

**JULIANO COSTA DA SILVA**

**DOSES DE NITROGÊNIO, *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E VARIAÇÃO HÍDRICA NO  
FELJOEIRO DE INVERNO SUBMETIDO À HORMESE POR GLYPHOSATE EM  
DIFERENTES FORMULAÇÕES**

Ilha Solteira

2018

**JULIANO COSTA DA SILVA**

**DOSES DE NITROGÊNIO, *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* E VARIAÇÃO HÍDRICA NO  
FELJOEIRO DE INVERNO SUBMETIDO À HORMESE POR GLYPHOSATE EM  
DIFERENTES FORMULAÇÕES**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia  
do Câmpus de Ilha Solteira - UNESP –, como  
parte das exigências para obtenção do título  
de Doutor em Agronomia. Especialidade:  
Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues  
**Orientador**

Ilha Solteira

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

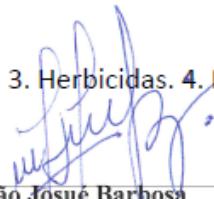
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586d Silva, Juliano Costa da.  
Doses de nitrogênio, *Azospirillum brasilense* e variação hídrica no feijoeiro de inverno submetido à hormese por glyphosate em diferentes formulações / Juliano Costa da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018  
116 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2018

Orientador: Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues  
Inclui bibliografia

1. *Phaseolus vulgaris* L.. 2. Adubação nitrogenada . 3. Herbicidas. 4. Manejo da água. 5. Subdoses .



João Josué Barbosa,  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação  
Diretor Técnico  
CRB 8-5642

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO HÍDRICA E NUTRICIONAL NO FEIJOEIRO DE INVERNO IRRIGADO SUBMETIDO A BAIXAS DOSES DE GLYPHOSATE

AUTOR: JULIANO COSTA DA SILVA

ORIENTADOR: RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



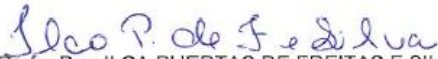
Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. FERNANDO TADEU DE CARVALHO  
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. JOÃO VITOR FERRARI  
FATEC / Faculdade de Tecnologia de Jales



Profa. Dra. ILCA PUERTAS DE FREITAS E SILVA  
UNIFEV / Centro Universitário de Votuporanga

Ilha Solteira, 19 de fevereiro de 2018

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus por ter conduzido meus passos em todos os momentos da minha vida, pois sem ele, nada seria possível.

Aos meus pais, Luiz Carlos Costa da Silva e Marinalda Marques da Silva, pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

A minha esposa, Andréia da Cruz Rodrigues Silva, por fazer parte da minha vida, me dar força em vários momentos através da palavra de Deus, por ser minha amiga e companheira e pela compreensão durante mais esta etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde e sabedoria nos momentos mais difíceis e por sempre guiar meus passos.

Aos professores do curso de Agronomia da UNESP de Ilha Solteira que sempre foram muito atenciosos e prestativos e que além do conhecimento técnico, me passaram experiência de vida e me deram a prazerosa oportunidade de desfrutar de suas amizades.

Ao professor Dr. Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues, pela orientação, apoio, confiança e amizade, sem os quais este trabalho não se concretizaria.

Aos componentes das bancas de qualificação e defesa da defesa de Tese. Muito obrigado pelas sugestões.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp de Ilha Solteira pelo apoio no trabalho em campo.

Aos funcionários da UNESP em geral que me apoiaram e fizeram com que me sentisse em casa.

A toda família Rodrigues que me acolheu nesta cidade e hoje também faz parte da minha vida para sempre.

Aos amigos e familiares que tanto torceram por mim, em especial, ao meu amigo que conheci na cidade de Ilha Solteira, Sr. Geraldo Bertipaglia que, do alto de seus 81 anos de idade, transmite como poucos o verdadeiro sentimento de amizade sem pedir nada em troca, e com certeza, vai deixar muitas saudades quando eu tiver que partir desta cidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa de estudo no Doutorado.

A todos que me ajudaram direta e indiretamente para que eu pudesse vencer mais esta importante etapa na minha vida.

Muito Obrigado!

## RESUMO

A busca de respostas da hormese em cultivos agrícolas tem encontrado inúmeras dificuldades, principalmente no que diz respeito à repetitividade dos resultados, em especial, em condições de campo. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito hormético de glyphosate no feijoeiro submetido a diferentes condições de estresse abiótico em cultivos à campo. Os experimentos foram conduzidos em áreas experimentais da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso. Os tratamentos para análise da influência da adubação no efeito hormético constaram da combinação da adubação nitrogenada de cobertura em sucessão a aplicação de subdoses de glyphosate na cultura do feijão. Os tratamentos com uso de bactérias e glyphosate constituíram-se da aplicação de uma subdose de glyphosate em diferentes formulações posteriormente a aplicação em cobertura ou não de *Azospirillum brasilense*. Por fim, os tratamentos para avaliação da influência da água no efeito hormético se deu pela aplicação de subdoses de glyphosate e lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento, componentes de produção e produtividade do feijoeiro de inverno em Sistema Plantio Direto. Para tal foi utilizada a cultivar IPR – 139 do IAPAR. Concluiu-se que houve estímulo do crescimento do feijoeiro com aplicação de subdoses de até 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, no entanto, o mesmo não ocorreu na presença do N em cobertura. O teor de N foliar aumentou com as subdoses de 7,2 e 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>, já para o S, o resultado foi o contrário, sendo reduzido nestas doses. Obteve-se efeito hormético na produtividade do feijoeiro com incrementos de até 500 kg ha<sup>-1</sup> ou de 21% em relação à testemunha. O tempo de cocção foi alterado pelas subdoses de glyphosate, dependendo da quantidade de nitrogênio disponibilizado à cultura. Comprovou-se a hipótese de influência do nitrogênio na hormese em feijoeiro para a massa da matéria seca, os teores de nitrogênio e enxofre foliar, a produtividade de grãos e o tempo de cocção dos grãos. A inoculação via foliar com *Azospirillum brasilense* reduziu significativamente os componentes de produção do feijoeiro, porém, sem comprometer a produtividade de grãos. A subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate na formulação Roundup Original<sup>®</sup> propiciou maiores valores dos componentes de produção e produtividade do feijoeiro, atingindo ganhos da ordem de 20%. De maneira isolada, o glyphosate aplicado na formulação Zapp Qi<sup>®</sup> aumentou o tempo médio de cocção dos grãos de feijão. Foi confirmada a hipótese de que o fenômeno da hormese por glyphosate na produtividade do feijoeiro pode ser influenciado pela formulação do herbicida. É possível obter ganhos na massa da matéria seca do feijoeiro pelo uso da técnica de hormese por glyphosate em condições hídricas menores do que a recomendada para a cultura. A lâmina de água disponível à planta tem grande influência nos componentes vegetativos e produtivos do feijoeiro IPR-139 e as melhores produtividades foram obtidas com lâminas em torno de 66% da recomendada para a cultura.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Adubação nitrogenada. Herbicidas. Manejo da água. Subdoses.

## ABSTRACT

The search for hormesis responses in agricultural crops has found difficulties, especially with regard to the repeatability of the results, in particular, in field conditions. In this context, the objective was to evaluate the hormetic effect of glyphosate in common bean submitted to different conditions of abiotic stress and the use of techniques that can maximize results, such as the use of diazotrophic bacteria. The experiments were conducted in experimental areas of the farm Education Research and Extension of the Faculty of Ilha Solteira - UNESP in clayey Red Oxisol. The treatments for analysis of the influence of nitrogen fertilization on the hormetic effect consisted of the combination of nitrogen fertilization in succession to application of glyphosate subdoses in the common bean crop. The treatments with the use of bacteria and glyphosate were constituted of the application of glyphosate in different formulations after the application in cover or not of *Azospirillum brasilense*. Finally, the treatments to evaluate the influence of water on the hormetic effect were given by the application of glyphosate subdoses and irrigation slides on the development, production components and yield of the winter common bean under no-tillage system. For this, the cultivar IPR - 139 of IAPAR was used. It was concluded that there was stimulation of common bean growth with application of subdoses of up to 14.4 g ha<sup>-1</sup> of glyphosate, however, the same did not occur in the presence of nitrogen (N) under cover. Foliar N content increased with sub-doses of 7.2 and 14.4 g a.e. ha<sup>-1</sup>, whereas for S, the result was the opposite, being reduced in these doses. There was a hormetic effect on yield common bean with increments up to 500 kg ha<sup>-1</sup> or 21% in relation to the control. Cooking time was affected by glyphosate subdoses, depending on the amount of nitrogen available to the crop. It was verified the hypothesis of nitrogen influence on common bean hormesis for dry matter mass, leaf N and S content, grain yield and cooking time of common bean grains. Foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* significantly reduced the production components of the common bean, but without compromising grain yield. The glyphosate applied in the subdose of 14.4 g a.e. ha<sup>-1</sup> with the Roundup Original formulation provided higher values of the production and productivity components of the common bean, reaching gains of the order of 20%. Overall, except for the Zapp Qi® formulation, the average cooking time of the common bean grains was not influenced by the treatments used. The hypothesis that the glyphosate hormesis phenomenon in common bean yield could be influenced by the herbicide formulation was confirmed. It is possible to obtain gains in the mass of the dry matter of the common bean by the use of the hormesis technique with glyphosate in water conditions smaller than the one recommended for the culture. The amount of water available to the plant has a great influence on the vegetative and productive components of the IPR-139 common bean and the best yields were obtained with slides around 66% of the recommended for the crop.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. Nitrogen fertilization. Herbicides. Water management. Subdoses.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Dados de precipitação pluvial, temperatura mínima, temperatura média e temperatura máxima durante a condução do experimento. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	29
<b>Figura 2 -</b>	Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [0 (A) e 60 (B) kg ha <sup>-1</sup> ] para a massa da matéria seca da parte aérea do feijoeiro aos 14 DAT. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	37
<b>Figura 3 -</b>	Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [0 (A) e 60 (B) kg ha <sup>-1</sup> ] para a massa da matéria seca da parte aérea do feijoeiro aos 14 DAT. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	40
<b>Figura 4 -</b>	Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [30 (●) e 45 (▼) kg ha <sup>-1</sup> ] para o teor de enxofre (S) nas folhas do feijoeiro. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	41
<b>Figura 5 -</b>	Desdobramento de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [45 (●) e 60 (*) kg ha <sup>-1</sup> ] para a produtividade do feijoeiro. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	47
<b>Figura 6 -</b>	Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [0 (A); 30 (B); 45 (C) e 60 (D) kg ha <sup>-1</sup> ] para o tempo de cocção dos grãos de feijão. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	49
<b>Figura 7 -</b>	Dados de precipitação pluvial, temperatura mínima, temperatura média e temperatura máxima durante a condução do experimento. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	71
<b>Figura 8 -</b>	Desdobramento de glyphosate dentro de lâmina sobre a matéria seca aos 7 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	81
<b>Figura 9 -</b>	Desdobramento de glyphosate dentro de lâmina sobre a matéria seca aos 14 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	82
<b>Figura 10 -</b>	Desdobramento de lâmina dentro de glyphosate sobre a massa da matéria seca aos 7 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	84
<b>Figura 11 -</b>	Desdobramento de lâmina dentro de glyphosate sobre a massa da matéria seca aos 14 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	84
<b>Figura 12 -</b>	Aspecto geral da área experimental após a colheita do milho anterior a semeadura do feijão para os experimentos apontados nos capítulos 2 e 3. Selvíria - MS, 2014.....	106
<b>Figura 13 -</b>	Tratamento de sementes com inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de sementes) e fungicida carboxin + tiram (50 + 50 g do i.a. por 100 kg de sementes). Selvíria – MS, 2014.....	106

<b>Figura 14 -</b>	Semeadura mecânica do feijoeiro em Sistema Plantio Direto (SPD). Selvíria – MS, 2014.....	107
<b>Figura 15 -</b>	Vista da cultura do feijão em fase de desenvolvimento vegetativo. Selvíria – MS, 2014.....	107
<b>Figura 16 -</b>	Subdoses de glyphosate prontas para serem aplicadas no campo. Selvíria – MS, 2014.....	108
<b>Figura 17 -</b>	Estádio fenológico do feijoeiro no momento da aplicação do glyphosate. Selvíria – MS, 2014.....	108
<b>Figura 18 -</b>	Cultura do feijão em fase de pleno florescimento. Selvíria – MS, 2014...	109
<b>Figura 19 -</b>	Cultura do feijão em fase de enchimento de grãos. Selvíria – MS, 2014...	109
<b>Figura 20 -</b>	Colheita do feijão dos experimentos dos capítulos 2 e 3. Selvíria – MS, 2014.....	110
<b>Figura 21 -</b>	Tratamento de sementes com inseticida imidacloprido + tiodicarbe (75 + 225 g do i.a. por 100 kg de sementes) para realização do experimento do Capítulo 4. Selvíria – MS, 2015.....	110
<b>Figura 22 -</b>	Semeadura mecânica após o preparo convencional da área experimental do Capítulo 4. Selvíria – MS, 2015.....	111
<b>Figura 23 -</b>	Desenvolvimento do feijoeiro aos 8 dias após a semeadura. Selvíria – MS, 2015.....	111
<b>Figura 24 -</b>	Sistema de aspersão convencional em operação no campo experimental. Selvíria – MS, 2015.....	112
<b>Figura 25 -</b>	Controle de plantas daninhas pós-emergentes na cultura do feijão. Selvíria – MS, 2015.....	112
<b>Figura 26 -</b>	Tanque Classe A instalado na FEPE – Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP de Ilha Solteira, utilizado nas aferições diárias de Evaporação próximos à área experimental. Selvíria – MS, 2015.....	113
<b>Figura 27 -</b>	Aplicação da subdose de glyphosate no campo. Selvíria – MS, 2015.....	113
<b>Figura 28 -</b>	Aspecto da cultura do feijão aos 5 dias após o tratamento com glyphosate. Selvíria – MS, 2015.....	114
<b>Figura 29 -</b>	Cultura do feijão do experimento do Capítulo 4 em fase de florescimento pleno. Selvíria – MS, 2015.....	114
<b>Figura 30 -</b>	Feijoeiro em fase de enchimento de grãos. Selvíria – MS, 2015.....	115
<b>Figura 31 -</b>	Vista da área experimental com destaque para as diferentes condições de	115

desenvolvimento da cultura em função das diferentes lâminas de irrigação. Selvíria – MS, 2015.....

**Figura 32 -** Vista da área experimental no momento da colheita do feijão no ensaio do Capítulo 4. Selvíria – MS, 2015..... 116

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Análise química do solo da área experimental antes da instalação do experimento. Selvíria, MS, Brasil, 2014.....	30
<b>Tabela 2.2</b> - Resumo da análise de variância de população inicial (PI), população final de plantas (PF) e massa da matéria seca da parte aérea (MS-1) aos 7 dias após o tratamento (DAT) e aos 14 DAT (MS-2) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	35
<b>Tabela 2.3</b> - Resumo da análise de variância de teor de nitrogênio (N), teor de fósforo (P) e teor de enxofre (S) nas folhas em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	39
<b>Tabela 2.4</b> - Resumo da análise de variância de índice de clorofila foliar (ICF), altura de plantas (AP) e diâmetro do caule (DC) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	42
<b>Tabela 2.5</b> - Resumo da análise de variância de números de vagens por planta (NVP), grãos por planta (NGP) e grãos por vagem (NGV) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	44
<b>Tabela 2.6</b> - Resumo da análise de variância de massa de 100 grãos (M100), produtividade (PROD) e tempo médio de cocção (TC) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	45
<b>Tabela 3.1</b> - População inicial de plantas (PI) e população final de plantas (PF) do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de <i>Azospirillum brasilense</i> e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	58
<b>Tabela 3.2</b> - Massa da matéria seca do feijoeiro aos 7 dias após a aplicação (DAA) (MS-1) e massa da matéria seca aos 14 DAA (MS-2), teor de nitrogênio (N) nas folhas e acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de <i>Azospirillum brasilense</i> e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	61
<b>Tabela 3.3</b> - Índice de clorofila foliar (ICF), altura de plantas e diâmetro do caule do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de <i>Azospirillum brasilense</i> e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	62
<b>Tabela 3.4</b> - Número de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de <i>Azospirillum brasilense</i>	64

	e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	
<b>Tabela 3.5 -</b>	Massa de 100 grãos, produtividade de grãos e tempo médio de cocção dos grãos de feijão em função da aplicação em cobertura de <i>Azospirillum brasilense</i> e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	66
<b>Tabela 3.6 -</b>	Interação entre inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> via foliar e formulações de glyphosate em feijoeiro sobre o tempo de cocção dos grãos. Selvíria-MS, Brasil, 2014.....	67
<b>Tabela 4.1 -</b>	Análise química do solo da área experimental anteriormente à instalação do experimento. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	71
<b>Tabela 4.2 -</b>	Valores de coeficiente da cultura (Kc) utilizados nas diferentes fases de desenvolvimento do feijoeiro de acordo com as lâminas de água aplicadas por aspersão. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	74
<b>Tabela 4.3 -</b>	Disponibilidade de água proveniente da precipitação pluvial e irrigação por aspersão durante o ciclo do feijoeiro. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	75
<b>Tabela 4.4 -</b>	Resumo da análise de variância de população final de plantas (PF), massa da matéria seca aos 7 dias após a aplicação DAA (MS1) e aos 14 DAA (MS2) e índice de clorofila foliar (ICF) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	79
<b>Tabela 4.5 -</b>	Resumo da análise de variância para o desdobramento de glyphosate dentro de lâmina sobre a massa da matéria seca do feijoeiro aos 7 DAA (MS1) e aos 14 DAA (MS2).....	80
<b>Tabela 4.6 -</b>	Valores médios de índice de clorofila foliar (ICF) em função da aplicação ou não de 14,4 g do equivalente ácido de glyphosate ha <sup>-1</sup> em cobertura na cultura do feijão. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	85
<b>Tabela 4.7 -</b>	Resumo da análise de variância de altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC) e altura de inserção da primeira vagem (AIV) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	87
<b>Tabela 4.8 -</b>	Resumo da análise de variância do número de vagens por planta (VGP), grãos por planta (GRP) e grãos por vagem (GRV) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil, 2015.....	89
<b>Tabela 4.9 -</b>	Resumo da análise de variância da massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PROD) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil,	

2015..... 90

**Tabela 4.10** Equações de regressão para as características avaliadas em função de diferentes lâminas de irrigação. Selvíria-MS, Brasil, 2015..... 92

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	15
1.1 A cultura do feijão.....	15
1.2 O herbicida glyphosate.....	17
1.3 O efeito hormético por glyphosate .....	19
1.4 A adubação nitrogenada .....	21
1.5 A inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> .....	22
1.6 A disponibilidade hídrica.....	23
1.7 Objetivos gerais .....	25
1.8 Objetivos específicos .....	25
CAPÍTULO 2 – VARIAÇÃO DA HORMESE POR GLYPHOSATE NO FEJJOEIRO EM RESPOSTA AO NITROGÊNIO EM COBERTURA.....	26
Resumo .....	26
2.1 Introdução .....	27
2.2 Material e Métodos.....	28
2.2.1 Características da área experimental e condução da cultura .....	28
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos .....	31
2.2.3 Avaliações realizadas .....	32
2.2.3.1 População de plantas .....	32
2.2.3.2 Florescimento pleno .....	32
2.2.3.3 Massa da matéria seca da parte aérea.....	32
2.2.3.4 Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) nas folhas .....	32
2.2.3.5 Índice de clorofila foliar .....	32
2.2.3.6 Altura de plantas.....	33
2.2.3.7 Diâmetro do caule.....	33
2.2.3.8 Componentes de produção .....	33
2.2.3.9 Produtividade .....	33
2.2.3.10 Tempo médio de cocção determinado pelo Cozedor de Mattson (TC).....	33
2.2.5 Análise estatística .....	34
2.3 Resultados e discussão .....	35
2.3.1 População final de plantas e Massa da matéria seca da parte aérea aos 7 e 14 dias após o tratamento (DAT) .....	35
2.3.2 Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) nas folhas do feijoeiro .....	38
2.3.3 Índice de clorofila foliar, altura de plantas e diâmetro do caule .....	41

2.3.4	Números de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem.....	43
2.3.5	Massa de 100 grãos, produtividade e tempo médio de cocção.....	44
2.4	Conclusões .....	50
<b>CAPÍTULO 3 – RESPOSTA DO FEIJOEIRO A APLICAÇÃO FOLIAR DE <i>Azospirillum brasilense</i> E UMA SUBDOSE DE GLYPHOSATE EM DIFERENTES FORMULAÇÕES .....</b>		<b>51</b>
	Resumo .....	51
3.1	Introdução .....	52
3.2	Material e Métodos.....	54
3.2.1	Características da área experimental e condução da cultura .....	54
3.2.2	Delineamento experimental e tratamentos .....	54
3.2.3	Avaliações realizadas .....	55
3.2.3.1	<i>População de plantas</i> .....	55
3.2.3.2	<i>Florescimento pleno</i> .....	55
3.2.3.3	<i>Massa da matéria seca da parte aérea</i> .....	55
3.2.3.4	<i>Teor de nitrogênio (N) nas folhas</i> .....	55
3.2.3.5	<i>Teor de nitrogênio (N) na planta</i> .....	55
3.2.3.6	<i>Índice de clorofila foliar</i> .....	56
3.2.3.7	<i>Altura de plantas</i> .....	56
3.2.3.8	<i>Diâmetro do caule</i> .....	56
3.2.3.9	<i>Componentes de produção</i> .....	56
3.2.3.10	<i>Produtividade</i> .....	57
3.2.3.11	<i>Tempo médio de cocção determinado pelo Cozedor de Mattson (TC)</i> .....	57
3.2.5	Análise estatística .....	57
3.3	Resultados e discussão .....	58
3.3.1	População inicial e população final de plantas .....	58
3.3.2	Massa da matéria seca do feijoeiro (MS), teor de nitrogênio (N) nas folhas e acúmulo de N na parte aérea .....	59
3.3.3	Índice de clorofila foliar, altura de plantas e diâmetro do caule .....	62
3.3.4	Número de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem .....	63
3.3.5	Massa de 100 grãos, produtividade e tempo médio de cocção.....	64
3.4	Conclusões .....	67
<b>CAPÍTULO 4 – EFEITO HORMÉTICO POR GLYPHOSATE NO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....</b>		<b>68</b>
	Resumo .....	68
4.1	Introdução .....	69
4.2	Material e Métodos.....	70



4.2.1	Localização e características da área experimental .....	70
4.2.2	Delineamento experimental e tratamentos .....	72
4.2.3	Manejo da cultura .....	72
4.2.4	Manejo da água .....	73
4.2.5	Avaliações realizadas .....	76
4.2.5.1	<i>População de plantas</i> .....	76
4.2.5.2	<i>Florescimento pleno</i> .....	76
4.2.5.3	<i>Massa da matéria seca de plantas</i> .....	76
4.2.5.4	<i>Índice de clorofila foliar</i> .....	76
4.2.5.5	<i>Altura de plantas</i> .....	76
4.2.5.6	<i>Diâmetro do caule</i> .....	77
4.2.5.7	<i>Altura de inserção de primeira vagem</i> .....	77
4.2.5.8	<i>Componentes de produção</i> .....	77
4.2.5.9	<i>Produtividade</i> .....	77
4.2.6	Análise estatística .....	77
4.3	Resultados e discussão .....	78
4.3.1	População final de plantas, massa da matéria seca e índice de clorofila foliar .....	78
4.3.2	Altura de plantas, diâmetro do caule e altura de inserção da primeira vagem .....	85
4.3.3	Número de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem .....	87
4.3.4	Massa de 100 grãos e produtividade de grãos .....	89
4.4	Conclusões .....	92
	REFERÊNCIAS .....	93
	APÊNDICE – FOTOS DAS PESQUISAS.....	106

## **CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

O feijão garante o suprimento proteico e vitamínico de povos nos países onde é cultivado e proporciona boa rentabilidade aos produtores que a consideram uma cultura chave no processo de produção.

Desde pequenas propriedades que praticam a agricultura familiar com baixo uso de tecnologias até grandes propriedades que empregam milhares de pessoas e já possuem destaque em suas atividades o feijão é uma excelente alternativa para garantir o sustento e a rentabilidade no campo.

Em lavouras que utilizam altas tecnologias e que garantem boas condições de crescimento e desenvolvimento do feijoeiro, como o uso adequado de irrigação e adubação, o feijão pode propiciar ao produtor rural ganhos acima da média de outras commodities tropicais, em especial nos períodos em que sua oferta é menor que a procura. Entretanto, estes aspectos nem sempre podem ser supridos de forma adequada e muitas vezes o produtor enfrenta períodos de estiagem que comprometem até mesmo a irrigação e por consequência se têm o comprometimento de todo o processo produtivo.

Tendo em vista estes problemas, como seria possível melhorar a produtividade do feijoeiro com poucos recursos e, nos períodos de maior dificuldade, poder garantir bons rendimentos, tanto para produtores que dependem quase que totalmente da natureza para obter boa colheita, como para grandes propriedades que podem sofrer com problemas que atingem até mesmo os que utilizam altas tecnologias em seus cultivos?

É para tentar solucionar estas e outras perguntas que desde 2009 estudos vêm sendo conduzidos na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP de Ilha Solteira com o intuito de avaliar o comportamento de diferentes cultivares e tipos de feijoeiro submetidos à tratamentos com subdoses de glyphosate e, mais recentemente, avaliando estes efeitos em diferentes condições hídricas e nutricionais da planta de feijão em cultivo no campo.

### **1.1 A cultura do feijão**

O feijão é uma das principais culturas produzidas no Brasil. Sua importância extrapola o aspecto econômico, dada sua relevância enquanto fator de segurança alimentar e nutricional e sua importância cultural na culinária de diversos países e culturas. O feijão é,

historicamente, um dos principais alimentos consumidos no Brasil, sobretudo entre os extratos sociais menos favorecidos (POSSE et al., 2010).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o consumo alimentar de feijão da população brasileira combina a tradicional dieta à base de arroz e feijão com alimentos de baixo valor nutricional e muitas calorias. O consumo per capita em 2010 ficou em 17,06 kg/habitante/ano.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de feijão, com produção média anual de 3,5 milhões de toneladas (MORAES; MENELAU, 2017). Os principais produtores são Paraná, Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Goiás (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

O feijão no Brasil é cultivado em pequena e em grande escala, e os sistemas de produção diferem entre as regiões. A vantagem de um consórcio em relação à monocultura é evidente quando as culturas envolvidas são diferentes quanto às exigências dos recursos disponíveis em qualidade, quantidade e época de demanda (CUNHA, 2014; MORAES; MENELAU, 2017).

O feijão é importante na composição de sistemas agrícolas para a região dos cerrados. Ocasionalmente, na época “da seca” e, principalmente, no inverno, a cultura é totalmente dependente de irrigação, que na maioria dos casos é feita por aspersão. Outra prática que tem sido utilizada no cultivo do feijoeiro é o cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e as primeiras pesquisas foram realizadas pelo Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, onde os resultados obtidos mostraram a viabilidade da inclusão desta cultura no sistema de rotação em SPD. Trata-se de uma prática eficiente para o controle de erosão, propicia maior disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, além de melhorar as condições físicas e químicas do solo com o aumento do teor de matéria orgânica (BALBINO et al., 1996).

Segundo White (1993), o feijoeiro é considerado uma espécie com pouca tolerância a estresses hídricos severos, sendo que 60% da produção mundial está submetida a este fator, tornando a seca o segundo maior redutor da produtividade, a qual é superada apenas pela ocorrência de doenças.

Para Guimarães (1996), a fase de maior sensibilidade da planta ao déficit hídrico é a floração, podendo ocasionar abortamento e queda prematura das flores. Na fase de formação das vagens, a falta de água propicia o chochamento dos grãos. O fornecimento de quantidades adequadas de água é um dos fatores fundamentais para garantir uma produtividade adequada.

A importância do feijão para a alimentação humana e animal deve-se às suas características organolépticas, já que é fonte de proteínas, minerais e vitaminas, além de possuir alto conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados e carboidratos. A qualidade do grão é

determinada principalmente pelo tempo de cozimento e características nutricionais. Entretanto, quando armazenado ou conservado em temperaturas e umidades relativas altas, comuns em países tropicais, ele se torna endurecido, ou seja, pode desenvolver o fenômeno conhecido como *hard-to-cook* (HTC), que significa difícil de cozinhar (KINYANJUI et al., 2014; NJOROGE et al., 2015; MORAES; MENELAU, 2017).

A preferência entre os consumidores de feijão varia quanto aos tipos de grão (forma, tamanho, brilho e cor), algo que pode influenciar a comercialização do produto (VENTURELLI et al., 2014). Em razão da preferência dos consumidores e dos agricultores, há no Brasil ampla variabilidade de cultivares: carioca, preto, roxo, rosinha e também os feijões de sementes graúdas e as cultivares do grupo manteigão (PEREIRA, 2012; MORAES; MENELAU, 2017).

No acréscimo de novas cultivares, alta produtividade e resistência a fatores bióticos e abióticos são características desejadas, mas visando atender as exigências do mercado consumidor (FRANCISCO et al., 2016). Os programas de melhoramento genético do feijoeiro aprimoraram a obtenção de variedades com alta produtividade, sementes resistentes à pragas, com forma, tamanho, cor e brilho aceitáveis no mercado. Além disso, os grãos de feijão devem possuir características culinárias e nutricionais desejáveis, como facilidade de cozimento, paladar agradável, textura macia, capacidade de produzir caldo claro e denso e maior teor de proteínas e minerais (PEREIRA et al., 2016; MORAES; MENELAU, 2017).

## **1.2 O herbicida glyphosate**

O glyphosate [N-(fosfonometil) glicina] é um herbicida não seletivo, largamente usado nas lavouras dos mais diversos cultivos, além disso, é considerado o herbicida mais utilizado no Brasil e no mundo (GODOY, 2007; BASTOS; SIMONI, 2010; BELZ; LEBERLE, 2012). Esta molécula tem se destacado em virtude da capacidade em controlar uma grande variedade de espécies vegetais anuais e perenes, além de apresentar rápida ligação às partículas do solo e biodegradação, bem como baixa toxicidade a mamíferos, aves e peixes (NEUMANN et al., 2006; PLINE-SRNIC, 2006; AHSAN et al., 2008; PRESTON; WAKELIN, 2008; CARVALHO, 2011).

Consiste em uma ferramenta essencial para o desenvolvimento sustentável dos sistemas de produção agrícola e, nos últimos anos, o seu consumo tem aumentado continuamente com o desenvolvimento de variedades resistentes (GODOY, 2007).

Este herbicida pertence ao grupo químico dos inibidores da síntese de aminoácidos e contém o N-(phosphonomethyl) glycina como ingrediente ativo. Após sua absorção pelas plantas, é rapidamente translocado, juntamente com fotossintatos, dos pontos de aplicação situados nas folhas até drenos distantes pelos vasos do floema, assim caracterizando-se num herbicida sistêmico. Em plantas sensíveis, o glyphosate atua inibindo a atividade da enzima plastídica 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), responsável pela reação que condensa shiquimato-3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP) em 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato (EPSP) e fosfato inorgânico (Pi), na etapa pré-corismato da rota do shiquimato (SHARNER; BRIDGES, 2003). Essa reação ocorre em duas etapas, iniciando pela ligação da enzima EPSPs ao S3P, formando o complexo EPSPs-S3P; em seguida, o PEP liga-se a esse complexo, permitindo o prosseguimento da reação, finalizando com a produção de EPSP; quando a planta é exposta ao herbicida, o glyphosate não irá se ligar à enzima EPSPs livre, mas sim ao complexo EPSPs-S3P, impedindo que ocorra a sua interação com PEP, ao formar o complexo inativo EPSPs-S3P-glyphosate (FRANZ; MAO; SIKORSKI, 1997; TAN; EVANS; SINGH, 2006; CARVALHO, 2011).

De acordo com Carvalho (2011), por apresentar esse mecanismo de ação, o glyphosate atua diretamente na via do shiquimato, inibindo a síntese de aminoácidos aromáticos essenciais, como fenilalanina, tirosina e triptofano, que são precursores de outros produtos, como lignina, alcalóides, flavonóides e ácidos benzóicos (TAN; EVANS; SINGH, 2006; REDDY et al., 2008), que são indispensáveis para a síntese de proteínas e o crescimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2006; NELSON, 2008). Assim, o efeito mais rápido e drástico da aplicação de glyphosate em plantas sensíveis é o acúmulo de shiquimato (AMRHEIN et al., 1980; LYDON; DUKE, 1988).

O glyphosate pode ainda afetar diretamente a fotossíntese da planta, reduzindo a atividade da ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), do ácido 3-fosfoglicérico (AHSAN et al., 2008), diminuindo a síntese de clorofila e interferindo na organização do aparelho fotossintético (MARÍA; FELIPE; FERNÁNDEZ-PASCUAL, 2005; AHSAN et al., 2008). Fuchs et al. (2002) e Nelson (2008) destacam outras consequências conhecidas da ação do glyphosate, tais como branqueamento, clorose e redução do crescimento, concentrados principalmente em tecidos metabolicamente ativos, tais como folhas imaturas, brotamentos, botões florais e raízes.

De acordo com Meschede, Velini e Carbonari (2008), a inibição da enzima EPSPs pelo glyphosate leva ao acúmulo de chiquimato nos vacúolos que é exacerbado pela perda do controle de realimentação e pelo fluxo desregulado de carbono na rota. Essa rota é

responsável por até 35% da massa da matéria seca da planta e 20% do carbono fixado pela fotossíntese deriva dessa rota (GAZZIERO; PRETE, 2004).

Com exceção das plantas transgênicas, todas as plantas são sensíveis ao glyphosate em maior ou menor intensidade, indicando uma variabilidade funcional nos pontos de ligação dos compostos com a enzima EPSPs (VELINI et al., 2006; GODOY, 2007).

São disponibilizadas no mercado diversas formulações de glyphosate, que, apesar de apresentarem o mesmo mecanismo de ação, possuem, na composição, diferentes sais, sendo os principais: sal de isopropilamina, sal de amônio e sal potássico – este presente exclusivamente na formulação Zapp Qi<sup>®</sup> (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005; SANTOS et al., 2007a).

As particularidades de cada formulação incluem maior intoxicação a organismos não-alvo, principalmente para a microbiota do solo (SANTOS et al., 2006), maior velocidade de translocação e de ação (MOLIN; HIRASE, 2005), melhor controle de algumas espécies de plantas daninhas (LI et al., 2005) e desbalanço no estado nutricional das plantas (DUKE et al., 1983).

### **1.3 O efeito hormético por glyphosate**

Inicialmente vários herbicidas foram desenvolvidos como reguladores de crescimento, comprovando a hipótese de hormese. Um exemplo mais notório é o do produto 2,4-D, originalmente desenvolvido como uma auxina e que em doses elevadas tem efeito herbicida (MOUSDALE; COGGINS, 1991). Outro exemplo é o próprio glyphosate cujo antecessor, o glyphosine (utilizado no Brasil como maturador e com o nome comercial Polaris<sup>®</sup>), ainda é utilizado como regulador de crescimento em vários países (HALTER, 2009). Na década de 1970, observou-se que elevadas doses do glyphosine poderiam promover a morte das plantas. A partir desta informação, foi desenvolvido um novo composto com menores dimensões moleculares e com maior afinidade à enzima EPSPs (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) (HALTER, 2009).

Dentre os agentes estressores químicos que demonstraram efeito hormético em vegetais, encontra-se o glyphosate. A grande maioria das pesquisas com herbicidas são voltadas ao efeito deletério causado nas plantas em doses elevadas, no entanto, a administração de subdoses destas moléculas para comprovar o efeito hormético é conhecida desde o século XV e conta com estudos atuais no mundo todo, inclusive no Brasil (SILVA et al., 2013a).

Vários estudos têm demonstrado que o uso de glyphosate em pequenas doses (subdoses) pode vir a estimular um ganho na matéria seca de plantas, tirosina, caroteno, além de aumento na absorção de fósforo (VELINI et al., 2006; GODOY, 2007). No entanto, pouco se sabe sobre seus efeitos nos componentes de produção, na relação entre nutrientes e as condições hídricas do ambiente, assim como na produtividade de grãos em plantas cultivadas, como na cultura do feijão.

De acordo com Belz e Leberle (2012) existem diversas aplicações em baixas doses que apontam potencial uso comercial do glyphosate como um regulador de crescimento, tais como a aplicação para aumentar os níveis de açúcar da cana-de-açúcar ou a utilização de estimuladores de crescimento, assim como doses horméticas para aumentar o rendimento das culturas (CEDERGREEN et al., 2009; DALLEY; RICHARD, 2010; EL-SHAHAWY; SHARARA, 2011; GITTI et al., 2011).

O glyphosate apresentou efeito de hormese em diversas plantas, como crescimento da parte aérea e radicular de trapoeraba (*Commelina benghalensis*) (VELINI et al., 2008), aumento de massa de matéria verde em milho (WAGNER et al., 2003), crescimento inicial em cana-de-açúcar (SILVA et al., 2009), teor de sacarose em cana-de-açúcar (MCDONALD; MORGAN; JACKSON, 2001), teor de fósforo nas folhas de eucalipto (CARBONARI; MESCHÉDE; VELINI, 2007) e aumento na produtividade de grãos em feijoeiro (SILVA et al., 2012). Estes últimos autores ressaltam que pouco se sabe sobre o efeito hormético de glyphosate nos componentes de produção, assim como na produtividade de grãos, em plantas cultivadas, como ocorre na cultura do feijão.

O uso mundial de tratamentos com glyphosate em baixas doses na cana de açúcar para aumentar a produção de açúcar é o único exemplo de um uso comercial eficiente de hormese com herbicida (DUKE et al., 2006; DALLEY; RICHARD, 2010). Segundo Belz, Cedergreen e Duke (2011), isto é completamente contrário ao uso comercial longo e eficiente de doses elevadas de vários herbicidas para controle de plantas daninhas, no entanto, desafiado pelo futuro fosso entre a procura de alimentos e a disponibilidade de terras agrícolas, alguns estão convencidos de que a ênfase na produção agrícola está mudando de proteção das culturas para melhoria das mesmas, facilitada pelas novas tecnologias, tais como a estimulação de crescimento induzida por produtos fitossanitários (RICH, 2008; CEDERGREEN et al., 2009).

#### 1.4 A adubação nitrogenada

Embora o feijoeiro tenha capacidade de suprir parte da sua demanda de N pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, a quantidade fornecida por esse processo normalmente é insuficiente, necessitando ser completado, o que via de regra é feito por meio da adubação mineral. Por ser o nutriente mais absorvido e o mais exportado pelas plantas, o nitrogênio deve ser repostado (SILVA et al., 2000).

Entre as deficiências nutricionais que ocorrem na cultura do feijão, a de N é a mais freqüente, devendo-se precisar a dose e época corretas, de modo a propiciar boa nutrição da planta no momento em que ainda é possível aumentar o número de vagens por planta, ou seja, até o início do florescimento (CARVALHO et al., 2001).

A absorção de nitrogênio é realizada durante todo o ciclo da cultura, porém, a época de maior exigência ocorre entre os 35 e 50 dias da emergência das plantas, coincidindo com o período de florescimento, no qual a planta absorve de 2,0 kg ha<sup>-1</sup> a 2,5 kg ha<sup>-1</sup> ao dia, sendo que a deficiência deste nutriente causa vários distúrbios fisiológicos na planta (VALDERRAMA et al., 2009).

De acordo com Barbosa Filho e Silva (2001), o sulfato de amônio e a ureia são as duas fontes de N mais utilizadas na agricultura brasileira, possivelmente por apresentarem menor custo e maior disponibilidade no mercado. Enquanto outras fontes de N não estiverem disponíveis no mercado, em condições competitivas com a ureia e o sulfato de amônio, a estratégia para maximizar a eficiência de uso de N ainda deverá ser o aperfeiçoamento de seu próprio manejo. Os mesmos autores afirmaram que a ureia, aplicada superficialmente e com uso da irrigação foi a opção com maior retorno econômico para adubação nitrogenada em cobertura.

Stone e Moreira (2001) verificaram que o número de vagens por planta, massa de cem sementes e produtividade do feijoeiro responderam significativamente a 0, 20, 40 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados aos 35 DAE, sob o SPD. Constataram ainda que houve aumento na produtividade com o decorrer de vários anos de cultivo com o incremento das doses desse nutriente.

Soratto et al. (2001) constataram que a aplicação de 0, 25, 50, 75 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, aos 15, 25 e 35 DAE proporcionou melhor desenvolvimento e aumentos da produtividade da cultura do feijão irrigado, cultivado em SPD.

Segundo observado por Farinelli et al. (2006), o feijoeiro responde melhor a adubação nitrogenada no sistema de cultivo convencional que no SPD, o que reforça a hipótese de que



no SPD talvez exista a necessidade de se utilizar maiores doses de nitrogênio em virtude dos efeitos da velocidade de decomposição e relação C/N da palha, no processo de imobilização do nitrogênio. A competição dos microrganismos com o feijoeiro, especialmente nos estádios iniciais de desenvolvimento, e a grande absorção e extração do N pela planta, limitam a produtividade da cultura, mesmo que outros fatores de produção possam ser otimizados (ARF, 1994; ROSOLEM, 1996; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002).

Ries et al. (1967) e Pulver e Ries (1973) desenvolveram evidências consideráveis de que baixas doses do herbicida simazina do grupo químico das triazinas poderia melhorar o metabolismo do nitrogênio em algumas culturas, mas esta informação não foi explorada. O que torna a relação do efeito hormético com a nutrição de plantas e adubação nitrogenada uma vasta gama a ser explorada e que pode trazer benefícios às culturas agrícolas.

De acordo com Belz (2008) e Belz e Cedergreen (2010), quando um ensaio de alface foi conduzido sem nutrientes, o fitoquímico natural “Parthenin” exibiu um efeito hormético consistente e pronunciado no alongamento da raiz de *Lactuca sativa*. No entanto, a realização do teste com uma solução nutritiva completa eliminou o efeito hormético. Portanto, torna-se coerente à realização de novas pesquisas que visam avaliar o efeito hormético nos vegetais sob condições adversas de nutrição.

### **1.5 A inoculação com *Azospirillum brasilense***

O gênero *Azospirillum* pertence ao grupo das bactérias promotoras de crescimento de plantas, que possuem como principais características a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN), o aumento da atividade da redutase do nitrato quando crescem endofiticamente nas plantas, a produção de hormônios como auxinas, citocininas, giberilinas e etileno (CASSÁN et al., 2008).

O potencial para aumentar a nodulação e o crescimento de plantas, tem sido demonstrado com a inoculação combinada de *Rhizobium* e *Azospirillum* em plantas de feijão (REMANS et al., 2008; YADEGARI et al., 2010). A presença de bactérias do gênero *Azospirillum* é capaz de aumentar a produção de massa de matéria seca e o número de nódulos por planta, devido à liberação de fitohormônios que induzem a formação de pelos radiculares no feijão (BURDMAN et al., 1996; BURDMAN; KIGEL; OKON, 1997).

De acordo com Okon e Vanderleyden (1997), essas bactérias podem atuar no crescimento da planta através da produção de substâncias promotoras de desenvolvimento (auxinas, giberelinas e citocininas) as quais proporcionam melhor crescimento radicular e por

consequência maior absorção de água e nutrientes (CORREA et al., 2008) resultando em uma planta mais vigorosa e produtiva (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004; HUNGRIA, 2011).

German et al. (2000), avaliando a morfologia das raízes de plantas de feijoeiro comum após inoculação com *Azospirillum brasilense* (estirpe ATCC 29729), obtiveram aumento no comprimento e peso fresco de raízes em 95 e 66 %, respectivamente, em relação ao tratamento sem inoculação.

O maior volume de solo explorado contribui para a absorção de água e nutrientes pelas plantas, refletindo em produtividade de grãos, como observado por Ögüt et al. (2005), ao inocular em sementes de feijão com *Azospirillum brasilense* (estirpe Sp 7) e *Trichoderma harzianum* (estirpe Rifai 129522), obtendo aumento de 117 % na produtividade de grãos em relação ao tratamento sem inoculação (GITTI et al., 2012).

Segundo Hungria (2011), atualmente o *Azospirillum* spp. é comercializado para inoculação em trigo e milho, com aumentos de 31 e 26 % na produtividade de grãos, respectivamente, porém, com fornecimento de parte do nitrogênio requerido pela planta pelo fertilizante mineral. Esta mesma autora ressalta que diversos trabalhos mostram melhorias em parâmetros fotossintéticos das folhas, incluindo teor de clorofila, condutância estomática, maior teor de prolina na parte aérea e raízes, melhoria no potencial hídrico, incremento no teor de água do apoplasto, maior elasticidade da parede celular, maior produção de biomassa, maior altura de plantas e incremento em vários pigmentos fotossintéticos, tais como clorofila a, b e pigmentos fotoprotetivos auxiliares, como violaxantina, zeaxantina, aeroxantina, luteína, neoxantina e beta-caroteno, que resultariam em plantas mais verdes e sem estresse hídrico. Os trabalhos demonstram ainda maior produção de raízes e altura maior das plantas com a inoculação com *Azospirillum* spp. (SOUZA, 2015).

## **1.6 A disponibilidade hídrica**

A instabilidade climática afeta o feijoeiro em quase todas as regiões produtoras do Brasil, com períodos de excessos e de deficiência hídrica. Isto provoca grande oscilação na produção nacional de feijão, que se apresenta como uma cultura sensível à deficiência hídrica, sendo que em regiões onde ocorre distribuição irregular das precipitações pluviais o emprego de irrigação é essencial (GUIMARÃES; STONE; BRUNINI, 1996).

A maioria das culturas possui períodos críticos quanto à deficiência hídrica, durante os quais a falta de água causa sérios decréscimos na produção final e alterações no

desenvolvimento das plantas. Os prejuízos causados dependem da sua duração e severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (FOLEGATTI et al., 1997).

O déficit hídrico é considerado um potencial agente estressante para os vegetais, principalmente para o feijoeiro que é classificado como planta sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo (NÓBREGA et al., 2001; SILVEIRA; STONE, 2004).

Dentre as culturas de inverno irrigadas, o feijão é uma das principais nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e algumas áreas da região Nordeste. Com o uso de irrigação, as produtividades são geralmente superiores a 1500 kg ha<sup>-1</sup> e dependendo do nível de tecnologia utilizada podem ultrapassar os 3000 kg ha<sup>-1</sup> (SILVEIRA; STONE, 1994; ROMANINI JÚNIOR et al., 2007).

Em diversos trabalhos que mostram o efeito positivo da adubação nitrogenada, a cultura chega a responder a doses de N acima de 100 kg ha<sup>-1</sup> e a sua aplicação associada a outras tecnologias como a irrigação normalmente torna-se viável. Silva e Silveira (2000) consideram a prática de irrigação um marco para a cultura do feijão, porque viabilizou a adoção de tecnologia e, conseqüentemente, promoveu aumento da sua produtividade.

Para Stone et al. (2006), o uso de irrigação na cultura do feijão de inverno semeado em SPD, se tornou uma alternativa rentável para agricultores que dispõem desta tecnologia, porque a presença de palha reduz a evapotranspiração das culturas durante o período em que o dossel das mesmas não cobre totalmente o solo gerando economia no uso de irrigação.

Os aspectos relacionados ao fornecimento adequado de água às plantas vêm assumindo grande parte das preocupações dos agricultores irrigantes. O manejo adequado da irrigação tem sua importância relacionada aos custos de energia elétrica, bem como à conservação do solo e da água. Diante disso, a aplicação de água, na quantidade requerida pelas culturas e no momento apropriado, torna-se de fundamental importância dentro do contexto desses recursos naturais (PAVANI; LOPES; PEREIRA, 2009).

Arf et al. (2004) obtiveram produtividade de grãos semelhantes, quando comparadas diferentes lâminas de água na cultura do feijoeiro, concluindo-se que as menores lâminas de água, conseqüentemente proporcionavam menor custo de produção. Segundo estes autores, solos muito úmidos propiciam condições de má aeração ao sistema radicular, além de aumento da incidência de doenças. Para Moreira et al. (1988), o excesso de água provoca deficiência de oxigênio, levando a uma concentração inadequada desse elemento na planta e redução da atividade microbiana do solo. Os mesmos relatam que o consumo de água do feijoeiro depende do estágio de desenvolvimento, das condições do solo, época de cultivo e

das condições climáticas. De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm para obtenção de alta produtividade.

Mediante as recentes mudanças climáticas e a necessidade cada vez maior por alimentos em menor espaço físico e temporal, é imprescindível que a pesquisa de estímulos com dose-resposta não se restrinja apenas a limiares de toxicidade quantitativos, mas também as condições ambientais, climáticas e nutricionais. Neste contexto, o efeito hormético pode ser promissor aos sistemas agrícolas.

### **1.7 Objetivos gerais**

Avaliar o desenvolvimento do feijoeiro submetido ao efeito hormético utilizando subdoses do herbicida glyphosate em diferentes formulações juntamente ao manejo da adubação nitrogenada, a inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum* e o manejo da irrigação.

### **1.8 Objetivos específicos**

- Aplicar glyphosate em subdoses para verificar se ocorre incrementos nos componentes vegetativos, de produção, de produtividade e qualidade tecnológica dos grãos de feijão.
- Associar subdoses de glyphosate às doses de nitrogênio em cobertura para avaliar se há um melhor aproveitamento deste nutriente pela planta, proporcionando economia de fertilizante nitrogenado.
- Aplicar subdoses de glyphosate posteriormente a inoculação via foliar com *Azospirillum brasilense* nos estádios iniciais da cultura para averiguar se ocorre incremento nas condições de crescimento, nutrição e produtividade do feijoeiro, além de aumento na fixação biológica de nitrogênio e até eliminação da necessidade da adubação química em cobertura no feijoeiro IPR 139.
- Utilizar diferentes formulações de glyphosate para avaliar os resultados.
- Analisar se os resultados obtidos pelos objetivos anteriores se repetem em diferentes condições hídricas, podendo proporcionar economia de água para o produtor rural.

## CAPÍTULO 2 – VARIAÇÃO DA HORMESE POR GLYPHOSATE NO FEIJOEIRO EM RESPOSTA AO NITROGÊNIO EM COBERTURA

### Resumo

Com objetivo de avaliar a influência do nitrogênio disponibilizado em cobertura sobre o efeito hormético de glyphosate nos componentes vegetativos, de produção e na absorção de nutrientes, propôs-se estudar a combinação da adubação nitrogenada de cobertura em sucessão a aplicação de subdoses de glyphosate na cultura do feijão. O estudo foi desenvolvido no período de outono-inverno de 2014 em área experimental da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso. A cultivar utilizada foi a IPR-139 do IAPAR. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas dispostas em quatro blocos. As parcelas foram compostas por três subdoses de glyphosate (G) (7,2; 14,4 e 21,6 g do equivalente ácido (e.a.) ha<sup>-1</sup>) mais uma testemunha sem aplicação e as subparcelas foram compostas por quatro doses de nitrogênio (N) em cobertura (15, 30, 45 e 60 kg ha<sup>-1</sup>) mais um tratamento teste sem aplicação, tendo-se a ureia como fonte. Concluiu-se que houve estímulo do crescimento do feijoeiro com aplicação de subdoses de até 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, no entanto, o mesmo não ocorreu na presença do N em cobertura. O teor de N foliar aumentou com as subdoses de 7,2 e 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>, já para o S, o resultado foi o contrário, sendo reduzido nestas doses. Obteve-se efeito hormético na produtividade do feijoeiro com incrementos de até 500 kg ha<sup>-1</sup> ou de 21% em relação à testemunha na combinação de 45 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura com uma subdose de 10 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate. O tempo de cocção foi influenciado pelas subdoses de glyphosate, dependendo da quantidade de nitrogênio disponibilizado à cultura. Comprovou-se a hipótese de influência do nitrogênio na hormese em feijoeiro para a massa da matéria seca, o teor de N e S foliar, a produtividade de grãos e o tempo de cocção dos grãos de feijão.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Adubação nitrogenada. Efeito hormético. Herbicida. Subdoses.

## 2.1 Introdução

O feijão se destaca como componente fundamental na dieta dos brasileiros. Juntamente com o arroz é capaz de atender grande parte da demanda proteica diária e principalmente fornecer dois aminoácidos essenciais ao organismo como a lisina e a metionina. Além disso, no Brasil, o feijão pode ser cultivado em até três safras, sendo a primeira chamada de safra “das águas” em que a semeadura ocorre nos meses de outubro a dezembro, a segunda “da seca” com semeadura em fevereiro e março e a terceira “de outono-inverno” com semeadura a partir do mês de março com o fim do período das chuvas, somente viável com o emprego da irrigação e em regiões livres de geadas.

Segundo dados da Conab (2017), a produtividade média do feijão-comum na região centro-oeste na terceira safra 2016/17 foi de 2634 kg ha<sup>-1</sup>, com expectativa de 2623 kg ha<sup>-1</sup> para a safra 2017/18.

No campo, diversos fatores afetam direta e indiretamente a quantidade e a qualidade do grão colhido. Dentre eles, a nutrição mineral das plantas é de importância fundamental. O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas, desta forma, deve ser disponibilizado de forma complementar em cobertura, além da adubação de base ou de plantio. No entanto, inúmeras pesquisas têm sido conduzidas no sentido de reduzir as aplicações deste nutriente por conta do alto custo que esta operação traz ao produto final.

Uma técnica ainda pouco utilizada neste sentido é a hormese por herbicidas, que em baixas doses ou subdoses pode-se obter resultados positivos em características como crescimento vegetal e até mesmo produtividade em plantas cultiváveis. Na busca de atingir altas produtividades de forma rentável, é indispensável o emprego de novas tecnologias, como a hormese em plantas cultivadas, tendo diversos trabalhos com comprovações em campo (SILVA et al., 2013a).

Segundo Hashmi et al. (2014) as respostas benéficas de crescimento de plantas a baixas doses de herbicidas têm sido observadas por pesquisadores de plantas daninhas a várias décadas. Os autores lembram ainda que as plantas são organismos sésseis e, portanto, não podem fugir fisicamente de um ambiente adverso. No entanto, sob condições ambientais severas, elas têm a capacidade de distribuir seus recursos de forma a otimizar seu crescimento.

Uma das moléculas herbicidas que mais tem demonstrado resultados positivos para hormese em plantas é o glyphosate (BELZ; DUKE, 2014).

O glyphosate (N-phosphonomethyl-glycine) é o principal herbicida em utilização no mundo (SERVICE, 2007; RABELLO; MONNERAT; VASCONCELOS JÚNIOR, 2014). 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 (fenilalanina, tirosina e triptofano), prejudicando a síntese de proteínas e o processo fotossintético (EKER et al., 2006; RABELLO; MONNERAT; VASCONCELOS JÚNIOR, 2014).

Silva et al. (2013a) observaram que é possível obter maior margem de ganho com a utilização de glyphosate em subdose para as cultivares de feijão Juriti e Pérola. Em outras pesquisas, Belz (2008) e Belz e Cedergreen (2010), constataram que quando um ensaio com alface foi conduzido sem nutrientes, o fitoquímico natural “Parthenin” exibiu um efeito hormético consistente e pronunciado no alongamento da raiz de *Lactuca sativa*. No entanto, a realização do teste com uma solução nutritiva completa eliminou o efeito hormético. Portanto, torna-se coerente à realização de novas pesquisas que visam avaliar o efeito hormético nos vegetais em condições adversas de nutrição.

Devido às recentes descobertas de ganhos em produtividade do feijoeiro submetido ao efeito hormético (SILVA et al., 2012; 2016a,b) e a possibilidade de doses horméticas de herbicidas poderem contribuir com o metabolismo do nitrogênio nas plantas, a hipótese levantada neste capítulo foi que a utilização de baixas doses de glyphosate anteriormente à adubação nitrogenada de cobertura poderia ocasionar uma redução na quantidade de fertilizante nitrogenado sem causar prejuízos à produtividade do feijoeiro.

Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de nitrogênio em cobertura em sucessão à aplicação de subdoses de glyphosate no desenvolvimento, nutrição, produtividade e qualidade tecnológica dos grãos de feijão.

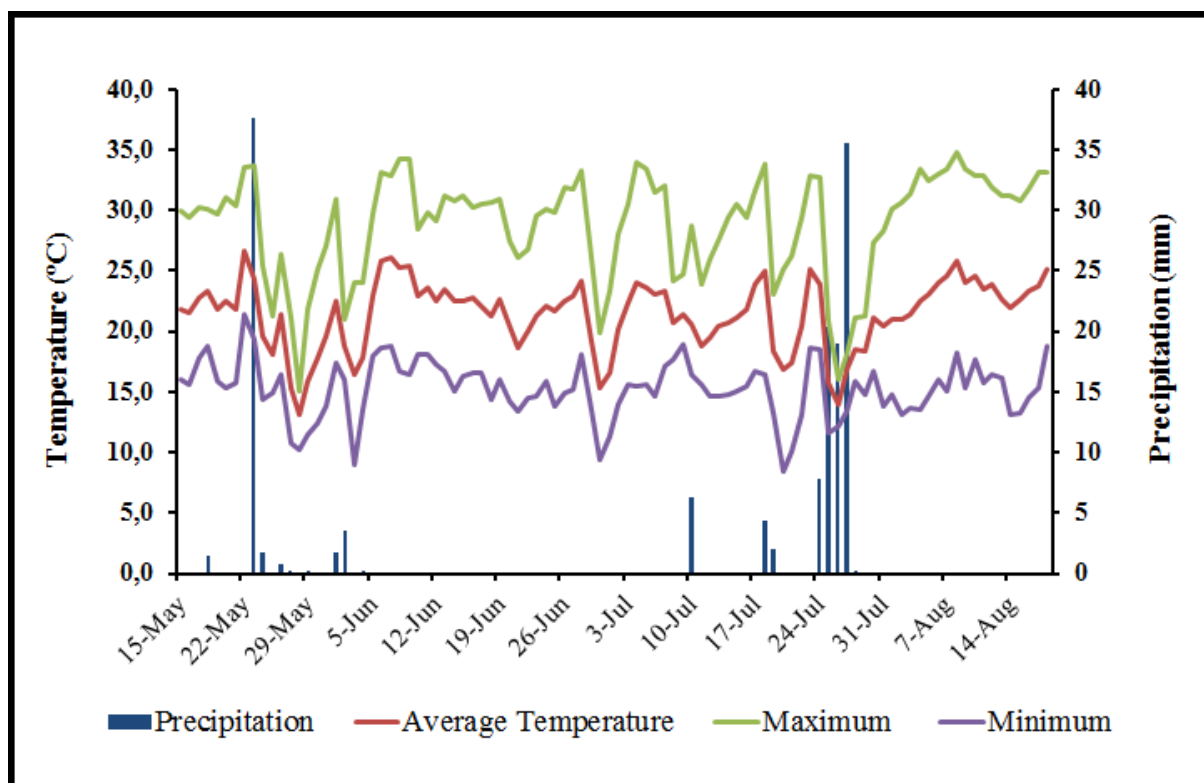
## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Características da área experimental e condução da cultura**

O trabalho foi desenvolvido em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira–UNESP, localizada no município de Selvíria (MS), apresentando como coordenadas geográficas 51° 24' 1,12" de longitude Oeste de Greenwich e 20° 20' 51,27" de latitude Sul, com altitude de 344 metros.

Segundo Centurion (1982), a precipitação total anual é de 1330 mm, a temperatura média anual é de aproximadamente 25°C e a média anual de umidade relativa do ar é de 66%.

**Figura 1-** Dados de precipitação pluvial, temperatura mínima, temperatura média e temperatura máxima durante a condução do experimento. Selvíria-MS, Brasil, 2014.



Fonte: Dados obtidos no posto meteorológico da FEIS – Selvíria (MS).

O solo do local é considerado de acordo com a classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa (SANTOS et al., 2013), como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso. O experimento foi instalado em área anteriormente ocupada pela cultura do milho em SPD.

Os atributos químicos do solo foram determinados antes da instalação do experimento, seguindo a metodologia proposta por Rajj e Quaggio (1983). Os resultados são apresentados a seguir:



**Tabela 2.1-** Análise química do solo da área experimental antes da instalação do experimento. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Profundidade (m)	pH	P-resina	K	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC	V	MO
	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%	g dm <sup>-3</sup>	
0,00 – 0,05	6,0	34	1,9	41	23	0	17	82,9	79	21
0,05 – 0,10	5,6	38	1,3	30	16	0	22	69,3	68	16
0,10 – 0,20	4,6	31	1,3	22	13	0	22	58,3	62	15

Fonte: Dados obtidos no laboratório de Fertilidade de Solos da FEIS – UNESP.

A adubação química básica nos sulcos de semeadura foi realizada levando-se em consideração os atributos químicos do solo e as recomendações de Ambrosano et al. (1996). Foram aplicados 210 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 8-28-16.

A dessecação da área em SPD foi feita com 1500 g do e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate. Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de sementes) e fungicida carboxin + tiram (50 + 50 g do i.a. por 100 kg de sementes).

A semeadura do feijão ocorreu no dia 15 de maio de 2014 no campo. As sementes foram distribuídas em sulcos na densidade de 14,4 sementes por metro de sulco e o espaçamento adotado foi de 0,45 m nas entrelinhas.

A cultivar de feijão foi a IPR 139 conhecida popularmente como Juriti branca, do grupo carioca, com hábito de crescimento indeterminado (Tipo II), arbustivo, porte da planta ereto e caule pouco ramificado.

A emergência das plantas no campo ocorreu no dia 22 de maio de 2014 aos sete dias após a semeadura (DAS).

O florescimento pleno do feijoeiro se deu aos 43 dias após a emergência (DAE) da cultura, quando pelo menos 50% das plantas de cada parcela se encontravam com flores e a colheita ocorreu no dia 19 de agosto de 2014 aos 96 dias após a semeadura (DAS).

A irrigação foi realizada por um sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central. Para determinar a quantidade e o momento de irrigação foram utilizados dados de evaporação de água (ECA) obtidos diariamente do tanque Classe A instalado no Posto Meteorológico da Fazenda de Ensino e Pesquisa distante aproximadamente 500 m da área experimental.

No manejo de água durante o desenvolvimento da cultura foram utilizados valores de Kc semelhantes aos recomendados por Doorenbos e Kassan (1979) e de acordo com os estádios fenológicos da planta de feijão descritos por Fernandez, Gepts e Lopes (1986), ou seja, para as fases de V<sub>0</sub>-V<sub>2</sub> (Kc=0,30), de V<sub>3</sub>-V<sub>4</sub> (Kc=0,70), de R<sub>5</sub>- R<sub>7</sub> (Kc=1,05), R<sub>8</sub> (0,75) e

R<sub>9</sub> (0,25). A reposição de água foi realizada quando a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) acumulada atingiu valores próximos da água disponível do solo (ADS) preestabelecidos.

### 2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em fatorial 4 x 5, num total de 20 tratamentos em parcelas subdivididas dispostas em quatro blocos com quatro replicações dentro de cada bloco (BANZATTO; KRONKA, 1989). As parcelas foram compostas por três subdoses de glyphosate (G) (7,2; 14,4 e 21,6 g e.a. ha<sup>-1</sup>) mais uma testemunha sem aplicação (0 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e as subparcelas foram compostas por quatro doses de nitrogênio (N) em cobertura (15, 30, 45 e 60 kg ha<sup>-1</sup>) mais um ensaio teste sem aplicação (0 kg ha<sup>-1</sup>), tendo-se a ureia como fonte. Assim, as unidades experimentais denominadas de parcelas foram constituídas de 14 linhas com 11 metros de comprimento, já as subparcelas continham 7 linhas com 5 metros de comprimento, sendo utilizadas 3 linhas centrais como área útil, desprezando 0,5 m nas extremidades de cada linha, totalizando uma área útil para as análises de 5,4 m<sup>2</sup>.

A aplicação das subdoses de glyphosate (Roundup Original® – 360 g do e.a. L<sup>-1</sup>, SL, Monsanto, Brasil) foi realizada em forma de pulverização foliar, com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> dotado de barra com cinco pontas, modelo TXA 8002 VK, operado a pressão de 3 kgf cm<sup>-2</sup>, e volume de calda de 160 L ha<sup>-1</sup>, no dia 18 de junho de 2014, quando as plantas atingiram o estágio V<sub>4-5</sub>, ou seja, no momento em que as plantas estavam com a quinta folha trifoliada completamente formada, de acordo com Fernandez, Gepts e Lopes (1986). As aplicações foram realizadas no final da tarde com pouca incidência de ventos e temperatura média de 25°C.

Quanto à adubação nitrogenada em cobertura, esta foi realizada no dia 22 de junho de 2014 utilizando-se ureia como fonte nitrogenada e quando as plantas atingiram o estágio V<sub>4-6</sub>, ou seja, no momento em que as plantas estavam com a sexta folha trifoliada completamente formada, de acordo com Fernandez, Gepts e Lopes (1986).

Os demais tratamentos culturais e fitossanitários utilizados foram os normalmente recomendados à cultura do feijão “de inverno” para a região.

### 2.2.3 Avaliações realizadas

#### 2.2.3.1 População de plantas

Foi avaliada a população de plantas pela contagem das plantas em 2 linhas da área útil das parcelas no início (fase V<sub>2</sub>) e final (fase R<sub>9</sub>) do desenvolvimento da cultura e os dados foram transformados em plantas m<sup>-1</sup>.

#### 2.2.3.2 Florescimento pleno

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a floração de 50% das plantas das parcelas.

#### 2.2.3.3 Massa da matéria seca da parte aérea

Aos 7 e 14 dias após o tratamento com glyphosate, foram coletadas 5 plantas ao acaso na área útil de cada parcela, para determinação da massa da matéria seca da parte aérea (MMS). As amostras foram levadas ao laboratório, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e colocadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60 - 70°C, até atingir peso constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas e os valores convertidos em g planta<sup>-1</sup>.

#### 2.2.3.4 Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) nas folhas

Foram retiradas as folhas das plantas obtidas para análise da MMS que ocorreu aos 14 DAT com glyphosate e em seguida foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 60-70°C até atingir peso constante. Em seguida, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley para determinação dos teores de N, P e S segundo metodologia proposta por Sarruge e Haag (1974).

#### 2.2.3.5 Índice de clorofila foliar

A estimativa do teor médio de clorofila foliar foi realizada no campo com a utilização de clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG<sup>®</sup>, modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola<sup>®</sup>) que, por meio de sensores, analisa três faixas de frequência de luz e através de relações de absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teores das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar)

(FALKER, 2008). Por ocasião do florescimento pleno das plantas do feijoeiro, foram feitas medições no terceiro trifólio contando do ápice para a base, sendo obtidas 4 medições por parcela, em quatro plantas de onde se obteve a média por parcela.

#### 2.2.3.6 *Altura de plantas*

Foram avaliadas tomando-se dez plantas ao acaso na área útil e medindo do colo da planta até o final da haste principal com auxílio de régua milimetrada.

#### 2.2.3.7 *Diâmetro do caule*

Foi mensurado a cinco centímetros do colo da planta com auxílio de um paquímetro.

#### 2.2.3.8 *Componentes de produção*

Por ocasião da colheita foram coletadas 10 plantas aleatórias em local pré-determinado, na área útil de cada parcela e realizadas as seguintes avaliações:

- Número de vagens planta<sup>-1</sup>: determinado pela relação entre o número total de vagens e o número total de plantas;
- Número de grãos planta<sup>-1</sup>: determinado pela relação entre o número total de grãos e o número total de plantas;
- Número de grãos vagem<sup>-1</sup>: calculado pela relação entre o número total de grãos e do número total de vagens;
- Massa de 100 grãos: determinada pela coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos por parcela e sendo a umidade dos grãos corrigida para 13% base úmida.

#### 2.2.3.9 *Produtividade*

As plantas da área útil de cada parcela foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol. Após a secagem, as mesmas foram submetidas à trilha mecânica, posteriormente os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha<sup>-1</sup> (13% base úmida).

#### 2.2.3.10 *Tempo médio de cocção determinado pelo Cozedor de Mattson (TC)*

A análise foi realizada na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, seguindo método adaptado dos propostos por Proctor e Watts (1987) e Sartori (1982):

- a) Foram amostradas aproximadamente 30 g de sementes uniformes e inteiras;
- b) As sementes foram colocadas em embebição em 100 mL de água destilada, por 16 horas à temperatura ambiente;
- c) Vinte e cinco grãos escolhidos aleatoriamente foram colocados no Cozedor de MATTSON (cada grão é colocado individualmente em uma cavidade do aparelho e sob uma vareta de metal de 90 g e 1,48 mm de diâmetro de ponta);
- d) Foram aquecidos 1000 mL de água destilada até a fervura, em bquer com capacidade para 3000 mL;
- e) Colocou-se o cozedor, já preparado com os grãos, no bquer, cronometrando-se o tempo de cozimento das amostras, em minutos, pela queda da 13ª vareta, perfurando, deste modo, os grãos.

### **2.2.5 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Quando constatada interação entre os fatores avaliados, procedeu-se ao desdobramento do fator glyphosate para cada dose de nitrogênio. Caso contrário, se significativo, procedeu-se para ambos os fatores a análise de regressão, utilizando o software SISVAR versão 5.3, calculada para equações lineares e quadráticas e consideradas significativas a 5 (\*) e 1 (\*\*) % de probabilidade pelo teste F (FERREIRA, 2011). Quando ambas apresentaram significância, foi feita a opção por aquela de grau mais elevado. Em seguida, para apresentar os resultados significativos em forma de gráficos, foram ajustados modelos de regressão com o auxílio do software Sigmaplot for Windows Version 11.0.

## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 População final de plantas e Massa da matéria seca da parte aérea aos 7 e 14 dias após o tratamento (DAT)

Para a população final de plantas, foi possível verificar que não houve efeito significativo em ambos os tratamentos utilizados (Tabela 2.2).

Os dados de massa da matéria seca da parte aérea do feijoeiro resultaram de acordo com a análise de variância, na interação dos fatores de variação somente aos 14 DAT (Tabela 2), havendo comportamento diferenciado das subdoses de glyphosate dentro de cada dose de nitrogênio (Figura 2).

**Tabela 2.2-** Resumo da análise de variância de população final de plantas (PF) e massa da matéria seca da parte aérea (MS-1) aos 7 dias após o tratamento (DAT) e aos 14 DAT (MS-2) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Fator de variação	----- Parâmetros -----		
	PF	MS-1	MS-2
Bloco	2,696*	0,053 <sup>n.s</sup>	2,552 <sup>n.s</sup>
Glyphosate (G)	0,213 <sup>n.s</sup>	1,607 <sup>n.s</sup>	2,693*
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
Nitrogênio (N)	1,449 <sup>n.s</sup>	0,324 <sup>n.s</sup>	0,794 <sup>n.s</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
G x N	1,003 <sup>n.s</sup>	1,528 <sup>n.s</sup>	2,125*
Média	9,94	5,91	7,90
CV (%)	15,34	31,05	22,01

\* e <sup>n.s</sup> – significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 2 é possível observar os valores de massa da matéria seca do feijoeiro referentes às subdoses de glyphosate dentro de duas doses de nitrogênio (0 e 60 kg ha<sup>-1</sup>). Nota-se um comportamento característico da hormese no crescimento vegetativo das plantas quando na ausência do fertilizante nitrogenado, nas subdoses de 7,2 e 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>, no qual, a massa da matéria seca foi de 5,9 g planta<sup>-1</sup> sem a aplicação de glyphosate até a 9,3 g planta<sup>-1</sup> com 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Já, quando são fornecidos 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio ao feijoeiro, o comportamento é completamente diferente, sendo que, o glyphosate, desde a menor subdose já afetou o desenvolvimento vegetativo da cultura, ou seja, já expressou o efeito herbicídico.

Este resultado já tinha sido observado nesta mesma cultura por Silva (2014) com subdoses de glyphosate de 0, 10 e 15 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Neste trabalho, a massa da matéria seca foi de 13,50 g planta<sup>-1</sup>, na ausência de glyphosate, para 16,13 g planta<sup>-1</sup> com 15 g e.a. ha<sup>-1</sup> quando não realizou a adubação nitrogenada em cobertura, porém, quando empregadas doses de N acima de 40 kg ha<sup>-1</sup>, o efeito hormético do glyphosate já se tornou praticamente nulo.

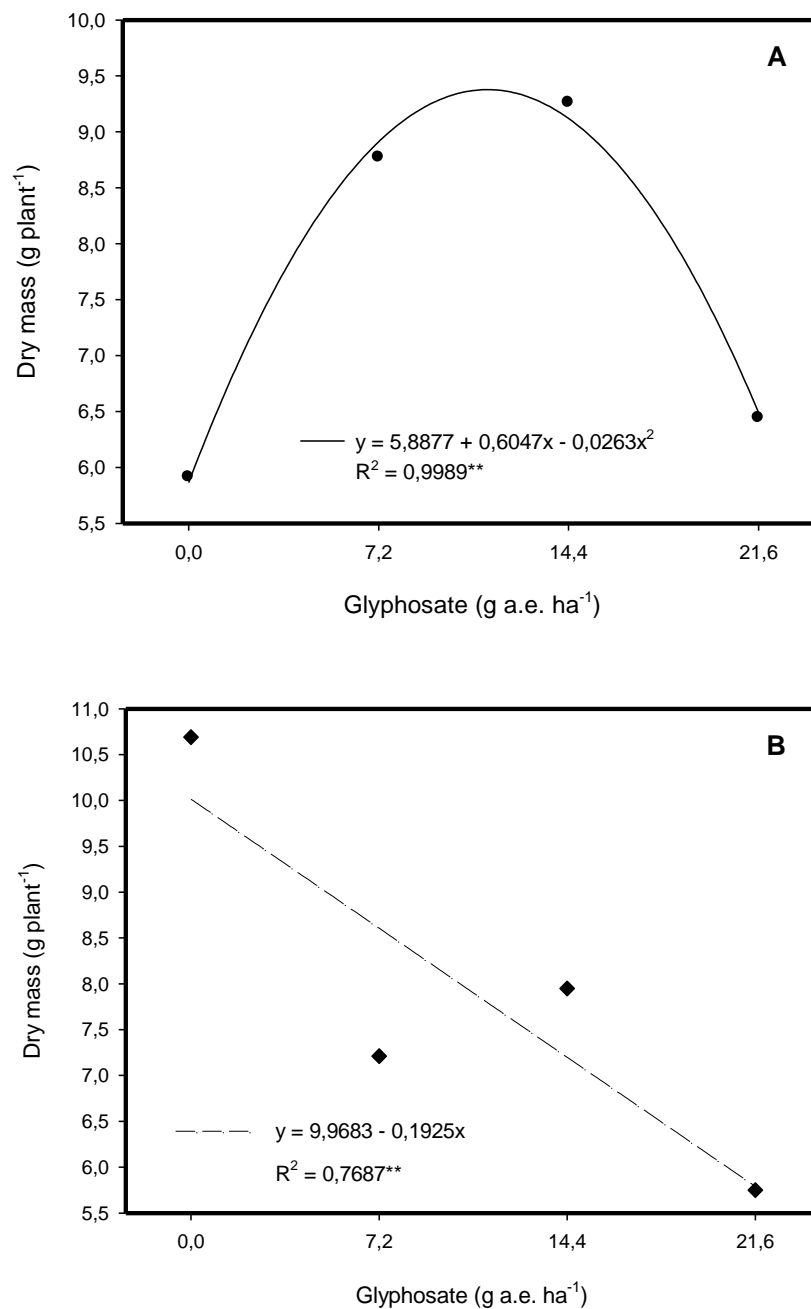
Trabalhando com curauá branco (*Ananas erectifolius*), Maciel et al. (2009) observaram que a aplicação de subdoses de glyphosate não provocou estímulo ou incremento no desenvolvimento vegetativo das plantas. Estes dados contradizem os observados por Velini et al. (2006) que trabalharam em casa de vegetação com aplicação de doses de glyphosate variando entre 1,8 e 720 g ha<sup>-1</sup> do e.a. em um total de nove espécies vegetais incluindo soja, eucalipto, pinus, milho, café, citros e trapoeraba, e verificaram que, exceto a soja transgênica resistente ao glyphosate, para a qual não houve resposta, ocorreram estímulos ao crescimento da parte aérea de todas as espécies consideradas quando utilizadas doses inferiores a 36 g ha<sup>-1</sup> do e.a.. Em eucalipto, a dose de apenas 3,6 g ha<sup>-1</sup> do e.a. foi suficiente para estimular o crescimento proporcionando maiores valores de biomassa de parte aérea e maior número de ramos laterais, indicando a menor dominância apical. Em trapoeraba, a aplicação do glyphosate em doses compatíveis com recebidas pelas plantas da espécie em aplicações em pós-emergência inicial na cultura da soja, implicou em aumentos na biomassa de até 115%.

Para as culturas da soja (convencional) e milho, foram desenvolvidos procedimentos específicos para a análise estatística dos dados, ajustando-se modelos com a previsão de estímulos para baixas doses do herbicida. Os resultados indicaram aumentos máximos da biomassa de parte aérea de 27,81% e 25,46% para as doses de 14,2 e 22,6 g ha<sup>-1</sup> do e.a., respectivamente.

Ainda com relação à Figura 2, fica evidenciado que, caso os resultados aqui obtidos, e também os de Silva (2014), forem replicados e confirmados, uma subdose de

aproximadamente 15 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate é capaz de substituir em torno de 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio para fins de desenvolvimento vegetativo na cultura do feijão. O que mostra ser bastante significativo quando comparados os custos de cada operação.

**Figura 2-** Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [0 (A) e 60 (B) kg ha<sup>-1</sup>] para a massa da matéria seca da parte aérea do feijoeiro aos 14 DAT. Selvíria-MS, Brasil, 2014.



Nota: \*\* - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.  
 Fonte: Elaboração do próprio autor.



### 2.3.2 Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) nas folhas do feijoeiro

De acordo com Rabello, Monnerat e Vasconcelos Júnior (2014), poucos são os trabalhos que procuraram estudar o efeito de subdoses de glyphosate sobre a nutrição mineral das culturas. Vale ressaltar que ele atua na rota do shikimato, que é uma via precursora na produção de importantes aminoácidos aromáticos, a fenilalanina, a tirosina e o triptofano, assim como, inibe a síntese de clorofila, estimula a produção de etileno, reduz a síntese de proteínas, eleva a concentração de nitrito e promove o desbalanço da síntese do IAA. Portanto, o bloqueio parcial dessa via pelas subdoses de glyphosate podem propiciar resultados interessantes na ciência da nutrição de plantas.

O resumo da análise de variância contido na Tabela 2.3 registra que houve interação significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro para o teor de N foliar e o teor de S nas folhas do feijoeiro. Já o P, mesmo com resultado significativo para o nitrogênio, não se ajustou a nenhum dos modelos de regressão testados. Santos et al. (2007b) também não encontraram diferença no teor de P nas folhas de eucalipto em trabalho simulando a deriva de glyphosate na cultura. De acordo com Godoy (2007), o fósforo é um importante macronutriente, constituindo cerca de 0,2% do peso seco das plantas. A autora ressalta ainda que sua viabilidade é considerada um dos maiores fatores limitantes ao crescimento das plantas nos ecossistemas naturais. Além disso, este elemento é essencial para todos os organismos vivos como um componente estrutural dos ácidos nucléicos e fosfolipídios.

Como resultado de sua pesquisa, Godoy (2007) observou que além de estímulo no crescimento da cultura, doses entre 1,8 e 36 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate aumentaram a absorção de fósforo e concluiu que subdoses de glyphosate podem induzir genes transportadores de fósforo de alta afinidade, aumentando a translocação do fósforo dentro da planta.

Cakmak et al. (2009) também observaram que a aplicação de subdoses de 0,864; 2,88 e 8,64 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate aumentaram os teores de P, Fe e Cu em folhas novas da soja. Corroborando com Rabello, Monnerat e Vasconcelos Júnior (2014), ao qual observaram aumentos nos níveis de P com aplicação de subdoses de glyphosate (0; 4,32; 8,64 e 12,96 g ha<sup>-1</sup>), correspondentes a 0; 0,3; 0,6 e 0,9% da dose recomendada de 1440 g ha<sup>-1</sup> na forma de sal de amônio do produto comercial Roundup WG® no feijoeiro cultivar BR1 Xodó.

**Tabela 2.3**– Resumo da análise de variância de teor de nitrogênio (N), teor de fósforo (P) e teor de enxofre (S) nas folhas em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Fator de variação	Parâmetros		
	N	P	S
Bloco	2,363 <sup>n.s</sup>	0,619 <sup>n.s</sup>	1,396 <sup>n.s</sup>
Glyphosate (G)	3,399 <sup>*</sup>	1,304 <sup>n.s</sup>	7,250 <sup>**</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
Nitrogênio (N)	0,372 <sup>n.s</sup>	3,342 <sup>*(1)</sup>	2,366 <sup>n.s</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
G x N	2,940 <sup>**</sup>	1,646 <sup>n.s</sup>	3,805 <sup>**</sup>
Média	6,78	47,96	43,68
CV (%)	10,58	7,60	12,54

<sup>\*\*</sup>e <sup>\*</sup>e <sup>n.s</sup> – significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; CV – coeficiente de variação. <sup>(1)</sup>Não compatível aos modelos de regressão estudados.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observou-se que os valores de N encontrados em todos os tratamentos estão adequados aos recomendados para a cultura (30 a 50 g kg<sup>-1</sup>) para se obter rendimentos elevados segundo Ambrosano et al. (1996). O que demonstra que as subdoses de herbicidas não causaram injúrias significativas ao desenvolvimento da cultura.

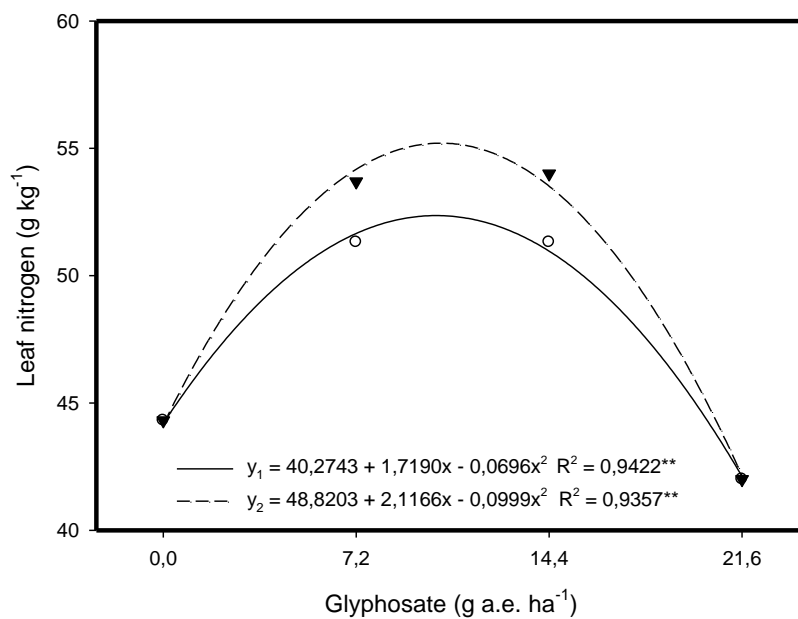
O comportamento observado na Figura 2 em relação ao teor de N foliar no feijoeiro é caracterizado como “U invertido” (CALABRESE, 2007; HASHMI et al., 2014) e se trata de um dos efeitos mais comuns de serem observados pelo fenômeno da hormese.

Dentro das doses de 30 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, as subdoses de 7,2 e 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> foram positivas para o teor de N nas folhas do feijoeiro (Figura 3). Sendo que, na subdose de 21,6 g e.a. ha<sup>-1</sup>, o processo de queda nos teores deste nutriente parece ter sido iniciado de acordo com a equação quadrática gerada a partir dos dados obtidos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2016a) nesta mesma cultivar de feijão. Neste trabalho, a subdose de 15 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate foi superior a testemunha sem

aplicação no teor de N foliar, com variação de 25,00 a 22,75 g de N por  $\text{kg}^{-1}$  de matéria seca, respectivamente. Ao contrário de Rabello, Monnerat e Vasconcelos Júnior (2014), que não encontraram diferenças significativas no teor de N foliar do feijoeiro BR1 Xodó com aplicação de doses reduzidas de glyphosate.

**Figura 3-** Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [30 (○) e 45 (▲)  $\text{kg ha}^{-1}$ ] para o teor de nitrogênio foliar do feijoeiro. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

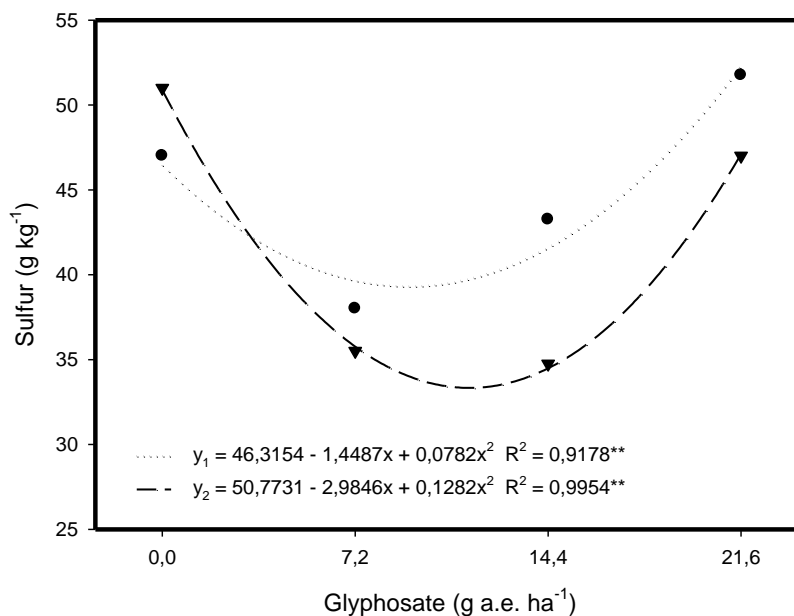


Nota: \*\* - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O teor de S foliar também foi influenciado de maneira significativa pelas doses de N e de glyphosate (Figura 4). Neste caso, pode-se dizer que o comportamento da curva de regressão se deu no formato de “J” de acordo com Hashmi et al. (2014). Dessa forma, ao contrário dos resultados encontrados com o N, o S foi reduzido com as subdoses de 7,2 e 14,4 g e.a.  $\text{ha}^{-1}$  e com retomada nos níveis de S a partir da dose de 21,6 g e.a.  $\text{ha}^{-1}$ . Ambos os casos ocorreram dentro das doses de 30 e 45  $\text{kg ha}^{-1}$  de N.

**Figura 4-** Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [30 (●) e 45 (▼) kg ha<sup>-1</sup>] para o teor de enxofre (S) nas folhas do feijoeiro. Selvíria-MS, Brasil, 2014.



Nota: \*\* - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 2.3.3 Índice de clorofila foliar, altura de plantas e diâmetro do caule

O presente trabalho avaliou a influência de dois fatores diretamente relacionados à fotossíntese, que são o nitrogênio e o glyphosate, portanto, a análise do comportamento da clorofila no feijoeiro submetido à estes tratamentos é de grande importância para compreensão dos resultados.

Os resultados da análise de variância foram expostos na Tabela 2.4, nota-se que o índice de clorofila foliar (ICF) não foi influenciado pelos tratamentos empregados nesta pesquisa.

De acordo com Meschede et al. (2011), o glyphosate resulta na degradação da clorofila, causando amarelecimento das folhas. Porém, assim como neste experimento, Silva (2014) não observou variação no ICF decorrente do glyphosate na cultura do feijão. Em contrapartida, o mesmo autor obteve diferença no ICF com doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), em que os maiores valores de ICF foram obtidos na ausência de adubação nitrogenada em cobertura, seguido pela dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, ocorrendo diferença significativa em nível de 1% de probabilidade. Discordando dos dados observados por

Carvalho et al. (2003) no qual obtiveram aumento no teor de clorofila, em relação à testemunha, quando se realizou adubação nitrogenada no feijoeiro.

**Tabela 2.4-** Resumo da análise de variância de índice de clorofila foliar (ICF), altura de plantas (AP) e diâmetro do caule (DC) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Fator de variação	Parâmetros		
	ICF	AP	DC
Bloco	2,682 <sup>n.s</sup>	0,506 <sup>n.s</sup>	1,502 <sup>n.s</sup>
Glyphosate (G)	1,213 <sup>n.s</sup>	0,476 <sup>n.s</sup>	0,668 <sup>n.s</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
Nitrogênio (N)	0,888 <sup>n.s</sup>	0,119 <sup>n.s</sup>	1,083 <sup>n.s</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
G x N	0,444 <sup>n.s</sup>	0,711 <sup>n.s</sup>	1,656 <sup>n.s</sup>
Média	42,46	94,46	5,13
CV (%)	6,56	18,18	11,44

<sup>n.s</sup> – não significativo, CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os componentes vegetativos estudados foram a altura de plantas e o diâmetro do caule, conforme Tabela 2.4. Observou-se que ambos os tratamentos não foram influenciados pelos fatores de variação.

No que diz respeito à altura de plantas, os resultados condizem com os observados por Silva et al. (2012) que não constataram diferença nesta variável para os dois anos da pesquisa com uso de subdoses de glyphosate variando de 0 a 40 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Assim como Maciel et al. (2009) que avaliaram o uso de subdoses de glyphosate nas concentrações de 0,0; 11,2; 22,5; 45,0; 90,0; 180,0; 360,0 g e.a. ha<sup>-1</sup> em plantas de curauá branco (*Ananas erectifolius*) e concluíram que nenhuma das subdoses estudadas promoveu estímulo ou incremento no desenvolvimento vegetativo das plantas. Já, Silva et al. (2009) encontraram evidências de que

o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar pode ser positivamente responsivo à aplicação de subdoses de glyphosate, principalmente com doses em torno de 1,8 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Do mesmo modo, Carbonari, Meschede e Velini (2007) constataram que a subdose de 3,6 g e.a. ha<sup>-1</sup> estimulou o crescimento de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), promovendo maior número de ramos laterais.

#### **2.3.4 Números de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem**

No contexto geral dos tratamentos, apenas o glyphosate resultou em diferenças significativas no número de grãos por vagem (NGV) do feijoeiro ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 2.5). No entanto, para os demais parâmetros, como o número de grãos por planta (NGP) e o número de vagens por planta (NVP), não houve resposta. Além disso, não foi verificada nenhuma interação entre os fatores. O que contradiz com os resultados obtidos por Silva (2014), no qual, obteve interação significativa entre glyphosate e nitrogênio para as três variáveis analisadas (NVP, NGP e NGV).

**Tabela 2.5-** Resumo da análise de variância de números de vagens por planta (NVP), grãos por planta (NGP) e grãos por vagem (NGV) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Fator de variação	Parâmetros		
	NVP	NGP	NGV
Bloco	1,333 <sup>n.s</sup>	2,140 <sup>n.s</sup>	0,698 <sup>n.s</sup>
Glyphosate (G)	0,300 <sup>n.s</sup>	0,598 <sup>n.s</sup>	3,444 <sup>*(2)</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
Nitrogênio (N)	0,763 <sup>n.s</sup>	1,020 <sup>n.s</sup>	2,287 <sup>n.s</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
G x N	0,730 <sup>n.s</sup>	1,579 <sup>n.s</sup>	1,313 <sup>n.s</sup>
Média	10,01	48,69	4,94
CV (%)	24,54	25,55	16,05

\* e <sup>n.s</sup> – significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; CV – coeficiente de variação. <sup>(2)</sup> Não compatível aos modelos de regressão estudados.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 2.3.5 Massa de 100 grãos, produtividade e tempo médio de cocção

Conforme o resultado da análise de variância contido na Tabela 2.6, observa-se que a massa de 100 grãos não foi influenciada por nenhum dos tratamentos. Tendo como valor médio 25,13 g. Corroborando com os resultados de Silva et al. (2013b) na cultura do sorgo granífero cultivar BRS 310 em que o uso de subdoses de glyphosate nas subdoses de 0, 15, 30, 45, 60 e 75 g ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido não proporcionaram variação significativa na massa de 1000 grãos.

Silva (2014) relatou que todos os tratamentos inferiram de maneira significativa a massa de 100 grãos do feijoeiro. Neste trabalho constatou-se que na ausência de N em cobertura, houve redução na massa de 100 grãos em função das subdoses de glyphosate, porém, quando se utilizou 40 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, o quadro se inverteu e a presença das doses reduzidas do glyphosate resultou em maiores valores de massa de 100 grãos.

No entanto, Silva et al. (2012) observaram que as maiores subdoses de glyphosate proporcionaram decréscimo significativo na massa de 100 grãos, com os resultados obtidos ajustando-se a uma equação linear decrescente. O mesmo foi verificado por Melhorança Filho et al. (2010), na cultura da soja convencional, indicando que, à medida em que as doses aumentaram (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), ocorreu decréscimo linear na massa de grãos. Por outro lado, resultados obtidos por Magalhães et al. (2001), simulando deriva dos herbicidas glyphosate e paraquat, assim como seus efeitos no desenvolvimento das plantas e no rendimento de grãos de sorgo, demonstraram que a massa de 1.000 grãos não foi afetada pelas doses reduzidas dos herbicidas. Houve interação significativa dos fatores nitrogênio (N) e glyphosate (G) para a produtividade do feijoeiro. Diferentemente dos relatos de Silva (2014), ao qual estes fatores não resultaram em interação significativa para a produtividade do feijoeiro.

**Tabela 2.6-** Resumo da análise de variância de massa de 100 grãos (M100), produtividade (PROD) e tempo médio de cocção (TC) em função de subdoses de glyphosate e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno irrigado. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Fator de variação	----- Parâmetros -----		
	M100	PROD	TC
Bloco	1,103 <sup>n.s</sup>	6,335 <sup>**</sup>	0,006 <sup>n.s</sup>
Glyphosate (G)	0,240 <sup>n.s</sup>	4,369 <sup>**</sup>	5,658 <sup>**</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
Nitrogênio (N)	0,609 <sup>n.s</sup>	3,177 <sup>**</sup>	1,435 <sup>n.s</sup>
Modelo	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-
G x N	1,189 <sup>n.s</sup>	2,939 <sup>**</sup>	7,074 <sup>**</sup>
Média	25,13	2483	19,53
CV (%)	6,48	10,15	8,35

\*\* e \* e n.s – significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.



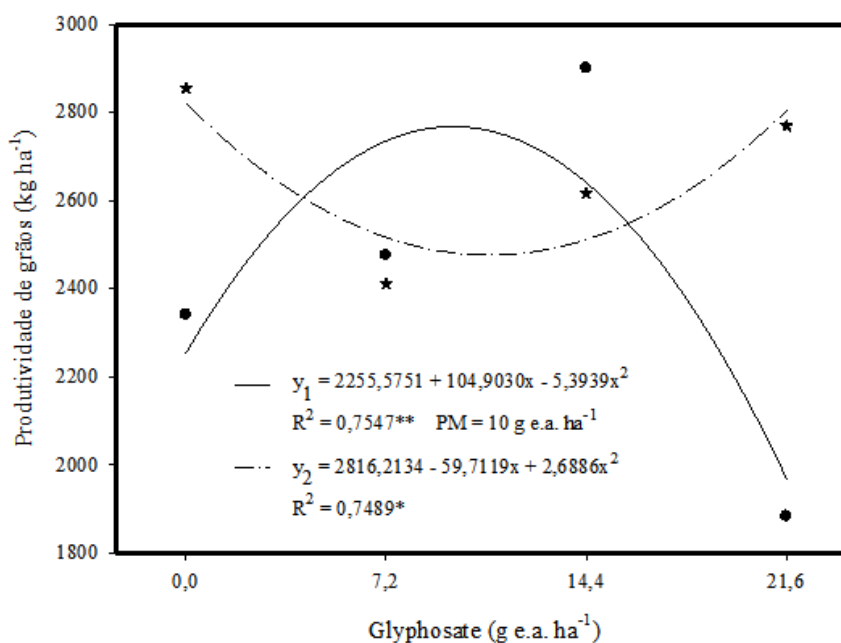
Para melhor visualização dos resultados, a seguir são expostos os valores de produtividade do feijoeiro para os casos de resultados significativos da interação de subdoses de glyphosate dentro de doses de nitrogênio (Figura 5). Como se pode observar isto ocorreu para as doses de 45 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N.

No primeiro caso, com 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, a regressão se deu em formato de “U invertido”, como descrito por Calabrese (2007) e Hashmi et al. (2014). Neste contexto, as menores subdoses (7,2 e 14,4 g ha<sup>-1</sup>) do ingrediente ativo de glyphosate foram favoráveis à produtividade do feijoeiro, chegando a valores próximos à 2.850 kg ha<sup>-1</sup> na subdose de 14,4 g ha<sup>-1</sup> e, posteriormente houve queda com a subdose de 21,6 g e.a. ha<sup>-1</sup> para valores abaixo da testemunha.

Em contrapartida, com 60 kg ha<sup>-1</sup> de N ocorreu exatamente o contrário, com a curva de regressão se comportando em formato de “J” como descrito por Hashmi et al. (2014). Assim, as menores subdoses (7,2 e 14,4 g ha<sup>-1</sup>) do ingrediente ativo de glyphosate foram prejudiciais à produtividade do feijoeiro, e posteriormente houve uma retomada com a subdose de 21,6 g e.a. ha<sup>-1</sup> para valores próximos aos do tratamento controle que foi de 2.350 kg ha<sup>-1</sup>.

Na Figura 5 é possível perceber também a grande influência do nitrogênio na produtividade do feijoeiro, uma vez que, na ausência do glyphosate, o acréscimo de 15 kg ha<sup>-1</sup> da dose de 45 para a de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveu um incremento de aproximadamente 515 kg de grãos por hectare. No entanto, nota-se que o emprego de 14,4 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate acompanhado de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N é capaz de trazer resultados semelhantes à produtividade obtida com o N de forma isolada na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que, o incremento foi de aproximadamente 560 kg ha<sup>-1</sup>. Isto confirma a hipótese levantada neste trabalho de que o nitrogênio ou a disponibilidade de nutrientes possa interferir nos resultados da hormese por glyphosate na cultura do feijão.

**Figura 5-** Desdobramento de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [45 (●) e 60 (\*) kg ha<sup>-1</sup>] para a produtividade do feijoeiro. Selvíria-MS, Brasil, 2014.



Nota: \* e \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Ainda com relação à produtividade, os resultados obtidos na dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N foram semelhantes aos de Silva et al. (2012) em que as cultivares de feijão Juriti e Pérola responderam de forma positiva ao glyphosate na subdose de 10 g i.a. ha<sup>-1</sup>, já, o mesmo não ocorreu com a cultivar Carioca precoce. Na cultivar Juriti os ganhos foram de 7,5 a 10% em relação à testemunha sem aplicação.

Silva (2014) não presenciou respostas semelhantes, sendo que, em geral as subdoses de glyphosate não afetaram a produtividade do feijoeiro. Porém, Cedergreen et al. (2009) obtiveram aumento na produtividade de grãos de cevada (12-15%), com a aplicação de subdoses de glyphosate entre 2,5 g ha<sup>-1</sup> e 20 g ha<sup>-1</sup> do e.a. Por outro lado, resultados obtidos por Magalhães et al. (2001), simulando deriva dos herbicidas glyphosate e paraquat, assim como seus efeitos no desenvolvimento das plantas e no rendimento de grãos de sorgo, demonstraram ganhos de aproximadamente 400 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade do sorgo, quando utilizadas subdoses entre 2% e 4% da dose recomendada do produto comercial.

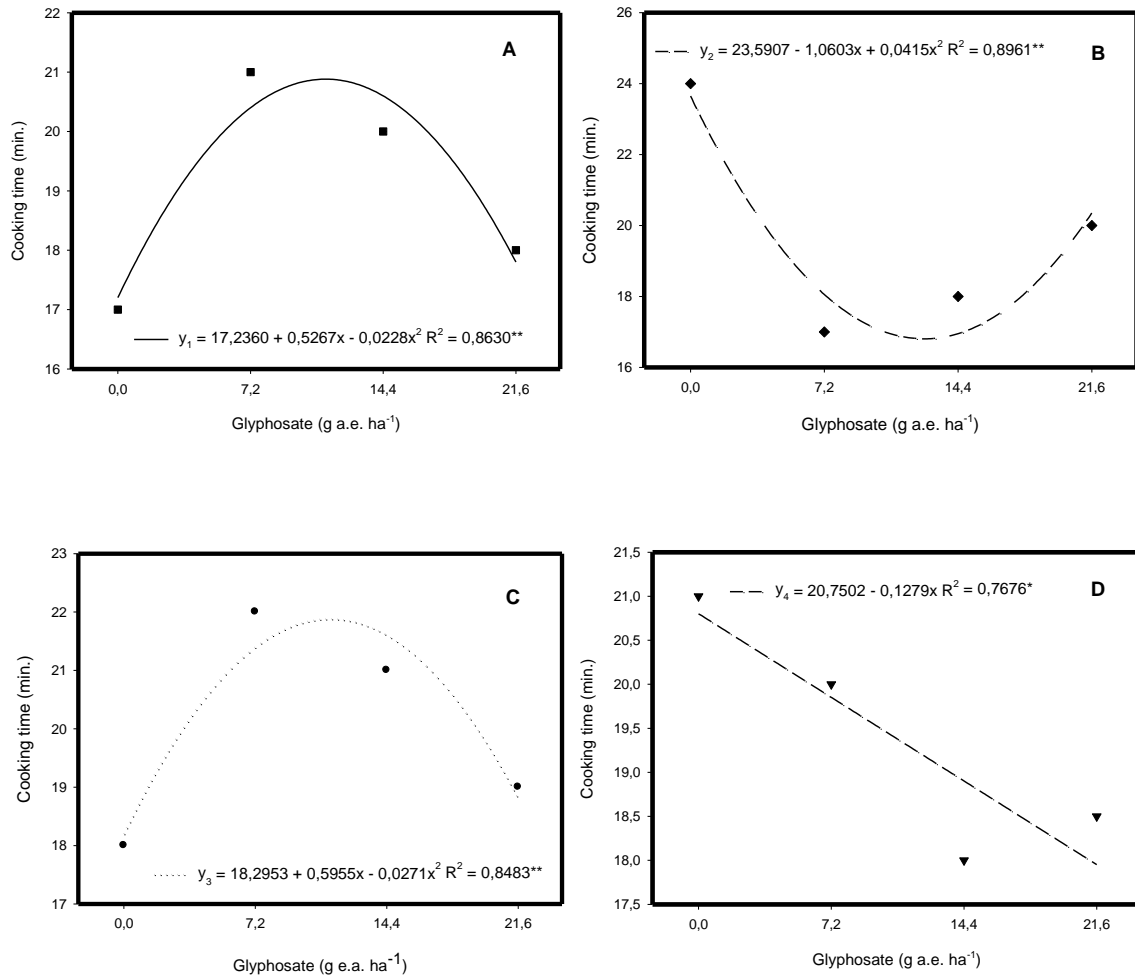
Diante dos resultados obtidos na produtividade e na nutrição do feijoeiro pelo efeito hormético de glyphosate, surgem inúmeras dúvidas quanto à outras características que podem

ser influenciadas, dentre as quais, a qualidade tecnológica ganha destaque pela importância na aceitação do produto pelo consumidor. Assim, foram realizados testes com Cozedor de Mattson para análise do tempo médio de cocção (TC), que resultaram na interação entre glyphosate e nitrogênio que foi representada na Figura 6.

Com exceção da dose de 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, todas foram afetadas pelas subdoses de glyphosate no que diz respeito ao tempo médio de cocção. Provando mais uma vez que pode haver interferência da adubação nitrogenada nos resultados da hormese até mesmo na qualidade dos grãos.

Nota-se que na ausência do N em cobertura (Figura 6 A) e com aplicação de 45 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 6 C) o TC foi maior em até 4 minutos para as menores subdoses do herbicida (7,2 e 14,4 g ha<sup>-1</sup>) com tendência de normalização na subdose de 21,6 g ha<sup>-1</sup>. Já, nas doses de 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figuras 6 B e 6 D) observou-se que as subdoses de glyphosate propiciaram redução no TC de até 6 minutos em relação à testemunha sem aplicação, com comportamento quadrático para a dose 30 e linear decrescente para a dose de 60 kg de N por hectare.

**Figura 6-** Interação de subdoses de glyphosate dentro de nitrogênio [0 (A); 30 (B); 45 (C) e 60 (D) kg ha<sup>-1</sup>] para o tempo de cocção dos grãos de feijão. Selvíria-MS, Brasil, 2014.



Nota: \* e \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Vale ressaltar aqui, o surgimento de um vasto campo de exploração diante de fatos praticamente ainda não comprovados pela ciência envolvendo o fenômeno de hormese e visualizar a importância de novas pesquisas para melhores esclarecimentos dos resultados e os possíveis usos desta técnica na agricultura em geral.

## 2.4 Conclusões

- 1) O teor de N nas folhas do feijoeiro aumentou com as subdoses de 7,2 e 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, já para o S, o resultado foi o contrário, sendo reduzido nestas doses.
- 2) Obteve-se efeito hormético de glyphosate na produtividade do feijoeiro quando utilizados 45 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e a subdose de glyphosate estimada em 10 g e.a. ha<sup>-1</sup> com incrementos de até 500 kg ha<sup>-1</sup> ou de 21% em relação à testemunha sem aplicação do herbicida.
- 3) O tempo de cocção dos grãos de feijão foi afetado positiva ou negativamente pelas subdoses de glyphosate, dependendo da quantidade de nitrogênio disponibilizado à cultura.
- 4) Comprovou-se a hipótese de influência do nitrogênio no efeito hormético de glyphosate em feijoeiro para a massa da matéria seca, no teor de N e S foliar, na produtividade e no tempo de cocção dos grãos de feijão.

### **CAPÍTULO 3 – RESPOSTA DO FEIJOEIRO A APLICAÇÃO FOLIAR DE *Azospirillum brasilense* E UMA SUBDOSE DE GLYPHOSATE EM DIFERENTES FORMULAÇÕES**

#### **Resumo**

Pesquisas apontam a possibilidade de ganhos na produtividade do feijoeiro com utilização de subdoses de glyphosate em cobertura, porém, ainda não se sabe qual é a formulação mais indicada, além disso, acredita-se que outras técnicas podem ser empregadas conjuntamente para otimizar os resultados, como por exemplo, o uso de bactérias do gênero *Azospirillum*. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a resposta do feijoeiro a aplicação de glyphosate em diferentes formulações (Roundup Original<sup>®</sup> 360 g do equivalente ácido (e.a.) L<sup>-1</sup>, SL, Monsanto; Roundup WG<sup>®</sup> 720 g e.a. kg<sup>-1</sup>, WG, Monsanto e Zapp Qi<sup>®</sup> 500 g e.a. L<sup>-1</sup>, SL, Syngenta) na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> e uma testemunha sem aplicação submetido a aplicação em cobertura (200 mL ha<sup>-1</sup>) ou não de *Azospirillum brasilense*, perfazendo esquema fatorial 4x2, com quatro repetições. O estudo foi desenvolvido no período de outono-inverno de 2014 em área experimental da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso. A cultivar utilizada foi a IPR – 139 do IAPAR. Concluiu-se que a inoculação via foliar com *Azospirillum brasilense* reduziu significativamente os componentes de produção do feijoeiro, porém, sem comprometer a produtividade de grãos. O glyphosate aplicado na formulação Roundup Original<sup>®</sup> propiciaram maiores valores dos componentes de produção e produtividade do feijoeiro, atingindo ganhos da ordem de 20%. No geral, exceto pela formulação Zapp Qi<sup>®</sup>, o tempo médio de cocção dos grãos de feijão não foi influenciado pelos tratamentos empregados. Foi confirmada a hipótese de que o fenômeno da hormese por glyphosate na produtividade do feijoeiro pode ser influenciado pela formulação do herbicida.

**Palavras-chave:** Herbicida. Hormese. Influência. Inoculação. Produto comercial.

### 3.1 Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de origem americana domesticada a muitos anos e desde a antiguidade possui grande importância para a população brasileira (EVANGELISTA et al., 2015), no entanto, seu cultivo é considerado de risco por conta da baixa tecnificação da cadeia produtiva em geral, o uso de sementes de baixa qualidade física e fisiológica, os períodos críticos de plantio e de colheita e a suscetibilidade a pragas e doenças. Tais fatores adversos devem ser superados pela união de produtores com os centros de pesquisa que trabalham obstinadamente para reduzir as perdas e propiciar maiores rentabilidades com a atividade agrícola através do desenvolvimento de novas tecnologias.

Uma tecnologia que tem conferido bons resultados no cultivo do feijão é a utilização de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, como as do gênero *Rhizobium* (STRALIOTTO, 2002), que consegue fixar de 20 a 30% do nitrogênio que a planta necessita através da fixação biológica (MALAVOLTA, 1987) podendo contribuir com 20 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (FANCELLI; DOURADO NETO, 2007).

Além dos rizóbios específicos para as leguminosas, outros microrganismos como, por exemplo, o grupo das bactérias promotoras de crescimento de plantas por meio de vários processos, como a produção de hormônios de crescimento e a capacidade de realizar fixação biológica do nitrogênio, entre outros, podem ser benéficas para as culturas. Dentre estas bactérias destacam-se as pertencentes ao gênero *Azospirillum* (CASSÁN et al., 2008; HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013).

A inoculação com *Azospirillum* é comumente realizada via sementes, no qual o produto pode ser aplicado na forma sólida (como turfa) ou na forma líquida (HUNGRIA et al., 2010; GALINDO et al., 2015).

Recentemente a inoculação com *Azospirillum brasilense* via foliar tem sido alvo de inúmeras pesquisas, no entanto, ainda são escassas as pesquisas sobre a melhor época de aplicação via foliar para obter ótimo benefício desta inoculação, e conseqüentemente refletir em melhor nutrição, desenvolvimento e produtividade da cultura do feijão.

Outra técnica já empregada ao feijoeiro, mas restrita em grande parte aos centros de pesquisa é a hormese por subdoses de herbicidas, em especial o glyphosate (SILVA et al., 2012; SILVA, 2014; SILVA et al., 2016a,b; BRITO et al., 2017). Com ela, tem-se obtido melhorias tanto no crescimento vegetativo como na produtividade do feijão comum. Além disso, têm-se buscado provar que determinadas cultivares de feijoeiro se tornam mais

resistentes às condições adversas de disponibilidade hídrica com o emprego de subdoses de glyphosate (SILVA et al., 2016a).

Por outro lado, levando em consideração que atualmente estão disponíveis no mercado diversas formulações de glyphosate, todas com o mesmo mecanismo de ação, o feijoeiro pode responder de forma distinta às subdoses do herbicida em decorrência da aplicação dessas formulações, devido à presença de surfactantes ou do tipo de sal encontrado nelas.

De maneira geral, os resultados da hormese nos vegetais são muito complexos. Muitos pesquisadores têm buscado respostas para tornar esta técnica praticável em larga escala, e para isso, são realizados testes de variações como o momento ideal de aplicação dos herbicidas (CARVALHO; ALVES; DUKE, 2013; SILVA et al., 2016b), o tipo de solo (RABELLO et al., 2015), as condições hídricas (SILVA et al., 2016a) e as disponibilidades nutricionais (RABELLO et al., 2012) do cultivo.

Devido aos grandes benefícios biológicos, ambientais e econômicos que a união destas diferentes técnicas pode trazer à cultura do feijão, a hipótese levantada neste capítulo foi que a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas juntamente com a aplicação de doses reduzidas de glyphosate influenciaria de maneira positiva os parâmetros vegetativos e produtivos do feijoeiro e, mais ainda, sendo possível inclusive obter a formulação ideal do produto comercial.

O objetivo nesta fase do experimento foi avaliar os efeitos da aplicação de *Azospirillum brasilense* em cobertura e o uso de uma subdose de glyphosate em diferentes formulações comerciais na cultura do feijão.



## 3.2 Material e Métodos

### 3.2.1 Características da área experimental e condução da cultura

As características da área experimental e a condução da cultura foram praticamente as mesmas das apresentadas no item Material e Métodos do Capítulo 2 por se tratar de experimentos vizinhos que foram semeados no mesmo dia e conduzidos de maneira semelhante.

### 3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, disposto em esquema fatorial 4 x 2 e os tratamentos foram constituídos pela combinação de três formulações de glyphosate (Roundup Original<sup>®</sup> 360 g e.a. L<sup>-1</sup>, SL, Monsanto; Roundup WG<sup>®</sup> 720 g e.a. kg<sup>-1</sup>, WG, Monsanto e Zapp Qi<sup>®</sup> 500 g e.a. L<sup>-1</sup>, SL, Syngenta) na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> e uma testemunha sem aplicação submetidos a aplicação (200 mL ha<sup>-1</sup>) em cobertura de *Azospirillum brasilense* e uma testemunha sem aplicação, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de cinco linhas com 4,5 metros de comprimento, sendo utilizadas 3 linhas centrais como área útil, desprezando 0,5 m nas extremidades de cada linha.

A inoculação foi realizada com o produto Masterfix Gramineas<sup>®</sup> com as estirpes AbV<sub>5</sub> e AbV<sub>6</sub> de *A. brasilense* (2x10<sup>8</sup> células viáveis mL<sup>-1</sup>) onde se deu aos 10 dias após a emergência (DAE) e plantas no estágio V<sub>2</sub> com o segundo trifólio completamente formado.

Quanto à adubação nitrogenada em cobertura, esta foi realizada de forma única no dia 05 de junho de 2014, ou seja, aos 15 DAE com 70 kg ha<sup>-1</sup> em área total utilizando-se ureia (45% de N) como fonte nitrogenada e quando as plantas atingiram o estágio V<sub>3</sub>, momento em que as plantas estavam com a terceira folha trifoliolada completamente formada, de acordo com Fernandez, Gepts e Lopes (1986).

As aplicações do glyphosate foram realizadas em forma de pulverização foliar, com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> dotado de barra com quatro pontas, modelo TXA 8002 VK, operado a pressão de 3 kgf cm<sup>-2</sup>, e volume de calda de 160 L ha<sup>-1</sup>, no dia 18 de junho de 2014, quando as plantas atingiram o estágio V<sub>4-5</sub>, ou seja, no momento em que as plantas estavam com a quinta folha trifoliolada completamente formada, de acordo

com Fernandez, Gepts e Lopes (1986). As aplicações foram realizadas no final da tarde com deslocamento do vento registrado em  $2,7 \text{ km h}^{-1}$  e temperatura de  $29,7^\circ\text{C}$ .

Os demais tratos culturais e fitossanitários utilizados foram os normalmente recomendados à cultura do feijão “de inverno” para a região.

### **3.2.3 Avaliações realizadas**

#### *3.2.3.1 População de plantas*

Foi avaliada a população de plantas pela da contagem das plantas em 2 linhas da área útil das parcelas no início (fase  $V_2$ ) e final (fase  $R_9$ ) do desenvolvimento da cultura e os dados foram transformados em plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

#### *3.2.3.2 Florescimento pleno*

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a floração de 50% das plantas das parcelas.

#### *3.2.3.3 Massa da matéria seca da parte aérea*

A primeira coleta de material vegetal ocorreu por ocasião do florescimento pleno das plantas aos 43 DAE, no qual, foram coletadas 10 plantas ao acaso na área de cada parcela, para determinação da massa da matéria seca da parte aérea (MMS). Posteriormente, aos 50 DAE foi realizada nova coleta de material. Em ambas as ocasiões, as amostras foram levadas ao laboratório, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e colocadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a  $60 - 70^\circ\text{C}$ , até atingir peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas e os valores convertidos em  $\text{g planta}^{-1}$ .

#### *3.2.3.4 Teor de nitrogênio (N) nas folhas*

Foram retiradas as folhas das plantas obtidas para análise da MMS que ocorreu aos 50 DAE e em seguida foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de  $60-70^\circ\text{C}$  até atingir peso constante. Posteriormente as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley para determinação do teor de nitrogênio segundo metodologia proposta por Sarruge e Haag (1974).

#### *3.2.3.5 Teor de nitrogênio (N) na planta*

As mesmas plantas utilizadas para determinação da massa seca na parte aérea foram moídas e em seguida foi realizada digestão sulfúrica para determinação do teor de N. O acúmulo de N na parte aérea foi calculado a partir da relação entre massa seca e teor de N na planta inteira.

#### 3.2.3.6 *Índice de clorofila foliar*

A estimativa do teor médio de clorofila foliar foi realizada no campo com a utilização de clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG®, modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola®), que por meio de sensores, analisa três faixas de frequência de luz e através de relações de absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teores das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar) (FALKER, 2008). Por ocasião do florescimento pleno das plantas do feijoeiro, foram feitas medições no terceiro trifólio contando do ápice para a base, sendo obtidas 4 medições por parcela, em quatro plantas de onde se obteve a média por parcela.

#### 3.2.3.7 *Altura de plantas*

Foram avaliadas tomando-se dez plantas ao acaso na área útil e medindo do colo da planta até o final da haste principal com auxílio de régua milimetrada.

#### 3.2.3.8 *Diâmetro do caule*

Foi mensurado a cinco centímetros do colo das plantas da análise da MMS com auxílio de um paquímetro.

#### 3.2.3.9 *Componentes de produção*

Por ocasião da colheita foram coletadas 10 plantas em local pré-determinado, na área útil de cada parcela e realizadas as seguintes avaliações:

- Número de vagens planta<sup>-1</sup>: determinado pela relação entre o número total de vagens e o número total de plantas;
- Número de grãos planta<sup>-1</sup>: determinado pela relação entre o número total de grãos e o número total de plantas;
- Número de grãos vagem<sup>-1</sup>: calculado pela relação entre o número total de grãos e do número total de vagens;

- Massa de 100 grãos: determinada pela coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos por parcela, posteriormente a umidade dos grãos foi corrigida para 13% base úmida.

#### 3.2.3.10 Produtividade

As plantas da área útil de cada parcela foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol. Após a secagem, as mesmas foram submetidas à trilha mecânica, posteriormente os grãos foram pesados e os dados transformados em  $\text{kg ha}^{-1}$  (13% base úmida).

#### 3.2.3.11 Tempo médio de cocção determinado pelo Cozedor de Mattson (TC)

A análise foi realizada na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus de Jaboticabal, seguindo método adaptado dos propostos por Proctor e Watts (1987) e Sartori (1982):

- a) foram amostradas aproximadamente 30 g de sementes uniformes e inteiras;
- b) as sementes foram colocadas em embebição em 100 mL de água destilada, por 16 horas à temperatura ambiente;
- c) Vinte e cinco grãos escolhidos aleatoriamente foram colocados no Cozedor de MATTSON (cada grão é colocado individualmente em uma cavidade do aparelho e sob uma vareta de metal de 90 g e 1,48 mm de diâmetro de ponta);
- d) foram aquecidos 1000 mL de água destilada até a fervura, em bquer com capacidade para 3000 mL;
- e) colocou-se o cozedor, já preparado com os grãos, no bquer, cronometrando-se o tempo de cozimento das amostras, em minutos, pela queda da 13ª vareta, perfurando, deste modo, os grãos.

### 3.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Quando se constatou interação significativa entre as fontes de variação, procedeu-se ao desdobramento, comparando as médias dos tratamentos com *Azospirillum brasilense* e formulações de glyphosate pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002).

### 3.3 Resultados e discussão

#### 3.3.1 População inicial e população final de plantas

Os dados referentes à população inicial de plantas (PI) e população final de plantas (PF) são apresentados na Tabela 3.1. Nota-se que não houve diferença significativa para nenhuma das fontes de variação.

**Tabela 3.1-** População inicial de plantas (PI) e população final de plantas (PF) do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de *Azospirillum brasilense* e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Tratamentos		PI - plantas m <sup>-1</sup> -	PF - plantas m <sup>-1</sup> -
<b>A. brasilense (A)</b>			
Com		11,26	10,46
Sem		10,96	10,31
<b>Formulações<sup>(1)</sup> (F)</b>			
Testemunha		11,00	10,51
Original <sup>®</sup>		10,54	10,08
WG <sup>®</sup>		11,12	10,76
Qi <sup>®</sup>		10,64	10,19
<b>F para:</b>	A	0,12 <sup>n.s</sup>	0,18 <sup>n.s</sup>
	F	0,49 <sup>n.s</sup>	0,74 <sup>n.s</sup>
	A x F	0,09 <sup>n.s</sup>	0,06 <sup>n.s</sup>
DMS	A	0,81	0,75
	F	1,18	1,42
Média geral		10,97	10,39
CV (%)		3,80	9,80

\* e<sup>n.s</sup> – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; <sup>(1)</sup> Sem e com glyphosate na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.3.2 Massa da matéria seca do feijoeiro (MS), teor de nitrogênio (N) nas folhas e acúmulo de N na parte aérea

A inoculação via foliar de *A. brasilense* não resultou em diferenças na massa da matéria seca e nos teores de nitrogênio foliar e da parte aérea do feijoeiro (Tabela 3.2). Corroborando com os resultados obtidos por Galindo et al. (2015) com inoculação na cultura do trigo irrigado no qual, não observaram efeitos nos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Do mesmo modo que Ferreira et al. (2014), estudando doses de N em cobertura e aplicação de *A. brasilense* via foliar na cultura do trigo também não encontraram diferença para o teor de N foliar em função da aplicação de *A. brasilense*. Por outro lado, quando a inoculação foi realizada via sementes de feijões especiais, Gitti et al. (2012) concluíram que na ausência do fornecimento de nitrogênio em cobertura a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* proporcionou maior teor de N foliar.

Para o glyphosate, notou-se que independentemente da formulação do produto comercial de glyphosate, com 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> não foi possível observar alterações na massa da matéria seca do feijoeiro, assim como para o teor de nitrogênio nas folhas e na parte aérea das plantas de feijão. Por outro lado, utilizando 15 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, que é uma subdose muito próxima a que foi testada no presente trabalho, Silva et al. (2016a) constataram redução significativa na massa da matéria seca do feijoeiro cultivado em dois regimes hídricos (355 e 391 mm). Neste mesmo sentido, Rabello et al. (2009) concluíram que o glyphosate reduziu o crescimento do feijoeiro comum cv. Pérola, diminuindo a produção de matéria seca do ramo e da folha.

Trabalhando com curauá branco, Maciel et al. (2009) observaram que a aplicação de subdoses de glyphosate não provocou estímulos ou incrementos no desenvolvimento vegetativo das plantas. Estes dados contradizem os observados por Velini et al. (2006) que trabalharam em casa de vegetação com aplicação de doses de glyphosate variando entre 1,8 e 720 g do e.a. ha<sup>-1</sup> em um total de nove espécies vegetais incluindo soja, eucalipto, pinus, milho, café, citros e trapoeraba, e verificaram que, exceto a soja transgênica resistente ao glyphosate, para a qual não houve resposta, ocorreram estímulos ao crescimento da parte aérea de todas as espécies consideradas quando utilizadas doses inferiores a 36 g do e.a. ha<sup>-1</sup>. Em eucalipto, a dose de apenas 3,6 g do e.a. ha<sup>-1</sup> foi suficiente para estimular o crescimento proporcionando maiores valores de biomassa de parte aérea e maior número de ramos laterais, indicando a menor dominância apical. Em contrapartida, Rabello et al. (2015), avaliando o efeito de subdoses de glyphosate (0; 14,4; 43,2 e 86,4g e.a. ha<sup>-1</sup>) no desenvolvimento do

feijoeiro em dois tipos de solos, observaram redução na massa seca de ramos e da parte aérea das plantas, portanto, sem o efeito hormético esperado. Isto demonstra mais uma vez que os resultados da hormese variam de acordo com a cultivar de feijão avaliada, assim como comprovado no trabalho de Silva et al. (2012).

Em trapoeraba, a aplicação do glyphosate, com microseringa e em doses compatíveis com recebidas pelas plantas da espécie em aplicações em pós-emergência inicial na cultura da soja, implicou em aumentos na biomassa de até 115%. Para as culturas da soja (convencional) e milho, foram desenvolvidos procedimentos específicos para a análise estatística dos dados, ajustando-se modelos com a previsão de estímulos para baixas doses do herbicida. Os resultados indicaram aumentos máximos da biomassa de parte aérea de 27,81% e 25,46% para as doses de 14,2 e 22,6 g do e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No algodoeiro, Neves, Furlani e Valter Filho (2009) obtiveram maior ganho de massa de matéria fresca na dose de 8 g do e.a. ha<sup>-1</sup>, com estímulo de 17% em relação à dose 0 g do i.a. ha<sup>-1</sup>.

Com o intuito de verificar o fenômeno da hormese em plantas de aveia preta, Tavares et al. (2015) observaram redução na massa da matéria seca a partir da subdose de 50 g e.a. ha<sup>-1</sup> do glyphosate, no entanto, não houve diferença entre as subdoses de 12,50 e 25 g e.a. ha<sup>-1</sup>.

Carvalho, Alves e Duke (2013) concluíram que o efeito hormético com estímulo na produção de massa de matéria seca e outros componentes vegetativos da cultura do café depende do estágio fenológico em que a cultura se encontra no momento da aplicação. Estes autores observaram ganhos significativos na massa da matéria seca do cafeeiro somente na aplicação das subdoses de glyphosate aos 45 dias após o transplante das mudas para o campo, fato que não ocorreu quando se aplicou aos 10 dias após o transplante.

Em feijoeiro, com o objetivo de avaliar se os resultados do efeito hormético de glyphosate seriam influenciados pela dose empregada e o estágio fenológico da cultura no momento da aplicação, Silva et al. (2016b) verificaram que, no geral, o emprego de subdoses de 3, 6, 9, 12 e 15 g e.a. ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido de glyphosate reduziram os valores de massa da matéria seca, principalmente quando foi realizada aplicação fracionada em dois estágios fenológicos ( $\frac{1}{2} V_{4-4} + \frac{1}{2} V_{4-7}$ ).

**Tabela 3.2-** Massa da matéria seca do feijoeiro aos 7 dias após o tratamento (DAT) (MS-1) e massa da matéria seca aos 14 DAT (MS-2), teor de nitrogênio (N) nas folhas e acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de *Azospirillum brasilense* e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Tratamentos	MS-1		N foliar g kg <sup>-1</sup>	N na planta g planta <sup>-1</sup>	
	g planta <sup>-1</sup>				
<b>A. brasilense (A)</b>					
Com	6,82	8,68	6,75	45,48	
Sem	6,81	8,54	6,94	46,29	
<b>Formulações<sup>(1)</sup> (F)</b>					
Testemunha	6,41	8,26	6,25	40,03	
Original <sup>®</sup>	6,68	9,28	7,38	47,98	
WG <sup>®</sup>	7,60	7,45	6,75	50,44	
Qi <sup>®</sup>	6,56	9,47	7,00	45,07	
<b>F para:</b>	A	0,00 <sup>n.s</sup>	0,03 <sup>n.s</sup>	0,32 <sup>n.s</sup>	0,04 <sup>n.s</sup>
	F	0,95 <sup>n.s</sup>	1,46 <sup>n.s</sup>	2,03 <sup>n.s</sup>	1,24 <sup>n.s</sup>
	A x F	1,20 <sup>n.s</sup>	0,51 <sup>n.s</sup>	2,22 <sup>n.s</sup>	0,73 <sup>n.s</sup>
DMS	A	1,14	1,62	0,69	8,36
	F	2,17	3,08	1,31	15,86
Média geral	6,81	8,61	6,84	45,88	
CV (%)	22,80	25,64	13,68	24,79	

<sup>n.s</sup> – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>(1)</sup> Sem e com glyphosate na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Segundo Silva et al. (2016a), o teor de N foliar do feijão foi influenciado pelas subdoses de glyphosate de maneira distinta de acordo com o regime hídrico ao qual as plantas foram submetidas, sendo que, na condição de 355mm de disponibilidade de água, a subdose de 10 g e.a. ha<sup>-1</sup> reduziu o teor de N foliar, no entanto, quando se aplicou um volume maior (391mm), as subdoses de 10 e 15 g e.a. ha<sup>-1</sup> proporcionaram maiores valores desta variável em comparação ao tratamento controle. Já, Rabello et al. (2015) obtiveram redução no teor de N do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) cv. Pérola, avaliado aos 10 dias após o tratamento (DAT) e aos 20 DAT, quando submetido à deriva de subdoses de glyphosate.



### 3.3.3 Índice de clorofila foliar, altura de plantas e diâmetro do caule

É possível verificar que a inoculação com *A. brasilense* via foliar e a aplicação de uma subdose de glyphosate em diferentes formulações não resultaram em diferenças no índice de clorofila foliar (ICF), assim como na altura de plantas e no diâmetro do caule do feijoeiro (Tabela 3.3) coincidindo com os dados de massa da matéria seca e nitrogênio.

Müller et al. (2012) não verificaram efeito da inoculação em semeadura e sulco de plantio no índice de clorofila foliar. Já, Galindo et al. (2015) realizaram inoculação via foliar do *A. brasilense* no trigo e não constataram mudanças no ICF. Gitti et al. (2012) observaram que na ausência do fornecimento de nitrogênio em cobertura na cultura do feijão, a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* não influenciou o desenvolvimento de plantas.

**Tabela 3.3-** Índice de clorofila foliar (ICF), altura de plantas e diâmetro do caule do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de *Azospirillum brasilense* e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Tratamentos		ICF	Altura de plantas (cm)	Diâmetro do caule (mm)
<b><i>A. brasilense</i> (A)</b>				
Com		40,94	106,31	4,88
Sem		41,44	113,25	5,31
<b>Formulações<sup>(1)</sup> (F)</b>				
Testemunha		42,50	103,75	4,87
Original <sup>®</sup>		40,50	114,00	5,25
WG <sup>®</sup>		41,13	114,38	5,25
Qi <sup>®</sup>		40,63	107,00	5,00
<b>F para:</b>	A	0,39 <sup>n.s</sup>	1,22 <sup>n.s</sup>	2,95 <sup>n.s</sup>
	F	1,32 <sup>n.s</sup>	0,70 <sup>n.s</sup>	0,54 <sup>n.s</sup>
	A x F	0,93 <sup>n.s</sup>	1,17 <sup>n.s</sup>	0,70 <sup>n.s</sup>
DMS	A	1,66	13,08	0,53
	F	3,15	24,79	1,00
Média geral		41,19	109,78	5,09
CV (%)		5,48	16,20	14,15

<sup>n.s</sup> – não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>(1)</sup> Sem e com glyphosate na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.3.4 Número de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem

Nota-se a seguir que a inoculação com *A. brasilense* via foliar não foi vantajosa para os componentes de produção do feijão, reduzindo o número de vagens por planta, assim como o número de grãos por planta e grãos por vagem (Tabela 3.4). No entanto, Gitti et al. (2012) não verificaram diferenças significativas no número de grãos por planta devido a inoculação com *A. brasilense*. Resultados estes, que corroboram com os obtidos por Garcia (2017) quando também não observou diferenças nos componentes produtivos da cultura do feijão submetido ao *A. brasilense*.

Observou-se que as respostas da inoculação de sementes com bactérias selecionadas são instáveis em diversos trabalhos, em consequência de diversos fatores edafoclimáticos e genéticos e suas múltiplas interações que interferem nos processos simbióticos e assimbióticos entre a planta e os microrganismos envolvidos (CASSINI; FRANCO, 2006; GARCIA, 2017).

Garcia (2017) ainda ressalta que as pesquisas devem se expandir em busca de respostas e análises concretas, pois o uso desses microrganismos em associação pode trazer benefícios para as plantas.

A formulação Roundup Original<sup>®</sup> foi a única que diferiu significativamente nos valores de vagens por planta e grãos por planta em relação à testemunha que não recebeu o tratamento, de modo que não alterou o número de grãos por vagem. Tais resultados apontam que os trabalhos de Silva (2014) e Silva et al. (2012; 2013a,b; 2016a,b) testaram a formulação adequada para os resultados do fenômeno de hormese no feijoeiro. Além disso, a subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> é mais uma variável que vêm sendo testada por estes autores nos últimos anos com bons resultados.

**Tabela 3.4-** Número de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem do feijoeiro em função da aplicação em cobertura de *Azospirillum brasilense* e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

<b>Tratamentos</b>		Vagens planta <sup>-1</sup>	Grãos planta <sup>-1</sup>	Grãos vagem <sup>-1</sup>
<b>A. brasilense (A)</b>				
Com		10,13 b	45,19 b	4,44 b
Sem		13,00 a	61,06 a	4,94 a
<b>Formulações<sup>(1)</sup> (F)</b>				
Testemunha		8,87 b	43,62 b	5,00
Original <sup>®</sup>		13,25 a	61,13 a	4,75
WG <sup>®</sup>		13,00 ab	58,37 ab	4,38
Qi <sup>®</sup>		11,13 ab	49,37 ab	4,63
<b>F para:</b>	A	6,36 *	10,35 **	8,20 **
	F	3,16 *	2,68 *	2,22 <sup>n.s</sup>
	A x F	0,92 <sup>n.s</sup>	1,70 <sup>n.s</sup>	1,02 <sup>n.s</sup>
DMS	A	2,37	10,26	0,36
	F	4,35	17,25	0,69
Média geral		11,56	56,13	4,69
CV (%)		27,89	26,27	10,54

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>n.s</sup> – Não significativo; \* e \*\* Significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; <sup>(1)</sup> Sem e com glyphosate na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.3.5 Massa de 100 grãos, produtividade e tempo médio de cocção

Os valores de massa de 100 grãos, produtividade e tempo médio de cocção do feijão são apresentados na Tabela 3.5.

Constata-se que ambos os tratamentos (inoculação de *A. brasilense* e formulações de glyphosate) não afetaram a massa de 100 grãos. Ademais, a inoculação isolada também não alterou a produtividade do feijoeiro, assim como no trabalho de Gitti et al. (2012), ao qual não obtiveram diferenças na produtividade do feijoeiro em resposta a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*. Desta forma, é possível averiguar que mesmo com os resultados negativos obtidos nos componentes de produção (Tabela 3.4) proporcionados pela inoculação de *A. brasilense* via foliar, o feijoeiro foi capaz de compensar as perdas possivelmente por

uma maior densidade de plantas por área e maior massa de grãos que não foram detectadas pela análise estatística na condição de inoculado.

No que diz respeito às formulações de glyphosate e a produtividade do feijoeiro, os resultados foram promissores para o efeito hormético deste herbicida nesta cultivar, uma vez que, a formulação mais testada para este fim, de acordo com os trabalhos de Silva et al. (2012; 2013a,b; 2014; 2016a,b), foi a que diferiu significativamente da testemunha, apresentando um ganho de 392 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos de feijão. Isto representa um incremento de aproximadamente sete sacos de 60 kg por hectare, ou seja, obteve-se no presente trabalho um ganho de aproximadamente 20% na produtividade da testemunha com a simples aplicação da técnica de hormese pelo uso de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate na formulação Roundup Original<sup>®</sup>, que é uma molécula de baixo custo, tornando-se ainda menor nas proporções aqui apresentadas.

Para as demais formulações de glyphosate testadas (Roundup WG<sup>®</sup> e Zapp Qi<sup>®</sup>), os resultados seguiram a mesma tendência positiva (Tabela 3.5), porém, sem diferirem significativamente da testemunha.

Silva et al. (2012) observaram que a cultivar Juriti, uma linhagem antecessora da cultivar IPR-139, já havia respondido de forma positiva ao glyphosate na subdose de 10 g i.a. ha<sup>-1</sup>, tendo resultados mais expressivos do que as cultivares Pérola e Carioca precoce. Na cultivar Juriti os ganhos foram de 7,5 a 10% em relação à testemunha sem aplicação. Por outro lado, Silva (2014) não obteve respostas neste sentido, sendo que, em geral as subdoses não afetaram a produtividade do feijoeiro. Porém, Cedergreen et al. (2009) obtiveram aumento na produtividade de grãos de cevada (12-15%), com a aplicação de subdoses de glyphosate entre 2,5 g ha<sup>-1</sup> e 20 g do e.a. ha<sup>-1</sup>, muito semelhante aos ganhos obtidos no presente estudo. Da mesma forma, Magalhães et al. (2001), simulando deriva dos herbicidas glyphosate e paraquat, assim como seus efeitos no desenvolvimento das plantas e no rendimento de grãos de sorgo, demonstraram ganhos de aproximadamente 400 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade do sorgo, quando utilizadas subdoses entre 2% e 4% da dose recomendada do produto comercial.

De acordo com a Tabela 3.5 observa-se que houve interação significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro da inoculação via foliar com as formulações de glyphosate para o tempo de cocção dos grãos de feijão.

**Tabela 3.5-** Massa de 100 grãos, produtividade de grãos e tempo médio de cocção dos grãos de feijão em função da aplicação em cobertura de *Azospirillum brasilense* e subdose de glyphosate em diferentes formulações. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Tratamentos		Massa de 100 grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	Tempo de cocção (min.)
<b><i>A. brasilense</i> (A)</b>				
Com		26,71	2375	17,69
Sem		25,71	2451	17,50
<b>Formulações<sup>(1)</sup> (F)</b>				
Testemunha		25,74	2157 b	16,37
Original®		26,60	2549 a	18,25
WG®		26,07	2494 ab	17,12
Qi®		26,44	2453 ab	18,62
<b>F para:</b>	A	2,30 <sup>n.s</sup>	0,66 <sup>n.s</sup>	0,27 <sup>n.s</sup>
	F	0,34 <sup>n.s</sup>	3,45 <sup>*</sup>	8,18 <sup>**</sup>
	A x F	0,10 <sup>n.s</sup>	0,60 <sup>n.s</sup>	10,58 <sup>**</sup>
DMS	A	1,37	196	0,75
	F	2,61	372	1,42
Média geral		23,21	2413	17,59
CV (%)		7,13	11,06	5,81

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>n.s</sup> – Não significativo; \* e \*\* Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; <sup>(1)</sup> Sem e com glyphosate na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em seguida são apresentados na Tabela 3.6 os dados da interação entre inoculação de *Azospirillum brasilense* via foliar e as formulações de glyphosate na cultura do feijão sobre o tempo de cocção dos grãos. De modo que, fica evidente o fato da inoculação isoladamente não influenciar no tempo médio de cocção dos grãos de feijão. Contudo, para as formulações de glyphosate, o Zapp Qi® atrasou o tempo de cocção dos grãos de forma significativa na ausência da bactéria, mas, quando se empregou *Azospirillum* foi a formulação Original® que atrasou o tempo de cocção do feijão, o que não é esperado pelo consumidor final, ao qual pode ter seus custos com o preparo do feijão aumentados devido a esta característica.

**Tabela 3.6-** Interação entre inoculação de *Azospirillum brasilense* via foliar e formulações de glyphosate em feijoeiro sobre o tempo de cocção dos grãos. Selvíria-MS, Brasil, 2014.

Formulações <sup>(1)</sup> (F)	<i>A. brasilense</i> <sup>(2)</sup> (A)	
	Com	Sem
Test.	16,75 b	16,00 b
Original <sup>®</sup>	19,25 aA	17,25 bB
WG <sup>®</sup>	17,75 ab	16,50 b
Qi <sup>®</sup>	17,00 bB	20,25 aA
DMS <sup>(3)</sup> = 1,50	DMS <sup>(4)</sup> = 2,01	

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>(1)</sup> Glyphosate na subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; <sup>(2)</sup> Inoculante na dose de 200 mL ha<sup>-1</sup> via foliar em V<sub>2</sub> da cultura; <sup>(3)</sup> referente ao desdobramento de A dentro de cada nível de F; <sup>(4)</sup> referente ao desdobramento de F dentro de cada nível de A. Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4 Conclusões

- 1) A inoculação via foliar com *Azospirillum brasilense* reduziu o número de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem do feijoeiro, porém, sem comprometer a produtividade de grãos.
- 2) A subdose de glyphosate na formulação Roundup Original<sup>®</sup> propiciou maiores valores no número de vagens por planta, grãos por planta e produtividade do feijoeiro, atingindo ganhos da ordem de 20%.
- 3) De maneira isolada, o glyphosate aplicado na formulação Zapp Qi<sup>®</sup> aumentou o tempo médio de cocção dos grãos de feijão.
- 4) Foi confirmada a hipótese de que o fenômeno da hormese por glyphosate na produtividade do feijoeiro pode ser influenciado pela formulação do herbicida.

## CAPÍTULO 4 – EFEITO HORMÉTICO POR GLYPHOSATE NO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

### Resumo

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tem grande importância no Brasil e no mundo. Em condições irrigadas sua produtividade pode ser mais que dobrada quando comparada a lavouras de sequeiro. Neste trabalho foram analisados os efeitos da aplicação de subdoses de glyphosate e lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento, componentes de produção e produtividade do feijoeiro de inverno em sistema plantio direto, sendo realizado na Fazenda Experimental de Pesquisa e Extensão da UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, no município de Selvíria-MS. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, em um total de 12 tratamentos com parcelas subdivididas dispostas em quatro blocos. As parcelas foram compostas por seis lâminas de água (0, 20, 40, 60, 80 e 100% da lâmina recomendada + precipitação) e as subparcelas foram compostas por uma subdose de glyphosate (14,4 g do e.a. ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem aplicação. Foram avaliados população final de plantas, massa seca aos 7 dias após aplicação (DAA) e aos 14 DAA, índice de clorofila foliar, altura de plantas, diâmetro de caule, altura de inserção da primeira vagem, vagens por planta, grãos por planta, grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade. É possível obter ganhos na massa da matéria seca do feijoeiro pelo uso da técnica de hormese com glyphosate em condições hídricas menores do que a recomendada para a cultura. A lâmina de água disponível à planta tem grande influência nos componentes vegetativos e produtivos do feijoeiro IPR-139 e as melhores produtividades foram obtidas com lâminas em torno de 66% da recomendada para a cultura.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Água. Hormese. Irrigação. Subdoses de glyphosate.

## 4.1 Introdução

A hormese é denominada como uma resposta bifásica ao emprego de doses reduzidas de substâncias nocivas a determinados organismos. Assim, para o caso de herbicidas, espera-se que determinadas doses muito reduzidas destes produtos garantam o efeito hormético às plantas que é traduzido em ganhos no rendimento de componentes vegetativos e produtivos da cultura. Por outro lado, o incremento destas dosagens leva a efeitos cada vez mais próximos aos esperados herbistático e herbicida.

Segundo Silva et al. (2012), o efeito hormético foi descrito em inúmeros trabalhos como uma forma de aumentar a biomassa de raízes, caule e folhas em soja, milho, eucalipto e plantas daninhas como azevém, trapoeraba e picão-preto. Assim, é de interesse agrônomo, podendo resultar em maior produção, através do aumento dos teores de ácido chiquímico, captação de luz, fixação de carbono e redistribuição de fotoassimilados, aumentando a plasticidade fenotípica das culturas e tornando-as mais tolerantes a estresses abióticos (GEORGE, 2004; CEDERGREEN; OLESEN, 2010; VASANTAHIAH; KAMBIRANDA, 2011).

Para melhor explorar estes resultados, cientistas têm trabalhado com inúmeras culturas ao redor do mundo com intuito de desenvolver uma técnica empregável em escala comercial para hormese. Porém, os resultados são cada vez mais adversos conforme as condições ambientais são alteradas e por esta razão os trabalhos na sua grande maioria não passam de ensaios em casa de vegetação.

O emprego de estresse biótico e abiótico em associação ao efeito hormético é uma alternativa para se encontrar as melhores condições de se obter resultados promissores desta técnica. Mas para isso é preciso encontrar maneiras de controlar este estresse no campo.

O feijão é um legume muito cultivado no mundo e de grande importância para a garantia alimentar de muitos povos, principalmente de baixa renda. Segundo White (1993), o feijoeiro é considerado uma espécie com pouca tolerância a estresses hídricos severos, sendo que 60% da produção mundial está submetida a este fator, tornando a seca o segundo maior redutor da produtividade, a qual é superada apenas pela ocorrência de doenças.

No Brasil, esta cultura pode ser cultivada em três épocas do ano, incluindo o inverno que se caracteriza pela ausência de chuvas em grande parte do país, por conta do uso da



irrigação. Neste caso, têm-se as condições ideais para o manejo da água como agente de estresse abiótico e os testes concomitantes ao fenômeno da hormese.

Assim, neste capítulo, o objetivo foi analisar os efeitos da aplicação de subdoses de glyphosate e lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento, componentes de produção e produtividade do feijoeiro de inverno em Sistema Plantio Direto.

## **4.2 Material e Métodos**

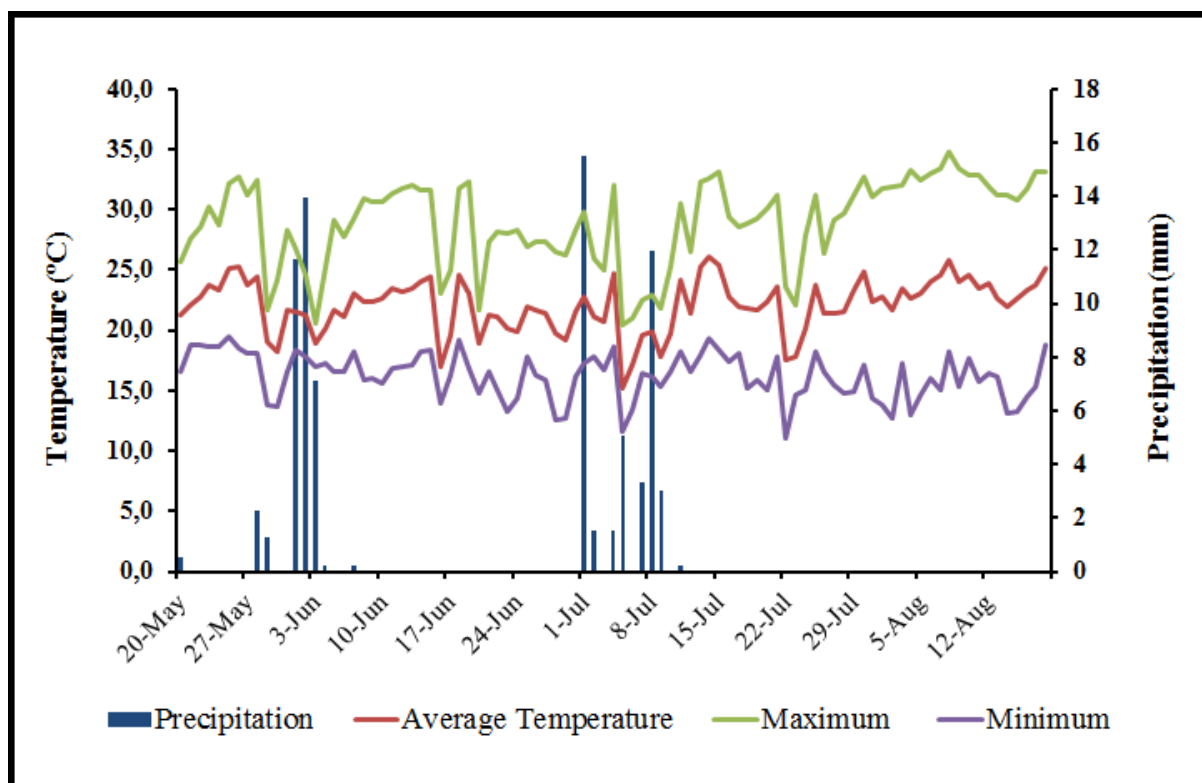
### **4.2.1 Localização e características da área experimental**

O experimento foi desenvolvido no período de inverno de 2015 em área experimental da fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) pertencente à Faculdade de Engenharia da Unesp, Campus de Ilha Solteira - SP, localizada no município de Selvíria - MS, nas coordenadas geográficas 20° 20' 51,27" S e 51° 24' 1,12" W e altitude média ao redor de 344 m.

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, textura argilosa (SANTOS et al., 2013). O clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação de Köppen, apresentando temperatura, precipitação pluvial e umidade relativa média anual de 25°C, 1330 mm e 66%, respectivamente (CENTURION, 1982).

Durante a realização do experimento foi registrada, diariamente, a temperatura mínima e máxima do ar no Posto Meteorológico da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, distante, aproximadamente, 300 m do local. A precipitação pluvial foi determinada em um pluviômetro Ville de Paris instalado na área experimental. Todos os dados dos elementos climáticos estão contidos na Figura 7.

**Figura 7-** Dados de precipitação pluvial, temperatura mínima, temperatura média e temperatura máxima durante a condução do experimento. Selvíria-MS, Brasil, 2015.



Fonte: Dados obtidos no posto meteorológico da FEIS – Selvíria (MS).

O experimento foi instalado em área com sistema de cultivo convencional, anteriormente deixada em pousio, no qual realizou-se preparo do solo com aração e gradagem. Logo após a aração, foi realizada uma gradagem de nivelamento e, pouco antes da semeadura, a gradagem final, com o objetivo de eliminar plantas daninhas em início de desenvolvimento.

Os atributos químicos do solo foram determinados antes da instalação do experimento, seguindo a metodologia proposta por Rajj e Quaggio (1983). Os resultados são apresentados a seguir:

**Tabela 4.1-** Análise química do solo da área experimental anteriormente à instalação do experimento. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

Profundidade (m)	pH	P-resina	K	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC	V	MO
	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%	g dm <sup>-3</sup>
0,00 – 0,20	5,7	71	6,6	30	16	0	28	80,6	65	20

Fonte: Dados obtidos no laboratório de Fertilidade de Solos da FEIS – UNESP.

#### 4.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em fatorial 6 x 2, num total de 12 tratamentos com parcelas subdivididas dispostas em quatro blocos com quatro replicações dentro de cada bloco (BANZATTO; KRONKA, 1989). As parcelas foram compostas por seis lâminas de água (0, 20, 40, 60, 80 e 100% da lâmina recomendada + precipitação) e as subparcelas foram compostas por uma subdose de glyphosate (14,4 g do e.a. ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem aplicação.

As unidades experimentais foram constituídas de sete linhas com 5 metros de comprimento, sendo utilizadas 3 linhas centrais como área útil, desprezando 0,5 m nas extremidades de cada linha.

Quanto à adubação nitrogenada em cobertura, esta foi realizada de forma única no dia 21 de junho de 2015, aos 25 dias após a emergência (DAE) com 45 kg ha<sup>-1</sup> em área total utilizando-se ureia (45% de N) como fonte nitrogenada e quando as plantas atingiram o estágio V<sub>4-5</sub>, no momento em que as plantas estavam com a quinta folha trifoliolada completamente formada, de acordo com Fernandez, Gepts e Lopes (1986).

A aplicação da subdose de glyphosate (Roundup Original<sup>®</sup> – 360 g do e.a. L<sup>-1</sup>, SL, Monsanto, Brasil) foi realizada em forma de pulverização foliar, com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> dotado de barra com quatro pontas, modelo TXA 8002 VK, operado a pressão de 3 kgf cm<sup>-2</sup>, e volume de calda de 160 L ha<sup>-1</sup>, no dia 25 de junho de 2015, ou seja, aos 29 DAE, quando as plantas atingiram o estágio V<sub>4-6</sub>, no momento em que as plantas estavam com a sexta folha trifoliolada completamente formada, de acordo com Fernandez, Gepts e Lopes (1986). A aplicação foi realizada no final da tarde com pouca incidência de ventos e temperatura média de 25°C.

#### 4.2.3 Manejo da cultura

A adubação química básica nos sulcos de semeadura foi realizada levando-se em consideração os atributos químicos do solo e as recomendações de Ambrosano et al. (1996). Foram aplicados 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-30-10 + 0,3% de Zn.

Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com inseticida imidacloprido + tiodicarbe (75 + 225 g do i.a. por 100 kg de sementes).

A semeadura do feijão ocorreu no dia 20 de maio de 2015 no campo. As sementes foram distribuídas em sulcos na densidade de 12,4 sementes por metro de sulco e o espaçamento adotado foi de 0,45 m nas entrelinhas. A cultivar de feijão foi a IPR 139 conhecida popularmente como Juriti branca, do grupo carioca, com hábito de crescimento indeterminado (Tipo II), arbustivo, porte da planta ereto e caule pouco ramificado.

A emergência das plantas no campo ocorreu no dia 27 de maio de 2015 aos sete dias após a semeadura (DAS). O florescimento pleno do feijoeiro se deu aos 43 dias após a emergência (DAE) da cultura, quando pelo menos 50% das plantas de cada parcela se encontravam com flores e a colheita ocorreu no dia 18 de agosto de 2015 aos 90 dias após a semeadura (DAS).

Aos 19 DAE, antecedendo o início da divisão das lâminas de irrigação, foi feita aplicação dos herbicidas fomesafem na dose de 250 g i.a. ha<sup>-1</sup> para controle de plantas daninhas de folhas largas e fenoxaprop-p-ethyl na dose de 82,5 g i.a. ha<sup>-1</sup> para controle de plantas daninhas de folhas estreitas.

Os demais tratos culturais e fitossanitários utilizados foram os normalmente recomendados à cultura do feijão “de inverno” para a região.

#### **4.2.4 Manejo da água**

No manejo de água da cultura foram utilizados coeficientes de cultura (Kc) das fases de desenvolvimento: germinação – folhas primárias (V<sub>0</sub> – V<sub>2</sub>); primeira folha trifoliolada – terceira folha trifoliolada (V<sub>3</sub> – V<sub>4</sub>); prefloração – formação de vagens (R<sub>5</sub> – R<sub>7</sub>); enchimento de vagens (R<sub>8</sub>) e maturação (R<sub>9</sub>) (FERNANDEZ; GEPTS; LOPES, 1986) (Tabela 4.2). Os valores dos coeficientes de cultura (Kc) utilizados na lâmina 6 são os propostos por Doorenbos e Kassam (1979). A partir do estabelecimento da cultura (estádio V<sub>3</sub>), adotou-se na lâmina 5, valores de Kc 20% inferiores em relação aos da lâmina 6 e esta redução foi seguida sucessivamente até a testemunha sem irrigação.

**Tabela 4.2-** Valores de coeficiente da cultura (Kc) utilizados nas diferentes fases de desenvolvimento do feijoeiro de acordo com as lâminas de água aplicadas por aspersão. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

<i>Lâminas de água</i> <sup>(1)</sup> (% da recomendada)	<i>Fases de desenvolvimento</i> <sup>(2)</sup>				
	V <sub>0</sub> -V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub> -V <sub>4</sub>	R <sub>5</sub> -R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>
Test.	-	-	-	-	-
20	0,30	0,14	0,21	0,15	0,05
40	0,30	0,28	0,42	0,30	0,10
60	0,30	0,42	0,63	0,45	0,15
80	0,30	0,56	0,84	0,60	0,20
100	0,30	0,70	1,05	0,75	0,25

<sup>(1)</sup>Porcentagem em relação à lâmina de água recomendada por Doorenbos e Kassan (1979) + precipitação.

<sup>(2)</sup>Fases de desenvolvimento (FERNANDEZ; GEPTS; LOPES, 1986): V<sub>0</sub>-V<sub>2</sub>: germinação – folhas primárias; V<sub>3</sub>-V<sub>4</sub>: primeira folha trifoliolada – terceira folha trifoliolada; R<sub>5</sub>-R<sub>7</sub>: pré-floração – formação de vagens; R<sub>8</sub>: enchimento de vagens; R<sub>9</sub>: maturação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A área total irrigada foi de 0,15 ha, sendo utilizado aspersor da marca Agropolo<sup>®</sup>, com vazão de 2,87 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, raio de alcance de 12 m e pressão de serviço de 2,941x10<sup>5</sup> Pa, instalados a 1 m de altura do solo. Para realizar os seis manejos de irrigação, a área foi dividida em seis blocos de 30 m de comprimento por 8,1 m de largura, espaçados em 12 m. As parcelas foram de 4,05 x 4,5 m, distanciadas uma das outras em 3 m no mesmo bloco. Nelas, estavam contidas as duas subparcelas, contendo os tratamentos de subdoses de glyphosate, em quatro replicações, totalizando 8 unidades experimentais de forma que suas localizações coincidiam com a sobreposição dos jatos de água aplicada pelos aspersores, cuja área útil das unidades experimentais compreendiam três linhas de plantas com 3,0 m de comprimento, correspondendo a 4,05 m<sup>2</sup>.

**Tabela 4.3-** Disponibilidade de água proveniente da precipitação pluvial e irrigação por aspersão durante o ciclo do feijoeiro. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

Lâminas de água <sup>(1)</sup>	Precipitação (mm)	Irrigação (mm)	Total (mm)
L <sub>1</sub>	79,5	0,0	79,5
L <sub>2</sub>	79,5	25,2	104,7
L <sub>3</sub>	79,5	50,4	130,4
L <sub>4</sub>	79,5	75,7	155,2
L <sub>5</sub>	79,5	100,9	180,4
L <sub>6</sub>	79,5	126,1	205,6

<sup>(1)</sup>L<sub>1-6</sub>: coeficiente da cultura (Kc<sub>1-6</sub>) + precipitação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A capacidade de retenção de água no solo foi determinada utilizando-se uma unidade de sucção, segundo Grohmann (1960) na faixa de 0,002 a 0,01 MPa, aparelhos de pressão de placa porosa, recomendados por Richards e Fireman (1943), na faixa de 0,033 a 0,101 MPa, e a membrana de Richards (1947), na faixa de 0,101 a 1,52 MPa.

A capacidade de água disponível (CAD), em mm, foi calculada segundo a expressão:  $CAD = [(CC \times PMP)/100] \times d \times h$ , onde CC é a capacidade de campo (%); PMP é o ponto de murcha permanente (%), d é a densidade do solo (1.250 kg m<sup>-3</sup>); h é a profundidade efetiva do sistema radicular (0,20 m). Assim, a CAD do solo utilizada ficou estabelecida em 14,80 mm.

As irrigações foram realizadas assim que a evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) da cultura atingiu 8,25 mm, ou seja, 45% da CAD. A ET<sub>m</sub> foi estimada pela expressão:  $ET_m = Kc \times ET_o$ , em que: ET<sub>m</sub> = evapotranspiração máxima da cultura (mm.dia<sup>-1</sup>); ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm.dia<sup>-1</sup>) e Kc = coeficiente de cultura. A evapotranspiração de referência foi estimada pela expressão  $ET_o = Kp \times ECA$ , em que ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); ECA = evaporação do tanque classe A (mm dia<sup>-1</sup>) e Kp = coeficiente do tanque classe A.

A evaporação de água (ECA) foi obtida diariamente do tanque classe A instalado no Posto Meteorológico distante 500 m da área experimental. O coeficiente do tanque classe A (Kp) utilizado era o proposto por Doorenbos e Pruitt, (1976) o qual é função da área circundante, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

## 4.2.5 Avaliações realizadas

### 4.2.5.1 População de plantas

Foi avaliada a população de plantas pela da contagem das plantas em 2 linhas da área útil das parcelas no início (fase V<sub>2</sub>) e final (fase R<sub>9</sub>) do desenvolvimento da cultura e os dados foram transformados em plantas ha<sup>-1</sup>.

### 4.2.5.2 Florescimento pleno

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a floração de 50% das plantas das parcelas.

### 4.2.5.3 Massa da matéria seca de plantas

A primeira coleta de material vegetal ocorreu aos 36 DAE, no qual, foram coletadas 10 plantas ao acaso na área de cada parcela, para determinação da massa da matéria seca de plantas. Posteriormente, aos 43 DAE foi realizada nova coleta de material. Em ambas as ocasiões as amostras foram levadas ao laboratório, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e colocadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60 - 70°C, até atingir peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas e os valores convertidos em g planta<sup>-1</sup>.

### 4.2.5.4 Índice de clorofila foliar

A estimativa do teor médio de clorofila foliar foi realizada no campo com a utilização de clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG<sup>®</sup>, modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola<sup>®</sup>), que por meio de sensores, analisa três faixas de frequência de luz e através de relações de absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teores das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar) (FALKER, 2008). Por ocasião do florescimento pleno das plantas do feijoeiro, foram feitas medições no terceiro trifólio contando do ápice para a base, sendo obtidas 4 medições por parcela, em quatro plantas de onde se obteve a média por parcela.

### 4.2.5.5 Altura de plantas

Foram avaliadas tomando-se dez plantas ao acaso na área útil e medindo do colo da planta até o final da haste principal com auxílio de régua milimetrada.

#### 4.2.5.6 *Diâmetro do caule*

Foi mensurado a cinco centímetros da base das plantas da análise anterior com auxílio de um paquímetro.

#### 4.2.5.7 *Altura de inserção de primeira vagem*

Determinado através da coleta de dez plantas ao acaso na área útil de cada parcela, e medindo do colo da planta até a altura de inserção da primeira vagem com auxílio de régua milimetrada.

#### 4.2.5.8 *Componentes de produção*

Por ocasião da colheita foram coletadas 10 plantas em local pré-determinado, na área útil de cada parcela e realizadas as seguintes avaliações:

- Número de vagens planta<sup>-1</sup>: determinado pela relação entre o número total de vagens e o número total de plantas;
- Número de grãos planta<sup>-1</sup>: determinado pela relação entre o número total de grãos e o número total de plantas;
- Número de grãos vagem<sup>-1</sup>: calculado pela relação entre o número total de grãos e do número total de vagens;
- Massa de 100 grãos: determinada pela coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos por parcela, posteriormente a umidade dos grãos foi corrigida para 13% base úmida.

#### 4.2.5.9 *Produtividade*

As plantas da área útil de cada parcela foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol. Após a secagem, as mesmas foram submetidas à trilha mecânica, posteriormente os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha<sup>-1</sup> (13% base úmida).

### **4.2.6 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se o programa SISVAR - Sistema de Análise de Variância (FERREIRA, 2011), e as médias comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05) para doses de glyphosate e regressão polinomial para lâminas de água. Para apresentar as interações significativas foram ajustados modelos de regressão com o auxílio do software Sigmaplot for Windows Version 11.0.



### **4.3 Resultados e discussão**

Os resumos da análise de variância referentes aos caracteres morfológicos avaliados são apresentados nas tabelas a seguir, com os valores de quadrado médio (QM) calculados para as causas de variação, bem como os modelos das equações de regressão gerados para as lâminas e as médias das subdoses de glyphosate quando apresentaram resultados significativos.

#### **4.3.1 População final de plantas, massa da matéria seca e índice de clorofila foliar**

Para a população final de plantas, pela análise de variância observou-se efeito apenas das lâminas de água, conforme se verifica na tabela 4.4. Fica evidente que o conteúdo de água recomendado para a cultura propicia maior competição intraespecífica e faz com que as plantas mais vigorosas sobrevivam, portanto, como registrado na tabela 4.10, a condição de 61% da água recomendada para a cultura foi suficiente para garantir as maiores populações por metro, que ficaram em torno de 10,71 plantas.

A massa da matéria seca do feijoeiro avaliada aos 7 e 14 DAA foi influenciada tanto pelas lâminas de irrigação como pelas subdoses de glyphosate, resultando numa interação significativa entre as fontes de variação (Tabela 4.4).

Ambas as fontes de variação propiciaram diferenças significativas ao ICF que obteve seus maiores resultados estimados na lâmina de 62% da recomendada para a cultura (Tabela 4.10).

Utilizando-se da mesma recomendação hídrica, além de mesma cultura e cultivar, Silva (2014) relatou que incrementos de água até a lâmina recomendada resultaram em acréscimos do ICF do feijoeiro.

**Tabela 4.4-** Resumo da análise de variância de população final de plantas (PF), massa da matéria seca aos 7 dias após a aplicação DAA (MS1) e aos 14 DAA (MS2) e índice de clorofila foliar (ICF) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

FV	GL	----- QUADRADO MÉDIO -----			
		PF	MS1	MS2	ICF
Lâmina (L)	5	3,7833**	18,9208**	80,2500**	219,5333**
Erro a	15	0,4278	0,7542	0,9500	7,4444
Modelo <sup>(1)</sup>		Q**	---	---	Q**
Glyphosate (G)	1	0,7500 <sup>n.s</sup>	3,5208 <sup>n.s</sup>	44,0833**	154,0833**
L x G	5	1,6500 <sup>n.s</sup>	4,8208**	38,3333**	16,9333 <sup>n.s</sup>
Erro b	18	2,2222	0,9375	1,4028	13,3472
CV <sub>a</sub> (%)		6,51	21,60	11,81	6,10
CV <sub>b</sub> (%)		14,85	24,08	14,36	8,17
MG		10,04	4,02	8,25	44,71

\*\* e <sup>n.s</sup> – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; <sup>(1)</sup>Q: equação quadrática.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com os dados da tabela 4.5 observa-se que, aos 7 DAA, as subdoses de glyphosate apenas expressaram diferenças na massa da matéria seca do feijoeiro dentro das lâminas L<sub>3</sub> e L<sub>5</sub>, ao passo que, aos 14 DAA houve diferenças significativas dentro de todas as lâminas na massa da matéria seca pela aplicação do glyphosate.

**Tabela 4.5-** Resumo da análise de variância para o desdobramento de glyphosate dentro de lâmina sobre a massa da matéria seca do feijoeiro aos 7 DAA (MS1) e aos 14 DAA (MS2). Selvíria-MS, Brasil, 2015.

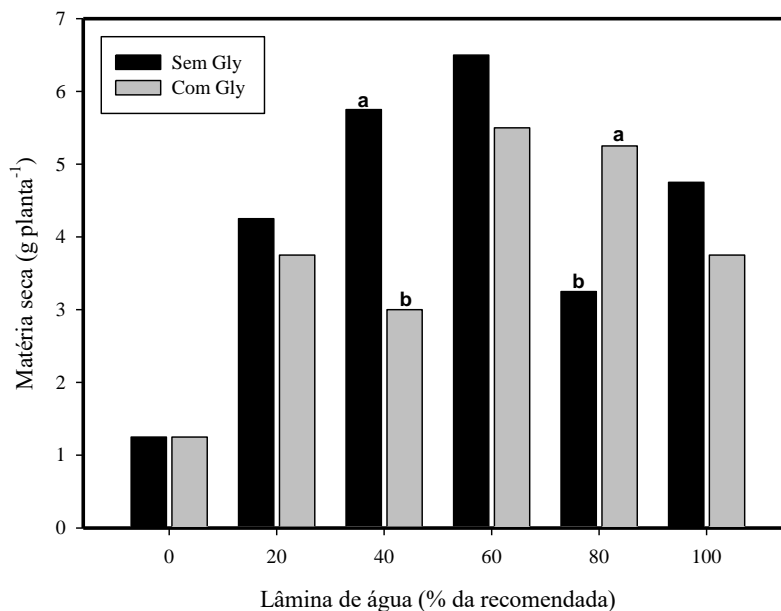
FV	GL	----- QUADRADO MÉDIO -----	
		MS1	MS2
Glyphosate/L <sub>1</sub>	1	0,0000 <sup>n.s</sup>	0,0000 <sup>n.s</sup>
Glyphosate/L <sub>2</sub>	1	0,5000 <sup>n.s</sup>	15,1250 <sup>**</sup>
Glyphosate/L <sub>3</sub>	1	15,1250 <sup>**</sup>	8,0000 <sup>*</sup>
Glyphosate/L <sub>4</sub>	1	2,0000 <sup>n.s</sup>	10,1250 <sup>*</sup>
Glyphosate/L <sub>5</sub>	1	8,0000 <sup>**</sup>	162,0000 <sup>**</sup>
Glyphosate/L <sub>6</sub>	1	2,0000 <sup>n.s</sup>	40,5000 <sup>**</sup>
Resíduo	18	0,9375	1,4028

<sup>n.s</sup>, \* e \*\* – não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em seguida são apresentados os desdobramentos para a massa da matéria seca (MMS) do feijoeiro de acordo com seus respectivos valores médios. Assim, a figura 8 contém os dados de glyphosate dentro de lâmina aos 7 DAA. Nota-se que os resultados da hormese por glyphosate na MMS foram influenciados pelas lâminas de irrigação L<sub>3</sub> e L<sub>5</sub> aos 7 DAA das subdoses, porém, os comportamentos foram contrários, sendo que, com 40% da água recomendada, a MMS do feijoeiro que não foi exposto ao glyphosate era praticamente o dobro da que foi submetida às doses reduzidas do herbicida, já, com 80% da água recomendada, a MMS foi superior em comparação a não aplicação. Estes resultados condizem com os obtidos por Silva (2014) que constatou aumentos na MMS do feijoeiro quando se empregou uma lâmina de água correspondente à 75% da recomendada por Doorenbos e Kassan (1979). Portanto, no presente trabalho pode-se verificar que a variação hídrica influencia de forma direta no comportamento do feijoeiro submetido à hormese por glyphosate.

**Figura 8-** Desdobramento de glyphosate dentro de lâmina sobre a massa da matéria seca aos 7 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.



Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

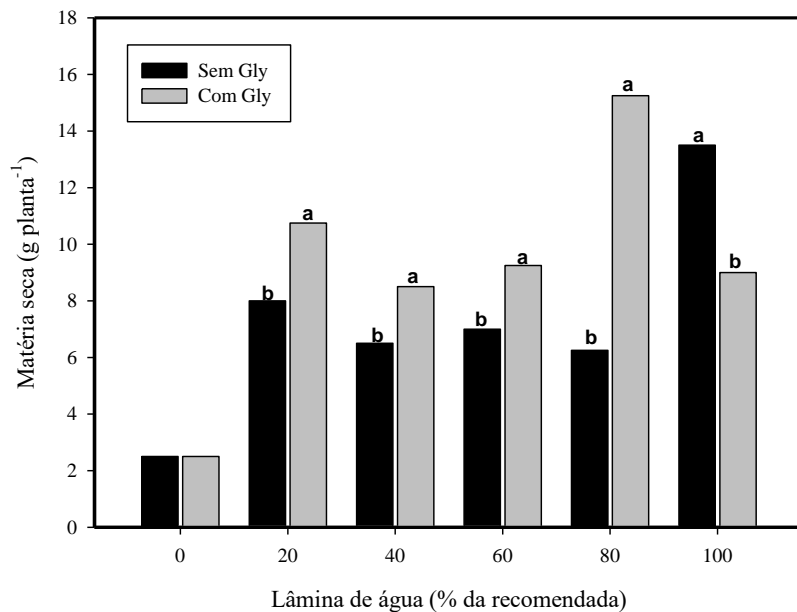
Para reforçar o poder mitigativo da condição hídrica exacerbada sobre o efeito hormético, a figura 9 contém os valores médios de MMS por planta aos 14 DAA do glyphosate e verifica-se que na lâmina recomendada (100%) a tendência de redução na MMS pelo uso do glyphosate se repete àquela apresentada aos 7 DAA (Figura 8), porém, nas demais lâminas de água, pode-se concluir que a hormese se fez presente aos 14 DAA garantindo incrementos na MMS do feijoeiro com diferenças significativas.

Os ganhos em biomassa vegetal por consequência da hormese são muito relatados na literatura, como por exemplos os obtidos por Velini et al. (2006) que trabalharam em casa de vegetação com aplicação de doses de glyphosate variando entre 1,8 e 720 g do e.a. ha<sup>-1</sup> em um total de nove espécies vegetais incluindo soja, eucalipto, pinus, milho, café, citros e trapoeraba, e verificaram que, exceto a soja transgênica resistente ao glyphosate, para a qual não houve resposta, ocorreram estímulos ao crescimento da parte aérea de todas as espécies consideradas quando utilizadas doses inferiores a 36 g do e.a. ha<sup>-1</sup>. Em eucalipto, a dose de apenas 3,6 g do e.a. ha<sup>-1</sup> foi suficiente para estimular o crescimento proporcionando maiores valores de biomassa de parte aérea e maior número de ramos laterais, indicando a menor

dominância apical. Em trapoeraba, a aplicação do glyphosate e em doses compatíveis com recebidas pelas plantas da espécie em aplicações em pós-emergência inicial na cultura da soja, implicou em aumentos na biomassa de até 115%. Para as culturas da soja (convencional) e milho, foram desenvolvidos procedimentos específicos para a análise estatística dos dados, ajustando-se modelos com a previsão de estímulos para baixas doses do herbicida. Os resultados indicaram aumentos máximos da biomassa de parte aérea de 27,81% e 25,46% para as doses de 14,2 e 22,6 g do e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

No algodoeiro, Neves et al. (2009) obtiveram maior ganho de massa de matéria fresca na dose de 8 g do e.a. ha<sup>-1</sup>, com estímulo de 17% em relação à dose 0 g do i.a. ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, em Aveia preta, Tavares et al. (2015) observaram redução na massa da matéria seca a partir da subdose de 50 g e.a. ha<sup>-1</sup> do glyphosate, no entanto, não houve diferença entre as subdoses de 12,5 e 25 g e.a. ha<sup>-1</sup>.

**Figura 9-** Desdobramento de glyphosate dentro de lâmina sobre a massa da matéria seca aos 14 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.



Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

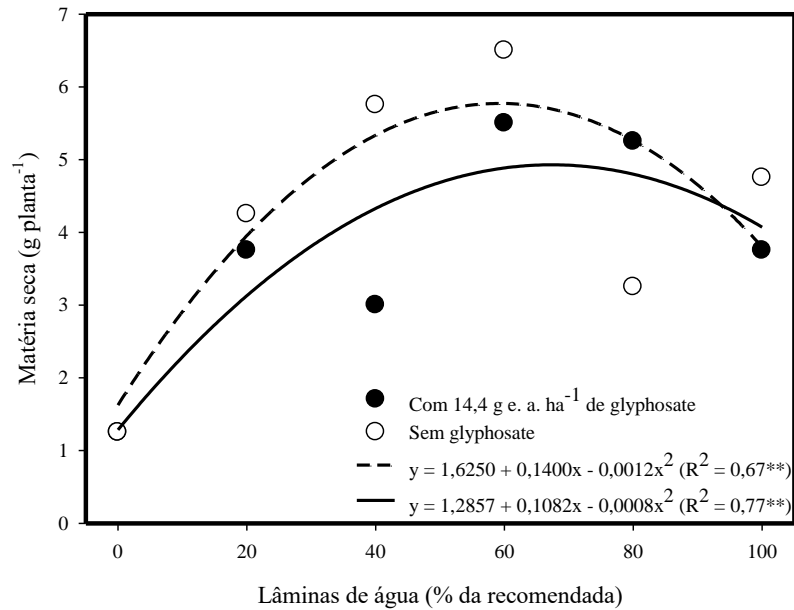
Fonte: Elaboração do próprio autor.

As tendências de incrementos na MMS apontadas na figura 9 concordam com os dados de Nascentes et al., (2015) em que avaliaram os componentes vegetativos da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e observaram que aos 15 DAA de glyphosate na subdose de 10,5 g e.a. ha<sup>-1</sup> houve um acréscimo na massa da matéria seca de 31,8% em relação ao tratamento controle. Além disso, aos 30 DAA, a subdose de glyphosate que acarretou em aumento na matéria seca, foi de 12,62 g e.a ha<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 21,8% em relação à testemunha sem aplicação. Além disso, em outro trabalho, Moraes (2016) testou diferentes subdoses de glyphosate em *Brachiaria decumbens* e verificou aumento nas massas fresca e seca com a dose de 11,25 g e.a. ha<sup>-1</sup>, chegando a atingir ganhos da ordem de 37,90% e 29,97% em relação à testemunha, respectivamente. Apesar disso, mesmo com os benefícios ao crescimento citados anteriormente, a autora destaca que as subdoses de glyphosate não são recomendadas para culturas como estimuladores de crescimento, pois seu efeito pode variar consideravelmente, dependendo de diversos fatores, incluindo climáticos, variedades das plantas, estágio fenológico e formulação do produto (VELINI et al., 2010; BELZ; DUKE, 2014).

Para melhor visualização da influência da disponibilidade hídrica sobre o crescimento do feijoeiro submetido ou não à hormese por glyphosate são apresentadas as figuras 10 e 11 que contém os desdobramentos de lâminas dentro de glyphosate sobre a massa da matéria seca aos 7 e 14 DAA.

Pode-se verificar que aos 7 DAA (Figura 10) a variação das lâminas de irrigação resultou em equações de regressão do tipo quadrática mesmo na ausência da aplicação do herbicida. Entretanto, aos 14 DAA (Figura 11), apesar de os comportamentos serem parecidos aos dos 7 DAA, os dados não se adequaram a nenhuma das equações testadas no presente trabalho.

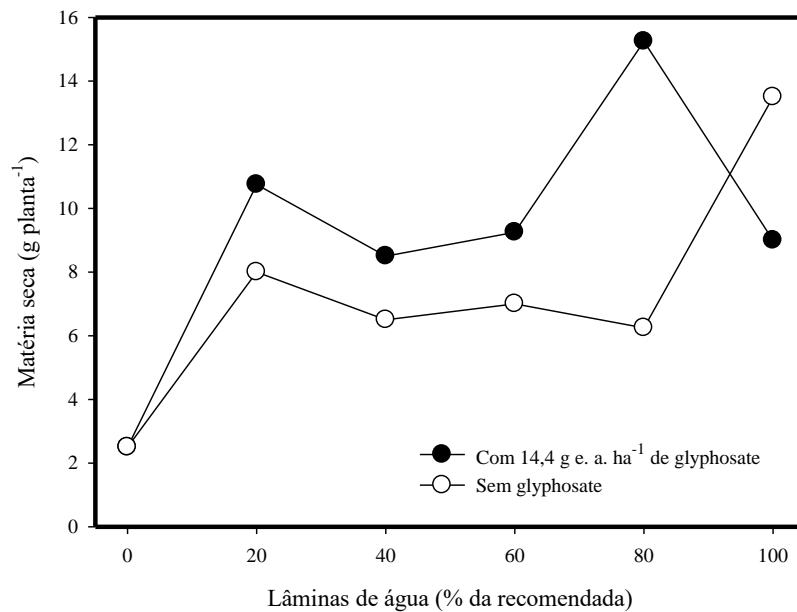
**Figura 10-** Desdobramento de lâmina dentro de glyphosate sobre a massa da matéria seca aos 7 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.



Nota: \*\* - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 11-** Desdobramento de lâmina dentro de glyphosate sobre a massa da matéria seca aos 14 DAA. Selvíria-MS, Brasil, 2015.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação ao glyphosate, os valores médios de ICF são apontados na tabela 4.6 e revelam que a aplicação do herbicida em doses reduzidas foi capaz de reduzir o ICF de 46,50 para 42,92 em média. Diferentemente dos resultados obtidos por Silva (2014), ao qual não observou diferenças no ICF do feijoeiro cv. IPR 139 quando aplicadas subdoses de glyphosate entre 0, 10 e 15 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Assim como Carvalho (2011) que, estudando o efeito de glyphosate em café arábica, verificou que o aumento nas doses de glyphosate não influenciou o teor de clorofila. No entanto, Rosa et al. (2011) também obtiveram reduções significativas nas leituras Spad e de clorofila do algodoeiro submetido à subdoses de glyphosate.

**Tabela 4.6-** Índice de clorofila foliar (ICF) em função da aplicação ou não de 14,4 g do equivalente ácido de glyphosate ha<sup>-1</sup> em cobertura na cultura do feijão. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

<b>Glyphosate</b>	<b>ICF</b>
Com	42,92 b
Sem	46,50 a
DMS	2,21

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### **4.3.2 Altura de plantas, diâmetro do caule e altura de inserção da primeira vagem**

A seguir são apresentados alguns dos componentes vegetativos estudados como a altura de plantas, o diâmetro do caule e a altura de inserção da primeira vagem conforme Tabela 4.7. Nota-se que todos os parâmetros foram influenciados pelas lâminas de irrigação, porém, o glyphosate não influenciou estas características.

No que diz respeito à altura de plantas, de acordo com os dados da Tabela 4.10, os resultados geraram uma equação linear crescente com valor máximo atingido pela maior lâmina de água de 130,32 cm. Portanto, fica evidente a importância da água para a cultura do feijão, assim como seu adequado desenvolvimento e sobre os processos fisiológicos das plantas (NÓBREGA et al., 2001).

O diâmetro do caule seguiu a mesma tendência crescente e linear que se obteve para altura de plantas, tendo valor máximo igual a 6,40 mm quando se aplicou a lâmina recomendada para a cultura (Tabela 4.10).



Os dados de altura de inserção da primeira vagem se comportaram de maneira quadrática, gerando uma curva em formato de “U” ao qual se obteve um valor mínimo de 10,92 cm na lâmina de 41% da recomendada. Estes valores são praticamente a metade dos encontrados por Oliveira et al., (2014) que obtiveram 19,9 cm em média com tratamentos de adubação fosfatada na cultivar IPR – 139.

Por outro lado, as respostas às aplicações do glyphosate em doses reduzidas condizem com as observadas por Silva et al. (2012) que não constataram diferença nesta variável para os dois anos da pesquisa com uso de subdoses de glyphosate variando de 0 a 40 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Assim como Maciel et al. (2009), que avaliaram o uso de subdoses de glyphosate nas concentrações de 0,0; 11,2; 22,5; 45,0; 90,0; 180,0; 360,0 g e.a. ha<sup>-1</sup> em plantas de curauá branco (*Ananas erectifolius*) e concluíram que nenhuma das subdoses estudadas promoveu estímulo ou incremento no desenvolvimento vegetativo das plantas. Já, Silva et al. (2009) encontraram evidências de que o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar pode ser positivamente responsivo à aplicação de subdoses de glyphosate, principalmente com doses em torno de 1,8 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Do mesmo modo, Carbonari, Meschede e Velini (2007) constataram que a subdose de 3,6 g e.a. ha<sup>-1</sup> estimulou o crescimento do eucalipto (*Eucalyptus grandis*), promovendo maior número de ramos laterais.

**Tabela 4.7-** Resumo da análise de variância de altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC) e altura de inserção da primeira vagem (AIV) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

FV	GL	----- QUADRADO MÉDIO -----		
		AP	DC	AIV
Lâmina (L)	5	3120,8333**	3,5708**	13,7375**
Erro a	15	313,0555	0,5486	3,2375
Modelo <sup>(1)</sup>		L**	L**	Q**
Glyphosate (G)	1	24,0833 <sup>n.s</sup>	0,1875 <sup>n.s</sup>	1,0208 <sup>n.s</sup>
L x G	5	416,2333 <sup>n.s</sup>	0,7375 <sup>n.s</sup>	2,3708 <sup>n.s</sup>
Erro b	18	282,2083	0,3125	2,5347
CV <sub>a</sub> (%)		16,45	13,42	14,92
CV <sub>b</sub> (%)		15,62	10,13	13,20
MG		107,54	5,52	12,06

\*\* e <sup>n.s</sup> – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; <sup>(1)</sup> L: equação linear, Q: equação quadrática.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.3.3 Número de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem

Como é possível observar na Tabela 4.8, as lâminas de água influenciaram de maneira significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro os números de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem do feijoeiro, sendo que, todos resultaram em equações do tipo quadrática, com pontos de máxima estimados em 76; 79 e 68% da lâmina de água recomendada à cultura e que foram traduzidos em 12,97 vagens planta<sup>-1</sup>, 58,25 grãos planta<sup>-1</sup> e 4,75 grãos vagem<sup>-1</sup> respectivamente, conforme dados da Tabela 4.10.

Noutro estudo, seguindo esta mesma linha de pesquisa, Silva et al. (2016), avaliaram estas características em duas condições hídricas, uma na lâmina de água recomendada por Doorenbos e Kassan (1979) e outra com 75% da quantidade de água recomendada e verificaram que não houve interferência nos resultados. Assim, no presente estudo, foi possível ampliar a coleta de dados em seis lâminas de irrigação que, por sua vez, puderam se

diferenciar das demais avaliadas e revelaram resultados positivos em lâminas muito próximas à segunda condição testada por Silva et al. (2016).

No que diz respeito ao glyphosate, nota-se que a pesquisa deve contar com experimentos a campo de grandes proporções e com maiores graus de liberdade em todas as fontes de variação estudadas, afinal de contas, neste trabalho, nota-se que foram priorizadas as lâminas de irrigação por acreditar-se que as subdoses do herbicida já estavam definidas ou pelo menos já se estava próximo da dosagem ideal, porém, mais uma vez a hormese revela ser um fenômeno abstrato, que parece se manifestar somente em condições muito específicas que são ainda mais difíceis de obter-se em condições de campo.

Provavelmente por este e outros motivos, constatou-se que a utilização da subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> não foi capaz de gerar diferenças entre os números de vagens planta<sup>-1</sup>, grãos planta<sup>-1</sup> e grãos vagem<sup>-1</sup> da cultivar IPR-139 com a testemunha sem aplicação (Tabela 4.8). Corroborando com os dados de Silva et al. (2016) que obtiveram diferenças na condição de 75% da água recomendada com a subdose de 10 g e.a. ha<sup>-1</sup>, reduzindo significativamente o número de grãos por planta do feijoeiro. Porém, na dose de 15 g e.a. ha<sup>-1</sup>, no qual, é muito próxima a que foi utilizada nesta pesquisa (14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup>), não houve diferenças, independentemente da lâmina de água utilizada. De modo semelhante, Silva et al. (2012) também não registraram diferenças nestes componentes do feijoeiro de acordo com as subdoses de glyphosate testadas (0, 10, 20, 30 e 40 g e.a. ha<sup>-1</sup>), mesmo com maior número de doses avaliadas.

Contradizendo os resultados acima citados, um estudo realizado por Gitti et al. (2011) na cultura do arroz, apontou aumento no número de grãos totais e granados por panícula, no intervalo de subdoses entre 11,6 e 32,0 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, e, com o aumento das subdoses de glyphosate, o número de panículas por m<sup>2</sup> foi elevado, porém, sem influenciar na produtividade do arroz.

**Tabela 4.8-** Resumo da análise de variância do número de vagens por planta (VGP), grãos por planta (GRP) e grãos por vagem (GRV) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

FV	GL	----- QUADRADO MÉDIO -----		
		VGP	GRP	GRV
Lâmina (L)	5	84,0500**	2389,0000**	6,9875**
Erro a	15	3,6389	67,6333	0,7208
Modelo <sup>(1)</sup>		Q**	Q**	Q**
Glyphosate (G)	1	5,3333 <sup>n.s</sup>	1,3333 <sup>n.s</sup>	0,1875 <sup>n.s</sup>
L x G	5	11,1833 <sup>n.s</sup>	106,3333 <sup>n.s</sup>	0,6875 <sup>n.s</sup>
Erro b	18	5,2639	114,4444	0,4375
CV <sub>a</sub> (%)		17,74	18,38	20,90
CV <sub>b</sub> (%)		21,04	23,91	16,28
MG		10,75	44,75	4,06

\*\* e <sup>n.s</sup> – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; <sup>(1)</sup> Q: equação quadrática.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.3.4 Massa de 100 grãos e produtividade de grãos

Sabe-se que o desenvolvimento de novas cultivares têm gerado benefícios à agricultura ao longo dos anos e mais uma vez pode-se confirmar estes dados uma vez que o presente trabalho apresenta resultados que demonstra o melhor aproveitamento hídrico das cultivares mais recentes, como o caso da IPR-139 (Tabela 4.9), em que houve os melhores resultados de massa de 100 grãos e produtividade de grãos nas lâminas de 59 e 66% da recomendada na década de 1970 (Tabela 4.10), o que se expressa, conforme a Tabela 4.3, em aproximadamente 155 mm de água disponibilizados na Lâmina 4.

Quanto aos valores atingidos, a Tabela 4.10 revela que estes ficaram em 24,74 g para 100 grãos e 2751 kg ha<sup>-1</sup> de produtividade, que se mostraram de acordo com as características da cultivar e as médias nacionais para o cultivo de inverno irrigado.

De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm para obtenção de alta produtividade.

Arf et al. (2004) obtiveram produtividade de grãos semelhantes, quando comparadas diferentes lâminas de água na cultura do feijoeiro irrigado, concluindo-se que as menores lâminas de água, conseqüentemente proporcionavam menor custo de produção. Segundo estes autores, solos muito úmidos propiciam condições de má aeração ao sistema radicular, além de aumento da incidência de doenças. Para Moreira et al. (1988), o excesso de água provoca deficiência de oxigênio, levando a uma concentração inadequada desse elemento na planta e redução da atividade microbiana do solo. Os mesmos relatam que o consumo de água do feijoeiro depende do estágio de desenvolvimento, das condições do solo, época de cultivo e das condições climáticas.

**Tabela 4.9-** Resumo da análise de variância da massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PROD) para o feijoeiro irrigado submetido à lâminas de irrigação e subdoses de glyphosate. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

FV	GL	----- QUADRADO MÉDIO -----	
		M100	PROD
Lâmina (L)	5	26,6708**	5247707,8708**
Erro a	15	0,7597	48885,3263
Modelo <sup>(1)</sup>		Q**	Q**
Glyphosate (G)	1	0,5208 <sup>n.s</sup>	7326,0208 <sup>n.s</sup>
L x G	5	1,0708 <sup>n.s</sup>	107717,9708 <sup>n.s</sup>
Erro b	18	0,8681	61050,0903
CV <sub>a</sub> (%)		3,79	10,68
CV <sub>b</sub> (%)		4,05	11,93
MG		23,02	2070,85

\*\* e <sup>n.s</sup> – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; <sup>(1)</sup>Q: equação quadrática.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Apesar da grande variabilidade nos resultados proporcionada pelas lâminas de irrigação, mais uma vez a aplicação de uma subdose de 14,4 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate não foi suficiente para garantir o efeito hormético na massa de 100 grãos e na produtividade do feijoeiro (Tabela 4.9), deixando novamente um ponto de interrogação no que diz respeito à

maneira correta de aplicação e condições ideais para se conseguir os benefícios da hormese em cultivos abertos. Neste sentido, Silva et al. (2013b) trabalhando com a cultura do sorgo granífero cultivar BRS 310, concluíram que o uso de subdoses de glyphosate (0, 15, 30, 45, 60 e 75 g ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido) não proporcionaram variação significativa na massa de 1000 grãos. Por outro lado, Silva (2014) relatou que todos os tratamentos inferiram de maneira significativa a massa de 100 grãos do feijoeiro. Neste trabalho constatou-se que na ausência de N em cobertura, houve redução na massa de 100 grãos em função das subdoses de glyphosate, porém, quando se utilizou 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura, o quadro se inverteu e a presença das doses reduzidas do glyphosate resultou em maiores valores de massa de 100 grãos.

No entanto, Silva et al. (2012) observaram que as maiores subdoses de glyphosate proporcionaram decréscimo significativo na massa de 100 grãos, com os resultados obtidos ajustando-se a uma equação linear decrescente. O mesmo foi verificado por Melhorança Filho et al. (2010), na cultura da soja convencional, indicando que, à medida em que as doses aumentaram (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), ocorreu decréscimo linear na massa de grãos. Já, resultados obtidos por Magalhães et al. (2001), simulando deriva dos herbicidas glyphosate e paraquat, assim como seus efeitos no desenvolvimento das plantas e no rendimento de grãos de sorgo, demonstraram que a massa de 1.000 grãos não foi afetada pelas doses reduzidas dos herbicidas, porém, demonstraram ganhos de aproximadamente 400 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade do sorgo, quando utilizadas subdoses entre 2 e 4% da dose recomendada do produto comercial.

Silva et al. (2012) observaram que a cultivar Juriti, uma linhagem antecessora da cultivar IPR-139, já havia respondido de forma positiva ao glyphosate na subdose de 10 g i.a. ha<sup>-1</sup>, tendo resultados mais expressivos do que as cultivares Pérola e Carioca precoce. Na cultivar Juriti os ganhos foram de 7,5 a 10% em relação à testemunha sem aplicação. Por outro lado, Silva (2014) não obteve respostas neste sentido, sendo que, em geral as subdoses não afetaram a produtividade do feijoeiro. Porém, Cedergreen et al. (2009) obtiveram aumento na produtividade de grãos de cevada (12-15%), com a aplicação de subdoses de glyphosate entre 2,5 e 20 g do e.a. ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 4.10-** Equações de regressão para as características avaliadas em função de diferentes lâminas de irrigação. Selvíria-MS, Brasil, 2015.

Parâmetros	Equação de regressão	R <sup>2</sup>	x máx min <sup>-1</sup>	y máx min <sup>-1</sup>
PF	$y = 9,2500 + 0,0486x - 0,0004x^2$	0,5492**	61 <sup>(1)</sup>	10,7262
ICF	$y = 36,9911 + 0,3843x - 0,0031x^2$	0,6833**	62 <sup>(1)</sup>	48,9013
AP	$y = 84,7559 + 0,4557x$	0,7453**	100 <sup>(1)</sup>	130,3259
DC	$y = 4,6369 + 0,0177x$	0,9803**	100 <sup>(1)</sup>	6,4069
AIV	$y = 12,4554 - 0,0742x + 0,0009x^2$	0,7839**	41 <sup>(2)</sup>	10,9261
VGP	$y = 5,4866 + 0,1973x - 0,0013x^2$	0,8659**	76 <sup>(1)</sup>	12,9726
GRP	$y = 16,4420 + 1,0585x - 0,0067x^2$	0,8830**	79 <sup>(1)</sup>	58,2488
GRV	$y = 2,4598 + 0,0677x - 0,0005x^2$	0,9076**	68 <sup>(1)</sup>	4,7514
M100	$y = 20,2411 + 0,1530x - 0,0013x^2$	0,8031**	59 <sup>(1)</sup>	24,7428
PROD	$y = 662,7232 + 63,0000x - 0,4751x^2$	0,9234**	66 <sup>(1)</sup>	2751,1876

\*\* significativo a 1% de probabilidade de erro; <sup>(1)</sup> x e y máximo estimado; <sup>(2)</sup> x e y mínimo estimado.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.4 Conclusões

- 1) É possível obter ganhos na massa da matéria seca do feijoeiro pelo uso da técnica de hormese com glyphosate em condições hídricas menores do que a recomendada para a cultura.
- 2) A lâmina de água disponível à planta tem grande influência nos componentes vegetativos e produtivos do feijoeiro IPR-139 e as melhores produtividades foram obtidas com lâminas em torno de 66% da recomendada para a cultura.

## REFERÊNCIAS

- AHSAN, N.; LEE, D. G.; LEE, K. W.; ALAM, I.; LEE, S. H.; BAHK, J.D.; LEE, B. H. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 46, n. 12, p. 1062-1070, 2008.
- ALVAREZ, A. C. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. C. F.; PEREIRA, J. C. R. Resposta do feijoeiro a aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 69-75, 2005.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; BULISANI, E.; CATARELLA, H. 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).
- AMRHEIN, N.; DEUS, B.; GEHRKE, P.; STEINRÜCKEN, H. C. The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate: II. Interference of glyphosate with chorismate formation in vivo and in vitro. **Plant Physiology**, Rockville, v. 66, n. 5, p. 830-834, 1980.
- ARF, O. Importância da adubação na qualidade do feijão e caupi. In: SÁ, M. E. de; BUZETTI, S. (Ed.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p. 233- 255.
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E. de; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. do. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 2, p. 131-138, 2004.
- ARF, M. V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; KAPPES, C.; FERREIRA, J. P.; GITTI, D. C. YAMAMOTO, C. J. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 430-438, 2011.
- BALBINO, L. C.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, J. G.; OLIVEIRA, E. F.; OLIVEIRA, I. P. Plantio direto. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 301-352.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação de cobertura do feijoeiro irrigado com ureia fertilizante em plantio direto: um ótimo negócio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 93, p. 1-5, 2001.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 248 p. (Documento, 272). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61388/1/seriedocumentos-272.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.



- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. Azospirillum-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, p. 521-577, 2004.
- BASTOS, A. B.; SIMONI, J. A. Determinação da variação de entalpia da interação entre o herbicida glyphosate e os íons cálcio, cobre, zinco e alumínio em solução aquosa por calorimetria por titulação isotérmica. **Augmdomus**, La Plata, v. 2, p. 60-71, 2010.
- BELZ, R. G. Stimulation versus inhibition – bioactivity of parthenin, a phytochemical from *Parthenium hysterophorus*. **Dose-Response**, Amherst, v. 6, n. 1, p. 80–96, 2008.
- BELZ, R. G.; CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 69, n. 3, p. 293–301, 2010.
- BELZ, R. G.; CEDERGREEN, N.; DUKE, S. O. Herbicide hormesis – can it be useful in crop production? **Weed Research**, Chichester, v. 51, n. 4, p. 321–332, 2011.
- BELZ, R. G.; LEBERLE, C. Low dose responses of different glyphosate formulations on plants. In: GERMAN CONFERENCE ON WEED BIOLOGY AND WEED CONTROL, 25., 2012, Braunschweig. **Conference** [...] Berlin: [s.n.], 2012. p. 13-15.
- BELZ, R.; DUKE, S. Herbicides and plant hormesis. **Pest Management Science**, Malden, v. 70, n. 5, p. 698-707, 2014.
- BRITO, I. P. F. S.; TROPALDI, L.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Hormect effects of glyphosate on plants. **Pest Management Science**, Malden, v. 74, p. 1, 2017. DOI 10.1002/ps.4523.
- BROWN, R.; RUNDLE, S.; HUTCHINSON, T.; WILLIAMS, T.; JONES, M. A copepod life-cycle test and growth model for interpreting the effects of lindane. **Aquatic Toxicology**, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 1-11, 2003.
- BURDMAN, S.; VOLPIN, H.; KIGEL, J.; KAPULNIK, Y.; OKON, Y. Promotion of nod Gene Inducers and Nodulation in Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Roots Inoculated with *Azospirillum brasilense* Cd. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 62, n. 8, p. 3030–3033, 1996.
- BURDMAN, S.; KIGEL, J.; OKON, Y. Effects of *Azospirillum brasilense* on nodulation and growth of Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 516, p. 923-929, 1997.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A.; TUTUS, Y.; OZTURK; L. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **European Journal of Agronomy**, New York, v. 31, n. 3, p. 114-119, 2009.
- CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. **Trends in Pharmacological Sciences**, Bruxelas, v. 23, n. 7, p. 331-337, 2002.

CALABRESE, E. J. Paradigm lost, paradigm found: The re-emergence of hormesis as a fundamental dose response model in the toxicological sciences. **Environmental Pollution**, Barking, v. 138, n. 3, p. 378-411, 2005.

CALABRESE, E. J. The Maturing of Hormesis as a Credible Dose-Response Model. **Dose-Response**, Amherst, v. 1, n. 3, p. 1-25, 2007.

CARBONARI, C.; MESCHEDE, D. K.; VELINE, E. D. Efeitos da aplicação de glyphosate no crescimento inicial de mudas de eucalipto submetidas a dois níveis de adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu. **Anais [...]** Botucatu: FEPAF, 2007. p. 68-70.

CARVALHO, M. A. C.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; SANTOS, N. C. B.; BASSAN, D. A. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamentos e fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 617-624, 2001.

CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 445-450, 2003.

CARVALHO, L. B. de. **Interferência de *digitaria insularis* em *Coffea arabica* e respostas destas espécies ao glyphosate**. 2011, 119 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

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**, Rio de Janeiro, v. 85, n. 2, p. 813-821, 2013.

CASSÁN, F.; SGROY, V.; PERRIG, D.; MASCIARELLI, O.; LUNA, V. Producción de fitohormonas por *Azospirillum* sp. Aspectos fisiológicos y tecnológicos de la promoción del crecimiento vegetal. In: CASSÁN, F. D.; SALAMONE, I. G. de (Ed.). ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 61-86.

CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. Viçosa: UFV, 2006. p. 143-170.

CEDERGREEN, N.; FELBY, C.; PORTER J. R.; STREIBIG, J. C. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 114, n. 1, p. 54-57, 2009.

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

CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. **Científica**, Jaboticabal, v. 10, n. 1, p. 57-61, 1982.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. v. 5, Safra 2017/18 - **Terceiro levantamento**, Brasília, DF, p. 1-130, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>. Acesso em: 15 dez. 2017.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense* -plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum sp.*: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 87-95.

CUNHA, D. A.; TEIXEIRA, I. R.; JESUS, F. F. de; GUIMARÃES, R. T.; TEIXEIRA, G. C. da S. Phosphorus fertilization and yield of common bean and castor in intercropping. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 617-628, 2014.

DALLEY, C. D.; RICHARD Jr., E. P. Herbicides as ripeners for sugarcane. **Weed Science**, Lawrence, v. 58, n. 3, p. 329-333, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 194 p. (Estúdio FAO Riego y Drenage, 24).

DUKE, S. O.; WAUCHOPE R. D.; HOAGLAND R. E.; WILLS, G. D. Influence of glyphosate on uptake and translocation of calcium ion in soybean seedlings. **Weed Research**, Oxford, v. 23, p. 133-139, 1983.

DUKE, S. O.; CEDERGREEN, N.; VELINE, E. D.; BELZ, R. Hormesis and phytotoxins: hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks on Pest Management**, New York, p. 29-33, 2006.

EL-SHAHAWY, F. A.; SHARARA, F. A. A. Hormesis influence of glyphosate in between increasing growth, yield and controlling weeds in faba bean. **Journal of American Science**, New York, v. 7, n. 2, p. 139-144, 2011.

EVANGELISTA, M. L. A.; LIMA JÚNIOR, A. F.; OLIVEIRA, I. P.; BRITO, G. S.; SILVA, M. C.; COSTA, F. R. Avaliação do tempo de germinação de diferentes variedades de feijão carioca cultivada na região do Centro-Oeste do Brasil. **Revista Faculdade Montes Belos (FMB)**, São Luís de Montes Belos, GO, v. 8, n. 5, p. 86-139, 2015.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA. **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola, 2008. 33 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. 2. ed. Piracicaba: Livrocere, 2007. 386 p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B.; PENARIOL, F. G.; EGÉA, M. M.; GASPAROTO, M. G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 307-312, 2006.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, J. P.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; KANEKO, F. H.; NASCIMENTO, V.; SABUNDJIAN, M. T. Inoculação com *Azospirillum brasilense* e nitrogênio em cobertura no trigo em região de Cerrado. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 8, n. 3 p. 27-32, 2014.

FOLEGATTI, M. V.; PAZ, V. P. S.; PEREIRA, A. S.; LIBARDI, V. C. M. Efeito de diferentes níveis de irrigação e de déficit hídrico na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO CHILENO DE ENGENIERIA AGRÍCOLA, 2., 1997, Chillán. **Anais** [...]. Chillán: [s.n.], 1997. Disquete.

FRANZ, J.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate: a unique global herbicide**. Washington: ACS, 1997. 653 p.

FUCHS, M. A.; GEIGER, D. R.; REYNOLDS, T. L.; BOURQUE, J. E. Mechanisms of glyphosate toxicity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti medikus*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Oxford, v. 74, n. 1, p. 27-39, 2002.

GALINDO, F. S.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; BELLOTE, J. L. M.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Efeito de épocas de aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* nos teores de nutrientes do trigo irrigado. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 9, n. 2, p. 37-42, 2015.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Glyphosate: alguns aspectos da utilização do herbicida glyphosate na agricultura**. São Paulo: ACADCOM, 2005. 67 p.

GARCIA, N. F. S. **Culturas antecessoras e inoculação de *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas e feijão de inverno em sucessão inoculado com *Rhizobium tropici***. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

GAZZIERO, D. L. P.; PRETE, C. E. C. Resistência é a questão. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 6, n. 60, p. 22-24, 2004.

GEORGE, A. **Understanding biotechnology: an integrated and cyber-based approach**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2004. 431 p.

GERMAN, M. A.; BURDMAN, S.; OKON, Y.; KIGEL, J. Effects of *Azospirillum brasilense* on root morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under different water regimes. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 32, p. 259-264, 2000.

GITTI, D. C.; ARF, O.; PERON, I. B. G.; PORTUGAL, J. R.; CHAVES, D. C. D.; RODRIGUES, R. A. F. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 500-507, 2011.

GITTI, D. C.; ARF, O.; KANEKO, F. L.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S.; PORTUGAL, J. R.; CHAVES, D. C. D. Inoculação de *Azospirillum brasilense* em cultivares de feijões cultivados no inverno. **Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 36-46, 2012.

GODOY, M. C. **Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fósforo pela soja**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, 2007.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 139-167.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 7, p. 481-488, 1996.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado e São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 18, p. 285-295, 1960.

HALTER, S. História do herbicida agrícola glyphosate. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate**. Botucatu: FEPAF, 2009. p. 11-16.

HASHMI, M. Z.; NAVEEDULLAH; SHEN, H.; ZHU, S.; YU, C.; SHEN, C. Growth, bioluminescence and shoal behavior hormetic responses to inorganic and/or organic chemicals: A review. **Environment International**, Oxford, v. 64, p. 28-39, 2014.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M. S.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Crawley, v. 331, n.1/2, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. Documento, 325.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.

KINYANJUI, P. K.; NJOROGE, D. M.; MAKOKHA, A. O.; CHRISTIAENS, S.; NDAKA, D. S.; HENDRICKX, M. Hydration properties and texture fingerprints of easy-and hard-to-cook bean varieties. **Food Science & Nutrition**, Oxford, v. 3, n. 1, p. 39-47, 2014.

LI, J.; SMEDA, R. J.; SELLERS, B. A.; JOHNSON, W. G. Influence of formulation and glyphosate salt on absorption and translocation in three annual weeds. **Weed Science**, Ithaca, v. 53, p. 153-159, 2005.

LYDON, J.; DUKE, S. O. Glyphosate induction of elevated levels of hydroxybenzoic acids in higher plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 36, n. 4, p. 813-818, 1988.

MACIEL, C. D. G.; VELINI, E. D.; SANTOS, R. F.; VIANA, A. G. P. Crescimento do curauá branco sob efeito de subdoses de glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Jaboticabal, v. 8, n. 1, p. 11-18, 2009.

MALAVOLTA, E. Leguminosas. In: \_\_\_\_\_. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p. 102 -150.

MARÍA, N.; FELIPE, M. R.; FERNÁNDEZ-PASCUAL, M. Alterations induced by glyphosate on lupin photosynthetic apparatus and nodule ultrastructure and some oxygen diffusion related proteins. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 43, n. 10-11, p. 985-996, 2005.

McDONALD, L.; MORGAN, T.; JACKSON, P. The effect of ripeners on the CCS of 47 sugarcane varieties in the burdekin. Proceedings of the 2001. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS HELD AT MACKAY, 2001, Queensland. **Conference** [...] Queensland: [s.n.], 2001. p. 102–108.

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**, Jaboticabal, v. 7, n. 2, p. 53-58, 2008.

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; SILVA, J. R. M. Alteração fisiológica da cana-de-açúcar pela aplicação de glyphosate e sulfometuron-methyl. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 413-419, 2011.

MOLIN, W. T.; HIRASE, K. Effects of surfactants and simulated rainfall on the efficacy of the Engane formulation of glyphosate in Johnson grass, prickly sida and yellow nutsedge. **Weed Biology and Management**, Tokyo, v. 5, p. 123-127, 2005.

MORAES, C. P. **Controle e hormesis de glyphosate em *Brachiaria decumbens***. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MORAES, E. S.; MENELAU, A. S. Análise do mercado de feijão comum. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 26, n. 1, p. 81 – 92, 2017.

MOREIRA, J. A. A.; AZEVEDO, J. A.; STONE, L. F.; CAIXETA, T. J. Irrigação. In: ZIMMERMANN, M. I. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 317-340.

MOUSDALE, D. M., COGGINS, J. R. Amino acid synthesis. In: Kirkwood, R. C. **Target sites for herbicide action**. New York: Premium, 1991. 339 p.

MÜLLER, T.M.; BAZZANEZI, A.N.; VIDAL, V.; TUROK, J.D.N.; RODRIGUES, J.D.; SANDINI, I. E. Inoculação de *Azospirillum brasilense* no Tratamento de Sementes e Sulco de Semeadura na Cultura do Milho. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29, Águas de Lindóia-SP. **Anais** [...]. Campinas: IAC/ABMS, 2012. p. 1665-1671.

NASCENTES, R. F.; FAGAN, E. B.; SOARES, L. H.; OLIVEIRA, C. B.; BRUNELLI, M. C. Hormesis de Glyphosate em *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas, v. 6, p. 55-64, 2015.

NELSON, S. C. **Glyphosate injury to coffee plants**. 5p. Honolulu: University of Hawaii, 2008. (Plant Disease; PD-56).

NEUMANN, G.; KOHLS, S.; LANDSBERG, E.; SOUZA, K. S. O.; YAMADA, T.; ROMHELD, V. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. **Journal of Plant Disease and Protection**, Stuttgart, v. 20, p. 963-970, 2006.

NEVES, D. C.; FURLANI JR. E.; VALTER FILHO, V. V.; Hormese no crescimento do algodoeiro por subdoses de glyphosate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** Campina grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 915-922.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated Azospirillum species can stimulate plants. **Applied and Environment Microbiology**, Washington, v. 6, n. 7, p. 366-370, 1997.

OLIVEIRA, T. C.; SILVA, J.; SANTOS, M. M.; CANCELLIER, E. L.; FIDELIS, R. R. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão em função da adubação fosfatada no sul do estado do Tocantins. **Revista Caatinga**, Rio Grande do Norte, v. 27, n. 1, p. 50-59, 2014.

ÖĞÜT, M.; AKDAĞ, C.; DÜZDEMİR, O.; SAKIN, M. A. Single and double inoculation with Azospirillum/Trichoderma: the effects on dry bean and wheat. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 41, p. 262-272, 2005.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; PEREIRA, G. T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 453-459, 2009.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PLINE-SRNIC, W. Physiological mechanisms of glyphosate resistance. **Weed Technology**, Lawrence, v. 20, n. 2, p. 290-300, 2006.

POSSE, S. C. P. et al. (Coord.). **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira**: 2009–2011. Vitória: Incaper, 2010. 245 p. (Documentos, 191).

PRESTON, C.; WAKELIN, A. M. Resistance to glyphosate from altered herbicide translocation patterns. **Pest Management Science**, Malden, v. 64, n. 4, p. 372-376, 2008.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cook ability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology**, Ottawa, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

PULVER, E. L.; RIES S. K. Action of simazine in increasing plant protein content. **Weed Science**, Ithaca, v. 21, p. 233–237, 1973.

RABELLO, W. S.; MONNERAT, P. H.; CAMPANHARO, M.; ESPINDULA, M. C.; RIBEIRO, G. Growth and phosphorus absorption by common bean 'Xodó' genotype under effect of glyphosate reduced rates. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Jaboticabal, v. 11, n. 2, p. 204-212, 2012.

RABELLO, W. S.; MONNERAT, 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**, Rio Verde, v. 7, n. 1, p. 86 – 94, 2014.

RABELLO, W. S.; MONNERAT, P. H.; CAMPANHARO, M.; RIBEIRO, G.; VASCONCELOS JUNIOR, J. F. S. Produção de massa seca e teores de nutrientes do feijoeiro comum submetido à deriva de glyphosate em duas classes de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 62, n. 4, p. 384-391, 2015.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1983. p. 1-31. (Boletim Técnico, 81).

REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; NANDULA, V. K. Aminomethylphosphonic acid accumulation in plant species treated with glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 6, p. 2125-2130, 2008.

REMANS, R.; RAMAEKERS, L.; SCHELKENS, S.; HERNANDEZ, G.; GARCIA, A.; REYES, J. L.; MENDEZ, N.; TOSCANO, V.; MULLING, M.; GALVEZ, L.; VANDERLEYDEN, J. Effect of Rhizobium–Azospirillum coinoculation on nitrogen fixation and yield of two contrasting *Phaseolus vulgaris* L. genotypes cultivated across different environments in Cuba. **Plant and Soil**. Crawley, v. 312, n. 1, p. 25-37, 2008.

RICHARDS, L. A. Pressure membrane apparatus construction and use. **Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 28, p. 45-454, 1947.

RICHARDS, L. A.; FIREMANN, M. Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 56, p. 395-404, 1943.

RIES, S. K.; CHMIEL, H.; DILLEY, D. R.; FILNER, P. Increase in nitrate reductase activity and protein content of plants treated with simazine. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 58, n. 2, p. 526–532, 1967.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 2005. 591 p.

ROMANINI JUNIOR, A.; ARF, O.; BINOTTI, F. F. S.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; FERNANDES, F. A. Avaliação da inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada no desenvolvimento do feijoeiro, sob sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 74-82, 2007.



- ROSA, C. E.; FURLANI JÚNIOR, E.; FERRARI, S.; LUQUES, A. P. P. G.; FERRARI, J. V.; SANTOS, D. M. A.; VIEIRA, H. S. S.; VERTUAN, L. F. Teores foliares de macronutrientes, índice Spad e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de subdoses de glifosato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 8.; Cotton Expo, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte. **Anais [...]** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 1215-1221. (CD-ROM).
- ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 353-390.
- SANDIFER, R.; HOPKIN, S. Effects of temperature on the relative toxicities of Cd, Cu, Pb and Zn to *Folsomia candida* (Collembola). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Maryland Heights, v. 37, n. 2, p. 125-130, 1997.
- SANTANA, M. J. **Resposta do feijoeiro comum a lâminas e épocas de suspensão da irrigação**. 2007. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2007.
- SANTANA, M. J.; SILVEIRA, A. L.; CAMARGOS, C. R.; BRAGA, J. C. Tensão de água no solo e doses de nitrogênio para a cultura do feijoeiro comum. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 518-532, 2009.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.
- SANTOS, J. B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; COSTA, M. D.; MANABE, A.; SILVA, M. C. S. Action of two herbicides on the microbial activity of soil cultivated with common bean (*Phaseolus vulgaris*) in conventional-till and no-till systems. **Weed Research**, Oxford, v. 46, n. 4, p. 1-6, 2006. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3180.2006.00510.x>. Acesso em: 16 mar. 2016.
- SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, A. A.; FIALHO, C. M. T. Efeito de formulações na absorção e translocação do glyphosate em soja transgênica. **Planta daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 381-388, 2007a.
- SANTOS, L. D. T.; SIQUEIRA, C. H.; BARROS, N. F.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. B.; MACHADO, A. F. L. Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito da deriva do glyphosate. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 13, n. 4, p. 347-352, 2007b.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p. (Mimeogr.).
- SARTORI, M. R. **Technological quality of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) stored under nitrogen**. 1982. PhD. Dissertation. Department of Grain Science and Industry, Kansas State University, Manhattan, 1982.

SHANER, D.; BRIDGES, D. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In: SHANER, D.; BRIDGES, D. **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, 2003. p. 514-529.

SILVA, C. C.; SILVEIRA, P. M. da. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 86-96, 2000.

SILVA, J. C.; ARF, O.; GERLACH, G. A. X.; KURYIAMA, C. S.; RODRIGUES, R. A. F. Efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 295-302, 2012.

SILVA, J. C.; RODRIGUES, R. A. F.; GERLACH, G. A. X.; GONZAGA, D. A.; CORSINI, D. C. D. C.; Análise econômica do efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 182-194, 2013a.

SILVA, J. C.; RODRIGUES, R. A. F.; GERLACH, G. A. X.; LONGUI, W. V.; CORSINI, D. C. D. C. Efeito de subdoses e épocas de aplicação de glyphosate no sorgo granífero BRS 310. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 182-194, 2013b.

SILVA, J. C. **Subdoses de glyphosate, nitrogênio e lâminas de água em feijoeiro de inverno irrigado**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

SILVA, J. C.; GERLACH, G. A. X.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O. The impact of water regimes on hormesis by glyphosate on common bean. **Australian Journal of Crop Science**, Riverhills, v. 10, n. 2, p. 237-243, 2016a.

SILVA, J. C.; GERLACH, G. A. X.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O. Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 115, n. 2, p. 203-211, 2016b.

SILVA, T. R. B.; SORATTO, R. P.; CHIDI, S. N.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do feijoeiro de inverno. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2000.

SILVA, M. A.; ARAGÃO, N. A.; BARBOSA, M. A.; JERONIMO, E. M.; CARLIN, S. D. Efeito hormético de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 973-978, 2009.

SILVEIRA, P. M.; DAMASCENO, M. A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 11, p. 1269-1276, 1993.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro. **Informativo Agropecuario**, Belo Horizonte, v. 17, n. 178, p. 28-34, 1994.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 74-82, 2004.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. In: MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. da Ufla, 2002. p. 305-329.

SORATTO, R. P.; SILVA, T. R. B.; ARF, O.; CARVALHO, M. A. C. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em plantio direto. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 10, n. 1, p. 89-99, 2001.

SOUZA, J. E. B. de. **Co-Inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* no feijoeiro-comum visando aumento de produtividade e redução de custo de produção**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SHANER, D.; BRIDGES, D. **Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis glyphosate**. In: HERBICIDE action course. West Lafayette: Purdue University, 2003. p. 514-529.

STEBBING, A. R. D. Hormesis – the stimulation of growth by low levels of inhibitors. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 22, n. 3, p. 213-234, 1982.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A.; BRAZ, A. J. B. P.; Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 577 – 582, 2006.

STRALIOTTO, R. A importância da inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2002. Disponível em: <http://culturaorganica.blogspot.com/2008/10/importncia-da-inoculao-com-rizbio-na.html>. Acesso em: 02 jun. 2016.

VASANTAHIAH, H. N. K.; KAMBIRANDA, D. **Plants and Environment**. Printed in Croatia, 2011. 284 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer, 2006. 705 p.

TAN, S.; EVANS, R.; SINGH, B. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, Wien, v. 30, n. 2, p. 195-204, 2006.

TAVARES, L. A. F.; SOUSA, S. F. G.; CORREIA, T. P. S.; SILVA, P. R. A.; VELINI, E. D. Hormesis method for increasing oat straw with a view to viability of direct-seeding systems. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 48-53, 2015.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto.

**Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VASANTAHIAH, H. N.K.; KAMBIRANDA, D. **Plants and Environment**. Printed in Croatia, 2011. 284 p.

VELINI, E. D.; ALVES, E.; CORREA, M. R.; CORREA, T. M.; QUEIROZ, C. A. S.; SOUZA, R. T. Sub-dose de Glyphosate estimulam o crescimento de plantas daninhas e cultivadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS DANINHAS, 25., 2006, Brasília. **Resumos** [...]. Brasília: SBCPD, 2006. p. 210.

VELINI, E. D.; ALVES, E.; GODOY, M. C.; MESCHEDÉ, D. K.; SOUZA, R. T.; DUKE, S. O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, Malden, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

VELINI, E. D.; TRINDADE, M. L. B.; BARBERIS, L. R. M.; DUKE, S. O. Growth regulation and other secondary effects of herbicides. **Weed Science**, Ithaca, v. 58, n. 3, p. 351-354, 2010.

VENTURELLI, G. L.; BROD, F. C.; ROSSI, G. B.; ZIMMERMANN, N. F.; OLIVEIRA, J. P.; FARIA, J. C.; ARISI, A. C. A specific endogenous reference for genetically modified common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) DNA quantification by real-time PCR targeting lectin gene. **Molecular Biotechnology**, New York, v. 56, n. 11, p. 1060-1068, 2014.

YADEGARI, M.; RAHMANI, H. A.; NOORMOHAMMADI, G.; AYNEBAND, A. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 33, n. 12, p. 1733-1743, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2010.503776>. Acesso em: 15 jun. 2017.

YOKOYAMA, L. P. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. (Ed.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 249-29.

WAGNER, R. M.; KOGAN, A. M. Phytotoxic activity of root absorbed glyphosate in corn seedlings (*Zea mays* L.). **Weed Biology Management**, Danvers, v. 3, n. 4, p. 228-232, 2003.

WHITE, J. W. Implications of carbon isotope discrimination studies for breeding common bean under water deficits. In: EHLRINGER, J. R.; HALL, A. E.; FARQUHAR, G. D.; SAUGIE, B. (Ed.). **Stable isotopes and plant carbon-water relations**. San Diego: Academic Press, 1993. p. 387-398.



## APÊNDICE – FOTOS DAS PESQUISAS

**Figura 12-** Aspecto geral da área experimental após a colheita do milho anterior a semeadura do feijão para os experimentos apontados nos capítulos 2 e 3. Selvíria - MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 13-** Tratamento de sementes com inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de sementes) e fungicida carboxin + tiram (50 + 50 g do i.a. por 100 kg de sementes). Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 14-** Semeadura mecânica do feijoeiro em Sistema Plantio Direto (SPD). Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 15-** Vista da cultura do feijão em fase de desenvolvimento vegetativo. Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 16-** Subdoses de glyphosate prontas para serem aplicadas no campo. Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 17-** Estádio fenológico do feijoeiro no momento da aplicação do glyphosate. Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 18-** Cultura do feijão em fase de pleno florescimento. Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 19-** Cultura do feijão em fase de enchimento de grãos. Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 20-** Colheita do feijão dos experimentos dos capítulos 2 e 3. Selvíria – MS, 2014.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 21-** Tratamento de sementes com inseticida imidacloprido + tiodicarbe (75 + 225 g do i.a. por 100 kg de sementes) para realização do experimento do Capítulo 4. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 22-** Semeadura mecânica após o preparo convencional da área experimental do Capítulo 4. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 23-** Desenvolvimento do feijoeiro aos 8 dias após a sementeira. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 24-** Sistema de aspersão convencional em operação no campo experimental. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 25-** Controle de plantas daninhas pós-emergentes na cultura do feijão. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 26-** Tanque Classe A instalado na FEPE – Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP de Ilha Solteira, utilizado nas aferições diárias de Evaporação próximos à área experimental. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 27-** Aplicação da subdose de glyphosate no campo. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 28-** Aspecto da cultura do feijão aos 5 dias após o tratamento com glyphosate. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 29-** Cultura do feijão do experimento do Capítulo 4 em fase de florescimento pleno. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.



**Figura 30-** Feijoeiro em fase de enchimento de grãos. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 31-** Vista da área experimental com destaque para as diferentes condições de desenvolvimento da cultura em função das diferentes lâminas de irrigação. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 32-** Vista da área experimental no momento da colheita do feijão no ensaio do Capítulo 4. Selvíria – MS, 2015.



Fonte: Dados do próprio autor.