

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
29/09/2020.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



FERNANDA PACHECO DE ALMEIDA PRADO BORTOLHEIRO

**FOTOSSÍNTESE, CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DO
FEIJOEIRO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE**

Botucatu

2019

FERNANDA PACHECO DE ALMEIDA PRADO BORTOLHEIRO

**FOTOSSÍNTESE, CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DO
FEIJOEIRO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Professor Doutor Marcelo de
Almeida Silva

Botucatu

2019

B739f

Bortolheiro, Fernanda Pacheco de Almeida Prado
Fotossíntese, concentração de nutrientes e
produtividade do feijoeiro submetido à aplicação de
subdoses de glyphosate / Fernanda Pacheco de Almeida
Prado Bortolheiro. -- Botucatu, 2019
132 p. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Marcelo de Almeida Silva

1. Ecofisiologia vegetal. 2. Leguminosa. 3. Hormese. 4.
Plantas Efeito de glifosato. 5. Glyphosate. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca
da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **“FOTOSSÍNTESE, CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE”**

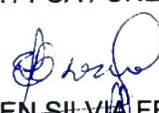
AUTORA: FERNANDA PACHECO DE ALMEIDA PRADO BORTOLHEIRO

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

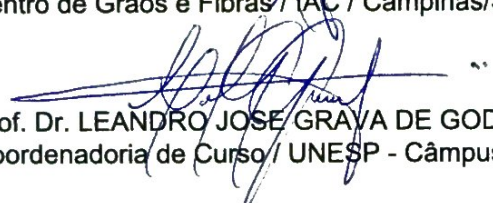
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI
Produção Vegetal / FCA / UNESP - Botucatu


Prof.ª Dr.ª CARMEN SILVA FERNANDES BOARO
Botânica / Instituto de Biodiências de Botucatu - UNESP


Pesquisador Dr. ALISSON FERNANDO CHIORATO
Centro de Grãos e Fibras / IAC / Campinas/SP


Prof. Dr. LEANDRO JOSE GRAVA DE GODOY
Coordenadoria de Curso / UNESP - Câmpus de Registro

Botucatu, 29 de março de 2019.

Aos meus queridos pais, Maria Cecília e Aguinaldo, e avó Maria Cecília que sempre me incentivaram e que são verdadeiros exemplos de garra, honestidade, respeito e paciência para com os desafios da vida.

A minha irmã Carolina.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por estar presente em minha vida em todos os momentos me dando força para seguir em frente.

À minha família, que sempre estiveram do meu lado me apoiando e dando suporte para as minhas realizações. Obrigada pelo amor e carinho.

Ao meu noivo Murilo por todo apoio, amor, carinho, paciência, amizade e ajuda, tornando a caminhada mais suave e agradável.

À Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado e pela infraestrutura disponibilizada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela orientação, ensinamentos, amizade, paciência, confiança depositada em mim e ajuda na realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a execução deste trabalho de pesquisa.

Ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) pela doação das sementes, que tornou possível a realização deste trabalho.

À Marcela, pelo convite para realização deste trabalho, por todo companheirismo, ajuda, ideias, amizade, cumplicidade, paciência, risadas, momentos de descontração e por tudo o que fez por mim nos momentos mais difíceis. Com certeza será uma amizade para a vida toda.

À banca examinadora pela disponibilidade de participação e pelas sugestões.

Aos amigos e companheiros de trabalho do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA): Marcela, Samara, Breno, Vinícius, Mariana, Ana, Vanessa, Jania, Dayane, Gabriel, Vicente e aos estagiários, pela ajuda na condução do experimento, companheirismo e momentos de descontração.

Aos amigos da pós-graduação Michely, Marcela, Laís, Samara, Breno, Vinícius, Mariana, Ana, Vanessa, Jania, Dayane, pelas conversas, ajudas, e também pelos momentos de descontração e risadas.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

A todos meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Glyphosate em subdoses pode estimular o crescimento das plantas. O efeito estimulatório de baixas doses de um composto tóxico é conhecido como hormese. Estudos como este são de fundamental importância para a adoção do manejo desta tecnologia. A hipótese desta pesquisa foi que subdoses de glyphosate promovem alterações a nível morfológico, fisiológico, nutricional e de produção em plantas de feijoeiro comum. Deste modo, o objetivo foi avaliar as alterações morfológicas, nutricionais, fisiológicas e na produtividade de grãos do feijoeiro comum de ciclo precoce submetido à aplicação de subdoses de glyphosate e se esses efeitos são influenciados pelas épocas de semeadura da cultura. Os experimentos foram conduzidos em campo e a cultivar utilizada foi a IAC Imperador, feijoeiro comum de ciclo precoce. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, constituído de doses de glyphosate aplicadas no estágio fenológico V₄, com quatro repetições. Foram realizados dois experimentos, o primeiro na safra de inverno e o segundo na safra das águas, no ano de 2016. Na safra de inverno, os tratamentos consistiram em cinco subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12 e 36 g de equivalente ácido (e.a.) ha⁻¹), na safra das águas, os tratamentos consistiram em sete subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12; 36; 54 e 108 g de e.a. ha⁻¹). Foram avaliados: altura de plantas, área foliar, massa de matéria seca de folhas, caule e parte aérea, taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e peso específico de folha (PE), teores de macro e micronutrientes nas folhas e grãos, conteúdo de clorofila *a*, *b*, *total* e carotenoides, taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração, concentração interna de CO₂, eficiência instantânea de carboxilação da rubisco, número de vagens por plantas, número de grãos por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos. A aplicação de subdoses de glyphosate proporcionou alterações, com influência da época de cultivo, nas variáveis avaliadas para o feijoeiro comum. Não foi observada uma dose única que beneficiasse todas as variáveis avaliadas em folhas e grãos do feijoeiro, no entanto, na safra de inverno podem ser destacadas as doses, 36 g e.a. ha⁻¹ por promover o crescimento das plantas; as doses 1,8; 7,2 e 36 g e.a. ha⁻¹ por aumentar o teor de nutrientes e a dose 7,2 g e.a. ha⁻¹ por incrementar a produtividade de grãos. Na safra das águas, a dose

36 g e.a. ha⁻¹ promoveu o crescimento das plantas, a dose 12 g e.a. ha⁻¹ incrementou o teor de nutrientes e a dose 36 g e.a. ha⁻¹ aumentou a produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., hormese, análise quantitativa de crescimento, nutrição mineral, trocas gasosas, produtividade de grãos.

ABSTRACT

Glyphosate low doses can stimulate plant growth. The stimulatory effect of low dose use of a toxic compound is known as hormesis. Studies like this are of fundamental importance for the adoption of this technology. The hypothesis of this research is that glyphosate subdoses promote changes at the morphological, physiological, nutritional and production levels in common bean plants. Thus, the objective of this work was to evaluate if the application of glyphosate low doses promotes changes in common bean growth, physiology, nutritional and productivity and whether these effects are influenced by the planting seasons. Two experiments were conducted in the field and the cultivar used was the IAC Imperador, common bean of early cycle. The experimental design was a randomized block design, consisting of doses of glyphosate and one season of application (phenological stage V₄), with four replications. Two experiments were carried out in 2016, the first in the winter season and the second in the water season. In the winter season, treatments consisted of five glyphosate sub-doses (0, 1.8, 7.2, 12 and 36 g of acid equivalent (a.e.) ha⁻¹), in the water season, treatments consisted of seven subdoses of glyphosate (0.8, 7.2, 12, 36, 54 and 108 g of a.e. ha⁻¹). Plant height, leaf area, leaf dry mass, stem dry mass, shoots dry mass, growth rate (GR), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), specific leaf weight (SLW), nutrient content on leaves and grains, chlorophyll *a*, *b*, *total* and carotenoids content, CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, transpiration rate, CO₂ internal concentration, instantaneous carboxylation efficiency of rubisco, number of pods per plant, number of grains per plant, number of grain per pod, mass of 1000 grains and grain yield were evaluated. The application of glyphosate low doses, influenced by the growing season, resulted in changes in the evaluated parameters in common bean. There was no single dose that benefited all the variables evaluated in leaves and grains of common beans, however, in the winter season, the dose 36 g a.e. ha⁻¹ promoted plant growth, the doses 1.8; 7.2 and 36 g a.e. ha⁻¹ increased nutrient content and the dose 7.2 g a.e. ha⁻¹ increased grain yield. In the water season, the dose 36 g a.e. ha⁻¹ promoted plant growth, the dose 12 g a.e. ha⁻¹ increased nutrient content and the dose 36 g a.e. ha⁻¹ increased grain yield.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., hormesis, quantitative growth analysis, mineral nutrition, gas exchange, grain yield.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1 - SUBDOSES DE GLYPHOSATE ALTERAM O CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO	22
1.1 Introdução.....	23
1.2 Material e métodos	26
1.2.1 Descrição da área experimental	26
1.2.2 Material vegetal	27
1.2.3 Delineamento experimental e tratamentos	27
1.2.4 Condução do experimento e aplicação dos tratamentos	28
1.2.5 Variáveis avaliadas.....	29
1.2.5.1 Altura de planta	29
1.2.5.2 Área foliar	29
1.2.5.3 Massa de matéria seca de folhas, caule e de parte aérea	29
1.2.5.4 Taxa de crescimento da cultura.....	30
1.2.5.5 Taxa de crescimento relativo	30
1.2.5.6 Taxa de assimilação líquida	30
1.2.5.7 Razão de área foliar	30
1.2.5.8 Área foliar específica	31
1.2.5.9 Peso específico da folha.....	31
1.2.6 Análise estatística.....	31
1.3 Resultados.....	31
1.3.1 Condições climáticas.....	31
1.3.2 Altura de plantas.....	32
1.3.3 Área foliar	34
1.3.4 Massa de matéria seca de folhas	36
1.3.5 Massa de matéria seca de caule	38
1.3.6 Massa de matéria seca de parte aérea	40
1.3.7 Taxa de crescimento da cultura.....	42
1.3.8 Taxa de crescimento relativo	43
1.3.9 Taxa de assimilação líquida	45
1.3.10 Razão de área foliar	47
1.3.11 Área foliar específica	49
1.3.12 Peso específico da folha.....	51

1.4	Discussão.....	53
1.5	Conclusão	60
REFERÊNCIAS		60
CAPÍTULO 2 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E NOS GRÃOS DO FEIJOEIRO É AFETADA POR SUBDOSES DE GLYPHOSATE E ÉPOCAS DE CULTIVO		64
2.1	Introdução	65
2.2	Material e métodos.....	68
2.2.1	Descrição da área experimental.....	68
2.2.2	Material vegetal.....	68
2.2.3	Tratamento e delineamento experimental.....	69
2.2.4	Condução do experimento e aplicação dos tratamentos	69
2.2.5	Variáveis avaliadas	70
2.2.5.1	Teor de nutrientes nas plantas.....	70
2.2.5.2	Teor de nutrientes nos grãos	70
2.2.6	Análise estatística	70
2.3	Resultados	71
2.3.1	Condições climáticas durante o experimento.....	71
2.3.2	Teor de macronutrientes nas folhas.....	71
2.3.3	Teor de micronutrientes nas folhas.....	74
2.3.4	Teor de macronutrientes nos grãos	76
2.3.5	Teor de micronutrientes nos grãos.....	79
2.4	Discussão.....	81
2.5	Conclusão	90
REFERÊNCIAS		91
CAPÍTULO 3 - TROCAS GASOSAS E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE.....		95
3.1	Introdução	97
3.2	Material e métodos.....	99
3.2.1	Descrição da área experimental.....	99
3.2.2	Material vegetal.....	99
3.3.3	Tratamento e delineamento experimental.....	100
3.3.4	Condução do experimento e aplicação dos tratamentos	100
3.3.5	Variáveis fisiológicas.....	101
3.3.5.1	Conteúdo de clorofila e carotenoides.....	101

3.3.5.2 Taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>), condutância estomática (<i>g_s</i>), taxa de transpiração (<i>E</i>), concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) e Eficiência instantânea de carboxilação (<i>A/C_i</i>)	101
3.3.6 Componentes de produção	102
3.3.6.1 Número de vagem planta ⁻¹	102
3.3.6.2 Número de grãos planta ⁻¹	102
3.3.6.3 Número de grãos vagem ⁻¹	102
3.3.6.4 Massa de 1000 grãos	102
3.3.6.5 Produtividade de grãos.....	102
3.3.7 Análise estatística.....	103
3.4 Resultados.....	103
3.4.1 Condições climáticas durante o experimento	103
3.4.2 Conteúdo de clorofila.....	104
3.4.3 Taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>), condutância estomática (<i>g_s</i>), taxa de transpiração (<i>E</i>), concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) e Eficiência instantânea de carboxilação (<i>A/C_i</i>)	108
3.4.4 Componentes de produção	113
3.5 Discussão	116
3.6 Conclusão.....	123
REFERÊNCIAS.....	124
CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
REFERÊNCIAS.....	131

CAPÍTULO 1

SUBDOSES DE GLYPHOSATE ALTERAM O CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO

Fernanda Pacheco de Almeida Prado Bortolheiro¹, Marcela Cristina Brunelli-Nascentes¹, Marcelo de Almeida Silva¹

¹UNESP - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas. Av. Universitária, 3780, 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: ferborto@yahoo.com.br

RESUMO

Subdoses de glyphosate podem estimular o crescimento das plantas. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar se a aplicação de subdoses de glyphosate promove alterações no crescimento do feijoeiro e se esses efeitos são influenciados pelas épocas de semeadura da cultura. Foram conduzidos dois experimentos em campo e a cultivar utilizada foi a IAC Imperador, feijoeiro comum de ciclo precoce. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, constituído de doses de glyphosate aplicadas no estágio fenológico V₄, com quatro repetições. O primeiro experimento foi instalado na safra de inverno e o segundo na safra das águas. Na safra de inverno, os tratamentos consistiram em cinco subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12 e 36 g de equivalente ácido (e.a.) ha⁻¹), e na safra das águas os tratamentos consistiram em sete subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12; 36; 54 e 108 g de e.a. ha⁻¹). Altura de plantas, área foliar, massa de matéria seca de folhas, caule e parte aérea, taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e peso específico da folha (PEF) foram avaliados. Houve estímulo do crescimento em feijoeiro de ciclo precoce com a aplicação de subdoses de glyphosate. Em ambas as safras, a dose 36 g e.a. ha⁻¹ proporcionou estímulo no crescimento do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., hormese, morfologia, análise quantitativa de crescimento.

ABSTRACT

Glyphosate low doses can stimulate plant growth. The objective of this work was to evaluate if the application of glyphosate low doses promotes changes in common bean growth and whether these effects are influenced by the planting seasons. Two experiments were conducted in the field and the cultivar used was the IAC Imperador, common bean of early cycle. The experimental design was a randomized block design, consisting of doses of glyphosate and one season of application (phenological stage V₄), with four replications. Two experiments were carried out, the first in the winter season and the second in the water season. In the winter season, treatments consisted of five glyphosate sub-doses (0, 1.8, 7.2, 12 and 36 g of acid equivalent (a.e.) ha⁻¹), in the water season, treatments consisted of seven subdoses of glyphosate (0.8, 7.2, 12, 36, 54 and 108 g of a.e. ha⁻¹). Plant height, leaf area, leaf dry mass, stem dry mass, shoots dry mass, growth rate (GR), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), specific leaf weight (SLW) were evaluated. Glyphosate low doses resulted in growth stimulation in common bean of early cycle. In both seasons, the dose 36 g a.e. ha⁻¹ provided growth in common bean.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., hormesis, morphology, quantitative growth analysis.

1.1 Introdução

A produção mundial de feijão foi de 31,4 milhões de toneladas em 2017, com produtividade média de 862 kg ha⁻¹ e área colhida de 36,4 milhões de hectares (FAO, 2017). A principal região produtora foi a Ásia (49,0%), seguida das Américas (25,2%), África (21,7%) e Europa (3,5%) (FAO, 2017). No Brasil, a produção total de feijão na safra de 2017/18 foi de 3,1 milhões de toneladas, com área semeada de 3,2 milhões de hectares, resultando em uma produtividade média total de 969 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018). Para a safra 2018/19, a estimativa é de 3,1 milhões de hectares de área plantada, com 1.002 kg ha⁻¹ de produtividade e produção total de 3,1 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

O cultivo do feijoeiro se estende por praticamente todo o território brasileiro, é utilizado como fonte de proteína e minerais por grande parte da população e em

altura e de 27% na AF, que apesar da retomada na produção de biomassa, não compensou essas reduções.

1.5 Conclusão

Houve estímulo do crescimento em feijoeiro de ciclo precoce com a aplicação de subdoses de glyphosate.

Em ambas as safras, a dose 36 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate promoveu o crescimento do feijoeiro.

REFERÊNCIAS

ABBAS, T. et al. Glyphosate hormesis increases growth and yield of chick pea (*Cicer arietinum* L.). **Pakistan Journal of Weed Science Research**, v. 21, n. 1, p. 533-542, 2015.

AMBROSANO, E.J. et al. **Feijão**. In: RAIJ, B. van, CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 194-195. (Boletim Técnico, 100).

BELZ, R.G. Stimulation versus inhibition – bioactivity of parthenin, a phytochemical from *Parthenium hysterophorus* L. **Dose–Response**, v. 6, n. 1, p. 80-96, 2008.

BELTZ, R.G.; CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 1, p. 293-301, 2010.

BELZ, R.; CEDERGREEN, N.; DUKE, S.O. Herbicide hormesis - can it be useful in crop production? **Weed Research**, v. 5, n. 4, 321-332, 2011.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2 ed. 2003, 42p.

CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Defining hormesis. **Human & Experimental Toxicology**, v. 21, n. 1, p. 91-97, 2002.

CARBONARI, C.A. et al. Glyphosate effects on sugarcane metabolism and growth. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 1, p. 3585-3593, 2014.

CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.C.A.; DUKE, S.O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 1, p. 813-822, 2013.

CEDERGREEN, N. et al. The occurrence of hormesis in plants and algae. **Dose–Response**, v. 5, n. 1, p. 150-162, 2007.

CEDERGREEN N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environmental Pollution**, v. 156, n. 1, p. 1099–1104, 2008.

CEDERGREEN, N. et al. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crops Research**, v. 114, n. 1, p. 54-57, 2009.

CEDERGREEN, N.; OLESEN, C.F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 96, n. 3, p. 140-148, 2010.

COLE, D.J. Detoxification and activation of agrochemicals in plants. **Journal of Pest Science**, v. 42, n. 1, p. 209-222, 1994.

CONAB. **A cultura do feijão**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2018. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes>> Acesso em: 02/08/2018.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: décimo segundo levantamento – setembro 2018. Brasília: Conab, v. 5, n. 12 148p. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 11/01/2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: quarto levantamento – janeiro 2019. Brasília: Conab, v. 6, n. 4, 126p. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 11/01/2019.

DIDONET, D.A. Importância do período pré-floração na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 505-512, 2010.

DUKE, S.O. et al. Hormesis: Is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks on Pest Management**, v. 17, n. 1, p. 29-33, 2006.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.^a ed. Rio de Janeiro, 2013, 353p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**. Production 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 10/01/2019.

FRANÇA, A.C. et al. Deriva simulada do glyphosate em cultivares de café Acaiá e Catucaí. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 443-451, 2013.

IAC. **Cultivares de feijoeiro IAC**. São Paulo: Instituto Agrônomo, 2018. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/feijao.php>> Acesso em: 25/04/2018.

MAGALHÃES, P.C. et al. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2001a.

- MAGALHÃES, P.C. et al. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 255-262, 2001b.
- MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D.; CARBONARI, C.A. Baixas doses de glyphosate e seus efeitos no crescimento de *Commelina benghalensis*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 7, n. 2, p. 53-58, 2008.
- NASCENTES R.F. et al. Glyphosate hormesis in *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**, v. 6, n. 1, p. 55–64, 2015.
- NASCENTES, R.F. et al. Low doses of glyphosate enhance growth, CO₂ assimilation, stomatal conductance and transpiration in sugarcane and eucalyptus. **Pest Management Science**, v. 74, n. 1, p. 1197-1205, 2017.
- PEREIRA, V.G.C. et al. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.
- PINZÓN-TORRES, J.A.; SCHIAVINATO, M.A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea**, v.35, n.3, p.395-404, 2008.
- RABELLO, W.S. et al. Growth and phosphorus absorption by commun bean 'Xodó' genotype under effect of glyphosate reduced rates. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 2, p. 204-212, 2012.
- SILVA, J.C. et al. Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 295-302, 2012a.
- SILVA, J.C. et al. Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 115, n. 2, p. 191-199, 2016.
- SILVA, M.A. et al. Efeito hormético de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 973-978, 2009.
- SILVA, R.R. et al. Análise de crescimento em feijoeiro cultivado sob diferentes densidades de semeadura. **Scientia Agraria**, v. 13, n. 2, p. 41-51, 2012b.
- TAVARES, C.J. et al. Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2,4-D. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 81-87, 2017.
- VALE, N.M. et al. Escolha de genitores quanto à precocidade e produtividade de feijão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 2, p. 141-148, 2015.
- VELINI, E.D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

VELINI, E.D. et al. Growth regulation and other secondary effects of herbicides. **Weed Science**, v. 58, n. 1, p. 351-354, 2010.

VIEIRA, C.; JÚNIOR, T.J.P.; BORÉM, A. **Feijão**. 2 ed. Viçosa: UFV -Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

CAPÍTULO 2

CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E NOS GRÃOS DO FEIJOEIRO É AFETADA POR SUBDOSES DE GLYPHOSATE E ÉPOCAS DE CULTIVO

Fernanda Pacheco de Almeida Prado Bortolheiro¹, Marcela Cristina Brunelli-Nascentes¹, Marcelo de Almeida Silva¹

¹UNESP - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas. Av. Universitária, 3780, 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: ferborto@yahoo.com.br

RESUMO

Existem relatos de alterações no teor de nutrientes das culturas após aplicação de glyphosate, mesmo em doses baixas. Dessa forma, o objetivo foi avaliar se a aplicação de subdoses de glyphosate promove alterações no teor de macro e micronutrientes no feijoeiro comum de ciclo precoce e se esses efeitos são influenciados pelas épocas de semeadura da cultura. Foram conduzidos dois experimentos em campo e a cultivar utilizada foi a IAC Imperador, feijoeiro de ciclo precoce. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, constituído de doses de glyphosate aplicadas no estágio fenológico V₄, com quatro repetições. O primeiro experimento foi instalado na safra de inverno e o segundo na safra das águas. Na safra de inverno, os tratamentos consistiram de cinco subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12 e 36 g de equivalente ácido (e.a.) ha⁻¹), e na safra das águas os tratamentos consistiram de sete subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12; 36; 54 e 108 g de e.a. ha⁻¹). Foram avaliados os teores de macro e micronutrientes nas folhas e grãos. As subdoses de glyphosate, com influência da época de cultivo, alteraram os teores de nutrientes das folhas e grãos do feijoeiro de ciclo precoce. Na safra de inverno, as doses 7,2 e 36 g e.a. ha⁻¹ elevaram o teor de nutrientes nas folhas do feijoeiro, enquanto nos grãos houve apenas aumento no teor de Cu com a dose 1,8 g e.a. ha⁻¹. Na safra das águas não houve aumento nos teores de nutrientes nas folhas de feijoeiro. Já para os grãos houve aumento nos teores de Cu, Zn, Mn e Fe a partir da dose 12 g e.a. ha⁻¹.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., hormese, macronutrientes, micronutrientes, herbicida.

ABSTRACT

There are reports of changes in nutrient content of crops after application of glyphosate, even at low doses. Thus, the objective was to evaluate if the application of glyphosate low doses promotes changes in macro and micronutrient content in common bean and whether these effects are influenced by the planting seasons. Two experiments were conducted in the field and the cultivar used was the IAC Imperador, common bean of early cycle. The experimental design was a randomized block design, consisting of doses of glyphosate and one season of application (phenological stage V4), with four replications. The first experiment was carried out in the winter season and the second in the water season. In the winter season, treatments consisted of five glyphosate sub-doses (0, 1.8, 7.2, 12 and 36 g of acid equivalent (a.e.) ha^{-1}), in the water season, treatments consisted of seven subdoses of glyphosate (0.8, 7.2, 12, 36, 54 and 108 g of a.e. ha^{-1}). Macro and micronutrient content were evaluated on common bean leaves and grains. Glyphosate low doses, influenced by the growing season, resulted in changes in the evaluated parameters in common bean. In the winter season, the doses 7.2 and 36 g a.e. ha^{-1} increased the nutrient content on bean leaves, while in the grains only Cu content increased with the dose 1.8 g a.e. ha^{-1} . In the water season, there was no increased in nutrient content on bean leaves. While, in the grains there were increased in Cu, Zn, Mn and Fe content from dose 12 g a.e. ha^{-1} .

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., hormesis, macronutrient, micronutrient, herbicide.

2.1 Introdução

O feijão é um excelente alimento, representa a principal fonte de proteína para as populações de baixa renda, além de fornecer nutrientes essenciais, como ferro, manganês, cálcio, magnésio, zinco, vitaminas, carboidratos e fibras, também se destaca como um produto de importância econômica para o Brasil. O cultivo do feijoeiro se estende por praticamente todo o território nacional. O consumo é estimado em 14 kg $\text{hab}^{-1} \text{ano}^{-1}$ no país (CONAB, 2018).

Na safra das águas não houve aumentos nos teores de nutrientes nas folhas de feijoeiro. Já para os grãos houve aumentos nos teores de Cu, Zn, Mn e Fe a partir da dose 12 g e.a. ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

- AMBROSANO, E.J. et al. Feijão. In: RAIJ, B. van, CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 194-195. (Boletim Técnico, 100).
- BARJA, B.C.; HERSZAGE, J.; DOS SANTOS AFONSO, M. Iron (III)- phosphonate complexes. **Polyhedron**, v. 20, n. 20, p. 1821-1830, 2001.
- BELLALLOUI N. et al. Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non-glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 9, p. 3357-3364, 2006.
- BELLALLOUI, N. et al. Effects of glyphosate application on seed iron and root ferric (III) reductase in soybean cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 20, p. 9569-9574, 2009.
- BERNARDS, M.L.; THELEN, K.D.; MUTHUKUMARAN, R.B. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. **Weed Science**, v. 53, n. 1, p. 787-794, 2005.
- BOTT, S. et al. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant and Soil**, v. 312, n. 1, p. 185-194, 2008.
- CAKMAK I. et al. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **European Journal of Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 114-119, 2009.
- CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Defining hormesis. **Human & Experimental Toxicology**, v. 21, n. 1, p. 91-97, 2002.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: décimo segundo levantamento – setembro 2018. Brasília: Conab, v. 5, n. 12 148p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 11/01/2019.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: quarto levantamento – janeiro 2019. Brasília: Conab, v. 6, n. 4, 126p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 11/01/2019.
- DIDONET, D.A. Importância do período pré-floração na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 505-512, 2010.

DUKE, S.O. et al. Glyphosate effects on plant mineral nutrition, crop rhizosphere microbiota, and plant disease in glyphosate-resistant crops. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 10375-10379, 2012a.

DUKE, S.O. et al. Effects of glyphosate on the mineral content of glyphosate resistant soybeans (*Glycine max*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 6764-6771, 2012b.

DUKE, S.O. et al. Influence of glyphosate on uptake and translocation of calcium ion in soybean seedlings. **Weed Research**, v. 23, n. 1, p. 133-139, 1983.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.^a ed. Rio de Janeiro, 2013, 353p.

EKER, S. et al. Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 10019-10025, 2006.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 3ed. Boca Raton: CRC, 2011. 560 p.

FAGERIA, N.K. et al. **Nutrição mineral do feijoeiro**. 1ed. Brasília-DF: Embrapa, 2015. 394 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Production 2016**. FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 10/01/2019.

FERREIRA, E.A. et al. Distribuição de glyphosate e acúmulo de nutrientes em biótipos de Azevém. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 165-173, 2008.

FRANÇA A.C. et al. Teores de nutrientes em cultivares de café arábica submetidos à deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 877-885, 2010.

FROSSARD, E. et al. Potencial for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 861-879, 2000.

HARRIS W.R. et al. Computer simulation of the interactions of glyphosate with metal ions in phloem. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 6077-6087, 2012.

HETHERINGTON, P.R. et al. Absorption and efflux of glyphosate by cell suspensions. **Journal of Experimental Botany**, v. 29, n. 320, p. 527-533, 1998.

HOEKSTRA, J.A.; VAN EWIJK, P.H. Alternatives for the no-observed-effect level. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 12, n. 1, p. 187-194, 1993.

IAC. **Cultivares de feijoeiro IAC**. São Paulo: Instituto Agronômico, 2018. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/feijao.php>> Acesso em: 25/04/2018.

JOHAL G.R.; HUBER D.M. Glyphosate effects on diseases of plants. **European Journal of Agronomy** v. 31, n. 3, p. 144-152, 2009.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

MUELLER, T. et al. Comparison of glyphosate salts (isopropylamine, diammonium, and potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. **Weed Technology**. v. 20, n. 1, p. 164-171, 2006.

OZTURK, L. et al. Glyphosate inhibition of ferric reductase activity in iron deficient sunflower roots. **New Phytologist**, v. 177, n. 1, p. 899-906, 2008.

PIPKE, R.; SCHULZ, A.; AMRHEIN, N. Uptake of glyphosate by an *Arthrobacter* sp. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 53, n. 5, p. 974-978, 1987.

PERIM, L.; PRANDO, M.B.; ROSOLEM, C.A. Cinética de absorção de fósforo em soja transgênica após aplicação de glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 143-150, 2011.

PEREIRA, T. et al. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 477-485, 2011.

PEREIRA, V.G.C. et al. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.

RABELLO, W.S. et al. Growth and phosphorus absorption by commun bean 'Xodó' genotype under effect of glyphosate reduced rates. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 2, p. 204-212, 2012.

RABELLO, W.S.; MONERAT, P.H.; VASCONCELOS JUNIOR, J.F.S. Composição mineral do feijoeiro comum cultivar BR1 Xodó sob efeito hormético de subdoses de glyphosate. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 86-94, 2014.

RABELLO, W.S. et al. Produção de massa seca e teores de nutrientes do feijoeiro comum submetido à deriva de glyphosate em duas classes de solos. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 384-391, 2015.

REDDY, K.N.; BELLALLOUI, N.; ZABLOTOWICZ, R.M. Glyphosate effect on shikimate, nitrate reductase activity, yield and seed composition in corn. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 1, p. 3646-3650, 2010.

RIBEIRO, N.D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 1367-1376, 2010.

ROSOLEM, C.A. et al. Manganese uptake and redistribution in soybean as affected by glyphosate. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1915-1922, 2010.

SANTOS, L.D.T. et al. Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito da deriva do glyphosate. **Revista Ceres**, v. 13, n. 4, p. 347-352, 2007.

SCHOENHERR, J.; SCHREIBER, L. Interactions of calcium ions with weakly acidic active ingredients slow cuticular penetration: a case study with glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 1, p. 6546-6551, 2004.

SENEN SU, Y. et al. Turfgrass species response exposed to increasing rates of glyphosate application. **European Journal of Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 120-125, 2009.

SONIER, M.B.; WEGER, H.G. Plasma membrane ferric reductase activity of iron-limited algal cells is inhibited by ferric chelators. **Biometals**, v. 23, n. 6, p. 1029-1042, 2010.

SOUZA, A.P. et al. Respiração microbiana do solo sob doses de glyphosate e de imazapyr. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 387-398, 1999.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6a ed. Artmed, 2017, 858p.

VELINI, E.D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

VIEIRA, C.; JÚNIOR, T.J.P.; BORÉM, A. **Feijão**. 2 ed. Viçosa: UFV -Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

UNDABEYTIA, T.; MORILLO, E.; MAQUEDA, C. FTIR study of glyphosate-copper complexes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 1, p. 1918-1921, 2002.

ZOBIOLE, L.H.S. et al. Glyphosate affects seed composition in glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 1, p. 4517-4522, 2010.

ZOBIOLE, L.H.S. et al. Glyphosate effects on photosynthesis, nutrient accumulation and nodulation in glyphosate-resistant soybean. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 1, p. 319-330, 2012.

CAPÍTULO 3

TROCAS GASOSAS E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE

Fernanda Pacheco de Almeida Prado Bortolheiro¹, Marcela Cristina Brunelli-Nascentes¹, Marcelo de Almeida Silva¹

¹UNESP - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas. Av. Universitária, 3780, 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: ferborto@yahoo.com.br

RESUMO

O efeito estimulatório do uso de baixas doses de um composto tóxico é conhecido como hormese. O efeito de hormese pela aplicação do herbicida glyphosate já foi observado em diversas culturas. É importante avaliar as alterações causadas pela aplicação deste herbicida em características fisiológicas e seus efeitos na produtividade. Deste modo, o objetivo foi avaliar se a aplicação de subdoses de glyphosate promove alterações nas características fisiológicas e na produtividade do feijoeiro de ciclo precoce e se esses efeitos são influenciados pelas épocas de semeadura da cultura. Foram conduzidos dois experimentos em campo e a cultivar utilizada foi a IAC Imperador, feijoeiro comum de ciclo precoce. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, constituído de subdoses de glyphosate aplicadas no estágio fenológico V₄, com quatro repetições. O primeiro experimento foi instalado na safra de inverno e o segundo na safra das águas. Na safra de inverno, os tratamentos consistiram em cinco subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12 e 36 g de equivalente ácido (e.a.) ha⁻¹), na safra das águas, os tratamentos consistiram em sete subdoses de glyphosate (0; 1,8; 7,2; 12; 36; 54 e 108 g de e.a. ha⁻¹). Foram avaliados: conteúdo de clorofila *a*, *b*, *total* e carotenoides, taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração, concentração interna de CO₂, eficiência instantânea de carboxilação da rubisco, número de vagens por plantas, número de grãos por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos. As subdoses de glyphosate entre 1,8 e 36 g e.a. ha⁻¹ não foram prejudiciais ao feijoeiro, enquanto na dose 108 g e.a. ha⁻¹ foram observados efeitos prejudiciais na *A*, *g_s*, *E*, *A/Ci*, número de vagens por planta,

número de grãos por planta e número de grãos por vagem. Na safra de inverno a dose 7,2 g e.a. ha⁻¹ promoveu aumento de produtividade de grãos. Na safra das águas, a dose 36 g e.a. ha⁻¹ promoveu aumento na produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., hormese, trocas gasosas, componentes da produção.

ABSTRACT

The stimulatory effect of low dose use of a toxic compound is known as hormesis, the hormesis effect by the application of glyphosate has already been observed in several cultures. It is important to evaluate the changes caused by the application of this herbicide in physiological characteristics. Thus, the objective of this work was to evaluate if the application of glyphosate low doses promotes changes in common bean physiological characteristics and grain yield and whether these effects are influenced by the planting seasons. Two experiments were conducted in the field and the cultivar used was the IAC Imperador, common bean of early cycle. The experimental design was a randomized block design, consisting of doses of glyphosate and one season of application (phenological stage V₄), with four replications. The first experiment were carried out in the winter season and the second in the water season. In the winter season, treatments consisted of five glyphosate sub-doses (0, 1.8, 7.2, 12 and 36 g of acid equivalent (a.e.) ha⁻¹), in the water season, treatments consisted of seven subdoses of glyphosate (0.8, 7.2, 12, 36, 54 and 108 g of a.e. ha⁻¹). Chlorophyll *a*, *b*, *total* and carotenoids content, CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, transpiration rate, CO₂ internal concentration, instantaneous carboxylation efficiency of rubisco, number of pods per plant, number of grains per plant, number of grain per pod, mass of 1000 grains and grain yield were evaluated. Glyphosate low doses between 1.8 and 36 g a.e. ha⁻¹ were not harmful to common bean, while, the dose 108 g a.e. ha⁻¹ provided harmful effects to *A*, *g_s*, *E*, *A/Ci*, number of pods per plant, number of grains per plant and number of grains per pod. In the winter season, the dose 7.2 g a.e. ha⁻¹ promoted an increase in grain yield. In the water season, the dose 36 g a.e. ha⁻¹ promoted an increase in grain yield.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., hormesis, gas exchange, yield components.

fase de enchimento de grãos. Outros componentes da produtividade, como peso de 1000 grãos, não foram afetados, indicando que o mecanismo de hormese não afetou a assimilação de CO_2 , no entanto, foi mais eficiente na translocação dos fotossintetizantes ao grão. O mesmo pode ter ocorrido no presente estudo, no qual, na safra de inverno não houve efeito positivo na taxa de assimilação de CO_2 aos 13 e 21 DAA, sendo observada redução na A na dose 7,2 g e.a. ha^{-1} , entretanto com aumento de produtividade de grãos, e na safra das águas, também não foi observado estímulo na A , porém houve incremento na produtividade de grãos. As subdoses de glyphosate podem causar estresse na cultura, e, consequentemente, ocorre um redirecionamento do carbono para os órgãos reprodutivos (CEDERGREEN et al., 2008).

Na safra de inverno, devido às temperaturas mais baixas ($10,6 - 26,5^\circ\text{C}$), e consequentemente a um metabolismo mais lento, as plantas levaram mais tempo para se desenvolver e completar o ciclo (68 DAA), portanto doses menores (7,2 g e.a. ha^{-1}) foram suficientes para promover alterações na produtividade. Enquanto na safra das águas as plantas completaram o ciclo mais rapidamente (53 DAA), pois temperaturas mais altas ($9,5 - 35,2^\circ\text{C}$) levam a um metabolismo mais acelerado, portanto, as alterações na produtividade foram observadas em doses maiores (36 g e.a. ha^{-1}).

3.6 Conclusão

Na safra de inverno as subdoses de glyphosate entre 1,8 e 36 g e.a. ha^{-1} proporcionaram estímulo no conteúdo de clorofila a , b , carotenoides e g_s , não foi observado efeito para a A , E , A/Ci e Ci .

Na safra das águas as subdoses de glyphosate entre 1,8 e 36 g e.a. ha^{-1} não alteraram o conteúdo de clorofilas, carotenoides, A , g_s , E , A/Ci e Ci do feijoeiro, e as doses 54 e 108 g e.a. ha^{-1} proporcionaram incremento no conteúdo de clorofilas e carotenoides.

A dose 108 g e.a. ha^{-1} foi prejudicial para a A , g_s , E , A/Ci , número de vagens por planta, número de grãos por planta e número de grãos por vagem do feijoeiro de ciclo precoce.

Na safra de inverno a dose 7,2 g e.a. ha^{-1} de glyphosate promoveu aumento de produtividade de grãos. Na safra das águas a dose 36 g e.a. ha^{-1} promoveu aumento na produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- ALDESUQUY, H.S., IBRAHIN A.H.A. The role of shikimic acid in regulation of growth, transpiration, pigmentation, photosynthetic activity and productivity of *Vigna sinensis* plants. **Phyton**, v. 40, n. 2, p. 277-292, 2000.
- AMBROSANO, E.J. et al. **Feijão**. In: RAIJ, B. van, CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 194-195. (Boletim Técnico, 100).
- BARBOSA, A.P. et al. Subdoses de glyphosate no desempenho fitométrico e bioquímico de soja convencional e transgênica. **Revista Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 36-42, 2018.
- BELZ, R.G. Stimulation versus inhibition – bioactivity of parthenin, a phytochemical from *Parthenium hysterophorus* L. **Dose-Response**, v. 6, n. 1, p. 80-96, 2008.
- BELTZ, R.G., CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 1, p. 293-301, 2010.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 395p.
- CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Defining hormesis. **Human & Experimental Toxicology**, v. 21, n. 1, p. 91-97, 2002.
- CARVALHO, F.P.; ALVES, P.L.C.A.; DUKE, S.O. Photosynthetic activity of coffee after application of glyphosate subdoses. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 109-115, 2013.
- CASTRO, E.M. et al. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas à diferentes fotoperíodos. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 846-850, 2005.
- CEDERGREEN N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environmental Pollution**, v. 156, n. 1, p. 1099–1104, 2008.
- CEDERGREEN, N. et al. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crops Research**, v. 114, n. 1, p. 54-57, 2009.
- CEDERGREEN, N.; OLESEN, C.F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 96, n. 3, p. 140-148, 2010.
- CONAB. **A cultura do feijão**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2018. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes> > Acesso em: 02/08/2018.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: décimo segundo levantamento – setembro 2018. Brasília: Conab, v. 5, n. 12 148p. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 11/01/2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: quarto levantamento – janeiro 2019. Brasília: Conab, v. 6, n. 4, 126p. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 11/01/2019.

DIDONET, D.A. Importância do período pré-floração na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 505-512, 2010.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.^a ed. Rio de Janeiro, 2013, 353p.

EROFEEVA, E.A. Hormesis and paradoxical effects of wheat seedling (*Triticum aestivum* L.). Parameters upon exposure to different pollutants in a wide range of doses. **Dose-Response**, v. 12, n. 1, p. 121-135, 2014.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**. Production 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 10/01/2019.

GEIGER, D.R.; TUCCI, M.A.; SERVIATES, J.C. Glyphosate effects on carbon assimilation and gas exchange in sugar beet leaves. **Plant Physiology**, v. 85, n. 1, p. 365-369, 1987.

GITTI, D.C. et al. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 500-507, 2011.

HOEKSTRA, J.A.; VAN EWIJK, P.H. Alternatives for the no-observed-effect level. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 12, n. 1, p. 187-194, 1993.

IAC. **Cultivares de feijoeiro IAC**. São Paulo: Instituto Agrônomo, 2018. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/feijao.php>> Acesso em: 25/04/2018.

KRAMER, T.; KOZLOWSKI, T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, p. 811, 1979.

LICHTENTHALER, H. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembrans. **Methods in Enzymology**, v.148, n. 1, p. 350-382, 1987.

LICHTENTHALER, H.K. et al. Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure and leaf characteristics of high light and low light plants and of sun and shade leaves. **Photosynthesis Research**, v. 2, n. 1, p. 115, 1981.

MACHADO, A.F.L. et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319- 327, 2010.

MADSEN, K.H. et al. Photosynthetic parameters in glyphosate-treated sugar-beet (*Beta vulgaris* L.). **Weed Research**, v. 32, n. 1, p. 81-88, 1995.

MESCHEDE, D.K. et al. Alteração fisiológica da cana-de-açúcar pela aplicação de Glyphosate e Sulfometuron-Methyl. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 413-419, 2011.

NASCENTES R.F. et al. Glyphosate hormesis in *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**, v. 6, n. 1, p. 55-64, 2015.

NASCENTES, R.F. et al. Low doses of glyphosate enhance growth, CO₂ assimilation, stomatal conductance and transpiration in sugarcane and eucalyptus. **Pest Management Science**, v. 74, n. 1, p. 1197-1205, 2017.

NIELSON, L.W., DAHLLOF, I. Direct and indirect effects of the herbicides Glyphosate, Bentazone and MCPA on eelgrass (*Zostera marina*). **Aquatic Toxicology**, v. 82, n. 1, p. 47-54, 2007.

OLESEN, C.F.; CEDERGREEN, N. Glyphosate uncouples gas exchange and chlorophyll fluorescence. **Pest Management Science**, v. 66, n. 5, p. 536-542, 2010.

PEREIRA, V.G.C. et al. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.

QIU, H. et al. Physiological and biochemical responses of *Microcystis aeruginosa* to glyphosate and its Roundup® formulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 248, n. 1, p. 172-176, 2013.

RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 58, n. 1, p. 179-207, 1983.

REDDY, K.N. et al. Aminomethylphosphonic acid accumulation in plant species treated with glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 6, p. 2125-2130, 2008.

SILVA, J.C. et al. Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 295-302, 2012.

SILVA, J.C. et al. Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 115, n. 2, p. 191-199, 2016.

SILVA, M.A.; CARLIN, S.D.; CAPUTO, M.M. Tipos de colheita e épocas de aplicação de glifosate na erradicação de soqueiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 43-49, 2006.

SILVA, M.A. et al. Efeito hormético de glifosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 973-978, 2009.

SILVA, M.A. et al. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade de estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SILVA, R.A. et al. Desenvolvimento de picão preto (*Bidens pilosa*) em resposta à aplicação de subdoses de glyphosate. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 7, n. 1, p. 63-69, 2014.

SILVA, R.A. et al. Interferência de subdoses de glyphosate nas trocas gasosas em picão-preto e trapoeraba. **Global Science and Tecnology**, v. 08, n. 1, p. 31-39, 2015.

SHARKEY, T.D. et al. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C-3 leaves. **Plant Cell Environment**, v. 30, n. 9, p. 1035-1040, 2007.

STREIT, N.M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6a ed. Artmed, 2017, 858p.

TAVARES, L.A.F. et al. Hormesis method for increasing oat straw with a view to viability of direct seeding systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 48-53, 2015.

VALE, N.M. et al. Escolha de genitores quanto à precocidade e produtividade de feijão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 2, p. 141-148, 2015.

VELINI, E.D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

VIEIRA, C.; JÚNIOR, T.J.P.; BORÉM, A. **Feijão**. 2 ed. Viçosa: UFV -Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As subdoses de glyphosate causam alterações nas características morfológicas, fisiológicas, nutricionais e de produtividade do feijoeiro de ciclo precoce.

As condições ambientais, como a temperatura do ar, interferem na resposta do feijoeiro de ciclo precoce e na intensidade do efeito das subdoses de glyphosate. Na safra de inverno, com temperaturas entre 10,6 a 26,5°C foi observado efeito das subdoses de glyphosate a partir de cinco dias após a aplicação dos tratamentos no crescimento e índices fisiológicos do feijoeiro. Na safra das águas, com temperaturas entre 9,5 a 35,2°C houve efeito das subdoses de glyphosate no crescimento do feijoeiro e em índices fisiológicos, tais como TCC, TCR e TAL, a partir de cinco dias, enquanto, RAF, AFE a partir de 12 DAA e PEF a partir de 19 DAA.

Quanto à intensidade do efeito, na safra de inverno, o estímulo na produtividade de grãos foi menor em relação à safra das águas, com 24% de incremento na dose 7,2 g e.a. ha⁻¹ na safra de inverno e 109% na safra das águas na dose 36 g e.a. ha⁻¹. As temperaturas mais baixas observadas na safra de inverno atrasaram o desenvolvimento e o ciclo do feijoeiro, causando redução na intensidade do efeito estimulatório. Na safra das águas, o maior efeito na produtividade pode ser devido ao estímulo no crescimento do feijoeiro, também observado na dose 36 g e.a. ha⁻¹, e não observado na dose 7,2 g e.a. ha⁻¹ na safra de inverno.

Na safra de inverno, a dose 7,2 g e.a. ha⁻¹ proporcionou aumento na razão de área foliar, no teor de Ca, Mg e Cu na folha, na relação clorofila a/b, na taxa de transpiração, condutância estomática e produtividade de grãos. Não houve alteração, em relação ao tratamento controle, na altura de plantas, área foliar, área foliar específica, peso específico da folha, no conteúdo de clorofila *a*, *total* e carotenoides. Houve redução na massa de matéria seca de folhas, caule e parte aérea, taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida e no conteúdo de clorofila *b*.

Na safra de inverno, a dose 36 g e.a. ha⁻¹ proporcionou aumento na área foliar, massa de matéria seca de folhas, do caule e da parte aérea, razão de área foliar, no teor de P, Ca e Cu na folha, no conteúdo de clorofila *a* e carotenoides. Não houve alterações na taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, área foliar específica, peso específico da folha, e houve redução na taxa de crescimento da

cultura, no teor de Mn e Fe na folha, no teor de Ca, Mg e S no grão, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos. Apesar do estímulo no crescimento das plantas, este não foi observado na produtividade de grãos do feijoeiro de ciclo precoce para a safra de inverno.

Na safra das águas, a dose 36 g e.a. ha⁻¹ proporcionou aumento na massa de matéria seca de folhas, do caule e da parte aérea, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida e peso específico da folha, porém reduziu o teor de macro e micronutrientes na folha, nos grãos houve aumento no teor de Cu, Mn e Fe. Não houve alterações, em relação ao tratamento controle, no conteúdo de clorofilas, carotenoides, taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração, concentração interna de CO₂ e eficiência instantânea de carboxilação da rubisco. Houve redução no número de vagens por planta, número de grãos por planta, aumento na massa de 1000 grãos e aumento de produtividade de grãos.

Na safra de inverno a dose 7,2 g e.a. ha⁻¹, apesar de não estimular o crescimento do feijoeiro de ciclo precoce, proporcionou estímulo na produtividade de grãos. Na safra das águas a dose 36 g e.a. ha⁻¹ proporcionou estímulo no crescimento do feijoeiro e na produtividade de grãos.

De acordo com os resultados, para a aplicação no estágio vegetativo V₄, na safra de inverno, a dose 7,2 g e.a. ha⁻¹ é indicada para incrementar a produtividade de grãos do feijoeiro de ciclo precoce. Na safra das águas, a dose 36 g e.a. ha⁻¹ é indicada para incrementar a produtividade de grãos do feijoeiro de ciclo precoce. São necessários mais estudos para a definição da melhor dose para a aplicação em diversos ambientes e para o conhecimento do mecanismo que explique como ocorre o efeito estimulatório.

Assim, a aplicação de subdoses de glyphosate pode ser uma técnica de manejo viável ao produtor de feijão, devido ao efeito estimulatório verificado no crescimento e aumento de produtividade de grãos do feijoeiro de ciclo precoce.

REFERÊNCIAS

- BELTZ, R.G.; CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 1, p. 293-301, 2010.
- BELZ, R.; CEDERGREEN, N.; DUKE, S. O. Herbicide hormesis - can it be useful in crop production? **Weed Research**, v. 5, n. 4, 321-332, 2011.
- BRITO, I. P. F. S. et al. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pest Management Science**, v. 73, n. 1, p.1-7, 2017.
- BURATTO, J.S. et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva em genótipos precoces de feijão no estado do Paraná. **Ciências agrárias**, v. 28, n. 3, p. 373-380, 2007.
- CALABRESE, E.J. Historical foundations of hormesis. **Homeopathy**, v. 104, n. 1, p. 83-89, 2015.
- CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Hormesis as a biological hypothesis. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, n. 1, p. 357-362, 1998.
- CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Defining hormesis. **Human & Experimental Toxicology**, v. 21, n. 1, p. 91-97, 2002.
- CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.C.A.; DUKE, S.O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 2, p. 813-821. 2013.
- CEDERGREEN, N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environmental Pollution**, v. 156, n. 3, p. 1099-1104, 2008.
- CONAB. **A cultura do feijão**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2018. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes>> Acesso em: 02/08/2018.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: quarto levantamento – janeiro 2019**. Brasília: Conab, v. 6, n. 4, 126p. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 11/01/2019.
- DUKE, S.O., POLES, S.B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v. 64, n. 1, p. 319-325, 2008.
- EMBRAPA. **O feijão comum no brasil, passado, presente e futuro**. Santo Antônio do Goiás: Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, Centro nacional de pesquisa do arroz e feijão, 2013. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/961699/1/seriedocumentos287.pdf>> Acesso em: 25/07/2018.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**. Production 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 10/01/2019.

LE MOS, L.B., MINGOTTE, F.L.C., FARINELLI, R. Cultivares. In: ARF, O., LEMOS, L.B., SORATTO, R.P., FERRARI, S. **Aspectos gerais da cultura do feijão**. 1^a ed. Botucatu: Editora FEPAF, 2015. Capítulo 10, p. 181-207.

MINARIK, C.E. et al. New growth-regulating compounds II. Substituted benzoic acids. **Botanical Gazette**, v. 113, n. 1, p. 125–147, 1951.

PINCELLI-SOUZA, R.P. **Hormesis de glyphosate em cana-de-açúcar**. 2014. xxi, 171 f. Tese (Doutorado em agricultura) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2014.

SANTOS, J.B., GAVILANES, M.L. Botânica. In: VIEIRA, C., PAULA JÚNIOR, J., BORÉM, A. **Feijão**. 2^a ed. UFV. Viçosa: Editora Viçosa, 2008. Capítulo 3, p.41-66.

SOUTHAM, C.M., EHRLICH J. Effects of extracts of western red cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. **Phytopathology**, v. 33, n. 1, p. 517–524, 1943.

STEBBING A.R.D. Hormesis-the stimulation of growth by low levels of inhibitors. **Science of Total Environment**, v. 22, n. 1, p. 213-234, 1982.

VALE, N.M. et al. Escolha de genitores quanto à precocidade e produtividade de feijão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 2, p. 141-148, 2015.

VELINI, E.D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. **International Plant Nutrition Institute**. Piracicaba: Informações Agronômicas, 2007. 24p.