

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Respostas Fisiológicas do Feijoeiro Comum à Herbicidas**

**Gepatrik Rodrigues Lima**

**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DO FEJJOEIRO COMUM À**  
**HERBICIDAS**

**GEPATRIK RODRIGUES LIMA**

Sob a Orientação do Professor  
**Carlos Pimentel**

e Co-orientação do Professor  
**Aroldo Ferreira Lopes Machado**

Dissertação submetida como Requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Fisiologia da Produção.

Seropédica, RJ  
Fevereiro, 2016

**UFRRJ / Biblioteca Central / Divisão de Processamentos Técnicos**

633.3

L732r

T

Lima, Gepatrick Rodrigues, 1988-  
Respostas fisiológicas do feijoeiro  
comum à herbicidas / Gepatrick Rodrigues  
Lima - 2016.  
38 f.: il.

Orientador: Carlos Pimentel.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de  
Pós-Graduação em Fitotecnia.

Bibliografia: f. 28-38.

1. Feijão - Teses. 2. Feijão - Cultivo  
- Teses. 3. Feijão - Doenças e pragas -  
Teses. 4. Feijão - Fisiologia - Teses. 5.  
Herbicidas - Teses. I. Pimentel, Carlos,  
1955-. II. Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Fitotecnia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**GEPATRIK RODRIGUES LIMA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Fisiologia da Produção.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 29/02/2016

---

Carlos Pimentel (Dr.) UFRRJ  
(Orientador)

---

Jerri Édson Zilli (Dr.) EMBRAPA AGROBIOLOGIA

---

Camila Ferreira de Pinho (Dra.) UFRRJ

### ***Dedico***

Aos meus pais Minervina e Getulio (*in memoriam*), irmãos Herik e Patricia e toda minha família, pessoas fundamentais em minha vida, pelo incentivo, compreensão e amor.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por guiar minha vida e iluminar meus passos.

À minha mãe Minervina pelo incentivo, amor, força e confiança depositados em todos os momentos da minha vida e exemplo de vida para mim.

A meu pai Getulio (*in memoriam*) pelo amor, força, dedicação, educação e esforço prestado em toda a sua vida. Muito obrigado pai.

Aos meus irmãos Patricia e Herik pela compreensão, apoio e amizade prestados em todos os momentos.

As minhas avós Julia (*in memoriam*) e Ana pelo carinho e confiança, pessoas que sempre contribuíram para minha educação e formação.

Ao meu avô Joaquim (*in memoriam*) pelo ensinamento e cuidados prestados em toda minha infância e exemplo de pessoa para mim.

Aos meus primos Leandro, Daiane e Renê pelo companheirismo e incentivo.

A toda minha família pela amizade, amor e união. Muito obrigado a todos.

Aos meus grandes amigos e irmãos de caminhada na Rural, André, Marcelo, Gilmar, Fabio, Dalton, Alessandro, Charlan, Rafael e Alberto, e a todos os amigos rurais, obrigado pela amizade e bons momentos compartilhados.

Aos grandes amigos de Itacarambi, Gleidson, Tarcisio, Angel e Leandro pela amizade desde a infância e parceria na juventude.

As minhas amigas Gil, Katy, Thays, Iasca pela amizade e incentivo.

À minha namorada Jéssica pelo companheirismo, amor e incentivo dedicado e por acreditar em meus objetivos e compartilhar momentos felizes de minha vida.

Ao Padre Paulo pela amizade, força, conselhos e direção espiritual, sempre me orientando na perseverança e fé cristã.

Aos Professores Drs. Carlos Pimentel e Aroldo Ferreira, pela orientação, incentivo e confiança no meu trabalho. Muito obrigado.

Às amigos e Engenheiros Agrônomos David Macedo e Rodrigo Barros e também ao técnico Marcos Paulo pela ajuda, dedicação e empenho na construção deste trabalho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de estudo, que contribuiu para minha formação.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta conquista e contribuíram para realização deste projeto.

## RESUMO

LIMA, Gepatrik Rodrigues. **Respostas fisiológicas do feijoeiro comum a herbicidas**. 2016. 38p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

O trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos da aplicação de herbicidas pós-emergentes na fisiologia da cultura do feijoeiro, utilizando parâmetros de fluorescência de clorofila *a* e a seletividade do herbicida na cultura. O experimento foi conduzido no campo experimental de Fitotecnia, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Os tratamentos constaram das aplicações dos seguintes herbicidas: bentazon ( $720 \text{ g ha}^{-1}$ ), fluazifop-p-butil ( $187,5 \text{ g ha}^{-1}$ ), fluazifop-p-butil + fomesafen ( $187,5 + 250 \text{ g ha}^{-1}$ ), fomesafen ( $250 \text{ g ha}^{-1}$ ) e mais duas testemunhas sem aplicação de herbicida, sendo uma capinada e outra mantida sem capina, no delineamento casualização por bloco, com quatro repetições. Foram avaliadas as variáveis de fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de proteína solúvel foliar e a fitotoxicidade a cultura. O bentazon foi o único que causou reduções significativas no rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), quenching fotoquímico (qP), rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi_{F_{PSII}}$ ) e promoveu incremento no quenching não fotoquímico (NPQ) nos primeiros dias após sua aplicação. O  $F_v/F_m$  foi a variável mais indicada para avaliar efeitos decorrentes da aplicação de herbicidas no aparato fotossintético de plantas no campo. Todos os herbicidas testados não ocasionaram fitotoxicidade elevada e queda no rendimento dos grãos do feijoeiro comum.

**Palavras chave:** Fluorescência da clorofila *a*, fotossistema, fotoinibição.

## ABSTRACT

LIMA, Gepatrik Rodrigues. **Physiological responses of common bean to herbicides**. 2016. 38p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The aim of the study was to evaluate the effects of herbicides applied on post-emergence on common bean cultivation, using chlorophyll a fluorescence parameters and visual evaluation, just after their application. The selectivity of the herbicide in the crop was also evaluated. The experiment was conducted in the crop science experimental field at the Federal Rural University of Rio de Janeiro. The treatments were the following herbicides, bentazon ( $720 \text{ g ha}^{-1}$ ), fluazifop-p-butil ( $187,5 \text{ g ha}^{-1}$ ), fluazifop-p-butil + fomesafen ( $187,5 + 250 \text{ g ha}^{-1}$ ), fomesafen ( $250 \text{ g ha}^{-1}$ ), and two other treatments with or without weeds mechanical control, and the experimental design used was on randomized blocks, with six treatments and three replications. The bentazon was the only herbicide that induced a reduction in the maximum quantum yield of PS II ( $F_v/F_m$ ), in photochemical quenching (qP) and in effective quantum yield of PS II ( $\Phi_{F_{PSII}}$ ), while it promoted an increase in non photochemical quenching (NPQ) in the first day after its application. The  $F_v/F_m$  was the best discriminatory parameter for the evaluation of the effects of the herbicide on photosynthetic apparatus of plants in the field. All the herbicides used did not promote phytotoxicity or bean yield reduction.

**Keywords:** Chlorophyll fluorescence, photosystem, photoinhibition

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1</b>	Dose do produto comercial e ingrediente ativo aplicado nos tratamentos....	11
<b>Tabela 2</b>	Conteúdo de proteínas solúveis nas folhas (CPSF, em mg de proteína solúvel g <sup>-1</sup> de massa fresca foliar) do feijoeiro comum cultivar Carioca.....	24
<b>Tabela 3</b>	Porcentagem de fitotoxicidade aos 7 e 14 dias após aplicação dos produtos.....	25
<b>Tabela 4</b>	Número de vagens.planta <sup>-1</sup> , número de sementes.vagens <sup>-1</sup> , massa de 100 grãos e produtividade do feijoeiro comum cultivar carioca em função dos tratamentos.....	26

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Valores de rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) nos tratamentos, medido na madrugada. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.....15
<b>Figura 2</b>	Valores de rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) dos tratamentos mensurados no período noturno. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação....17
<b>Figura 3</b>	Valores de rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi_{FSII}$ ) dos tratamentos mensurados durante o período experimental. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.....18
<b>Figura 4</b>	Valores de quenching fotoquímico (qP) dos tratamentos mensurados durante o período experimental. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.....18
<b>Figura 5</b>	Valores de quenching não-fotoquímico (NPQ) dos tratamentos mensurados durante o período experimental. O asterisco representa diferença estatística em relação a testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.....19
<b>Figura 6</b>	Valores de $\Delta F_v/F_m$ do dia ( $F_v/F_m$ da noite - $F_v/F_m$ da madrugada) em plantas de feijão submetidas aos tratamentos. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação. ....21
<b>Figura 7</b>	Valores de $\Delta F_v/F_m$ noite ( $F_v/F_m$ da madrugada - $F_v/F_m$ da noite anterior) em plantas de feijão submetidas aos tratamentos. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.....22

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

FSII .....	Fotossistema II
ACCase .....	Acetil Coenzima-A Carboxilase
PROTOX .....	Protoporfirino gênio IX oxidase
CR P 680 .....	Centro de reação P 680
DFFF.....	Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos
EAO.....	Espécies ativas de oxigênio
CR P 700 .....	Centro de reação do fotossistema I
DAA.....	Dias após aplicação
$F_v/F_m$ .....	Rendimento quântico máximo do Fotossistema II
$\Phi_{FSII}$ .....	Rendimento quântico efetivo do Fotossistema II
qP .....	Quenching fotoquímico
NPQ .....	Quenching não fotoquímico

## LISTA DE FOTOS

Foto 1	Área experimental instalada no campo do departamento de fitotecnia da UFRRJ.....	10
Foto 2	Pulverizador costal pressurizado por CO <sub>2</sub> .....	12
Foto 3	Fluorímetro analizador de rendimento da fotossíntese MINI-PAM.....	13

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVO</b> .....	2
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	2
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
4.1 A cultura do feijoeiro.....	3
4.2 Importância econômica e cultivo.....	3
4.3 Controle de plantas daninhas.....	4
4.4 O controle químico de plantas daninhas.....	5
4.5 Herbicidas e a fotoinibição.....	7
4.6 A fotossíntese e a transformação de energia luminosa em energia química.....	7
4.7 A fluorescência da clorofila <i>a</i> e suas aplicações.....	8
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
5.1 Caracterização da Área Experimental e das condições de cultivo.....	10
5.2 Tratamentos, Delineamento e Manejo Cultural.....	11
5.3 Determinação dos teores de proteínas solúveis.....	12
5.4 Análise de fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	12
5.5 Avaliação visual da fitotoxicidade na planta cultivada .....	13
5.6 Componentes de produção.....	14
5.7 Análise estatística.....	14
<b>6 RESULTADO E DISCUSSÃO</b> .....	15
6.1 Análise da fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	15
6.2 Efeitos dos herbicidas associado à fotoinibição.....	20
6.3 Efeitos dos herbicidas na capacidade de recuperação da planta.....	22
6.4 Efeitos dos herbicidas no conteúdo de proteína foliar.....	24
6.5 Fitotoxicidade dos herbicidas utilizados na cultura do feijão.....	25
6.6 Componentes de produção.....	25
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	27
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado como um dos componentes básicos da dieta alimentar brasileira (DE ALMEIDA COSTA et al., 2006; ABREU, 2005), e pode ser considerado como a principal fonte de proteína vegetal para as populações de baixa renda na América Latina (CARDOSO et al., 2012). O cultivo de feijão no Brasil é realizado por diversos tipos de produtores e em diferentes regiões do país, sendo adotados diferentes níveis tecnológicos (AIDAR, 2003). Em relação à produtividade, a competição e interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro são responsáveis por decréscimos significativos na produção e podem afetar o crescimento da planta (TEIXEIRA et al., 2009).

Ecossistemas agrícolas são influenciados por fatores bióticos e abióticos, sendo que a competição entre plantas para a captação de recursos essenciais para seu crescimento (água, luz e nutrientes) é determinante no processo de desenvolvimento e crescimento das culturas (COBUCCI, 2004). Em geral o efeito da interferência no rendimento da cultura, causado pela competição das plantas daninhas com a cultura, depende da capacidade competitiva e da densidade das plantas daninhas na área, mas também da resposta à competição e densidade da cultura presente no ambiente (MELANDER et al., 2005). A queda no rendimento, provocada pela competição entre as culturas e as plantas daninhas, pode ser acompanhada de outros fatores negativos para o processo produtivo, como uma menor qualidade do grão, favorecimento do surgimento de insetos hospedeiros e de patógenos na área, e também pode dificultar o processo de colheita dos grãos (CHRISTOFFOLETI et al., 2005).

O controle de plantas daninhas visa estabelecer práticas que proporcionem a diminuição da infestação e competição dessas plantas com a cultura explorada, para aumentar a produtividade agrícola na área (KARAM et al., 2002). Em geral, culturas de interesse agrônomico apresentam suscetibilidade à competição com as plantas daninhas e, nesse sentido, a utilização de herbicidas tem sido largamente recomendada como uma forma de minimizar esse problema. A adoção do controle químico, como uma ferramenta no manejo integrado de plantas daninhas, pode trazer bons resultados e maior eficácia no controle, sobretudo em grandes áreas cultivadas, ou quando associado a outros métodos de controle, como o mecânico, biológico e cultural em áreas menores (CORRÊA; ALVES, 2010).

O emprego de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão é uma das formas de controle mais utilizadas, principalmente para grandes áreas de cultivo, pois tem grande eficiência de controle, sobretudo em épocas chuvosas, quando o controle mecânico ou manual apresenta uma eficácia bastante reduzida (VIEIRA et al., 1998). Deste modo, um melhor controle da infestação de plantas daninha deve ser realizado, sobretudo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (COBUCCI, 2004). A utilização de herbicidas pós-emergentes na cultura do feijão tem sido uma das formas de controle de plantas daninhas mais utilizadas, devido ao fato de possibilitar verificação da infestação das plantas daninhas presentes na área, e através da observação, escolher o produto e a dosagem adequados (RAMALHO, 2005).

## **2 Objetivos**

Avaliar os efeitos fisiológicos da aplicação de herbicidas pós-emergentes na cultura do feijoeiro.

Avaliar os efeitos da aplicação de herbicidas pós-emergentes no conteúdo de proteína solúvel foliar (CPSF) e na produtividade de grãos.

## **3 Hipóteses**

Os herbicidas recomendados como seletivo para o feijoeiro podem causar alterações fotossintéticas na planta cultivada.

Os efeitos fisiológicos decorrentes da aplicação dos herbicidas seletivos para a cultura do feijoeiro podem ser avaliados pela emissão da fluorescência da clorofila *a*.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 A cultura do feijoeiro

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) teve origem na América, sobretudo na região da mesoamérica e andina, tendo sido levado a Europa após o descobrimento. No continente europeu teve seu uso atribuído a ornamentação (ZIMMERMANN et al., 1988; RIBEIRO et al., 2015). Existem registros arqueológicos de que o feijão teve sua domesticação em 5000 anos a.C., no México e no Peru (GEPTS; DEBOUCK, 1991).

O feijoeiro comum pertence a classe *Dicotyledoneae*, ordem *Rosales*, família *Leguminosae* (*Fabaceae*), sub família *Papilionoideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Phaseolus* L., espécie *Phaseolus vulgaris* L. Atualmente, acredita-se que o feijão comum originou-se em dois centros principais de domesticação e um terceiro de menor expressão. Os centros principais são México e sul dos Andes, sobretudo no norte da Argentina e sul do Peru, e um terceiro centro na Colômbia (SANTOS; GAVILANES, 2006). O gênero *Phaseolus* possui cerca de 55 espécies, dentre essas, cinco são cultivadas; *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray var. *latifolius* Freeman e *P. polyanthus* Greenman (DEBOUCK et al., 1993). Entre as espécies citadas o feijoeiro comum, *Phaseolus vulgaris*, é a mais utilizada e consumida em todo mundo (CRESTANII, et al., 2008). Ele é uma planta que apresenta dois tipos de hábito de crescimento, o determinado e o indeterminado, variando conforme a cultivar. No crescimento determinado, o porte é ereto, com o caule principal terminando em inflorescência, enquanto no crescimento indeterminado o caule não é terminado em inflorescência. A reprodução sexuada do feijoeiro se dá por autofecundação, com apenas 5% de fecundação cruzada (BORÉM & CARNEIRO, 2008).

Dentre os elementos climáticos com maior influência sobre a cultura, pode-se destacar a temperatura, a disponibilidade de água e a radiação solar. Dentre estes, a temperatura é o principal fator para determinar a porcentagem de vingamento das vagens, sendo que temperaturas baixas podem causar abortamento de flores, enquanto altas temperaturas, com baixa umidade associados a ventos fortes, influenciam no pegamento e retenção de vagens (AIDAR et al., 2003). O feijoeiro desenvolve-se bem numa faixa de temperatura que vai de 18 a 30 °C, apresentando problemas na produção fora destes limites (AIDAR et al., 2002). O feijoeiro é considerado também uma planta muito sensível à falta de água, que pode causar redução drástica da produtividade (PIMENTEL et al., 1999).

### 4.2 Importância econômica e cultivo

O feijoeiro comum é a espécie mais cultivada dentre todas as espécies do gênero *Phaseolus*, e o Brasil configura-se como um dos maiores produtores mundiais ao lado da Índia é o seu maior produtor mundial (BARBOSA; GONZAGA, 2012) e, por ser um componente básico da dieta alimentar brasileira, a demanda pelo alimento é bastante elevada no país. O consumo de feijão no Brasil é bastante expressivo e, de acordo com dados do MAPA (2014), a cada dez brasileiros, sete consomem feijão diariamente. O consumo de feijão é incentivado por ações governamentais e também é alvo de programas de pesquisas agrícolas em diversas instituições, sendo cultivados por pequenos, médios e grandes produtores, destacando a sua importância econômica e na alimentação dos brasileiros como fonte de proteínas, devido ao alto teor de proteínas no grão (SILVA; WANDER, 2013).

No Brasil o cultivo da cultura pode ser encontrado em três épocas distintas; feijão de 1ª safra ou feijão das águas, destacando a região Sul do país como o maior produtor, seguido

da região Sudeste, onde esta safra representa 52% da produção total de feijão; feijão de 2ª safra ou safra da seca, alcançando uma representatividade de 38% da produção total, sendo os mesmos estados do Sul e Sudeste os maiores produtores; e feijão de 3ª safra ou safra de inverno, quando se usa a irrigação, representando apenas 15% da produção total (SILVA; WANDER, 2013). O Brasil produziu na safra de 2014/2015, cerca de 3,4 milhões de toneladas de grãos de feijão comum, em uma área de 2,977 milhões de hectares, com produtividade média de 924 kg ha<sup>-1</sup> (MAPA, 2015; CONAB, 2015) Essa produtividade é considerada baixa, apesar de que em lavouras com maior tecnificação, possam ser encontradas produtividades três vezes maiores (SILVA; WANDER, 2013). São muitos os fatores que contribuem para a baixa produtividade das lavouras brasileiras, entre eles a interferência por parte das plantas daninhas na cultura do feijoeiro (TEIXEIRA et al., 2009).

### 4.3 Controle de plantas daninhas

A interferência de plantas daninhas nas culturas agrícolas é um tema bastante estudado em diversas pesquisas envolvendo manejo, morfologia e produtividade da cultura, ou seja, diversos fatores influenciados pelo processo de competição. As pesquisas envolvendo plantas daninhas tem se aprofundado cada vez mais na busca interdisciplinar, envolvendo a química, ecologia, fisiologia, entre outros, para procura entender melhor a biologia das plantas daninhas, a ação dos herbicidas nestas e a forma de se avaliar esta ação (HOLT, 2004). Assim, as abordagens realizadas sobre o assunto vêm ajudando na proposta de modelos estratégicos de manejo de plantas daninhas. Dentre essas abordagens podemos citar o equilíbrio dessas populações, mortalidade, densidade e outros fatores envolvidos na regulação do tamanho das populações destas plantas daninhas e estudos ecofisiológicos relacionados ao desenvolvimento de dosagens de herbicidas, que sejam biologicamente eficazes (MORTENSEN et al., 2000).

As plantas daninhas são resultantes de um dinâmico processo de evolução e adaptação dessas espécies aos ambientes perturbados pelo processo de interferência natural ou humana através da agricultura, sendo esta evolução um processo contínuo, devido aos processos de modernização da agricultura (CHRISTOFFOLETI et al., 1994). Nos ecossistemas agrícolas, os níveis de interferência das plantas daninhas variam de acordo com a cultura, com a população de plantas daninhas e com o local (VILÀ et al., 2004). Além disso, são muitas as espécies de plantas daninhas existentes, havendo uma grande variabilidade em suas estratégias competitivas (WESTON; DUKE, 2003). A obtenção de elevadas produtividades nas culturas é alcançada com a adoção de tecnologias de manejo que possam minimizar os problemas encontrados com a competição durante o cultivo, sendo o controle de plantas daninhas uma prática cultural tão antiga quanto à própria agricultura (EMBRAPA, 2004).

O controle de plantas daninhas é importante no cultivo do feijoeiro, que é uma cultura amplamente encontrada e distribuída nas diversas regiões do país, com diferentes níveis tecnológicos empregados por pequenos, médios e grandes produtores (SILVA; WANDER, 2013). Em consequência dessa variabilidade ambiental, a cultura está suscetível à competição com uma série de espécies de plantas daninhas, que podem comprometer o crescimento e desenvolvimento da cultura. O feijoeiro, por possuir um lento crescimento inicial, tendo um sistema radicular superficial (DOURADO-NETO; FANCELI, 2000), sendo muito sensível aos estresses ambientais (PIMENTEL, 2004), tendo também um ciclo relativamente curto, tornando-se assim uma planta suscetível ao processo de interferência de plantas daninhas, sobretudo nas fases iniciais de desenvolvimento (COBUCCI et al., 1999). Devido essas características, a interferência de plantas daninhas na cultura deve ser evitada já nas primeiras

fases de desenvolvimento. O termo interferência está ligado ao conjunto de pressões ambientais que determinadas culturas sofrem em função da presença de plantas daninhas no agroecossistema (RAMOS; PITELLI, 1994).

Segundo Victoria Filho (1994), o feijoeiro apresenta o seu período crítico de competição entre o 20<sup>o</sup> e 30<sup>o</sup> dias após sua emergência. Kozłowski et al. (2002) concluíram que o período crítico de competição se situa entre os estádios V4 e R6, sendo que para expressar máximos rendimentos, o ideal é que a cultura fique livre do processo de interferência nestes estádios. Este período é conhecido como período crítico de prevenção a interferência sendo a fase em que as práticas de controle devem ser efetivas para prevenir perdas na produtividade das culturas (EVANS et al., 2003). Nesta fase a competição por água, luz e nutrientes tornam-se críticos para a cultura tendo em vista que nestes estádios a fotossíntese do feijoeiro é aumentada para suprir a demanda de fotoassimilados pelos embriões e, assim, qualquer interferência externa, que diminua a fotossíntese da planta nestes estádios terá um efeito significativo na produtividade da cultura (PIMENTEL, 2004).

A competição é a forma mais conhecida da interferência direta de plantas daninhas na cultura, sendo que algumas espécies de plantas daninhas podem influenciar alelopaticamente outras espécies cultivadas. A alelopatia pode ser definida como a liberação de substâncias químicas no ambiente proveniente de um organismo, e nas quais irão interagir com outros organismos presentes neste ambiente podendo inibir ou estimular o seu crescimento e desenvolvimento (RICE, 1984). Em culturas agrícolas podem trazer sérios prejuízos ao desenvolvimento e crescimento. As plantas daninhas também podem ser hospedeiras de pragas e doenças, e também podem prejudicar a colheita dos grãos na fase final (KUVA et al., 2001).

#### **4.4 O controle químico de plantas daninhas**

A utilização e o manejo correto de herbicidas possibilitam controle na infestação de plantas daninhas, com praticidade, permitindo alcançar melhor rendimento de grãos, principalmente em grandes áreas de cultivo (MACHADO et al., 2006). No mundo, já foram desenvolvidas, ao longo dos anos, uma variedade de herbicidas que podem ser utilizados na cultura do feijoeiro (KALSING; VIDAL, 2013).

Os herbicidas podem ser classificados conforme o mecanismo de ação e grupo químico, de suas moléculas. Herbicidas atuam em diferentes pontos de rotas metabólicas, dentre elas, no mecanismo de transferência de energia na fotossíntese da célula vegetal (FEDTKE, 2012). A maioria das moléculas de herbicidas atua principalmente em sítios específicos como inibidores de enzimas envolvidas nas principais vias metabólicas das plantas e apresentam alta afinidade específica, para seus respectivos locais de ação. No total, podem ser contabilizados quinze diferentes mecanismos de ação de herbicidas (DAYAN et al., 2010).

A adoção de controle químico de plantas daninhas na cultura do feijoeiro, além da praticidade e eficácia, é de fundamental importância, sobretudo, para evitar grandes perdas provocadas pela interferência das plantas daninhas, que podem causar reduções na produtividade do feijoeiro em até 90% (KOZŁOWSKI et al., 2002). Dentre os herbicidas recomendados para a cultura do feijoeiro em aplicações de pós-emergência, podemos destacar o fomesafen, bentazon, fluazifop-p-butil e a mistura (fomesafen + fluazifop-p-butil) (SILVA et al., 2013). O fomesafen e o bentazon são recomendados para o controle de plantas daninhas de folhas largas, e o fluazifop-p-butil é um graminicida. A mistura de fomesafen + fluazifop-p-butil é muito utilizada, devido ao fato da mistura proporcionar um bom controle para grande

parte das plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas que ocorre em lavouras de feijão (JAKELAITIS et al 2006; VIEIRA, et al.,1998).

No manejo das plantas daninhas é de fundamental importância o conhecimento dos mecanismos de ação dos herbicidas envolvidos, e através dessa informação dispor de um melhor controle no rodízio dos produtos, que possa trazer segurança e eficácia, além de prevenir a seleção de biótipos de plantas daninhas com resistência a herbicidas. Dentre os mecanismos de ação, os inibidores de Fotossistema II, da enzima Acetil-Coenzima A carboxilase (ACCCase) e os inibidores da enzima Protoporfirinogênio IX oxidase (PROTOX) estão entre os mais utilizados na cultura do feijão (FERREIRA et al., 2005).

No fotossistema II (FS II) os elétrons excitados, pela absorção de radiação luminosa no centro de reação P 680 (CR P 680), são transferidos para uma molécula de feofitina, que posteriormente repassam este para uma quinona ( $Q_A$  ligada a proteína, neste processo a  $Q_A$  transfere esse elétron para uma plastoquinona  $Q_B$ , e na sequência para o complexo citocromo  $b_6f$  (TREBST; DRABER, 2013).

O local de ligação da molécula de diversos herbicidas inibidores do fotossistema II é na proteína, essa proteína é a D-1, chamada também de 32 kDa. O local de acoplamento é o sítio onde se prende a plastoquinona “ $Q_b$ ” e, desse modo, a competição pelos sítios de ligação entre a molécula de herbicida e a quinona transportadora comprometem o fluxo de transporte de elétrons (DUKE, 1990). Existem vários grupos químicos de herbicidas atuando como inibidores dos fotossistemas e que incluem uma série de herbicidas comercializados. Os grupos químicos inibidores de fotossistema são; triazinas, triazinonas, triazolinonas, uracilas, piridazinonas, fenil-carbamatos, uréias, amidas, nitrilas, benzotiadiazinonas, fenil-piridazinas. Dentre os herbicidas inibidores de FSII, o bentazon é um dos mais adotados, sobretudo na cultura do feijoeiro, para o controle de plantas daninhas de folhas largas. A produção de carboidratos em plantas suscetíveis a este herbicida pode ser comprometida, devido ao fato de que aplicações destes produtos levarem a uma redução nas taxas de assimilação e eficiência da fotossíntese (POWLES; YU, 2010). A interrupção do fluxo de transporte de elétrons pela ação da molécula de herbicida leva a formação de moléculas de clorofila no estado de alta energia (clorofila triplet). A formação dessa clorofila ocorre devido ao impedimento da clorofila, no estado de energia simples, não repassar o elétron ao centro de reação P680 (fotossistema II), tornando-se muito carregada e reativa (estado de energia tríplice). O excesso de energia acarreta na peroxidação de lipídios, devido a geração de radical lipídico nos ácidos graxos insaturados da membrana do cloroplasto e através da formação de oxigênio reativo (oxigênio singlete), derivada da reação de clorofila de carga tríplice com oxigênio. Essas reações originam o processo de peroxidação das membranas, resultando em necrose foliar (WELLER, 2003)

Alguns herbicidas podem afetar a síntese de clorofilas, que é inibida a partir do momento em que a ação da enzima protoporfirinogênio IX oxidase (PROTOX) é comprometida (POWLES; YU, 2010). A PROTOX é responsável pela oxidação do protoporfirinogênio para produzir protoporfirina IX, precursor da clorofila e de agrupamentos heme. A inibição da enzima leva a saída de protoporfirinogênio no cloroplasto para o citoplasma, onde é oxidado a protoporfirina IX e em interação com oxigênio na presença de luz formam o oxigênio singlete ( $^1O_2$ ), sendo este responsável pela peroxidação de lipídios nas membranas celulares (BECERRIL; DUKE, 1989; JACOBS; JACOBS, 1993; DUKE et., 1997)). Na cultura do feijoeiro o Fomesafen destaca-se também como um produto bastante utilizado, no manejo das plantas daninhas e faz parte do grupo de herbicidas inibidores da PROTOX. Os primeiros sintomas do Fomesafen são caracterizados por manchas de coloração verde-escuras nas folhas, causando a impressão de encharcamento pelo rompimento da

membrana celular e extravasamento de líquido do citoplasma (SILVA et al., 2007), seguidas por necroses nos tecidos verdes (COBUCCI; MACHADO, 1999).

Os herbicidas inibidores da ACCase também são bastante utilizados na agricultura. Na cultura do feijoeiro o fluazifop-p-butil é um herbicida amplamente conhecido e utilizado no controle de gramíneas. Herbicidas que possuem este mecanismo de ação atuam inibindo a enzima ACCase, que é responsável pela conversão da Acetil Coenzima A (Acetil-CoA) em Malonil Coenzima A (Malonil-CoA), pela adição de uma molécula de CO<sub>2</sub> ao Acetil-CoA (THILL, 2003). Esta é uma reação inicial na rota metabólica de síntese de lipídeos que ocorre nos cloroplastos e plastídios das plantas (SILVA et al., 2007). A estagnação da produção de lipídeos interrompe a formação de novas membranas celulares, paralisando o crescimento em plantas suscetíveis.

#### **4.5 Herbicidas e a fotoinibição**

Em plantas em condições de estresses, associados à altas densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF), muitas vezes um dos primeiros fenômenos a ocorrer é a diminuição da atividade do fotossistema II, o que pode ser facilmente detectada com a fluorescência da clorofila (HIRAKI et al., 2003). Sendo assim mensurações dos valores de fluorescência podem ser uma ferramenta útil para verificação de uma possível ocorrência de estresse em plantas, por exemplo, após aplicações de agroquímicos como os herbicidas ou mesmos em situações de estresses fisiológicos causadores de fotoinibição (ROHACEK, 2002).

Os herbicidas, após serem absorvidos e terem atuado nos respectivos locais primários de ação, podem causar uma série de eventos bioquímicos e fisiológicos nas plantas (DEVINE et al., 1993), e associados simultaneamente a esses eventos, sobretudo nos herbicidas com ação nos fotossistemas, podem causar fotoinibição. A fotoinibição pode ocorrer em todos os organismos capazes de atividade fotossintetizantes e decorrem da redução do potencial fotossintético, e pode ser reversível, e resultantes da exposição excessiva dos organismos ao excesso de luz (LONG et al., 1994; DIAS; MARENCO, 2006). O excesso de luz que chega ao centro de reação do FS II, leva a uma alta produção de NADPH<sub>2</sub>, que associada a uma redução da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> causada por um estresse, vai fazer com que os componentes dos fotossistemas fiquem reduzidos, pelo menor consumo de NADPH<sub>2</sub>, e os elétrons provenientes da fotólise da água ficam livres e são capturados pelo O<sub>2</sub> formando as espécies ativas de oxigênio (EAO), que podem sua inativação dos fotossistemas e outras reações dependentes das membranas, promover danos reversíveis ou até mesmo sua destruição (LONG et al., 1994; POKORSKA et al., 2009).

#### **4.6 A fotossíntese e a transformação de energia luminosa em energia química**

Os pigmentos responsáveis pela absorção dos fótons de luz estão localizados nas membranas dos tilacóides, estes por sua vez, localizam se em organelas chamadas cloroplasto. A energia que foi absorvida pelas moléculas de clorofila nos cloroplastos pode ser usada em três processos diferentes: a energia dos fótons absorvidos pode se transformar em energia química (produção de ATP e NADPH<sub>2</sub>), a ser utilizada no processo de fotossíntese, pode também o excesso dessa energia ser dissipada na forma de calor e a terceira forma pode ser emitida na forma de fluorescência (comprimento de onda superior ao da luz vermelha), sendo esta emissão proporcional à energia usada para a fotossíntese (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Quando a clorofila absorve a luz ela sai de um estado fundamental de energia para um estado excitado e o retorno do estado de excitação para o estado fundamental ocorre quando a

energia de excitação é repassada para outros pigmentos até atingir o CR P 680, para suprir as reações fotoquímicas, ou ser dissipada na forma de calor ou reemitida como fluorescência (MULLER et al, 2001)

Em condições ambientais adequadas a fluorescência da clorofila *a* é originada, sobretudo, no fotossistema II (KRAUSE; WEIS, 1991). A radiação solar, que é absorvida pelos pigmentos, servirá para iniciar uma série de processos de transferência de elétrons através da membrana dos tilacóides, e a energia potencial resultante da passagem dos elétrons através dos fotossistemas, ativando a ATPase, serve para movimentar prótons através da ATPase na membrana tilacóide, gerando assim um gradiente potencial de prótons entre o lúmen do tilacóide e o estroma do cloroplasto, mantendo um pH básico no estroma, essencial para a atividade da Ribulose-1,5-Bisfosfato Carboxilase/ Oxigenase, a Rubisco (GUST et al, 2001).

Para o funcionamento da etapa fotoquímica e absorção da luz existem um sistema coletor composto por mais de 200 moléculas de clorofilas associadas a proteínas, que transferem a energia absorvida para o centro de reação do FS II, onde se encontra a molécula de clorofila *a* (P 680), que torna-se excitada, ao receber a energia proveniente do complexo antena (CAMPOSTRINI, 1998). A molécula de clorofila do CR P 680, por sua vez, transfere esse elétron para uma molécula aceptora e, neste momento, podemos entender que a energia absorvida será utilizada em uma série de reações químicas secundárias de transferência de elétrons, descritas acima, sendo que para repor o elétron doado pela molécula de clorofila *a* no FS II, ocorre a oxidação da molécula de água que repõe o elétron do centro de reação (TAIZ; ZEIGER, 2006). Os aceptores que recebem os elétrons do P<sub>680</sub> são compostos por molécula de feofitina e quinonas Q<sub>A</sub> e Q<sub>B</sub> que são os primeiros a receberem os elétrons doados pelo CR P 680 (VASS, 2012). As quinonas Q<sub>A</sub> e Q<sub>B</sub>, por sua vez, repassam este elétron para o complexo citocromo b<sub>6</sub>f que posteriormente repassa para uma plastocianina que faz a ligação do elétron ao centro de reação do fotossistema I (CR P 700). O fluxo através do complexo citocromo gera um potencial eletroquímico originado pela diferença na concentração de H<sup>+</sup> entre o lúmen e o estroma. No CR P 700 os elétrons excitados são transferidos para uma molécula de ferredoxina, uma proteína ferro-sulforosa hidrossolúvel, que quando associada a uma flavoproteína e a enzima NADP redutase, reduz o NADP<sup>+</sup> a NADPH<sub>2</sub>. Este NADPH<sub>2</sub> será utilizado como poder redutor nas reações de fixação e assimilação de carbono no ciclo de Calvin (TAIZ; ZEIGER, 2006).

#### **4.7 A fluorescência da clorofila *a* e suas aplicações**

A utilização de análise de emissão de fluorescência pela clorofila *a*, como metodologia para avaliação de desempenho energético da fotossíntese, já é uma técnica bastante conhecida e utilizada em diversas áreas trabalho. Os estudos realizados e o melhor entendimento da relação entre os parâmetros relacionados à fluorescência e o mecanismo de transporte de elétrons, associados ao desenvolvimento e disponibilidade comercial de fluorômetro portáteis de baixo custo e rápida mensuração, favoreceu o uso desta metodologia em avaliações de plantas (BAKER, 2008).

Schreiber et al. (2000) descrevem a fluorescência como uma luz emitida com um ponto máximo de emissão na faixa de 682 nm, apresentando um ponto de menor emissão na faixa de 740 nm, sendo que estes efeitos foram descritos em condições ambientais adequados de temperatura. Apesar da proporção de fluorescência da clorofila ser quantitativamente pequena (apenas 1 a 2% da luz absorvida), ela é proporcional à energia química usada na fotossíntese, e sua medição é relativamente fácil e rápida, sendo o rendimento da

fluorescência emitida por folhas expostas à luz, com comprimento de onda definido (MAXWEEL; JOHNSON, 2000).

Durante a indução da fotossíntese em folhas, que estavam protegidas da luz e localizadas em ambiente escuro e com posterior exposição destas em ambientes iluminados percebe-se mudanças na emissão de fluorescência da clorofila (BAKER; ROSENQVIST, 2004). A indução da fluorescência possui diferentes níveis e características de fases distintas. O primeiro nível observado denominado de  $F_0$  denota a fluorescência mínima constante e pode ser obtido a partir de aplicação de um flash de luz de alta intensidade, suficiente para excitar todas as moléculas de clorofila. Neste momento os centros de reação estão abertos, pois a planta foi adaptada ao escuro, e  $F_0$  representa a energia de excitação das moléculas de clorofila mínima, antes desta energia ser repassada para os aceptores, que estão em estado oxidado. Assim, o rendimento da fluorescência inicial é independente de atividade fotossintética. Após ser caracterizado o valor de  $F_0$ , a emissão de fluorescência é incrementada, pelo flash de luz intensa, até atingir um valor máximo denominado  $F_m$ , onde a emissão de fluorescência passa por níveis intermediários, chamados T e D, até atingir a fluorescência máxima  $F_m$  (SCHREIBER et al. 2000). Quando os centros de reação e os compostos  $Q_A$  e  $Q_B$  encontram-se reduzidos (diz-se que os fotossistemas estão “fechados”, para receber os elétrons da fotólise da água), a eficiência fotoquímica entra em declínio (MAXWEEL; JOHNSON, 2000). A emissão de fluorescência, quando atinge seu nível máximo,  $F_m$ , denominado na chamada curva de Kautsky de ponto P, passa a declinar para um valor estacionário S. A queda da fluorescência e o posterior estado estacionário podem estar relacionados a reoxidação dos centros de reação das  $Q_A$  em função da maior atividade fotossintética e aumento da atividade do fotossistema I, ou seja, o fluxo contínuo de elétrons entre o fotossistema II e fotossistema I começa a ser restabelecido (KRAUSE; WEIS, 1984). Assim sendo, a mensuração de variáveis fotossintéticas, a partir de técnicas de medição da fluorescência emitida pela clorofila *a* permitiu um melhor entendimento dos processos fotoquímicos e não fotoquímicos nos cloroplastos (ROHÁCEK, 2002). O desenvolvimento da instrumentação e medição da fluorescência da clorofila *a* tem contribuído nas avaliações de plantas, por não ser um método invasivo e de fácil mensuração de variáveis relacionadas ao desempenho fisiológico da planta (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

Diversos estudos vêm sendo realizados avaliando a influencia de estresses bióticos e abióticos no mecanismo fotossintético das plantas. A utilização das análises envolvendo fluorescência podem ser utilizadas, por exemplo, em plantas submetidas a ação de fitopatógenos (RIBEIRO et al., 2003; COSTA et al, 2009), condições de estresse por falta de água (LIMA et al., 2002), salinidade ou temperaturas acima ou abaixo da ideal (ZANANDREA et al., 2006), fitotoxicidade causada por produtos químicos (CATUNDA et al., 2005; GIROTTO et ., 2010), influencia de sombreamento, competição entre plantas, ou seja, uma série de situações, que as plantas podem ser submetidas (MAXWEEL; JOHNSON, 2000).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Caracterização da Área Experimental e das condições de cultivo

Um experimento foi instalado na área do Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, a 22°45' S, 43°41' W e 40 m de altitude (Foto1). O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com verão quente e chuvoso e inverno seco. O período experimental compreendeu entre os meses de abril a julho de 2015. O tipo de solo da área experimental é um Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006). A análise química do solo apresentou as características: pH em água 5,4; 2,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al; 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup> Al; 4,7 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível; 135 mg dm<sup>-3</sup> de K disponível; e 71% de saturação de bases (V%). A precipitação total e as temperaturas médias da máxima e da mínima foram 114 mm, 28,4 e 18,3 respectivamente. Antes da implantação da cultura foi feito o preparo do solo que consistiu em uma aração e gradagem leve, e seguida pela abertura do sulco mecanicamente. A semeadura foi realizada no dia 13 de abril de 2015 e consistiu no semeio de 15 sementes por metro linear. Após a germinação foi feito o desbaste das plantas para obtenção de 12 plantas por metro linear, e totalizando um estande de 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foi realizada adubação de plantio com 20 Kg ha<sup>-1</sup> de N, 90 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e uma adubação de cobertura aos 25 dias após semeadura com 40 Kg ha<sup>-1</sup> de N, segundo as recomendações de Vieira et al. (1998). Sempre que necessário foi realizada a irrigação via aspersão convencional.



**Foto 1** Área experimental instalada no campo do departamento de fitotecnia da UFRRJ.

## 5.2 Tratamentos, Delineamento Experimental e Manejo Cultural

Para o plantio foi utilizada a cultivar de feijoeiro comum carioca. As parcelas foram constituídas de cinco linhas de cinco metros de comprimento e espaçadas em 0,5 metros, totalizando uma área de 10 m<sup>2</sup> por parcela. Os tratamentos constaram das aplicações em pós-emergência dos seguintes herbicidas: Bentazon, Fluazifop-p-butil, Fluazifop-p-butil + Fomesafen e Fomesafen e mais duas testemunhas sem aplicação de herbicida, sendo uma capinada e outra testemunha mantida sem capina (Tabela 1). Foi utilizado o delineamento de casualização por bloco, com quatro repetições.

Para a aplicação dos herbicidas, foi utilizado um pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> (Herbicat, Brasil) (Foto 2), munido de barra com quatro pontas de pulverização tipo leque, modelo TT 110.02 operando a pressão constante de 20 PSI e aplicado o volume de calda de 192 Litros ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 1** Dose do produto comercial e ingrediente ativo aplicado nos tratamentos.

<b>Tratamento</b>	<b>Dose do produto comercial em litros ha<sup>-1</sup></b>	<b>Dose de ingrediente ativo em gramas ha<sup>-1</sup></b>
<b>Testemunha capinada</b>	-	-
<b>Testemunha sem capina</b>	-	-
<b>Bentazon</b>	1,2 ( Basagran 600)	720
<b>Fomesafen</b>	1,0 (Flex)	250
<b>Fluazifop-p-butil</b>	0,75 (Fusilade 250 EW)	187,5
<b>Fomesafen + Fluazifop</b>	1,0 (Flex) + 0,75 (Fusilade)	250 + 187,5



**Foto 2.** Pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub>

### **5.3 Determinação dos teores de proteínas solúveis**

A coleta de amostras de folhas para determinação do conteúdo de proteína solúvel foliar (CPSF) foi realizada um dia antes da aplicação dos herbicidas, e aos 2, 5, 7, 14, 21, 28 dias após aplicação dos herbicidas (DAA). Foi coletado um dos folíolos laterais da folha mais jovem totalmente expandida de três plantas por parcela. A amostra coletada foi imediatamente envolvido em papel alumínio e imerso em nitrogênio líquido, sendo levadas para o laboratório para as dosagens por colorimetria com Espectrofotômetro Spectronic 20, (Milton Roy, Estados Unidos). Nestas amostras, foram determinados os teores de proteína (CPSF, em mg de proteína solúvel g<sup>-1</sup> de massa fresca foliar), segundo a metodologia proposta por Bradford (1976).

### **5.4 Análise de fluorescência da clorofila *a***

No dia da pulverização, e seis dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) e aos 14, 21, e 28 DAA foram avaliadas variáveis de fluorescência com a finalidade de acompanhar a absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo aparato fotossintético das plantas. As análises foram realizadas com um fluorímetro analizador de rendimento quântico da fotossíntese, o MINI-PAM (Walz, Alemanha) (Foto 3). Os horários das medições foram às 5h (antes do amanhecer), às 10h e 19h (à noite) horas. Para as medidas adaptadas ao escuro, feitas às 5h e 19h, como proposto por Pimentel et al. (2005), foi avaliada a diferença entre estes valores, para análise da intensidade da fotoinibição, ocorrida ao longo do dia, e da capacidade de recuperação, ao longo da noite. Foram medidas as fluorescência máxima (F<sub>m</sub>) e mínima (F<sub>o</sub>) obtidos em adaptação ao escuro (medidas pela madrugada e a noite), e também durante período adaptado a luz sendo obtidas a fluorescência estacionária (F<sub>s</sub>), máxima (F<sub>m</sub>' )

e mínima ( $F_0'$ ). O  $F_0$  foi medido em folhas após sua adaptação ao escuro, quando sob uma iluminação fraca e modulada ( $<0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e o  $F_m$  é medido com um pulso de saturação luminosa ( $18000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) com duração de 3s, como descrito por Schreiber et al. (1994). Assim o rendimento da fluorescência variável foi determinada ( $F_v = F_m - F_0$ ) adaptadas ao escuro e também adaptada a luz ( $\Delta F = F_m' - F_s$ ). As variáveis analisadas foram: rendimento quântico máximo do FS II ( $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ ); rendimento quântico efetivo do FS II ( $\Phi_{FSII} = (F_m' - F)/F_m'$ ); quenching fotoquímico ( $qP = (F_m' - F)/(F_m' - F_0)$ ); quenching não fotoquímico ( $qN = (F_m - F_m')/(F_m - F_0)$ ); quenching não fotoquímico ( $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$ ), como proposto por Bilger e Björkman (1990), e taxa de transporte de elétrons ( $ETR = \Phi_{IIe} \times DFFF \times 0,84 \times 0,50$ ) (SCHREIBER et al., 1994; CAMPOSTRINI, 1998) visto que as outras variáveis da fluorescência da clorofila *a* variaram muito em função das oscilações da Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) no campo. Através da mensuração da DFFF nos dias de análise de fluorescência foi possível obter a amplitude das medidas durante o período onde se obteve; 280-450, 450-1009, 190-660, 1125-1508, 1220-1475, 635-779, 282-1469, 1150-1330, 1100-1330  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  para os dias 0,1,2,3,4,5,6,14 e 21 respectivamente. A temperatura no horário do início das leituras foram; 19,9, 19,2, 17,7, 19,6, 22,4, 22,6, 22,1, 20,9, 22,2°C para os dias 0,1,2,3,4,5,6,14 e 21 respectivamente.



**Foto 3** Fluorímetro analizador de rendimento da fotossíntese MINI-PAM.

### 5.5 Avaliação visual da fitotoxicidade na planta cultivada

Aos 7 e 14 DAA, avaliou-se, visualmente, a porcentagem de fitotoxicidade das plantas de feijão causada pelos herbicidas em relação ao controle sem herbicida. Para isso, notas foram atribuídas que variavam entre 0 e 100%, onde 0% corresponde à ausência de sintomas visíveis e 100% à morte das plantas (FRANS, 1972).

## **5.6 Componentes de produção**

Na maturação fisiológica foram coletadas todas as plantas das duas linhas centrais de cada parcela, desprezando-se o meio metro final de cada extremidade, para determinação da produtividade e massa de 100 grãos. Destas plantas coletadas foram retiradas aleatoriamente dez plantas para quantificação do número de vagens por planta e número de grãos por planta. Os dados de produtividade foram posteriormente corrigidos para 13% de umidade nos grãos.

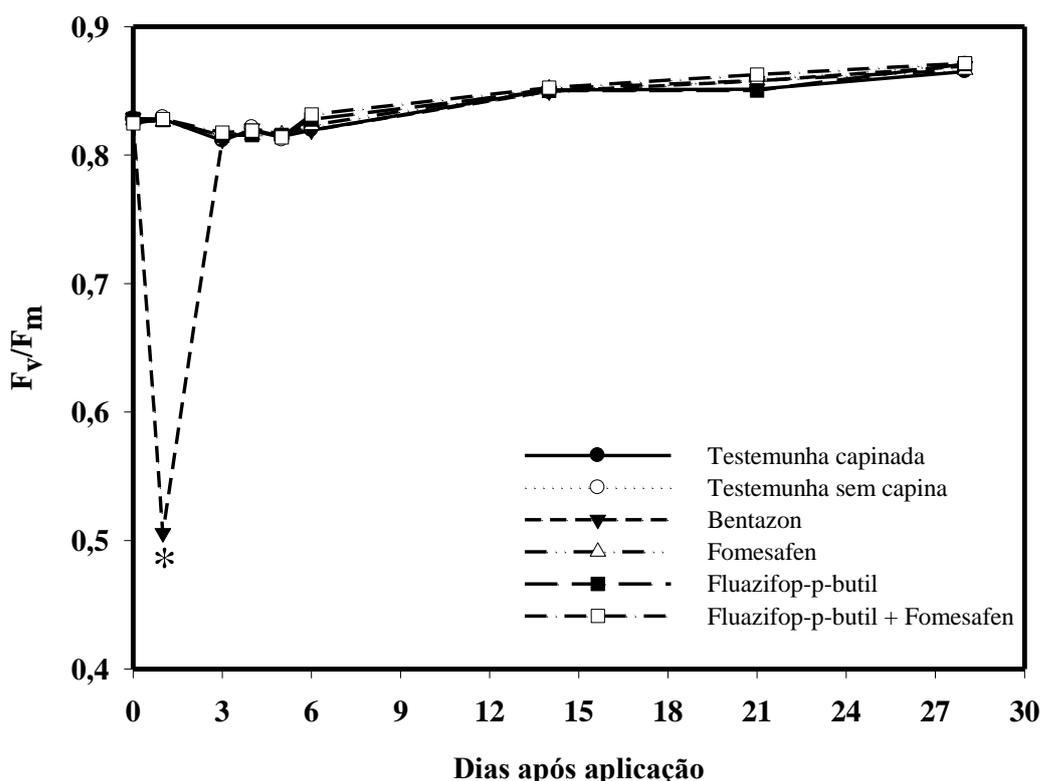
## **5.7 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando detectada significância entre tratamentos, a comparação entre as médias foi feita pelo teste de Student Newman Keuls ( $p < 0,05$ ). O software utilizado foi o Sisvar 5.1 Build 72 (Ferreira, 2011), que é distribuído gratuitamente pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

## 6 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise da fluorescência da clorofila *a*

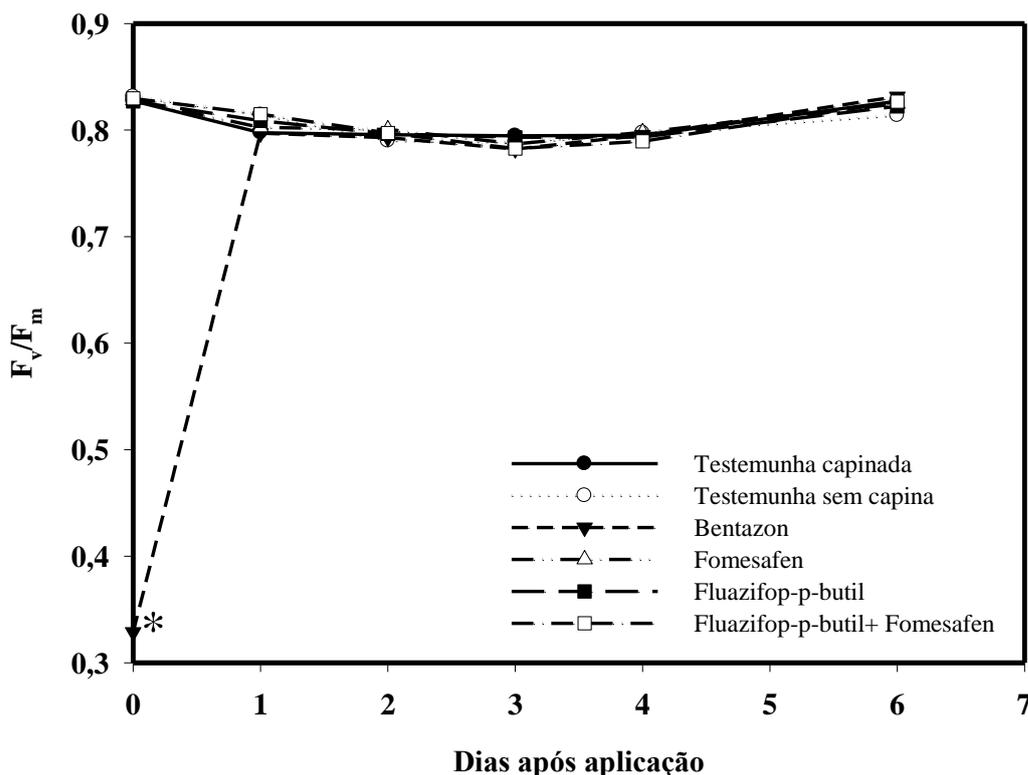
Os dados de  $F_v/F_m$  foram obtidos em medições adaptadas ao escuro realizadas às 5h horas e ao final do dia, as 19h, com pelo menos meia hora após o cessar do período luminoso (Pimentel et al., 2005). Estas medidas também foram usadas para avaliar o efeito do estresse na variável, ao longo do dia, com a fotoinibição, e durante a noite, com a recuperação da fotoinibição. Nas análises realizadas nesses períodos, a planta se encontra fotoquimicamente inativa, e neste caso, o fluxo de transporte de elétrons pela membrana está estagnado, e as quinonas aceptoras de elétrons se encontram num estado oxidado, fazendo com que as moléculas de clorofila, da antena de captação de energia, e componentes dos fotossistemas apresentem seu potencial máximo de absorver fótons, naquelas condições (ROHACEK, 2002). A avaliação do  $F_v/F_m$  é utilizada como indicadora sensível do desempenho fotossintético nas plantas frente estresse bióticos e abióticos (MAXWELL & JOHNSON, 2000; PIMENTEL et al., 2005). As primeiras avaliações da variável  $F_v/F_m$ , feitas no 0 DAA (Figura 1), foram realizadas no início do dia, portanto, sem o efeito da luminosidade e com todas as plantas adaptadas ao escuro e ainda isentas da ação dos herbicidas.



**Figura 1** Valores de rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) nos tratamentos, medido na madrugada. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.

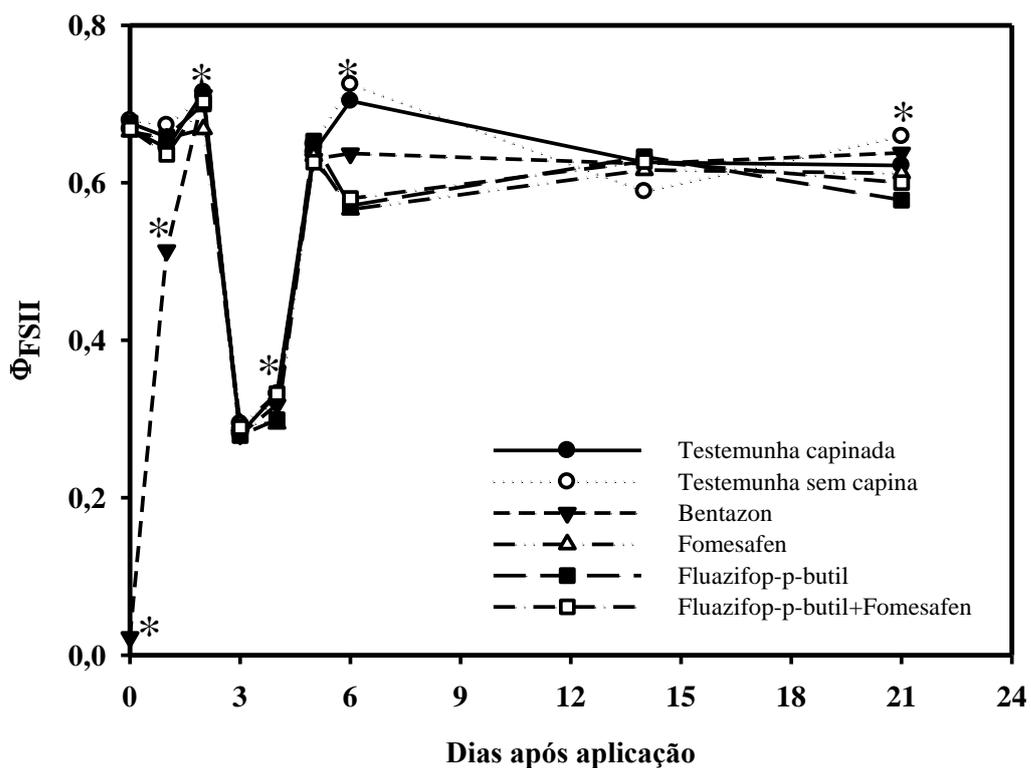
Não houve variações significativas nos valores de  $F_v/F_m$  em todas as leituras realizadas ao longo do tempo após a aplicação dos herbicidas, a parte o tratamento com o Bentazon, que reduziu drasticamente o valor de  $F_v/F_m$  no 1º DAA (Figura 1). Contudo, nos dias posteriores de análise pela madrugada, não mais foram quantificadas diferenças, entre plantas nas diferentes parcelas destinadas a aplicação de herbicidas e aquelas destinadas a testemunha, e todas apresentaram um valor de 0,827 como média geral das leituras (0 DAA). Os valores obtidos antes da aplicação dos herbicidas demonstram uma homogeneidade e proximidade dos valores com resultados obtidos em outros estudos, como encontrados em Pimentel et al. (2011) avaliando características fotossintéticas de *Phaseolus vulgaris* cv. Carioca. Estes autores obtiveram valores acima de 0,780 em plantas não estressadas. Os resultados também se encontram dentro da faixa de 0,75 e 0,85, que é considerado um valor adequado para indicar o estado fisiológico de uma planta sem estresse (SCHREIBER et al., 1994), sendo também próximos aos resultados obtidos por Bjorkman & Demmig (1987) que identificou valores em torno de 0,830, em espécies  $C_3$ , na condição de DFFF adequado para evitar a fotoinibição. A uniformidade das primeiras medidas realizadas antes da aplicação dos herbicidas evidencia um estado fisiológico adequado das plantas a serem estudadas e, portanto, ideal para posterior verificação e acompanhamento dos possíveis efeitos dos herbicidas na fisiologia das plantas.

Mensurações de  $F_v/F_m$  em plantas adaptadas ao escuro, foram feitas tanto às 5:00 horas, antes do amanhecer (Figura 1), quanto às 19:00 (Figura 2), depois do escurecer (PIMENTEL et al., 2005), para comparar estes valores. Como visto anteriormente, pela madrugada de 1 DAA, os valores de  $F_v/F_m$  encontravam-se reduzidos para o tratamento bentazon (0,505), o decréscimo desta variável foi verificada já no 0 DAA, porém no período noturno (Figura 2) e após a aplicação dos herbicidas ocorrida pela manhã e, neste caso, apenas o tratamento submetido a aplicação de bentazon apresentou valores de  $F_v/F_m$  inferiores em relação a todos os outros tratamentos, demonstrando os efeitos decorrentes da aplicação deste herbicida inibidor do FS II. O tratamento submetido ao bentazon apresentou valores médios de  $F_v/F_m$  de 0,382 enquanto que valores de  $0,829 \pm 0,002$  foram encontrados para os demais tratamentos. Contudo, no dia posterior a aplicação dos herbicidas (1 DAA) e durante o período noturno e nos dias subsequentes, já não houve diferenças significativas entre os tratamentos contendo herbicidas e testemunha sem aplicação (Figura 2).

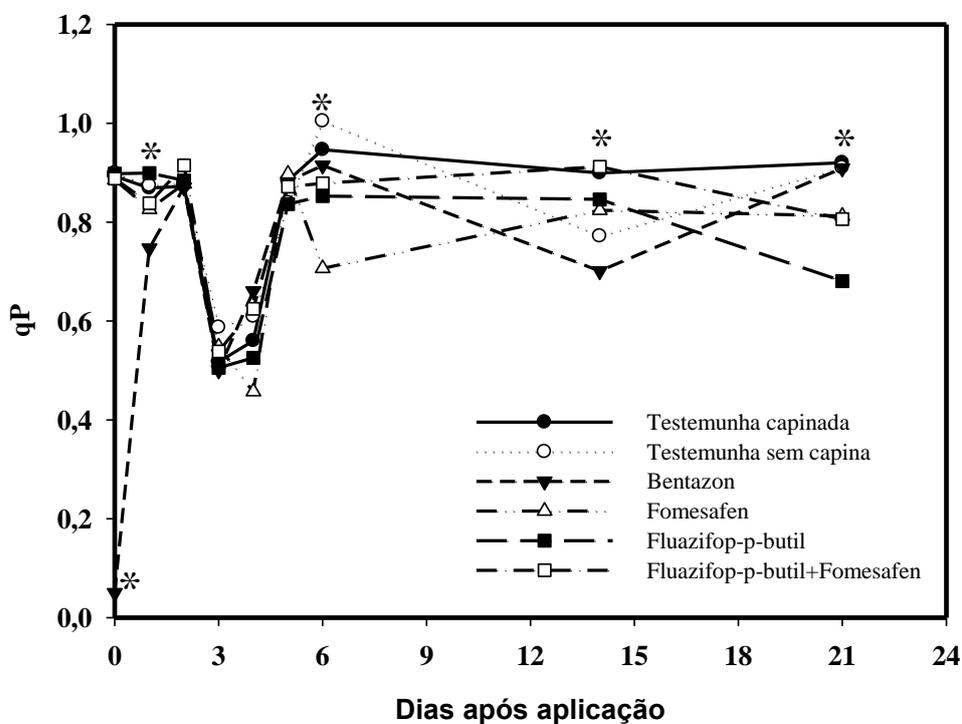


**Figura 2** Valores de rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) dos tratamentos mensurados no período noturno. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.

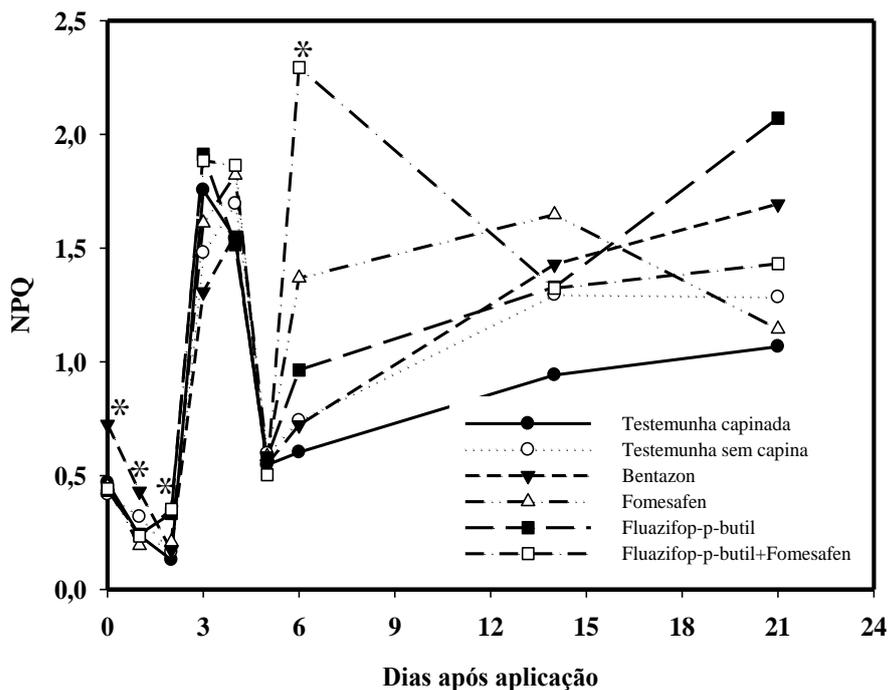
Nos cloroplastos, a energia decorrente da absorção dos fótons pode ser dissipada para a fotoquímica ou extinção fotoquímica, que é diretamente dependente do fluxo de transporte de elétrons ou ter sua dissipação através de mecanismos não fotoquímicos ligados a mecanismos de dissipação do excesso de energia luminosa, e quantificado como quenching não fotoquímico, em folhas adaptadas à luz (HORTON et al., 1996). Portanto, pela manhã, às 10:00 horas, logo após a aplicação dos herbicidas, feita às 09:00 horas, foram realizadas medidas da fluorescência da clorofila *a* em folhas adaptadas a luz, obtendo-se os valores de  $\Phi_{FSII}$ , qP e NPQ (Figuras 3, 4 e 5). O  $\Phi_{FSII}$  é uma das variáveis com maior utilidade para quantificar a eficiência fotoquímica do FS II, pela porcentagem de luz que é absorvida nas moléculas de clorofila ligadas ao FS II, que é utilizada nas reações fotoquímicas, enquanto o qP, apesar de possuir uma definição muito semelhante, fornece um indicativo da proporção de centros reacionais do FS II aptos a receberem elétrons (MAXWELL E JOHNSON, 2000). Já o NPQ é uma variável que vem sendo utilizado como um indicador de energia de dissipação não fotoquímico, e frequentemente ligado ao excesso de energia radiante dissipada como calor nos complexos antenas do FS II (GILMORE, 2004; HORTON, 1996, SCHREIBER et al 1994).



**Figura 3** Valores de rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi_{FSII}$ ) dos tratamentos mensurados durante o período experimental. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.



**Figura 4** Valores de quenching fotoquímico (qP) dos tratamentos mensurados durante o período experimental. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.



**Figura 5** Valores de quenching não-fotoquímico (NPQ) dos tratamentos mensurados durante o período experimental. O asterisco representa diferença estatística em relação a testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.

O tratamento com o bentazon foi o único tratamento que promoveu declínio do  $\Phi_{FSII}$  e qP chegando a valores próximos ao zero e, como esperado, valores mais altos de NPQ, em medidas realizadas imediatamente após aplicação do produto (0 DAA), demonstrando assim rápido efeito deste herbicida sobre a atividade fotossintética das plantas (Figuras 3 e 4) com indução, também com rapidez, dos mecanismos para recuperação dos efeitos da fotoinibição, demonstrado pelo alto valor de NPQ (Figura 5). É possível também observar uma rápida recuperação das plantas, neste tratamento com o bentazon, com aumento de  $\Phi_{FSII}$  e qP e redução do NPQ, no dia seguinte após aplicação (1 DAA), com valores mais próximos aos das testemunhas sem herbicidas (Figuras 3, 4 e 5). Já no 2º DAA, os valores das três variáveis,  $\Phi_{FSII}$ , qP e NPQ, voltaram a igualar os das testemunhas (Figuras 3, 4 e 5).

Contudo, vale a pena ressaltar que nos 3º e 4º DAA, todas as medidas de  $\Phi_{FSII}$  e qP, inclusive nas testemunhas, foram reduzidas à metade, voltando a valores próximos aos das testemunhas no dia 0, do dia 5 em diante (Figuras 3, 4). Nestes dias 3 e 4, a DFFF atingiu os maiores valores durante o experimento, com até 1508 e 1475  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Esse comportamento foi descrito em estudos realizados por Pimentel et al. (2011) onde, estudando características fotossintética em *Phaseolus vulgaris* L sob condições de luminosidade controlada, verificaram que a partir de 700  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  o valor do  $\Phi_{FSII}$  passou a ser menor que o do NPQ, aumentando esta diferença sob DFFF superiores. Em plantas  $C_3$  como o feijoeiro comum, a DFFF máxima para não ocorrer a fotoinibição se situa entre 800 e 1000  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (PIMENTEL, 2014). Houve, portanto, um efeito fotoinibitório marcante, nos 3º e 4º DAA, independente dos tratamentos, reduzindo drasticamente  $\Phi_{FSII}$  e qP nestes dias, com proporcional aumento do NPQ (Figura 5). Nos dias subsequentes, o qP e NPQ teve valores muito variáveis, provavelmente devido a estas mudanças no DFFF, mesmo durante as medidas às 10:00 horas. A variável qN (Dados não apresentados), que como a NPQ, indica o

aumento da atividade metabólica de recuperação da fotoinibição (ROHACEK, 2002), foi mais variável ainda que o NPQ.

Como primeiros sinais resultantes da aplicação do herbicida, através da análise de fluorescência fica evidente a ação direta do herbicida inibidor de FS II em relação aos demais onde não houve ação direta do herbicida no aparato fotossintético das folhas. Os herbicidas, inibidores do FS II, comercialmente disponíveis se ligam a proteína D1, e impedem a transferência de elétrons pela quinona transportadora e causando assim a interrupção do fluxo de elétrons (FEDTKE; TREBST, 1987; SILVA et al., 2007). Com a interrupção do fluxo de transporte de elétrons, a porcentagem de luz utilizada no processo fotossintético é reduzida, e que reflete no declínio do  $\Phi_{FSII}$  e  $qP$ , como foi constatado no atual experimento. Já aumento significativo do NPQ (Figura 5), logo após a aplicação dos herbicidas pode dar indicativos de uma situação de estresses (HORTON et al., 2005; MULLER et al., 2001) que, neste caso, foi provocado pela obstrução do fluxo de elétrons pelo fotossistema, com a redução de  $\Phi_{FSII}$  e  $qP$  (Figuras 3 e 4).

Em trabalhos conduzidos recentemente na cultura do arroz submetido ao bentazon, os mesmos efeitos, aqui descritos, ocorreram nas plantas, tais como redução do  $F_v/F_m$ ,  $\Phi_{FSII}$  e  $qP$  (FANG. et al., 2015). Dentre todas as variáveis de fluorescência o  $F_v/F_m$  é a mais sensível e a mais utilizada como variável indicadora de estresse (MAXWELL; JOHNSON, 2000; BAKER, 2008) e, exceto no 0 DAA e no dia posterior a aplicação dos herbicidas (1 DAA), nos demais dias essa variável já não varia significativamente entre os tratamentos, tanto nas medidas na madrugada quanto aquelas do período noturno. É importante ressaltar o comportamento das variáveis adaptadas ao claro nos dias de avaliação destacando, sobretudo, os dias 3 e 4 após aplicação, e nas quais foram os dias em que em média o  $\Phi_{FSII}$   $qP$  demonstraram menores valores e ao contrário do NPQ que apresentou em média maiores valores para esta variável. Essa condição pode ser resultante de uma maior DFFF registrada nos dias de avaliação, sendo que nesses dias foram registrados em média os maiores valores de DFFF durante todo o período experimental como descrito no material e métodos.

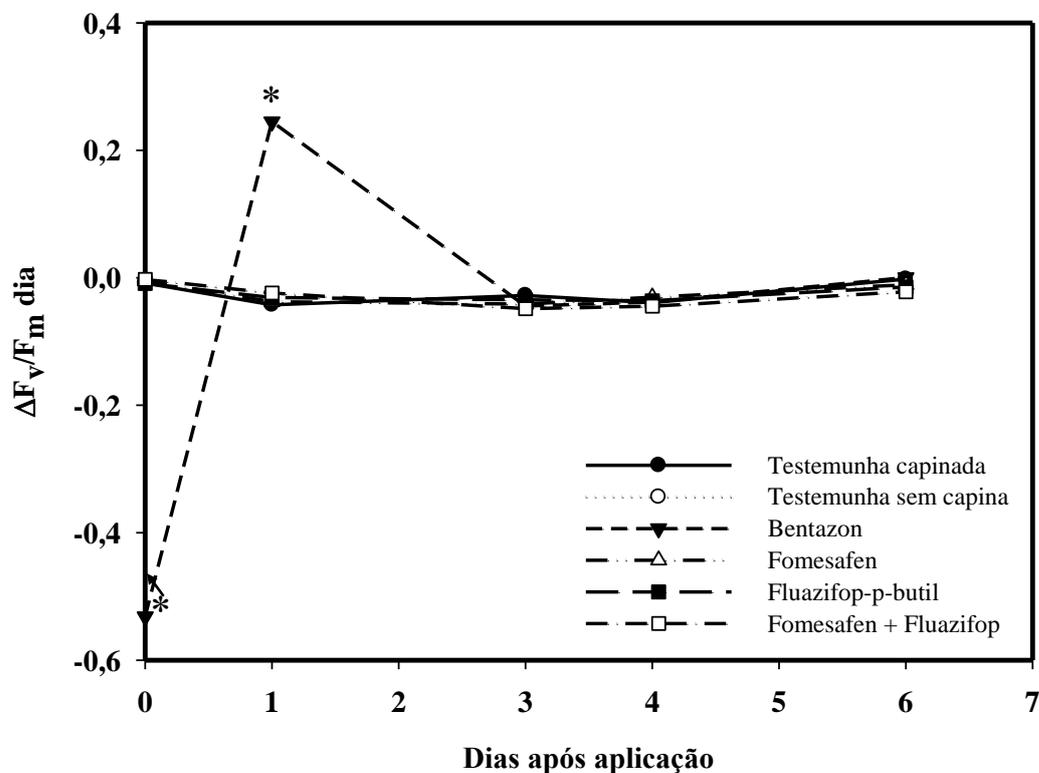
Portanto, as oscilações ocorridas nessas variáveis, obtidas em folhas adaptadas à luz ( $\Phi_{FSII}$ ,  $qP$  e NPQ), devem ser decorrentes da grande variação ambiental existente em nível de campo, sobretudo DFFF e temperatura e que instantaneamente podem influenciar as medidas adaptadas ao claro como  $\Phi_{FSII}$ ,  $qP$ ,  $qN$ , ETR e NPQ, sendo que  $qN$  e ETR apesar de terem sido também mensuradas não foram aqui representadas neste trabalho, visto que, apresentaram grande variabilidade a cada medida realizada, devendo sua interpretação ser cautelosa (CAMPOSTRINI, 1999). É de conhecimento que sob condições controladas de DFFF e temperatura, tem-se uma ótima eficiência do processo fotossintético, entretanto, em ambiente natural, as plantas muitas vezes experimentam flutuações rápidas na DFFF, temperatura e disponibilidade de água que facilmente levam a flutuações no transporte de elétrons nos fotossistemas (DE BIANCHI et al., 2010).

Portanto nas condições experimentais presentes neste experimento a campo, sem controle das condições ambientais, envolvendo avaliações de herbicidas sobre a atividade fotossintética a variável  $F_v/F_m$  foi a que melhor representou os efeitos dos herbicidas sobre as plantas, principalmente no campo, sobretudo para aqueles herbicidas classificados como inibidores de FS II.

## 6.2 Efeitos dos herbicidas associado à fotoinibição.

Como metodologia proposta para se avaliar a redução do potencial fotossintético durante o dia, comparou-se os valores de  $F_v/F_m$  de madrugada e à noite, para uma avaliação

dos efeitos do estresse diário na redução da atividade do fotossistema II. Os valores de  $F_v/F_m$  pela manhã e no período noturno do mesmo dia foram comparados, exceto no segundo e quinto dia, devido a ocorrência de chuva na madrugada e no período noturno não foi possível a realização das medidas. Os resultados da subtração do  $F_v/F_m$  da noite menos o da madrugada encontram-se na Figura 6.



**Figura 6** Valores de  $\Delta F_v/F_m$  do dia ( $F_v/F_m$  da noite -  $F_v/F_m$  da madrugada) em plantas de feijão submetidas aos tratamentos. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.

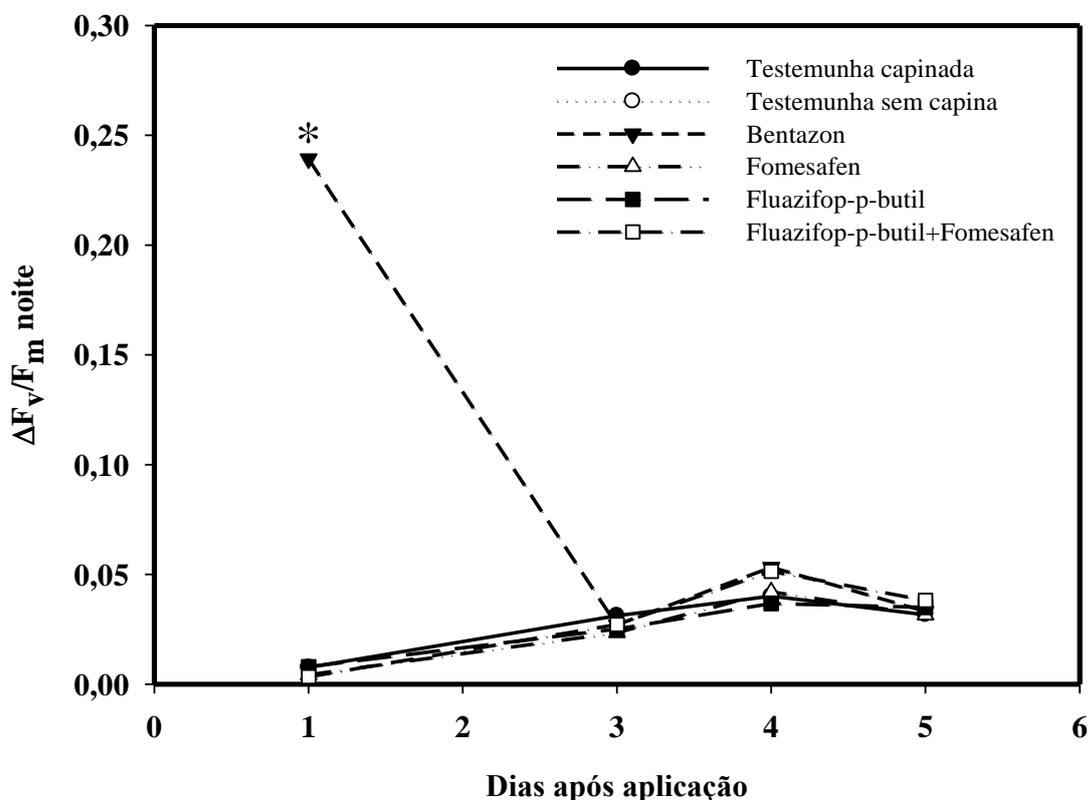
Normalmente pela manhã ou nas primeiras horas do dia a planta encontra-se num estado fisiológico melhor ao encontrado, por exemplo, nas horas mais quentes do dia ou sob condições de alta DFFF, pois a planta empregou os mecanismos de recuperação da fotoinibição durante a noite (LONG et al., 1994), podendo ou não aumentar o seu potencial fotossintético, dependendo da intensidade do estresse associado a alta DFFF (PIMENTEL, 2014). Sendo assim, para uma melhor interpretação dos resultados as diferenças obtidas, do  $F_v/F_m$  da noite -  $F_v/F_m$  na madrugada, podem indicar a condição fisiológica das plantas já que no período inicial noturno as plantas ainda não estão passando por um processo de recuperação dos estresses ocorridos durante o dia, como por exemplo, o processo de fotoinibição, e que vai refletir numa diminuição do  $F_v/F_m$ , pois é uma variável sensível a estresses ambientais (MAXWELL; JOHNSON, 2000).

Nesta condição, quanto mais reduzidas forem essas diferenças, maior a amplitude ou discrepância dos valores encontrados pela manhã em relação ao da noite, indicando um maior estresse diário. No 0 DAA, apenas o tratamento com o bentazon apresentou diferenças significativas acentuadas com redução de valor médio da diferença entre os  $F_v/F_m$  de -0,532 (Figura 6). Essa redução drástica dos valores medidos no início do período noturno está ligada sobretudo ao efeito provocado pelo herbicida no FS II, com a interrupção do fluxo de transporte de elétrons neste (DUKE, 1990), acentuado pelo excesso de DFFF (ROHACEK,

2002). Posteriormente, no dia seguinte a aplicação, apresentou ganhos positivos resultantes de um maior valor noturno frente ao encontrado pela manhã, demonstrando o rápido efeito de recuperação. Os demais herbicidas não influenciaram no comportamento da planta ao longo do dia para a variável  $F_v/F_m$  e, portanto, provavelmente não contribuíram com o agravamento do estresse ou fotoinibição, pois não houve diferenças significativas destes valores em relação a testemunha. A partir do terceiro dia, já não era possível verificar diferenças significativas nos resultados entre bentazon e demais tratamentos, até o fim das avaliações. Como já demonstrado (Figura 6), o comportamento da diferença entre os  $F_v/F_m$  dos tratamentos submetidos aos herbicidas é bastante semelhante ao da testemunha capinada e sem capina. Isso é demonstrado, por exemplo, pelo declínio apresentado por todos os tratamentos no 3º e 4º DAA dos produtos devido, entre outros estresses possíveis, ao alto DFFF, que atingiu os maiores valores durante o experimento, com 1508 e 1475  $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ , respectivamente.

### 6.3 Efeitos dos herbicidas na capacidade de recuperação da planta

Assim como descrito no item anterior para avaliar possíveis efeitos das interações entre os herbicidas aplicados na cultura e a fotoinibição, neste tópico, também será avaliado, através da subtração dos valores de  $F_v/F_m$  mensurados pela manhã menos o da noite anterior, a capacidade de recuperação de estresses ambientais durante todo o período noturno (Figura 7), quando os mecanismos de reparo e recuperação da atividade dos FS II são mais efetivos, pois não há fotoinibição (PIMENTEL, 2014).



**Figura 7** Valores de  $\Delta F_v/F_m$  noite ( $F_v/F_m$  da madrugada –  $F_v/F_m$  da noite anterior) em plantas de feijão submetidas aos tratamentos. O asterisco representa diferença estatística em relação à testemunha capinada ( $p < 0,05$ ) no dia de avaliação.

Devido a recuperação do potencial fotossintético no período noturno, pelos mecanismos de reparo dos fotossistemas (MAXWELL; JOHNSON, 2000), as medidas feitas na madrugada tendem a ser maiores em relação àquelas medidas no início da noite passada, e quanto maior for a diferença obtida entre estas duas medidas, maior tende a ser o processo de recuperação. Esse comportamento pode ser observado (Figura 7), resultado obtido das médias das subtrações, e fica evidente a tendência dos valores obtidos serem acima de zero, confirmando uma maior valor de  $F_v/F_m$  no período da madrugada, e exceto no 2º dia onde não foi possível a mensuração dos valores devido a ocorrência de chuva na madrugada.

Apenas o tratamento bentazon apresentou diferenças significativas na recuperação das plantas no primeiro dia (Figura 7), com valores próximos a 0,239 de diferença entre os valores mensurados na manhã seguinte à aplicação do herbicida menos os da noite do dia em que foi aplicado os herbicidas, demonstrando assim a capacidade de recuperação rápida, e indicando um rápido metabolismo do herbicida por parte da cultura, constatando no 3º dia após aplicação a semelhança estatística dos valores entre tratamento com o bentazon e os demais herbicidas. Mahoney & Penner (1975) alega que o rápido metabolismo do herbicida no trifólio do feijão funciona como um mecanismo de seletividade ao herbicida. A absorção do bentazon ocorre essencialmente pelas folhas e pelos tecidos verdes, sendo menos intensa pelas raízes. A translocação é reduzida quando ele é absorvido pelas folhas e quando absorvido pelas raízes, verifica-se pequena movimentação acrópeta, pelo xilema. Nas espécies tolerantes, o produto é metabolizado por meio da formação de hidroxibentazon, com ruptura do anel heterocíclico (COBUCCI & MACHADO, 1999).

Os resultados corroboram os apresentados para as outras variáveis da fluorescência da clorofila, com um leve declínio no terceiro dia e que se refletem na manhã do quarto dia, com os mais altos valores encontrados nos tratamentos, refletindo um maior processo de recuperação, resultantes de uma menor  $F_v/F_m$  noturna (3º DAA, Figura 2) e um maior valor pela manhã seguinte (4º DAA), resultantes de uma maior recuperação noturna. Essas elevações dos valores podem demonstrar a recuperação do potencial fotossintético afetado por estresses ambientais, como a fotoinibição, ou por impactos decorrentes da aplicação de herbicidas. Os organismos fotossintetizantes quando submetidos a altas DFFF estimulam a produção de singlet de oxigênio no FS II e provocando estresse oxidativo e resultante da interação do oxigênio molecular com o estado tripleto de clorofila (Chl). Os processos de formação de espécies reativas de oxigênio podem estar envolvidos como um mecanismo sinalizador e indicando condição de estresse (KRIEGER-LISZKAY et al., 2008; CHOW; ARO, 2005). As plantas possuem mecanismos protetores para evitar danos severos ao aparato fotossintético que incluem desde a reparação e substituição da proteína D<sub>1</sub> como também criando meios para dissipar o excesso da energia luminosa (TAIZ & ZAIGER, 2006). O ciclo das xantofilas parece ser um dos mais importantes mecanismos de dissipação de excesso de energia do PS II (LONG et al., 1994), mas outros processos como as fotofosforilação pseudo cíclica, o ciclo ascorbato/glutathiona e a fotorrespiração reduzem o efeito fotoinibitório (PIMENTEL, 2014). Nesse mecanismo a violoxantina é transformada em a anteroxantina e depois epoxidada a zeaxantina, consumindo parte dos elétrons em excesso no fotossistema, e durante à noite, a zeaxantina é de-epoxidada a violoxantina (LONG et al., 1994), diminuindo assim o efeito fotoinibitório. Nas plantas em processo de recuperação de estresse radiativo quando esta é completada durante a tarde ou noite pode ser definida como dinâmica, e quando exige maiores períodos superiores a 12 horas em condições de baixa intensidade luminosa é considerada crônica (LONG et al., 1994; DIAS & MARENCO, 2006).

#### 6.4 Efeitos dos herbicidas no conteúdo de proteína foliar

Assim como para as avaliações de variáveis ligadas a fluorescência da clorofila, foi realizado também, nas parcelas correspondentes aos tratamentos, a análise de conteúdo de proteínas solúveis nas folhas do feijoeiro, antes das aplicações dos herbicidas e posteriormente aos 2, 5, 7, 14, 21 e 28 após aplicação. O conteúdo de proteínas solúveis na folha é proporcional ao conteúdo de Ribulose-1,5-Bisfosfato Carboxilase/Oxigenase (Rubisco), que corresponde a mais de 50% destas proteínas (LONG et al., 1994) e a sua avaliação permite verificar se houve efeito do estresse na atividade da Rubisco. A quantificação do conteúdo de proteína solúvel antes da aplicação também serviu para verificar, assim como na fluorescência, a homogeneidade dos valores nas diferentes parcelas destinadas a aplicação dos herbicidas, sendo que, em uma possível alteração posterior resultante das aplicações, essa possa ficar mais bem caracterizada. Contudo, não houve diferença significativa no teor de proteína solúvel nas folhas coletadas antes da aplicação dos herbicidas e também posteriormente a aplicação do herbicida, como descrito aqui anteriormente, exceto na quinta coleta, realizada aos 14 dias após aplicação dos herbicidas, onde o tratamento submetido ao fluazifop-p-butyl diferiu da mistura contendo fluazifop + fomesafen (Tabela 2).

**Tabela 2** Conteúdo de proteínas solúveis nas folhas (CPSF, em mg de proteína solúvel g<sup>-1</sup> de massa fresca foliar) do feijoeiro comum cultivar Carioca.

Tratamento	Conteúdo de proteínas solúveis						
	Dias após aplicação						
	0	2	5	7	14	21	28
Testemunha capinada	3,48a	3,47a	4,70a	3,95a	4,40ab	4,24a	4,02a
Testemunha sem capina	3,57a	3,49a	4,64a	4,00a	4,03ab	3,91a	3,84a
Bentazon	3,45a	3,54a	4,66a	3,44a	4,01ab	3,77a	4,23a
Fomesafen	3,37a	4,17a	4,86a	3,75a	4,27ab	3,90a	4,04a
Fluazifop-p-butyl	3,50a	3,72a	4,59a	4,05a	3,75b	4,12a	3,96a
Fluazifop + Fomesafen	3,49a	3,91a	4,33a	3,74a	4,93a	3,81a	4,30a
CV%	9,28	16,05	5,75	13,03	11,04	11,23	11,20

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Student Newman Keuls ( $p < 0,05$ ).

A quantificação do teor de proteínas solúveis, que pode nos fornecer informações relacionadas ao processo fotossintético na carboxilação pela Rubisco, do ciclo de Calvin (PIMENTEL, 2006), ao longo do período experimental, evidencia a não influencia negativa dos herbicidas no conteúdo de proteína solúvel e, provavelmente na assimilação de carbono nas folhas ao longo do tempo, já que não houve significância entre os valores encontrados nos tratamentos com herbicidas em relação à testemunha sem aplicação dos herbicidas. A falta de interferência dos herbicidas no conteúdo de proteína solúvel em folhas do feijoeiro é benéfica

e desejável, mantendo assim uma possível maior atividade da Rubisco e, conseqüentemente, gerando um maior aporte de fotoassimilados derivados do processo de fixação e assimilação de carbono no ciclo de Calvin, que refletiria em bom desenvolvimento da parte aérea e desenvolvimento do embrião, e podendo assim alcançar melhores produtividades.

### 6.5 Fitotoxicidade dos herbicidas utilizados na cultura do feijão

Em relação a seletividade dos herbicidas e a ocorrência de fitotoxicidade, avaliados visualmente, apenas os tratamentos contendo fomesafen causaram leve fitotoxidez sobre o feijoeiro (Tabela 3). A mistura contendo fomesafen associado ao fluazifop-p-butil apresentou maior valor percentual de fitotoxidez com 11% de fitointoxicação (Tabela 3). Os tratamentos contendo bentazon e fluazifop-p-butil proporcionaram valores próximos a zero de fitotoxicidade e não diferiram estatisticamente da testemunha capinada (Tabela 3). Em avaliação realizada aos 14 dias após aplicação já não eram observados sintomas visíveis de fitotoxicidade nas plantas de feijão tratadas com os herbicidas. Os resultados estão de acordo com os encontrados em Machado neto & Andrade (1983), que verificaram fitotoxicidade muito leve em aplicações de bentazon, em pós-emergência no feijoeiro. A fitotoxicidade inicial ao fomesafen também foi verificada por Cieslik (2012) e Silva et al. (2013), que constataram leve fitotoxidez inicial em doses acima de 125 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo com posterior ausência, dias depois. Alguns produtos podem causar uma fitotoxicidade inicial, e, nestes casos, a recuperação depende de vários fatores como variedade, estágio de crescimento, momento de aplicação e condições edafoclimáticas. De forma geral, a ausência de danos fitotóxicos na fase V<sub>4</sub> elimina possíveis riscos de comprometimento à cultura (COBUCCI et al., 1999).

**Tabela 3** Porcentagem de fitotoxicidade aos 7 e 14 dias após aplicação dos produtos.

Tratamento	Fitotoxicidade (%)	
	7	14
Testemunha capinada	0a	0a
Testemunha sem capina	0a	0a
Bentazon	4a	0a
Fomesafen	9b	0a
Fluasifop-p-butil	2a	0a
Fluazifop + Fomesafen	11b	0a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Student Newman Keuls (p < 0,05).

### 6.6 Componentes de produção

O rendimento de grãos é um fator preponderante para viabilidade e sucesso da produção agrícola nas culturas graníferas comercialmente cultivadas. Existem vários fatores que podem contribuir para obtenção de maiores produtividades como o nível de fertilidade do solo, condições climáticas, qualidade do manejo e estado sanitário das culturas (KLUTHCOUSKI et al., 2000). A utilização correta de herbicidas e o manejo adequado de plantas daninhas podem propiciar bons resultados na lavoura. Sendo assim, é desejável que haja uma eficácia no controle das plantas daninhas e seletividade dos herbicidas para a cultura.

Nos tratamentos com herbicidas verificou-se que a produtividade do feijoeiro não foi afetada pelas doses aplicadas (Tabela 4), indicando que nestas condições estes foram seletivos para a cultura do feijoeiro comum. O controle das plantas daninhas estabelecidas na área foi suficiente para que se alcançasse produtividade semelhante à testemunha capinada. Neste trabalho a produtividade das plantas na testemunha sem capina também não diferiu significativamente da testemunha capinada, e que pode ter sido resultado de uma baixa infestação de plantas daninhas na área e também decorrente de um rápido fechamento do dossel da cultura sobre a área. Entre os componentes de produção, o número de vagens por planta diferiu significativamente entre a testemunha capinada e demais tratamentos, porém este não refletiu em produtividade superior aos demais (Tabela 4).

**Tabela 4** Número de vagens.planta<sup>-1</sup>, número de sementes.vagens<sup>-1</sup>, massa de 100 grãos e produtividade do feijoeiro comum cultivar carioca em função dos tratamentos

Tratamento	Numero de vagens planta <sup>-1</sup>	Numero de sementes vagens <sup>-1</sup>	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (Kg ha <sup>-1</sup> )
Testemunha capinada	9,67a	5,86a	26,22a	1920,5a
Testemunha sem capina	6,47b	5,47a	26,69a	1733a
Bentazon	7,62b	5,65a	25,84a	2241a
Fomesafen	7,45b	5,32a	26,32a	1887,2a
Fluazifop-p-butyl	7,0b	5,45a	25,84a	1949,7a
Fluazifop + Fomesafen	7,67b	4,00a	26,98a	2095,5a
CV%	13,21	25,35	2,93	17,43

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Student Newman Keuls ( $p < 0,05$ ).

Em trabalhos conduzidos por Machado et al. (2006) avaliando a eficácia de combinação dos herbicidas fomesafen, fluazifop-p-butyl e bentazon no manejo de plantas daninhas no feijoeiro comum, cultivado em área anteriormente estabelecida com milho, também se constatou seletividade e manutenção da produtividade semelhante ao controle. O fomesafen e bentazon também foram avaliados sob uma variedade de feijão branco (*Phaseolus vulgaris* L.) onde também não contribuíram para reduções de produtividade na cultura (SOLTANI et al., 2013). Resultados semelhantes foram encontrados em cultivo de feijão submetido a mistura de bentazon + imazamox e fomesafen, sendo que estes também não contribuíram para reduções na produtividade (SILVA et al., 2013). Entretanto o fomesafen causou reduções de produtividade em cultivares de feijoeiro comum, cultivares BRS Timbó e BRS Vereda, quando aplicado dentro do intervalo de doses recomendadas. (PROCÓPIO et al., 2009).

A adoção do controle químico de plantas daninhas exige conhecimento específicos do herbicida, como dosagens e condições de aplicação, e também momento adequado da aplicação no estágio fenológico correto (TAKANO et al., 2015) e sendo que as dosagens e época de aplicação dos produtos utilizados neste experimento eram as especificadas para a cultura.

## 7 CONCLUSÕES

O bentazon, com ação nos fotossistemas, foi o único, dos herbicidas usados, que causou reduções no rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), no rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi_{FSII}$ ), no quenching fotoquímico (qP), e promoveu incremento no quenching não fotoquímico (NPQ), após os primeiros dias após sua aplicação.

O  $F_v/f_m$  foi a variável mais indicada para avaliar os efeitos decorrentes da aplicação de herbicidas no aparato fotossintético em plantas sob condições de campo, com DFFF variável. As variáveis obtidas em folhas adaptadas á luz sofreram influência do ambiente, não sendo muito indicadoras do efeito dos herbicidas no campo.

Os herbicidas bentazon, fomesafen, fluzifop-p-butil e a mistura de herbicidas não promoveram fitotoxicidade elevada e queda no rendimento dos grãos do feijoeiro comum.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.F.B. Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na Região Sul de Minas Gerais. Santo Antônio do Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafraSulMG/index.htm>. Acessado em 24/072014.
- AIDAR, H.; SILVA, S. C.; KLUTHCOUSKI, J.; THUNG, M. **Sistema de produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**: época de plantio. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 4p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 55).
- AIDAR, H., KLUTHCOUSKI, J., DOS SANTOS, A.B.; THUNG, M. Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum em várzeas tropicais irrigadas por subirrigação. **Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica 60**, 12p, 2003.
- AIDAR, H. Cultivo do feijoeiro comum. Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/> Acessado em 24/07/07.
- ARAÚJO, G.A.A.; SILVA, A.A.; THOMAS, A.; ROCHA, P.R.R. Misturas de herbicidas com adubo molíbdico na cultura do Feijão. **Planta Daninha**, v.26, n.1, p.237-247, 2008.
- BAKER, N.R, ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.403, p.1607–1621, 2004.
- BAKER, N. R. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **The Annual Review of Plant Biology**, v59, p.89-113, 2008.
- BARBOSA, F.B.; GONZAGA, A.C.O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 247p. Documentos 272.
- BECERRIL, J.M.; DUKE, S.O. Protoporphyrin IX content correlates with activity of photobleaching herbicides. **Plant physiology**, v.90, n.3, p.1175-1181, 1989.
- BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis research**, v. 25, n. 3, p. 173-185, 1990.
- BJÖRKMAN, O; DEMMIG, B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v.170, n.4, p. 489-504, 1987.
- BLANCO, H.; OLIVEIRA, D. A.; ARAUJO, S. B. M. Competição de plantas daninhas com a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Biológico**, v. 35, p. 304-308, 1969.

BJÖRKMAN, O; DEMMIG, B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v.170, n.4, p. 489-504, 1987.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. Fluxo gênico. **Biotecnologia e Meio Ambiente. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa**, p. 405-419, 2008.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BURTON, J.D.; GRONWALD, J.W.; SOMERS, D.A.; CONNELLY, J.A.; GENGENBACH, B.G.; WYSE, D.L. (1987). Inhibition of plant acetyl-coenzyme A carboxylase by the herbicides sethoxydim and haloxyfop. **Biochemical and biophysical research communications**, v.148, n.3, p.1039-1044, 1987.

CAMPOSTRINI, E (1998) Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações praticas. UENF, 34 f.

CARDOSO, J.D.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S. Polyphasic approach for the characterization of rhizobial symbionts effective in fixing N<sub>2</sub> with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Appl Microbiol Biotechnol**, v.93, p.2035-2049, 2012.

CATUNDA, M.G. et al. Effects of herbicides on the photosynthetic activity of pineapple (*Ananas comosus*). **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p.115-121, 2005.

CHOW, W.S; ARO, E.M. Photoinactivation and mechanisms of recovery. In: **Photosystem II**. Springer Netherlands, p. 627-648, 2005.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M. Manejo racional de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Feijão irrigado: tecnologia & produção**. Piracicaba: ESALQ/USP. p.29-42, 2005.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; VICTÓRIA FILHO, R.; SILVA, C.B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v. 12, n. 1, p. 13-20, 1994.

CIESLIK, L.F. Interferência de fatores morfoambientais e horários de aplicação de fluazifop-p-butyl e fomesafen no controle de infestantes, seletividade e lucratividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 2012. 171 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012

COBUCCI, T.; DI STEFANO, J.G; KLUTHCOUSKI, J. **Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto**. Embrapa Arroz e Feijao, 1999.

COBUCCI, T.; MACHADO, E. Seletividade, eficiência de controle de plantas daninhas e persistência no solo de imazamox aplicado na cultura do feijoeiro. **Planta Daninha**, v.17, n.3, p. 419-432, 1999

COBUCCI, T. Manejo e controle de plantas daninhas em feijão. In: VARGAS, L. & ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, p. 453-480, 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2014/2015, Décimo Levantamento, Julho/2015.

CORRÊA, M.J.P.; ALVES, P.L.C.A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciência Agrotécnica**, v.34, n.5, p.1136-1145, 2010.

COSTA, A.C.T.; OLIVEIRA, L.B.; CARMO, G.F.; PIMENTEL, C. Avaliação visual e do potencial fotossintético para quantificação da ferrugem do milho pérola e correlações com a produção. **Tropical plant pathology**, vol.34, n.5, p. 313-321, 2009.

CRESTANI, M.F.D.C.M.; FARIASI, F.L.; BOGOL, J.L.M.C.A.; GUIDOLINI, A. F. Caracterização da diversidade genética entre acessos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) coletados em Santa Catarina por marcadores RAPD. **Ciência Rural**, v.38, n.6, p.1522-1528, 2008.

DAYAN, F. E., DUKE, S. O.; GROSSMANN, K. Herbicides as probes in plant biology. **Weed science**, v.58, n.3, p340-350, 2010.

DE ALMEIDA COSTA, G.E.; DA SILVA, Q.M.K.; REIS, S. M. P. M.; DE OLIVEIRA, A. C. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. **Food chemistry**, v.94, n.3, p.327-330, 2006.

DE BIANCHI, S.; BALLOTTARI, M.; DALL'OSTO, L.; BASSI, R. Regulation of plant light harvesting by thermal dissipation of excess energy. **Biochemical Society Transactions**, v.38, n.2, p.651-660, 2010.

DEBOUCK, D.G.; TORO, O.; PAREDES, O.M.; JOHNSON, W.C.; GEPTS, P. Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northwestern South America. **Economic botany**, v.47, n.4, p.408-423, 1993.

DEVINE, M.; DUKE, S.O.; FEDTKE, C. Oxygen toxicity and herbicidal action; Secondary physiological effects of herbicides. In: **Physiology of herbicide action**. New Jersey: Prentice-Hall, p.177-188, 1993.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Photoinhibition of photosynthesis in *Minuartia guianensis* and *Swietenia macrophylla* inferred by monitoring the initial fluorescence. **Photosynthetica**, v.44, n.2, p.235-240, 2006.

DOURADO-NETO, D.; FANCELI, A.L., (Ed.) Produção de feijão. Guaíba: Agropecuária 2000. 385p.

DUKE, S. O. Overview of herbicide mechanisms of action. **Environmental health perspectives**, v. 87, p. 263, 1990.

DUKE, S.O.; LEE, H.J.; DUKE, M.V.; REDDY, K.N.; SHERMAN, T.D.; BECERRIL, J.M., JACOBS, J.M. Mechanisms of resistance to protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. In **Weed and Crop Resistance to Herbicides**. Springer Netherlands, p.155-160, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa Soja. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2004. Londrina., 2004. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 6). Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/control.htm>. Acesso em 25/07/2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa arroz e feijão. Cultivo do Feijoeiro Comum, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/cli ma.htm>. Acessado em 23/07/2014.

EVANS, S.P.; KNEZEVIC, S.Z.; LINDQUIST, J.L.; SHAPIRO, C.A.; BLANKENSHIP, E.E. Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. **Weed Science**, v.51, n.3, p.408-417, 2003.

FANG, Y.; LU, H.; CHEN, S.; ZHU, K.; SONG, H.; QIAN, H.. Leaf proteome analysis provides insights into the molecular mechanisms of bentazon detoxification in rice. **Pesticide biochemistry and physiology**, v.125, p.45-52, 2015

FEDTKE, C.; TREBST, A. Advances in understanding herbicide modes of action. In: **Pesticide Science and Biotechnology** (R. Greenhalgh and T. R. Roberts, Eds.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1987, pp. 161-168.

FEDTKE, C. **Biochemistry and physiology of herbicide action**. Springer Science & Business Media, 2012, 204p.

FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A. D.; FERREIRA, L. R. (2005, August). Mecanismos de ação de herbicidas. In **V Congresso Brasileiro de Algodão**. Disponível em: [http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos\\_cba5/336.pdf](http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba5/336.pdf). Acessado em: 25/07/2014.

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

FONTES, J.R.A.; SILVA, A.D.; VIEIRA, R.F.; RAMOS, M.M.. Metolachlor e fomesafen aplicados via irrigação por aspersão em plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v.24, n.1, p. 99-106, 2006.

FRANS, R.W. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. **Research methods in weed science**. Australian: Southern Weed Science Society, 1972. P.28-4 Southern Weed Science Society, 1972. p.28-41.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: SCHOONHOVEN, A. VAN e VOYSES, O. (eds.). *Common Beans: Research for crop improvement* Cali. C.A.B. International, CIAT. p.7-53, 1991.

GHANIZADEH, H.; LORZADEH, S.; ARYANNIA, N. Effect of weed interference on Zea mays: Growth analysis. **Weed Biology and Management**, v.14, p.133-137, 2014

GILMORE, A.M. 2004, Chlorophyll a Fluorescence: A signature of Photosynthesis, G.C. Papageorgiou, and Govindjee (Eds.), Springer, Dordrecht, 555.

GIROTTO, M., ARALDI, R.; VELINI, E.D.; JASPER, S.P.; GOMES, G.L.G.; CARBONARI, C. A.. Eficiência fotossintética da cana-de-açúcar após a aplicação dos herbicidas S-metolachlor e atrazine em pós-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.9, n.3, p.109-116, 2010.

GUST, D.; MOORE, T. A.; MOORE, A. L. Mimicking Photosynthetic Solar Energy Transduction. **Accounts of Chemical Research**, v.34, n.1, p.40-48, 2001.

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE [HRAC]. Classification of Herbicides According to Mode of Action. Disponível em: [www.plantprotection.org/hrac/](http://www.plantprotection.org/hrac/).

HIRAKI, M.; VAN RENSEN, J.J.; VREDENBERG, W.J.; WAKABAYASHI, K. .Characterization of the alterations of the chlorophyll a fluorescence induction curve after addition of photosystem II inhibiting herbicides. **Photosynthesis research**, v.78, n.1, p.35-46, 2003.

HOLT, J.S. Principles of Weed Management in Agroecosystems and Wildlands. **Weed technology**, v.18, n.1, p.1559-1562, 2004.

HORTON, P. 1996, Light as an Energy Source and Information Carrier in Plant Physiology, R.C. Jennings, G. Zucchelli, F. Ghetti, and G. Colombetti (Eds.), NATO ASI Ser. A: Life sciences, Vol. 287, Plenum Press, New York, London, 99.

HORTON, P.; RUBAN, A. V.; WALTERS, R. G. Regulation of light harvesting in green plants. **Annual review of plant biology**, v. 47, n. 1, p. 655-684, 1996.

HORTON, P.; WENTWORTH, M.; RUBAN, A. Control of the light harvesting function of chloroplast membranes: the LHCII-aggregation model for non-photochemical quenching **FEBS Letters**, v.579, n.20, p.4201-4206, 2005.

JACOBS, J.M.; JACOBS, N.J. Porphyrin accumulation and export by isolated barley (*Hordeum vulgare* L.) plastids: Effect of diphenyl ether herbicides. **Plant Physiology**, v.101, n.4, p.1181-1187, 1993.

JAKELAITIS, A.; VIVIAN, R.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; SILVA, A. F. Atividade residual no solo da mistura comercial dos herbicidas fluazifop-p-butil e fomesafen utilizados no cultivo convencional e direto do feijoeiro. **Planta Daninha**, v.24, n.3, p533-540, 2006.

KALSING, A.; VIDAL, R.A. Seletividade de herbicidas residuais ao feijão-comum durante o período inicial da fase vegetativa. **Planta Daninha**, v.31, n.2, p411-417, 2013

KARAM, D; DE OLIVEIRA, M.F; DA SILVA, A.F. **Controle de plantas daninhas**. RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, PEP de; COUTO, L.(Ed.). Cultura do milho irrigado. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. cap. 8., 2002.

KLUTHCOUSKI, J.;FANCELLI, A. L.;DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, v57, n.1, p. 97-104, 2000

KRIEGER-LISZKAY, A.; FUFUZAN, C.; TREBST, A. Singlet oxygen production in photosystem II and related protection mechanism. **Photosynthesis Research**, v.98, n.1-3, p.551-564, 2008.

LIMA, A.L.S.; DAMATTA, F.M.; PINHEIRO, H.A.; TOTOLA, M.R., LOUREIRO, M.E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions, **Environmental and Experimental Botany**. 47, 239–247, 2002.

LONG, S.P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P.G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 45, p.633-662, 1994.

LONG, S. P.; ZHU, X. Z.; NAIDU, S. L.; ORT, D. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell and Environment*, Malden, v. 29, p. 315-330, 2006.

KOZLOWSKI, L.A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURISSIMO, C.; DAROS, E.; KOEHLER, H. S. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum em sistema de semeadura direta. **Planta daninha**, v.20, n.2, p.213-220, 2002.

KRAMER, P. J. & BOYER, J. S. (1995). *Water relations of plants and soils*. San Diego: Academic Press.

KRAUSE, G. H; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology.II. Interpretation of fluorescence signals. **Photosynthesis Research**, v.5, p139-157, 1984.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual review of plant biology**, v. 42, n. 1, p. 313-349, 1991.

KROPFF, M.J.; VAN LAAR H.H. Modelling crop-weed interactions. CAB International, Wallingford, 274 p. 1993.

KUVA, M.A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. II-Capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.323-330, 2001.

MACHADO NETO, J. G.; ANDRADE, T. L. C. Effects of post-emergence herbicides on beans (*Phaseolus vulgaris* L.) crop and on weed control. **Planta Daninha**, v. 6, n. 2, p. 123-128, 1983.

MACHADO, A.F.L.; CAMARGO, A.P.M.; FERREIRA, L.R.; SEDIYAMA, T.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G. Misturas de herbicidas no manejo de plantas daninhas na cultura do feijão. **Planta Daninha**, v.24, n.1, p.107-114, 2006.

MAHONEY, M.D.; PENNER, D. The basis for bentazon selectivity in navy bean, cocklebur, and black nightshade. **Weed Science**, p.272-276, 1975.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Perfil do feijão no Brasil. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>. Acessado em 24/07/2014.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio – Brasil 2014/2015 a 2025/2025, 133p, 2015.

MAXWELL, K., JOHNSON, G.N.: Chlorophyll fluorescence. **Journal of Experimental Botany**, v.51, n345, p.659-668, 2000.

MELANDER, B.; RASMUSSEN, I.A.; BARBERI, P. Integrating physical and cultural methods of weed control-examples from European research. **Weed Science**, v.53, n.3, p.369-381, 2005.

METS, L.; THIEL, A. Biochemistry and genetic control of the photosystem II herbicide target site. In: **Target sites of herbicide action**. CRC Press Boca Raton, FL, 1989. p. 1-24.

MORTENSEN, D.A.; BASTIAANS, L.; SATTIN, M. (2000). The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. **Weed Research-Oxford**, v.40, n.1, p.49-62, 2000.

MULLER, P., LI, X. P. & NIYOGI, K. K. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. **Plant Physiol.** v.125, p.1558-1566, 2001.

NETO, JG MACHADO; ANDRADE, T. L. C. Efeitos de herbicidas de pós-emergência na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e no controle das plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.6, n.2, p.123-128, 1983.

OHLROGGE, J; BROWSE, J. Lipid biosynthesis. **The Plant Cell**, v. 7, n. 7, p. 957-970, 1995.

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 33-46, 2008.

PITELLI, R.A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

PIMENTEL C, LAFFRAY D, LOUGUET P. Intrinsic water use efficiency at the pollination stage as a parameter for drought tolerance selection in *Phaseolus vulgaris* L. **Physiologia Plantarum**, v.106, n.2, p.184-189, 1999.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur, 191p, 2004.

PIMENTEL, C., DAVEY, P.A., JUVIK, J. A., LONG, S.. Gene loci in maize influencing susceptibility to chilling dependent photoinhibition of photosynthesis. **Photosynthesis Research**, v.85, n.3, p.319 - 326, 2005.

PIMENTEL, C. Efficiency of nutrient use by crops for low input agro-environments. In: Singh, R.P., Shankar, N.; Jaiwal P.K. (eds.). Nitrogen nutrition in plant productivity. Houston: Studium Press, 2006. p. 277-328.

PIMENTEL, C.; OLIVEIRA, R. F.; RIBEIRO, R. V.; SANTOS, M. G.; MACHADO, E. C. Características fotossintéticas de *Phaseolus vulgaris* L. **Roehnea**, v.2, n.38, p.273-279, 2011.

PIMENTEL, C. Photoinhibition in a C<sub>4</sub> plant, *Zea mays* L.: a minireview. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.26, n.2, p.157-165, 2014.

POKORSKA B.; ZIENKIEWICZ M.; POWIKROWSKA M.; DROZAK A.;ROMANOWSKA E. Differential turnover of the photosystem II reaction centre D1 protein in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) –Bioenergetics**, v.1787, n.10, p.1161–1169, 2009.

PORTES, T.A; MAGALHÃES, A.C.N. Análise comparativa de diferentes genótipos de feijão através da medição da fluorescência da clorofila a e do balanço de O<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.5, n.1, p.17-23, 1993.

POWLES, S.B.; YU, Q. Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, p. 317–47, 2010.

PROCÓPIO, S.O.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; CRUVINEL, K.L.; BETTA, M.; BRAZ, G.B.P.; FRAGA FILHO, J.J.S.; CUNHA JÚNIOR, L.D. Potencial de uso dos herbicidas chlorimuron-ethyl, imazethapyr e cloransulam-methyl na cultura do feijão. **Planta Daninha**, v.27, n.2, p.327-336, 2009.

RAMALHO, M.A.P. Manejo de Plantas Daninhas (2005) Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na região sul de Minas Gerais. Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, n.6, Versão eletrônica, 2005. Disponível em: [https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafrasulMG/manejo\\_pdaninhas.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafrasulMG/manejo_pdaninhas.htm). Acessado em 24/07/2014.

RAMOS, L.R.M.; PITELLI, R.A. Efeitos de diferentes períodos de controle da comunidade infestante sobre a produtividade da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.10, p.1523-1531, 1994.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; PIMENTEL, C. High temperature effects on the response of photosynthesis to light in sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.15, n.2, p.89-97, 2003.

RIBEIRO, R.V.; SANTOS, M.G.D.; SOUZA, G.M.; MACHADO, C.E.; OLIVEIRA, R.F.D.; ANGELOCCI, L.R.; PIMENTEL, C.. Efeitos ambientais sobre a capacidade fotossintética de genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.615-623, 2004.

RIBEIRO, R.A.; MARTINS, T.B.; ORMEÑO-ORRILLO, E.; DELAMUTA, J.R.M; ROGEL, M.A; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; HUNGRIA, M. *Rhizobium ecuadorensis* sp. nov., an indigenous N<sub>2</sub>-fixing symbiont of the Ecuadorian common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genetic pool. **International journal of systematic and evolutionary microbiology**, v.65, n.9, p.3162-3169, 2015.

RICE, E. L. Allelopathy. 2. ed. New York: Academic Press. 422 p, 1984.

RODRIGUES, N. B.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 4. ed. Londrina: 2005. 591 p.

RUTHERFORD, A.W; KRIEGER-LISZKAY, A. Herbicide-induced oxidative stress in photosystem II. **Trends in biochemical sciences**, v. 26, n. 11, p. 648-653, 2001.

ROHÁČEK, K.: Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning and mutual relationships. **Photosynthetica**, v40, n.1, p.13-29, 2002.

SANTOS, J.B.; GAVILANES, M.L. Botânica. In: VIEIRA, C. PAULA JUNIOR, BORÉM, A. Feijão. 1.ed. Viçosa, Minas Gerais: Editora UF, 2006. P.55-81.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: **Ecophysiology of photosynthesis**. Springer Berlin Heidelberg, p. 49-70, 1994.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. **Photosynthesis: a comprehensive treatise**, p320, 2000.

SILVA, V. P.; FERREIRA, L.R.; D'ANTONINO, L.; CARNEIRO, J.E.; SILVA, G.R.; FONTES, D.R. Efficiency and soil residual effect of herbicides in bean culture. **Planta Daninha**, v.31, n.4, p.961-970, 2013.

SILVA, O.F.; WANDER, A.E. **O Feijão-Comum no Brasil Passado, Presente e Futuro**. Santo Antônio de Goiás - GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 63p.

SILVA, V.P.; FERREIRA, L.R.;D'ANTONINO, L.; CARNEIRO, J.E.;SILVA, G.R.;FONTES, D.R. Eficiência e residual no solo de herbicidas na cultura do feijão. **Planta Daninha**, v.31, n.4, p.961-970, 2013.

SILVA, A. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A.; SILVA, J. (2007). Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. **Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa**, 83-148, 2007.

SOLTANI, N.; NURSE, R. E.; SIKKEMA, P. H. Weed management in white beans with postemergence herbicide tankmixes. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 93, n.4, p.669-674, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p

TAKANO, H. K.; BRAZ, G. B. P.;DE OLIVEIRA JUNIOR, R. S.;CONSTANTIN, J.;RIOS, F. A.;GHENO, E. A.; FRANCHINI, L. H. M. Reduction of phytotoxicity by herbicides applied in common beans with the use of fungicides. **Revista Agrarian**, v.8, n.27, p.12-22, 2015.

TEIXEIRA, I.R.; SILVA, R.P.; SILVA, A.G.; FREITAS, R.S. Competição entre feijoeiros e plantas daninhas em função do tipo de crescimento dos cultivares. **Planta Daninha**, v.27, n.2, p.235-240, 2009.

THILL, D. Lipid biosynthesis inhibitors – Group one. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 293-348, 2003.

TREBST A., DRABER W. Structure activity correlations of recent herbicides in photosynthetic reactions. **Advances in pesticide science**, p.223-234, 2013.

VASS, I. Molecular mechanisms of photodamage in the Photosystem II complex. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1817, n. 1, p. 209-217, 2012.

VICTORIA FILHO, R. Potencial de concorrência de plantas daninhas em plantio direto. In: FUNDAÇÃO CARGILL (Campinas, SP). **Atualização em plantio direto**. Campinas, 1985. p.31-48.

VIEIRA, C.; PAULA JR, T.J.; BORÉM, A. Feijão: Aspectos gerais e cultura no estado de Minas Gerais. UFV, Viçosa, 596p, 1998.

VILÀ, M.; WILLIAMSON, M.; LONSDALE, M. Competition experiments on alien weeds with crops: lessons for measuring plant invasion impact?. **Biological Invasions**, v.6, n.1, p.59-69, 2004.

WESTON, L.A.; DUKE, S.O. Weed and crop allelopathy. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.22, n.3-4, p.367-389, 2003.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. de L.; TURCHETTO, A.C.; BRAGA, E.J.B.; PETERS, J.A.; BACARIN, M.A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v.12, n.2, p.157-161, 2006.

ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988.

WELLER, S. Photosystem II inhibitors. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, 2003. p.131-184.