real mecanismo em que o glyphosate interfere positivamente no crescimento e na absorção de nutrientes nas culturas. No entanto, essa pesquisa contribui na confirmação dos resultados obtidos em outras culturas, além de estimular mais pesquisas nesse sentido, para que se possa conhecer esses possíveis efeitos benéficos do glyphosate e os reais mecanismos que expliquem como o herbicida pode estimular o crescimento e a absorção de nutrientes no feijoeiro. Os resultados alcançados no presente

trabalho também reforçam o perigo da ocorrência de deriva de glyphosate próxima a um feijoad, visto que, em contato com o feijoeiro o herbicida pode proporcionar reduções significativas no seu crescimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Khatib, K., Peterson, D. (1999) Soybean (*Glycine max*) response to simulated drift from selected sulfonylurea herbicides, dicamba, glyphosate, and glufosinate. *Weed Technol*, 13: 264-270.
- Arruda, J.S., Lopes, N.F., Moura, A.B. (2001) Behavior of *Bradyrhizobium japonicum* strains under different herbicide concentrations. *Planta Daninha*, 19 (1):111-117.
- Bailey, W.A., Poston, D.H., Wilson, H.P., Hines, T.E. (2002) Glyphosate interactions with manganese. *Weed Technol*, 16: 792-799.
- Barja, B.C., Herszage, J., Afonso, M.S. (2001) Iron (III) - phosphonate complexes. *Polyhedron*, 20:1821-1830.
- Baylis, A.D. (2000) Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Manag Sci*, 56:299-308.
- Bellaloui, N., Reddy, K.N., Zablotowicz, R.M., Mengistu, A. (2006) Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non-glyphosate-resistant soybean. *J. Agric. Food Chem*, 54:3357-3364.

- Bellaloui, N., Zablotowicz, R.M., Reddy, K.N., Abel, C.A. (2008) Nitrogen Metabolism and Seed Composition As Influenced by Glyphosate Application in Glyphosate-Resistant Soybean. *J. Agric. Food Chem*, 56: 2765-2772.
- Bernards, M.L., Thelen, K.D., Muthukumaran, R.B. (2005) Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. *Weed Sci*, 53:787-794.
- Bott, S., Tesfamariam, T., Candan, H., Cakmak, I., Römheld, V., Neumann, Günter. (2008) Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). *Plant Soil*, 312:185-194.
- Braguini, W.L. *Efeitos da deltametrina e do glifosato, sobre parâmetros do metabolismo energético mitocondrial, sobre membranas artificiais e naturais e experimentos in vivo*. Tese (Doutorado em Ciências-Bioquímica) - Curitiba - PR, Universidade Federal do Paraná - UFPR, 191p.
- Brecke, B.J., Duke, W.B. (1980) Effect of glyphosate on Intact Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L.) and Isolated Cells. *Plant Physiol*, 66:656-659.
- Bridges, D.C. (2003) *Glyphosate-type herbicides*. In: Herbicide action course. West Lafayette: Purdue University. p.501-513.
- Cakmak, I., Yazici, A., Tutus, Y., Ozturk, L. (2009) Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *Europ. J. Agronomy*, 31:114-119.
- Caseley, J.C., Coupland, D. (1985) Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake movement and acidity. In: Grossbard, E., Atkinson, D.A (Ed.). *The herbicide glyphosate*. London: Butterworths. p.92-123.
- Cedergreen, N. (2008a) Herbicides can stimulate plant growth. *Weed Research*, 48: 429-438.

- Cedergreen, N. (2008b) Is the growth stimulation by low subdoses of glyphosate sustained over time? *Environmental Pollution*, 156:1099–1104.
- Cessna, A. J., Waddington, J. (1995) Dissipation of glyphosate and its metabolite AMPA in established crested wheatgrass following spring application. *Can. J. Plant Sci*, 75: 759-762.
- Cessna, A.J., Darwent, A.L., Kirkland, K.J., Townley-Smith, L., Harker, K.N., Lefkovitch, L.P. (1994) Residues of glyphosate and its metabolite AMPA in wheat seed and foliage following preharvest applications. *Can. J. Plant Sci*, 74: 653-661.
- Cessna, A.J., Darwent, A.L., Townley-Smith, L., Harker, K.N., Kirkland, K.J. (2002) Residues of glyphosate and its metabolite AMPA in field pea, barley, and flax seed following preharvest applications. *Can. J. Plant Sci*, 82: 485-489.
- Cessna, A.J., Darwent, L.T., Harker, K.N., Kirkland, K.J. (2000) Residues of glyphosate and its metabolite AMPA in canola seed following preharvest applications. *Can. J. Plant Sci*, 80: 425-431.
- Coutinho, C.F.B., Mazo, L.H. (2005) Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. *Química Nova*, 28 (6): 1038-1045.
- Cranmer, J.R., Linscott, D.L. (1991) Effects of droplet composition on glyphosate absorption and translocation in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Sci*. 39:251-254.
- De Ruiten, H., Uffing, A., Meinen, E. (1996) Influence of surfactants and ammonium sulphate on glyphosate phytotoxicity to quackgrass (*Elytrigia repens*). *Weed Technol*, 10:803-808.
- Duke, S.O. (1988) Glyphosate. In: Kearney, P. C., Kaufman, D. D, *Herbicides: Chemistry, Degradation, and Mode of Action*. New York: Dekker, 31-70.

- Duke, S.O., Cedergreen, N., Velini, E.D., Belz, R.G. (2006) Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? *Outlooks Pest Manag*, 17:29-33.
- Duke, S.O., Rimando, A.M., Pace, P.F., Reddy, K.N., Smeda, R.J. (2003) Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid levels in seeds of glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. *J. Agric. Food Chem*, 51: 340-344.
- Dvoranen, E.C., Oliveira JR, R.S., Constatin, J., Cavalieri, S.D., Blainski, E. (2008) Nodulação e crescimento de variedades de soja RR sob aplicação de glyphosate, fluasifop-p-butyl e fomesafen. *Planta Daninha*, 26 (3): 619-625.
- Eker, S., Levent, O., Yazici, A., Erenoglu, B., Römheld, V., Cakmak, I. (2006) Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *J Agric Food Chem*, 54:10019-10025.
- Ellis, J.M., Griffin, J.L. (2002) Soybean (*Glycine max*) and cotton (*Gossypium hirsutum*) response to simulated drift of glyphosate and glufosinate. *Weed Technol*, 16: 580-586.
- Ferreira, F.B., Pinto, J.J.O., Roman, E.S., Galon, L., Rezende, A.L., Procópio, S.O. (2006) Conseqüências da Deriva simulada do herbicida Glyphosate sobre a cultura do Arroz Irrigado (*Oriza sativa* L.). *R. Bras. Agrociência*, Pelotas, 12 (3): 309-312.
- Figueiredo, S.S., Loeck, A.E., Rosenthal, M.D., Agostinetto, D., Fontana, L.C., Rigoli, R.P. (2007) Influência de subdoses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 25 (3): 849-857.

- Fitzgibbon, J., Braymer H.D. (1988) Phosphate starvation induces uptake of glyphosate by *Pseudomonas* sp. strain PG2982. *Appl. Environ. Microbiol*, 54: 1886-1888.
- Franz, J.E., Mao, M.K., Sikorski, J.A. (1997) *Glyphosate: A Unique Global Herbicide*. ACS Monograph 189; American Chemical Society: Washington, DC: 653 pp.
- Franzen, D.W., O'Barr, J.H., Zollinger, R.K. (2003) Interaction of a foliar application of iron HEDTA and three postemergence broadleaf herbicides with soybeans stressed from chlorosis. *J. Plant Nutr*, 26: 2365-2374.
- Furtini Neto, A.E., Fernandes, L.A., Faquin, V., Silva, I.R., Accioly, A.M.A. (2000) Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. *Pesq. agropec. Bras*, 35 (3): 567-573.
- Godoy, M.C. (2007) *Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fósforo pela soja*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Botucatu - SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 42p.
- Gravena, R. (2006) *Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas de citros atingidas pelo glyphosate*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 44p.
- Gruys, K.J., Sikorski, J.A. (1999) Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides. In: Singh, B. K. *Plant amino acids: biochemistry and biotechnology*. New York: Marcel Dekker, p. 357-384.
- Gualter, R.M.R., Leite, L.F.C., Araujo, A.S.F., Alcantara, R.M.C.M., Costa, D.B. (2008) Inoculação e adubação mineral em feijão-caupi: efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. *Scientia agraria*, 9 (4): 469-474.
- Hall, G., Hart, C., Jones, C. (2000) Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity. *Pest Manag. Sci*, 56: 351-358.

- Harper, J.L., Jones, M., Sackville-Hamilton, N.R. (1991) The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: ATKINSON, D. (Ed.) *Plant root growth: an ecological perspective*. Oxford: Blackwell, 3-22.
- Hernandez, A., Garcia-Plazaola, J.I., Becerril, J.M. (1999) Glyphosate effects on phenolic metabolism of nodulated soybean (*Glycine max* L. Merr.). *J. Agric. Food Chem*, 47:2920-2925.
- Herrmann, K.M., Weaver, L.M. (1999) The shikimate pathway. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*, 50:473-503.
- Hetherington, P.R., Marshall, G., Kirkwood, R.C., Warner, J.M. (1998). Absorption and efflux of glyphosate by cell suspensions. *J. Exp. Bot.*, 49 (320):527-533.
- Hoagland, R. E. (1980) Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds: VI. Effects of glyphosine and glyphosate metabolites on phenylalanine ammonia-lyase activity, growth, and protein, chlorophyll, and anthocyanin levels in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Weed Sci*, 28: 393-400.
- Huber, D.M. (2006) Strategies to ameliorate glyphosate immobilization of manganese and its impact on the rhizosphere and disease. In: Lorenz N, Dick R (eds) *Proceedings of the glyphosate potassium symposium*. Ohio State University, AG Spectrum, DeWitt, Iowa.
- Jachetta, J.J., Appleby, A.P., Boersma, D.L. (1986) Apoplastic and symplastic pathways of atrazine and glyphosate transport in shoots of seedlings sunflower. *Plant Physiology*, 82: 1000.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Jaworski, E.G. (1972) Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 20:1195-1198.

- Keen, N.T., Holliday, M.J., Yoshikawa, M. (1982) Effects of glyphosate on glyciollin production and the expression of resistance to *Phytophthora megasperma* f. sp. glycinea in soybean. *Phytopathology*, 72: 1467-1470.
- King, A.C., Purcell, L., Vories, E.A. (2001) Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. *Agronomy Journal*, 93 (1):179-186.
- Klucas, R.V.; Hanus, F.J.; Russell, S.A.; Evans, H.J. (1983) Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 80(8):2253-2257.
- Kruse, N.D., Michelangelo, M.T., Vidal, A.V. (2000) Herbicidas Inibidores da EPSPs: Revisão de literatura. *Rev. Bras. Herb*, 1(2):139-146.
- Laitinen, P., Ramo, S., Siimes, K. (2007) Glyphosate translocation from plants to soil - does this constitute a significant proportion of residues in soil? *Plant Soil*, 300:51-60.
- Liu, L.; Punja, Z.K.; Rahe, J.E. (1997) Altered root exudation and suppression of induced lignification as mechanism of predisposition by glyphosate of bean roots (*Phaseolus vulgaris* L.) to colonization by *Pythium* spp. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, London, 5: 111-127.
- Liu, S.H., Campbell, R.A., Studens, J.A., Wagner, R.G. (1996) Absorption and translocation of glyphosate in Aspen (*Populus tremuloides* Michx.) as influenced by droplet size, droplet number, and herbicide concentration. *Weed Sci*, 44(3):482-488.
- Lunkes, J.A., Silva, J.B., Andrade, M.J.B., Karam, D. (1998) Efeito de subdoses de Glyphosate simulando deriva sobre a cultura do feijão. *Pesticidas: R.Ecotoxicol e Meio Ambiente*, Curitiba, 8:127-148.

- Malik, J., Barry, G., Kishore, G. (1989) The herbicide glyphosate. *Biofactores*, 2:7-25.
- Malty, J.S., Siqueira, J.A., Moreira, F.M.S. (2006) Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. *Pesq. Agropec. Bras*, 41 (2):285-291.
- Marenco, R., Lopes, N.F., Mosquin, P.R. (1993) Nodulation and nitrogen fixation in soybeans treated with herbicides. *R. Bras. Fisiol. Veg*, 5 (2):121-126.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 889 p.
- Massenssini, A. M. (2007) *Solubilização de fosfatos mediada por microrganismos do solo de plantio de eucalipto*. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa, UFV, 107p.
- Matallo, D. K., Franco, D. A. S., Almeida, D. A. C., Cerdeira, A. L., Lacerda, A. L. S. (2007) Monitoramento do ácido chiquimico em plantas de citrus sob diferentes sistemas de manejo de plantas daninhas. In: Simpósio Internacional sobre Glyphosate. Botucatu. *Anais...* FCA-Botucatu: UNESP, p. 289-292.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. (2001) *Principles of plant nutrition*. 5. Ed. Dordrecht: kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- Monquero, P.A., Christoffoleti, P.J., Osuna, M.D., Prado, R.A. (2004) Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 22 (3):445-451.
- Moorman, T.B., Becerril, J.M., Lyndon, J., Duke, S.O. (1992) Production of hydroxybenzoic acids by *Bradyrhizobium japonicum* strains after treatment with glyphosate. *J Agric Food Chem*, 40:289-293.

- Morin, F., Vera, V., Nurit, F., Tissut, M., Marigo, G. (1997) Glyphosate uptake in *Catharanthus roseus* cells: Role of a phosphate transporter. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 58: 13-22.
- Nalewaja, J. D., Matysiak, R., Freeman, T.P. (1992) Spray droplet residual of glyphosate in various carriers. *Weed Sci.* 40:576–589.
- Nandula, V.K., Reddy, K.N., Rimando, A.M., Duke, S.O., Poston, D.H. (2007) Glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine max*) and canola (*Brassica napus*). Dose response and metabolism relationships with glyphosate. *J Agric Food Chem*, 55:3540-3545.
- Neumann, G., Kohls, S., Landsberg, E., Stock-Oliveira Souza, K., Yamada, T., Römheld, V. (2006) Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. *J Plant Dis Protect*, 20:963-969.
- Nilsson, G. (1985) Interactions between glyphosate and metals essential for plant growth. In: E. Grossbard and D. Atkinson, *The herbicide Glyphosate*. London: Butterworths, 35-47.
- Oliveira, I.P., Edwards, D.G., Ascher, C.J., Grundon, N.J., Santos, R.S.M, Faria, C.D. (2001) Modos de aplicação e subdoses de fósforo no crescimento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 31(1): 1-5.
- Ozturk, L., Yaciki, A., Eker, S., Gokmen, O., Römheld, V., Cakmak, I. (2008) Glyphosate inhibition of ferric reductase activity in iron-deficient sunflower roots. *New Phytol*, 177:899-906.
- Padgett, S.R., Kolacz, K.H., Delannay, X., Re, D.B., LaVallee, B. J., Tinius, C. N., Rhoades, W.K., Otero, Y.I., Barry, G.F., Eicholtz, D.A., Peschke, V.M., Nida, D.L., Taylor, N.B., Kishore, G.M. (1995) Development, identification, and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line. *Crop Sci*, 35: 1451-1461.

- Pearson, R.G. (1963) "Hard and Soft Acids and Bases". *J. Am. Chem. Soc.*, 85:3533-3539.
- Pipke, R., Schulz, A., Amrhein, N. (1987) Uptake of glyphosate by an *Arthrobacter* sp. *Applied and Environmental Microbiology*, 53: 974-978.
- Pline, W.A., Wu, J., Hatzios, K.K. (1999) Effects of temperature and chemical additives on the response of transgenic herbicide-resistant soybeans to glufosinate and glyphosate applications. *Pestic. Biochem. Physiol*, 65:119-131.
- Ramsdale, B.K., Messersmith, C.G., Nalewaja, J.D. (2003) Spray volume, formulation, ammonium sulfate and nozzle effects on glyphosate efficacy. *Weed Technol*, 17:589-598.
- Reddy, K.N., Hoagland, R.E., Zablotowicz, R.M. (2000) Effect of glyphosate on growth, chlorophyll, and nodulation in glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine max*) varieties. *J. New Seeds*, 2 :37-52.
- Reddy, K.N., Rimando, A.M., Duke, S.O. (2004) Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. *J. Agric. Food Chem*, 52: 5139-5143.
- Reddy, K.N., Rimando, A.M., Duke, S.O., Nandula, V.K. (2008) Aminomethylphosphonic Acid Accumulation in Plant Species Treated with Glyphosate. *J. Agric. Food Chem*, 56: 2125-2130.
- Rodrigues, B.N., Almeida, F.S. (2005) *Guia de herbicidas*. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 591 p.
- Römheld, V., Guldner, M., Yamada, T., Ozturk, L., Cakmak, I., Neumann, G. (2005) Relevance of glyphosate in the rhizosphere of non-target plants in orchards for plant health. *Proc. XV Int. Plant Nutr. Colloquium*, 476-477.

- Royuela, M., Gonzalez, A., Arrese-Igor, C., Aparicio-Tejo, P.M., Gonzalez-Murua, C. (1998) Imazethapyr inhibition of acetolactate synthase in *Rhizobium* and its symbiosis with pea. *Pestic. Sci*, 52 (4):372-380.
- Santos, J.B., Ferreira, E.A., Reis, M.R., Silva, A.A., Fialho, C.M.T., Freitas, M.A.M. (2007) Avaliação de formulações de glyphosate sobre a soja roundup ready. *Planta Daninha*, 25 (1): 165-171.
- Santos, J.B., Jacques, R.J.S., Procópio, S.O., Kasuya, M.C.M., Silva, A.A., Santos, E.A. (2004) Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. *Planta Daninha*, 22 (2): 293-299.
- Santos, J.B., Silva, A.A., Costa, M.D., Jakelaitis, A., Vivian, R., Santos, E.A. (2006) Ação de herbicidas sobre o crescimento de estirpes de *Rhizobium tropici*. *Planta Daninha*, 24 (3):457-465.
- Santos, T.M.C., Monteiro, R.T.R. (1994) Número de microorganismos e atividade da urease na presença de aldicabre e endosulfan no solo. *Sci.agric*, 51(1):123-130.
- Schabenberger, O., Tharp, B.E., Kells, J.J., Penner, D. (1999) Statistical testes for hormesis and effective dosage in herbicide dose-response. *Agron J*, 91:713-721.
- Schroder, E.P., Pinto, J.J.O., Baptista da Silva, J. Et Al. Avaliação de pulverizações aéreas dos herbicidas sulfosate e glyphosate. (2000) In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 22, Foz do Iguaçu, *Resumos...* Foz do Iguaçu, PR: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas daninhas, p.478.
- Schroeder, G.L., Cole, D.F., Dexter, A.G. (1983) Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) response to simulated herbicide spray drift. *Weed Sci.*, 31:831-83.

- Schubert, K.R., Lennigs, N.T., Evans, H.I. (1978) Hydrogen reactions of nodulated leguminous plants. *Plant Physiology*, 61: 398-401.
- Service, R.F. (2007) A growing threat down on the farm. *Science*, 316 (5828):1114-1117.
- Silva, E.B., Resende, J.C.F., Rennó, W.B.C. (2001) Resposta do feijoeiro á subdoses de fósforo em solo arenoso. *Ciência rural*, 31(6): 973-977.
- Silva, M.A., Aragão, N.C., Barbosa, M.A., Jerônimo, E.M., Carlin, S.A. (2009) Efeito hormótico de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. *Bragantia*, 68(4): 973-978.
- Silva, R.J.S., Vahl, L.C. (2002) Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada num Neossolo litólico distrófico da região sul do Rio Grande do Sul. *R. bras. Agrociência*, 8 (2): 129-132.
- Southam, C.M., Erlich, J. (1943) Effects of extract of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. *Phytopathology*, 33:517-524.
- Subramaniam, V., Hoggard, P. E. (1988) Metal complexes of glyphosate. *J. Agric. Food Chem*, 36: 1326-1329.
- Teruel, D.A., Neto, D.D., Hopmans, J.W., Reichardt, K. (2001) Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. *Scientia Agricola*, 58 (1): 55-60.
- Thelen, K.D., Jackson, E.P., Penner, D. (1995) The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. *Weed Sci*, 43: 541-548.
- Toni, L.R.M., Santana, H.de., Zaia, D.A.M. (2006) Adsorção de Glifosato sobre solo e minerais. *Quim. Nova*, 29 (4): 829-833.

- Tuffi Santos, L.D., Siqueira, C.H., Barros, N.F., Ferreira, F.A., Ferreira, L.R., Machado, A.F.L. (2007) Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito de deriva do Glyphosate. *Cerne*, Lavras, 13 (4): 347-352.
- Tuffi Santos, L.D., Wagner Júnior, A., Silva, J.O.C., Pimentel, L.D., Santos, C.E.M., Bruckner, C.H., Ferreira, F.A. (2006) Deriva de herbicidas e efeito de fungicida x herbicida em plantas jovens de pessegueiro. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 24 (3): 505-512.
- Undabeytia, T., Cheshire, M.V., McPhail, D. (1996) Interaction of the herbicide glyphosate with copper in humic complexes. *Chemosphere*, 32 (7): 1245-1250.
- Velini, E.D., Alves, E., Godoy, M.C., Meschede, D.K., Souza, R.T., Duke, S.O. (2008) Glyphosate applied at low subdoses can stimulate plant growth. *Pest Manag Sci*, 64: 489-496.
- Wagner Júnior, A., Tuffi Santos, L.D., Santos, C.E.M., Silva, J.O.C., Pimentel, L.D., Bruckner, C.H., Ferreira, F.A. (2008) Deriva simulada de formulações comerciais de glyphosate sobre Maracujazeiro Amarelo. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 26 (3): 677-683.
- Wang, C.J., Liu, Z.Q. (2006) Foliar uptake of pesticides—Present status and future challenge. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 87:1-8.
- Wills, G.D., McWhorter, C.G. (1985) Effect of inorganic salts on the toxicity and translocation of glyphosate and MSMA in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). *Weed Sci*, 33:755-761.
- Yamada, T., Castro, P.R.C. (2007) Efeitos do Glyphosate nas plantas: Implicações fisiológicas e agronômicas. Encarte técnico. *Informações Agronômicas*, n.119. 32p.

- Yamashita, O.M., Guimarães, S.C. (2005) Resposta de cultivares de algodoeiro a subdoses de glyphosate. *Planta Daninha*, 23 (4):627-633.
- Young, B.G., Knepp, A.W., Wax, L.M., Hart, S.E. (2003) Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. *Weed Sci.* 51:151-156.
- Zablotowicz, R.M., Reddy, K.N. (2004) Impact of glyphosate on the Bradyrhizobium japonicum symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. *J. Environ. Qual*, 33:825-831.
- Zanatta, J.F., Procópio, S.O., Manica, R., Pauleto, E.A., Cargnelutti Filho, A., Vargas, L., Sganzerla, D.C., Rosenthal, M.D.A., Pinto, J.J.O. (2007) Teores de água no solo e eficácia do herbicida glyphosate no controle de *euphorbia heterophylla*. *Planta Daninha*, 25 (3): 799-811.
- Zobiolo, L.H.S., Oliveira, R.S., Huber, D.M., Constantin, J., Castro, C., Oliveira, F.A., Oliveira Jr, A. (2010a) Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. *Plant Soil*, 328:57-69.
- Zobiolo, L.H.S., Oliveira, R.S., Visentainer, J.V., Kremer, R.J, Bellaloui, N., Yamada, T. (2010b) Glyphosate affects seed composition in Glyphosate-Resistant Soybean. *J. Agric. Food Chem*, 58:4517-4522.