

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o milho e o algodão cultivados em sucessão

Samia Rayara de Sousa Ribeiro

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

**EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ-
EMERGÊNCIA NA CULTURA DA SOJA SOBRE O MILHO E O
ALGODÃO CULTIVADOS EM SUCESSÃO**

SAMIA RAYARA DE SOUSA RIBEIRO

Sob a Orientação da Professora
Camila Ferreira de Pinho

e Co-orientação do Pesquisador
Orlando Carlos Huertas Tavares

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de Concentração Meio Ambiente.

Seropédica, RJ
Janeiro de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R484e RIBEIRO, SAMIA RAYARA DE SOUSA, 1991-
Efeito residual de herbicidas aplicados em pré
emergência na cultura da soja sobre o milho e o
algodão cultivados em sucessão. / SAMIA RAYARA DE
SOUSA RIBEIRO. - 2018.
82 f.: il.

Orientadora: Camila Ferreira de Pinho.
Coorientador: Orlando Carlos Huertas Tavares.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola e Ambiental, 2018.

1. Zea mays. 2. Gossypium hirsutum L.. 3. Citrullus
lanatus. I. Pinho, Camila Ferreira de, 1986
, orient. II. Tavares, Orlando Carlos Huertas, 1979-,
coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola e Ambiental. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

SAMIA RAYARA DE SOUSA RIBEIRO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de Concentração Meio Ambiente.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/01/2018



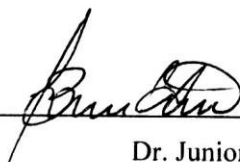
Dr.^a. Camila Ferreira de Pinho
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
(Orientadora)



Dr.^a. Cláudia de Oliveira
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Dr.^a. Cristina Moll Huther
Universidade Federal Fluminense



Dr. Junior Borella
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, que sonhou todos os meus sonhos, e
à Deus que os tem realizado.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me sustentou até aqui. À Ele honra e glória.

À minha família pela união em oração e amor incondicional.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo acolhimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da UFRRJ e corpo docente por todo o incentivo.

À Professora Dra. Camila Ferreira de Pinho pela orientação e apoio permanente.

Ao pesquisador e coorientador Dr. Orlando Carlos Huertas Tavares pelas contribuições a este trabalho.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Plantas Daninhas e Pesticidas no Ambiente, sem o qual este trabalho não seria possível. Obrigada pela dedicação, esforço e alegria.

Aos colegas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFRRJ por possibilitarem a execução de parte deste trabalho.

Às queridas Jéssica Leal e Amanda Sousa por dividirem as lutas deste mestrado comigo.

Aos amigos, os de perto e os de longe, os antigos e os novos, por todos os momentos que dividimos.

À minha irmã Camila Barros de Souza por todo amor e cuidado.

À Universidade Federal Rural da Amazônia por ser berço de minha formação.

BIOGRAFIA

Samia Rayara de Sousa Ribeiro, 26 anos, filha de Olivar Pereira Ribeiro e Eliene de Nazaré Pereira de Sousa, nasceu na cidade de Belém, no Estado do Pará, no dia 30 de dezembro do ano de 1991. Graduiu-se em Agronomia no ano de 2016 pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). No mesmo ano, iniciou o mestrado acadêmico na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) sob orientação da Dr^a. Camila Ferreira de Pinho, onde desenvolveu estudos sobre o potencial efeito *carryover* de herbicidas pré-emergentes indicados para a cultura da soja.

RESUMO

RIBEIRO, Samia Rayara de Sousa. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o milho e o algodão cultivados em sucessão.** 2018. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

A importância da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) para o país é inegável, sendo a cultura de maior área cultivada no Brasil e grande fonte de divisas por meio da exportação de grãos e derivados. No Brasil, a sucessão de culturas é muito utilizada aproveitando as condições tropicais do país, que permite sucessivas safras com altos rendimentos de produtividade. Duas culturas se destacam no cenário nacional como opções de cultivo em sucessão à soja: o milho e o algodão. A busca por economia e produtividade contrapõe-se à interferência das plantas daninhas, em que o controle tende a aumentar os custos de produção, reduzindo as margens de lucro e diminuindo a qualidade do produto. Neste contexto, os herbicidas surgiram como uma ferramenta para o controle de plantas daninhas e dentre os tipos de herbicidas utilizados, os pré-emergentes reúnem características importante, entre elas o longo período residual. Entretanto, quando a bioatividade do herbicida excede o ciclo da cultura alvo, persistindo no solo pela safra da cultura seguinte, ocorre o fenômeno denominado de *carryover*. Dada a importância da sucessão/rotação de culturas para a economia do país e a necessidade de uso racional de herbicidas, faz-se necessária a realização de estudos para compreender o comportamento de herbicidas no solo e nas plantas para evitar o potencial risco de fitotoxicidade ocasionado pelo *carryover*. O objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade residual dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, flumioxazin, imazapir+imazapic e metribuzim aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o milho e algodão cultivados em sucessão, identificando dentre estes herbicidas, o risco potencial em ocasionar *carryover*. Três experimentos simultâneos foram conduzidos em áreas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica/RJ, durante o período de setembro de 2016 a março de 2017, em esquema de sucessão de culturas, com delineamento experimental de casualização por bloco, com quatro repetições, em esquema fatorial 5x4+1 cada um, onde o fator A foi composto pelos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim, e o fator B, as quatro doses dos herbicidas ($\frac{1}{2}D$, D, $D+\frac{1}{2}$ e 2D) - em gramas de ingrediente ativo por hectare ($g\text{ ia ha}^{-1}$), e mais o tratamento controle, para cada ensaio: milho, algodão e melancia. As variáveis analisadas foram fluorescência da clorofila *a*; altura de plantas, comprimento de raiz, volume de raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e atividade de enzimas antioxidantes. Os dados gerados no experimento foram submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$) e submetidos ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para as culturas de milho e algodão, não foi verificado o efeito *carryover* quando cultivadas 120 dias após a aplicação em pré-emergência dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim. A cultura da melancia, utilizada como bioindicadora, mostrou-se sensível aos herbicidas, demonstrando a persistência destes no solo, entretanto, esta persistência não foi capaz de causar fitotoxicidade nas culturas de milho e algodão cultivadas em sucessão à soja dentro do intervalo testado neste trabalho.

Palavras-chave: *Zea mays*, *Gossypium hirsutum* L., *Citrullus lanatus*

ABSTRACT

RIBEIRO, Samia Rayara de Sousa. **Residual effect of herbicides applied in pre-emergence on soybean cultivation on maize and cotton grown in succession.** 2018. 89p. Dissertation (Master Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Engineering Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

The importance of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to the country is undeniable, being the largest cultivated area in Brazil and a major source of foreign exchange through the export of grains and derivatives. In Brazil, the succession of crops is widely used, taking advantage of the tropical conditions of the country, which allows successive crops with high yields of productivity. Two crops stand out in the national scenario as options of cultivation in succession to the soybean: the corn and the cotton. The search for economy and productivity is opposed to weed interference, where control tends to increase production costs, reducing profit margins and decreasing product quality. In this context, herbicides appeared as a tool to control weeds and among the types of herbicides used, the pre-emergent ones have important characteristics, among them the long residual period. However, when the bioactivity of the herbicide exceeds the cycle of the target crop, persisting in the soil by the harvest of the next crop, the so-called carryover phenomenon occurs. Given the importance of succession/rotation of crops to the country's economy and the need for rational use of herbicides, it is necessary to conduct studies to understand the behavior of herbicides in soil and plants to avoid the potential risk of phytotoxicity caused by carryover. The objective of this work was to evaluate the residual activity of chlorimuron-ethyl, diclosulam, flumioxazin, imazapyr+imazapic and metribuzim herbicides applied in pre-emergence on soybean cultivation on maize and cotton grown in succession, identifying the potential risk in cause carryover. Three simultaneous experiments were conducted in areas of the Federal Rural University of Rio de Janeiro - Seropédica/RJ, during the period from September 2016 to March 2017, in a crop succession scheme, with an experimental design of randomization by block, with four replications, in factorial scheme 5x4+1 each, where factor A was composed of the herbicides chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapyr+imazapic, flumioxazin and metribuzim, and factor B, the four doses of the herbicides ($\frac{1}{2}D$, D, D + $\frac{1}{2}$ and 2D) - in grams of active ingredient per hectare ($g\text{ ia ha}^{-1}$), plus the control treatment for each trial: maize, cotton and watermelon. The variables analyzed were chlorophyll a fluorescence; plant height, root length, root volume, dry shoot mass, root dry mass and antioxidant enzyme activity. The data generated in the experiment were submitted to analysis of variance ($p \leq 0.05$) and submitted to the Tukey test, at 5% probability. For corn and cotton crops, the carryover effect was not verified when cultivated 120 days after the pre-emergence of chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapyr+imazapic, flumioxazin and metribuzim herbicides. However, this persistence was not able to cause phytotoxicity in maize and cotton crops grown in succession to the soybean within the range tested in this study.

Key words: *Zea mays*, *Gossypium hirsutum* L., *Citrullus lanatus*

INDÍCE DE FIGURAS

- Figura 1** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 19
- Figura 2** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida diclosulam. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 22
- Figura 3** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 24
- Figura 4** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida flumioxazin. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 27
- Figura 5** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida metribuzim. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 29
- Figura 6** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 38
- Figura 7** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida diclosulam. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 39
- Figura 8** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 42
- Figura 9** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida flumioxazin. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$). 45
- Figura 10** Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida metribuzim. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e

fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).	48
Figura 11 Fluorescência variável transiente da clorofila <i>a</i> em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).	55
Figura 12 Fluorescência variável transiente da clorofila <i>a</i> em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida diclosulam. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).	58
Figura 13 Fluorescência variável transiente da clorofila <i>a</i> em plantas de melancia sob diferentes doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).	60
Figura 14 Fluorescência variável transiente da clorofila <i>a</i> em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida flumioxazin. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).	63
Figura 15 Fluorescência variável transiente da clorofila <i>a</i> em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida metribuzim. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).	66

INDÍCE DE TABELAS

Tabela 1 Características físico-químicas dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim.....	7
Tabela 2 Doses aplicadas dos herbicidas estudados em g ia ha ⁻¹	8
Tabela 3 Propriedades físico-químicas do solo determinadas pelo Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizantes da Universidade Federal de Viçosa.....	8
Tabela 4 Principais parâmetros do Teste JIP (Adaptado de TSIMILLI-MICHAEL & STRASSER <i>et al.</i> , 2008).....	10
Tabela 4 Altura de parte aérea (cm) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	13
Tabela 5 Comprimento de raiz (cm) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	14
Tabela 6 Volume de raiz (ml) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	15
Tabela 7 Massa seca da parte aérea (g) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	16
Tabela 8 Massa seca da raiz (g) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	17
Tabela 9 - Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	18
Tabela 10 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	20
Tabela 11 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	21
Tabela 12 - Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	21
Tabela 13 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	23
Tabela 14 - Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	25

Tabela 15 - Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	26
Tabela 16 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	26
Tabela 17 - Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	28
Tabela 18 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	30
Tabela 19 Atividade específica da enzima ascorbato peroxidase (APX) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.....	30
Tabela 20 Atividade específica da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.....	31
Tabela 21 Atividade específica da enzima glutathione redutase (GR) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.....	31
Tabela 22 Atividade específica da enzima glutathione S-transferase (GST) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.....	32
Tabela 23 Altura de parte aérea (cm) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses $\frac{1}{2}$ D, D, D + $\frac{1}{2}$ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	33
Tabela 24 Comprimento de raiz (cm) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses $\frac{1}{2}$ D, D, D + $\frac{1}{2}$ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	34
Tabela 25 Volume de raiz (ml) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses $\frac{1}{2}$ D, D, D + $\frac{1}{2}$ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	34
Tabela 26 Massa seca de parte aérea (g) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses $\frac{1}{2}$ D, D, D + $\frac{1}{2}$ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	35
Tabela 27 Massa seca de raiz (g) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses $\frac{1}{2}$ D, D, D + $\frac{1}{2}$ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	35

Tabela 28 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	37
Tabela 29 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	37
Tabela 30 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	40
Tabela 31 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	40
Tabela 32 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	41
Tabela 33 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	43
Tabela 34 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	44
Tabela 35 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	46
Tabela 36 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	47
Tabela 37 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	49
Tabela 38 Comprimento de parte aérea (cm) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	50
Tabela 39 Comprimento de raiz (cm) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	51
Tabela 40 Volume de raiz (ml) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	51
Tabela 41 - Massa seca de parte aérea (g) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.....	52
Tabela 42 - Massa seca de raiz (g) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e	

metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	53
Tabela 43 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	54
Tabela 44 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	56
Tabela 45 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	57
Tabela 46 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	57
Tabela 47 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	59
Tabela 48 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	61
Tabela 49 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	62
Tabela 50 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	64
Tabela 51 Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	65
Tabela 52 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.	67
Tabela 53 Atividade específica da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) na melancia cultivada 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.	67
Tabela 54 - Atividade específica da enzima glutathione redutase (GR) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) na melancia cultivada 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.	68

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

K_{OW} - coeficiente de partição octanol-água
S - solubilidade
pKa - capacidade de dissociação eletrolítica
PV - pressão de vapor
RR - Roundup Ready® ALS
- acetolactato sintase mg L⁻¹
- miligrama por litro Kd -
coeficiente de sorção Q_B -
quinona B
¹/₂D - metade da dose de bula
D - dose de bula
D+¹/₂ - dose de bula mais metade da dose
2D - dobro da dose de bula
mg dm⁻³ - miligramas por decímetro cúbico
C.Org - carbono orgânico
μmol m⁻² s⁻¹ - micromole por metro quadrado por segundo
PVPP - polivinilpolipirrolidona
mL - mililitros
mM - milimolar
APX - ascorbato peroxidase
GR - glutationa redutase
GPOD - guaiacol peroxidase
GST - glutationa S-transferase
GR - glutationa redutase
GSSG - glutationa oxidada
nm - nanômetro
BSA - albumina de soro bovino
g ia ha⁻¹ - gramas de ingrediente ativo por hectare
NS - não significativo
DAE - dias após a emergência
DAA - dias após a aplicação
AL PA - altura de parte aérea
COMP R - comprimento de raiz
VOL R - volume de raiz
MSPA - massa seca de parte aérea
MSR - massa seca de raiz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4	RESULTADOS.....	13
4.1	Experimento I: milho em sucessão	13
4.1.1	Chlorimuron-ethyl.....	18
4.1.2	Diclosulam.....	21
4.1.3	Imazapir+imazapic	23
4.1.4	Flumioxazin	26
4.1.5	Metribuzim	28
4.2	Experimento II: algodão em sucessão	33
4.2.1	Chlorimuron-ethyl	37
4.2.2	Diclosulam.....	39
4.2.3	Imazapir+imazapic	41
4.2.4	Flumioxazin	44
4.2.5	Metribuzim	47
4.3	Experimento III: melancia	50
4.3.1	Chlorimuron-ethyl	54
4.3.2	Diclosulam.....	57
4.3.3	Imazapir+imazapic	59
4.3.4	Flumioxazin	62
4.3.5	Metribuzim	65
5	DISCUSSÃO.....	69
6	CONCLUSÃO	75
7	BIBLIOGRAFIA CITADA	76

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura de maior área cultivada no Brasil e grande fonte de divisas por meio da exportação de grãos e derivados, que são principalmente utilizados para compor a ração animal. A soja é uma *commodity* agrícola que corresponde a aproximadamente 13% do volume total de exportações no Brasil que é o segundo maior produtor do grão em nível mundial, com aproximadamente 32 milhões de hectares de área plantada e produção estimada em torno de 114 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

A sucessão de culturas é muito utilizada no Brasil aproveitando as condições tropicais do país, que permite sucessivas safras com altos rendimentos de produtividade. Duas culturas se destacam no cenário nacional como opções de cultivo em sucessão à soja: o milho e o algodão. A safra 2016/2017 de algodão está estimada em 939,1 mil hectares, este valor é 18,2% maior que a safra 2015/16 com um aumento significativo na produtividade de cerca de 20%. Para o milho safrinha, na Região Centro-Oeste que é a principal produtora nacional, a área plantada está estimada em 7 milhões de hectares em 2017, representando um incremento de 11,2% em relação a última safra, com produtividade estimada para 97,2 milhões de toneladas, sendo esta a maior produção de milho já registrada (CONAB, 2017).

Pelo valor econômico que estas culturas representam, a busca por economia e produtividade contrapõe-se à interferência das plantas daninhas, em que o manejo tende a aumentar os custos de produção, reduzindo as margens de lucro e diminuindo a qualidade do produto. Neste contexto, os herbicidas surgiram como uma ferramenta para o controle de plantas daninhas, abrindo novas possibilidades de manejo agrícola, dando ao produtor oportunidade de realizar o controle com maior facilidade, reduzindo custos e aumentando rendimentos. Dentre os tipos de herbicidas utilizados, os pré-emergentes reúnem características importantes, entre elas o longo período residual.

Entretanto, quando a desejável bioatividade de um herbicida excede o ciclo da cultura onde ele foi aplicado, persistindo no solo, ocorre o fenômeno denominado de *carryover*. Este fenômeno é cada vez mais comum devido a utilização de variedades de soja de ciclo precoce e superprecoce, aliada ainda à técnicas de dessecação das plantas para realizar a colheita, visando a antecipação da semeadura das culturas sucessoras, reduz o intervalo de tempo entre a aplicação de herbicidas na soja e a semeadura de espécies em sucessão. Dessa forma, os riscos de eventuais efeitos negativos relacionados à atividade residual de alguns herbicidas sobre culturas em sucessão têm aumentado devido sua bioatividade prolongada (DAN *et al.*, 2012).

Exposto isto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade residual dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, flumioxazin, imazapir+imazapic e metribuzim aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o milho e algodão cultivados em sucessão, identificando dentre estes herbicidas, o risco potencial em ocasionar *carryover*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal oleaginosa em termos de produção e consumo mundial e isso se justifica pela sua importância para a alimentação animal e humana. No Brasil, este grão é cultivado desde o extremo Sul até as regiões Norte e Nordeste tendo grande relevância para o agronegócio nacional. Nas últimas décadas, a cultura da soja obteve grandes incrementos em área plantada e produtividade em função da adoção de tecnologias de produção mais avançadas, como a biotecnologia, que propiciaram ao setor maior crescimento e dinamismo, resultando em alta competitividade (EMBRAPA SOJA, 2013).

Segundo o último relatório divulgado pela Conab, espera-se que a produção mundial de soja continue se expandindo, mas em um ritmo de 1,9% por ano, o que está muito abaixo da taxa de crescimento de 4,9% anual da última década. É esperado que a produção de soja no Brasil cresça a 2,6% por ano, o maior crescimento esperado entre os principais produtores (Argentina 2,1% ao ano e os Estados Unidos 1,0% ao ano) (CONAB, 2017). Os dados da Conab projetam o Brasil como o maior produtor de soja já na próxima década, ultrapassando os Estados Unidos, e as exportações em 2026 serão dominadas por esses dois países, que, juntos, respondem por quase 80% das exportações mundiais (CONAB, 2017).

A produção de grãos tende a crescer acompanhando a demanda para a alimentação humana baseada em proteína animal, que decorre da utilização de milho como fonte energética - já que o grão é rico em amido -, e proteínas vegetais, tal como o farelo de soja (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2015). Assim, para a produção de um quilo de carne de aves de corte normalmente são necessários dois quilos de ração com composição média de 1,4 kg de milho mais 0,4 kg de farelo de soja; para carne de porco, são necessárias 2,8 kg de ração composta de 2 kg de milho e 0,7 kg de farelo de soja. Assim, a relação de produção milho/soja que atenda a demanda do setor de carnes situa-se, na média, em torno de 3/1 (MIRANDA *et al.*, 2014).

A produção de milho no Brasil é caracterizada pelo plantio em duas épocas: primeira safra (ou safra de verão) e segunda safra (ou safrinha). O milho safrinha é definido como o milho de sequeiro cultivado extemporaneamente, quase sempre depois da soja precoce, possibilitando a otimização da mão-de-obra e maquinários da propriedade, diminuindo a sazonalidade da produção, do abastecimento e de preços (DUARTE, 2004). A cultura do milho safrinha consolidou-se no Brasil nos últimos anos, com expressivo crescimento de área, produção e produtividade, a partir de experiências pioneiras no Paraná, tornando-se componente fundamental das cadeias produtivas que têm na produção e no consumo do milho um item importante (DUARTE, 2004).

A expansão da área plantada de milho, favorecida pela adoção do sistema de plantio direto na palha da cultura da soja, permitindo redução do tempo entre a colheita da lavoura de verão e a semeadura do milho de segunda safra, representa 10% do aumento total da produção de grãos no Brasil e a estimativa de produtividade, de 5.564 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017). Agrade acordo com a CONAB (2017), a área cultivada com o milho na segunda safra de 2017 foi de 12 milhões de hectares e produção total de 67 milhões de toneladas ha⁻¹.

Um ponto importante em relação ao milho é que quase todos os países do mundo produzem e consomem o grão. Destaca-se a posição do Brasil como terceiro maior produtor mundial, quarto maior consumidor e segundo maior exportador (USDA, 2017).

Assim como o milho e a soja, o algodão é uma cultura de alta rentabilidade e de imensas possibilidades para o Brasil, sendo o quinto maior produtor mundial, tanto para o cultivo de sequeiro como para o irrigado e muito utilizada nos sistemas de rotação de culturas no país (RAMOS *et al.*, 2014).

Após um período de baixa produção, influenciada por razões econômicas, fitotécnicas e relativas ao comércio exterior, passou-se a observar mudanças importantes na cotonicultura brasileira. Tem reconhecida importância socioeconômica, principalmente para o Nordeste brasileiro que é o segundo maior pólo de consumo industrial de pluma do Brasil, com quase 300 mil toneladas de pluma por ano, constituindo-se numa importante fonte de geração de emprego e de renda no campo (CONAB, 2017).

Segundo a CONAB (2017), a área plantada de algodão na safra 2016/17 do Brasil deve ser em torno de 910.000 hectares, uma queda de 5% em comparação ao ano anterior. A redução é devido a uma área plantada inferior ao esperado em Mato Grosso, o maior estado produtor de algodão do Brasil.

Em razão da utilização de elevado pacote tecnológico, a cultura responde bem às condições climáticas favoráveis sendo a estimativa de produtividade atual em torno de 2.437 kg ha⁻¹ de caroço de algodão e 1.580 kg ha⁻¹ de pluma, sendo a segunda melhor produtividade média alcançada pelo país (CONAB, 2017).

Entre os principais fatores que concorrem para o comprometimento da produtividade nas culturas de interesse econômico pode-se citar as plantas daninhas. Planta daninha é toda comunidade de espécies infestantes que podem interferir expressivamente no crescimento, desenvolvimento e, conseqüentemente, na produtividade das plantas cultivadas, quando não são manejadas adequadamente dentro dos agroecossistemas (CARVALHO *et al.*, 2010). A competição entre estas plantas e as culturas de interesse se dá por luz, água e nutrientes, sobretudo nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas, e, se não controlada, esta competição pode resultar em elevadas perdas de produtividade e até mesmo inviabilizar a colheita (MONQUERO *et al.*, 2013a). Diversos fatores estão envolvidos na interação entre a cultura, a comunidade de plantas daninhas e o ambiente (BLEASDALE, 1960; BLANCO, 1972; PITELLI, 1985), que são inerentes à própria cultura (espécie, cultivar, espaçamento), à comunidade infestante (espécie, densidade e distribuição), ao ambiente (clima, solo e manejo da cultura) e ao período em que cultura e planta daninha convivem (PITELLI, 1985).

Nesse processo interativo, os fatores de mais fácil controle são a época e a extensão do período de convivência entre a cultura e as plantas daninhas (SPADOTTO *et al.*, 1994), que está associado ao período crítico de prevenção à interferência definido por Pitelli (1985). O período de convivência entre a cultura e as plantas daninhas define o nível de dano à espécie cultivada. Quanto maior o período de convivência da cultura com as plantas daninhas, maior será o prejuízo ao rendimento da cultura, seja em grãos, massa fresca, número de vagens, entre outros.

O conhecimento deste período é importante para o desenvolvimento de estratégias de manejo das plantas daninhas, indicando o intervalo de tempo em que o controle poderá ser mais efetivo na prevenção de danos às plantas cultivadas. O método mais utilizado para controlar as plantas daninhas é o químico, isto é, o uso de herbicidas, que são substâncias químicas capazes de provocar a morte de determinada população de plantas (MACIEL, 2006; CONSTANTIN, 2011).

Os herbicidas de modo geral são classificados principalmente de acordo com sua seletividade, quanto à sua translocação nas plantas, quanto à estrutura química, modo de ação e quanto à sua época de aplicação. A classificação quanto à época de aplicação reflete a eficiência de absorção por diferentes estruturas das plantas. Aqueles aplicados ao solo são normalmente absorvidos pelas raízes ou por estruturas subterrâneas antes, durante ou imediatamente após a emergência. Já aqueles aplicados à parte aérea das plantas são preferencialmente absorvidos pelas folhas. Os herbicidas pré-emergentes são aplicados antes da emergência das plantas daninhas e da cultura. Em alguns casos, como na cultura do algodão, pode haver aplicações de herbicidas em pré-emergência das plantas daninhas, mas após a emergência da cultura, sendo neste caso, as aplicações dirigidas às entrelinhas da cultura. Nas

aplicações em pré emergência, a eficácia dos herbicidas depende muito da disponibilidade e água no solo, uma vez que estes produtos atuam sobre processos como a germinação de sementes ou o crescimento radicular (OLIVEIRA JR., 2011).

O uso de herbicidas deste tipo diminuiu em virtude da consolidação do sistema de plantio direto e a manutenção da palhada nos cultivos, além do cultivo intensivo da soja tecnologia RR (transgênica), no qual utilizava basicamente o herbicida glifosato em pós emergência. Porém, após o surgimento de espécies de plantas daninhas resistentes ao glifosato o uso de herbicidas pré-emergentes tem se propagado novamente (TEHRANCHIAN *et al.*, 2016).

Com a intensa utilização dos insumos agrícolas nos cultivos brasileiros, tem-se observado a necessidade de uso racional destes para minimizar os impactos ambientais da agricultura, por meio da compreensão do comportamento de herbicidas no solo. Entre os efeitos diretos percebidos pelos produtores estão os sintomas visuais de intoxicação e a redução de produtividade das culturas em sucessão e/ou rotação, ocasionados por herbicidas de longa ação residual. Sua permanência e degradação no solo são processos-chave na determinação do seu efeito residual (HINZ, 2001).

Herbicidas pré emergentes proporcionam o efeito residual prolongado sob o solo, prevenindo a competição entre as plantas daninhas e a cultura por um extenso período (CARATTI *et al.*, 2015), reduzindo o número de aplicações na área. No entanto, com o fim do ciclo de cultivo, a presença desses herbicidas no solo pode se tornar indesejável, podendo resultar em efeito residual negativo (DAN *et al.*, 2012). Do ponto de vista agrícola, quando a atividade residual de um determinado herbicida excede o ciclo da cultura onde ele foi aplicado e persiste em intensidade suficiente para causar danos às espécies cultivadas em sucessão, ocorre o fenômeno denominado de *carryover* (OLIVEIRA JR., 2011).

Em trabalho realizado por Dan *et al* (2011) avaliou-se a atividade residual dos herbicidas sulfentrazone, diclosulam, imazaquin e flumioxazin, utilizados no manejo de plantas daninhas em pré-emergência da cultura da soja, para verificar seus efeitos sobre o milho cultivado em sucessão, onde, dos herbicidas pré-emergentes avaliados, o sulfentrazone apresentou maior atividade residual, influenciando negativamente o rendimento da cultura durante o intervalo de tempo estudado.

Resíduo dos herbicidas do grupo das imidazolinonas no solo tem se apresentado como fator limitante na China à tradicional rotação de amendoim, trigo, milho e soja, onde, conforme indicado nos rótulos dos produtos, por exemplo, o trigo só deve ser cultivado após um intervalo de 120 dias da aplicação; milho, algodão e cevada apenas 540 dias após a aplicação (SU *et al.*, 2017). Ainda segundo estes autores, observou-se injúrias em milho e algodão cultivados após um ano da aplicação de imazapic na cultura do amendoim.

O comportamento dos herbicidas nos solos é regido por uma variedade de complexos processos físicos, químicos e biológicos, incluindo retenção, transformação (degradação química e biológica), transporte (volatilização, escorrimento superficial e lixiviação), que controlam diretamente a interação do herbicida com o ambiente. A importância desses processos varia de acordo com o produto químico e as propriedades do solo, mas dois processos se destacam: retenção e degradação (LINN *et al.*, 1993).

A retenção refere-se à habilidade do solo reter uma molécula orgânica, evitando que ela se mova tanto para dentro como para fora da matriz do solo. A retenção se constitui primariamente no processo de adsorção, mas também inclui a absorção pela matriz do solo e plantas (ARIAS-ESTÉVES *et al.*, 2008).

A sorção-dessorção é um processo dinâmico em que as moléculas são continuamente transferidas entre a solução e a superfície do solo (SILVA *et al.*, 2012). Desempenha um papel fundamental na dinâmica do transporte, persistência, transformação e bioacumulação de herbicidas. Componentes do solo como a matéria orgânica, as argilas e óxidos de ferro, as

cargas dependentes de pH, entre outros, são importantes para a sorção de herbicidas (DE JONGE *et al.*, 1996).

A degradação é fundamental para atenuar os níveis de resíduos do pesticida (GUO *et al.*, 2000). É governada por fatores abióticos e bióticos, e pode seguir caminhos complexos que envolvem uma variedade de interações entre microrganismos, componentes do solo e o pesticida, dependendo, assim, de muitas propriedades microbiológicas, físicas e químicas do solo, bem como as propriedades da molécula (TOPP *et al.*, 1997).

As características físico-químicas do herbicida são muito utilizadas para estudo do seu comportamento, pois estão relacionadas com sua interação no solo. As principais são: solubilidade em água (S), coeficiente de partição octanol-água (K_{OW}), coeficiente de adsorção ao carbono orgânico (K_{OC}) e constante de equilíbrio de ionização ácido-base (pK_A) (MANCUSO *et al.*, 2011).

A solubilidade (S) de um herbicida expressa a quantidade máxima com que este é dissolvido em água pura, em determinada temperatura (geralmente 25°), até que ocorra a saturação da solução. As moléculas muito solúveis geralmente possuem facilidade de se dissiparem no ambiente por fluxo de água e apresentam coeficientes de sorção relativamente baixos no solo (KOGAN & PÉREZ, 2003).

O coeficiente de partição octanol-água (K_{OW}) refere-se ao grau de afinidade da molécula de pesticida pela fase polar (representada pela água) ou apolar (representada pela substância octanol) (OLIVEIRA JR., 2002). A polaridade é muito importante para penetração das moléculas dos herbicidas pela cutícula das folhas e também interfere nos processos sortivos com o solo. Geralmente os herbicidas apolares ($K_{OW} > 10.000$) possuem maior potencial de se adsorver à fração orgânica dos colóides do solo. Para os herbicidas polares ($K_{OW} < 10$), sua afinidade é maior em relação à fração mineral do solo (SILVA *et al.*, 2012). Esta propriedade pode ser usada para avaliar a atividade de herbicidas na solução do solo, ou seja, o quanto da molécula de herbicida está livre em água ou associada às substâncias orgânicas.

O coeficiente de adsorção ao carbono orgânico do solo (K_{OC}) reflete a tendência de adsorção do herbicida pela matéria orgânica presente no solo (OLIVEIRA JR., 2002). Alguns autores apontam ainda certa relação entre os coeficientes K_{OW} e K_{OC} . Quanto menor for o valor de K_{OW} , maior será o potencial de lixiviação do herbicida. Por sua vez, quanto maior for o valor de K_{OC} , maior será sua sorção ao solo (SILVA *et al.*, 2012).

O potencial de dissociação ácido-base, também conhecido como pK_A , representa o potencial de dissociação da molécula do herbicida. Os valores de pK_A dividem os herbicidas em três classes: herbicidas ácidos fracos, herbicidas bases fracas e os não-iônicos (SILVA *et al.*, 2014). Essa classificação torna-se importante sob o ponto de vista da compreensão da dinâmica dos herbicidas no solo em função do pH do meio.

Dentre os herbicidas mais utilizados em pré-emergência na cultura da soja, o chlorimuron-ethyl, diclosulam, flumioxazin, imazapir+imazapic e metribuzim são alguns que podem ser utilizados para o controle químico de plantas daninhas.

O chlorimuron-ethyl é um herbicida seletivo de ação sistêmica pertencente ao grupo químico das sulfoniluréias, recomendado para o controle de plantas daninhas de folhas largas na cultura da soja, sendo rapidamente absorvido através de folhas e raízes, com translocação por toda a planta. Atua inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), que resulta na interrupção da produção de proteínas, interferindo na divisão celular e levando a planta à morte (NICOLAI *et al.*, 2006; REFATTI *et al.*, 2014). O chlorimuron-ethyl persiste por mais tempo em solos de pH elevado, seu tempo médio de meia-vida é de 40 dias. Possui constante de dissociação de 4,2 (pK_A), solubilidade em água (25 °C), 11 mg L⁻¹ (pH 5), 450 mg L⁻¹ (pH 6,5) e 1200 mg L⁻¹ (pH 7) (HANLEY & BILLINGTON, 2001).

O diclosulam é um herbicida seletivo, inibidor da enzima ALS, pertencente ao grupo das triazolopirimidinas, recomendado para o controle de plantas daninhas de folhas largas na

cultura da soja. O diclosulam apresenta valor de partição (K_D) considerado baixo (124ppm a pH 7,0 e 117ppm a pH 5,0), demonstrando potencial de movimentação vertical facilitada pela solubilidade em água, constante de ionização ácido (pK_A) de 4,09 e coeficiente octanol/água (K_{OW}) de 1,42, meia-vida de 60 a 90 dias, dependendo das condições de clima e umidade e matéria orgânica do solo (MONQUERO *et al.*, 2013a). Entretanto, a aplicação desse herbicida na soja pode causar injúrias em culturas subsequentes, como o milho, tomate, algodão e sorgo (MONQUERO *et al.*, 2013b).

A mistura formulada dos herbicidas imazapir+imazapic, atua através da inibição a enzima ALS, pertencente ao grupo das imidazolinonas, possui característica residual e persistente, relativamente solúvel na solução do solo e degradada lentamente (DOVALA & MONTEIRO, 2013). Outra característica importante dos herbicidas do grupo das imidazolinonas é a sua mobilidade no solo. Estudos mostram que a imidazolinona têm pouca mobilidade horizontal no solo, entretanto, 80 a 90% do herbicida aplicado pode concentrar-se na camada vertical do solo, entre 10-20 cm do perfil, permanecendo durante longos períodos (BUNDT *et al.*, 2015).

Os valores de pK_A dos herbicidas do grupo das imidazolinonas variam entre 1,3 e 3,9, sendo o valor de pK_A do imazapir (3,6 e 1,9) e K_{OW} 1,3 (KRIEGER & KRIEGER, 2007). A degradação microbiana é o principal meio de dissipação de imazapir no solo e seu tempo de meia-vida varia de 25-142 dias dependendo das características do solo e das condições do meio ambiente (KRIEGER & KRIEGER, 2007). Em geral, o imazapir sofre degradação limitada em condições anaeróbicas, aumentando sua persistência em solos hidromórficos e um efeito residual sobre o arroz suscetível pode ocorrer mesmo após 12 meses após a aplicação (SOUZA *et al.*, 2016).

O flumioxazin é um herbicida seletivo, não sistêmico para aplicação em pré e pós-emergência que atua inibindo a protoporfirinogenio oxidase (PROTOX), precursora da protoporfirina IX, que é um composto fotodinâmico, precursor de clorofila e citocromos sintetizados através de reações com magnésio e ferro, respectivamente, sendo também essencial para a formação de catalases e peroxidases, as quais são importantes na redução de estresse de diferentes origens, devido à habilidade de inativar radicais livres (SCOTT *et al.*, 2001; BIGOT *et al.*, 2007).

O flumioxazin é adsorvido pelos coloides do solo, principalmente pela matéria orgânica apresentando lixiviação reduzida pois não possui dissociação em água (pK_A), e tempo de meia-vida variando de 10 a 25 dias (DAN *et al.*, 2012). Sua solubilidade em água é 1,79 mg L⁻¹ à temperatura de 25 °C e K_{OW} 2,55 a 20 °C (KRIEGER & KRIEGER, 2007). Apesar de possuir baixo tempo de persistência no solo, alguns estudos apontam para o efeito do residual deste herbicida em algumas espécies como Wilcut *et al* (2001) que constataram que a espécie *Arachis hypogaea* apresentou crescimento reduzido ao ser implantada cinco semanas após a aplicação de 20 g ha⁻¹ de flumioxazin.

O metribuzim substituiu em grande parte os hidrocarbonetos clorados devido à sua falta de afinidade para os tecidos lipídicos e sua baixa persistência nos solos (BEHLOUL *et al.*, 2017). É um herbicida seletivo residual do grupo triazinona, altamente eficaz e de largo espectro de ação contra plantas daninhas de folhas largas e algumas gramíneas. Os herbicidas deste grupo atuam inibindo a fotossíntese no fotossistema II, quando se ligam ao sítio da quinona B (Q_B) da proteína D1 no fotossistema impedindo a ligação da plastoquinona, bloqueando o transporte de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese (TROPALDI *et al.*, 2015). Sua absorção ocorre via foliar e pelas radículas, se translocando via xilema, sendo que nas plantas susceptíveis provoca clorose nas folhas, seguidas de necrose após a emergência e por fim, a morte. Apresenta alta solubilidade em água (1100 mg L⁻¹); a constante de dissociação (pK_A) é 1,0 sendo facilmente lixiviado no solo, não sendo recomendado seu uso em solo arenoso e/ou

com baixo nível de matéria orgânica. Possui meia-vida de 30 a 60 dias dependendo da textura do solo e das condições climáticas (SILVA JUNIOR *et al.*, 2015).

As principais características físico-químicas dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim estão relacionadas na tabela 1.

Tabela 1 Características físico-químicas dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim.

Herbicida	Mecanismo de ação	Meia-vida (dias)	K _{ow}	Solubilidade (mg L ⁻¹ à 25°C pH 5)	pK _A	K _{oc} (mL g ⁻¹)
CHLORIMURON-ETHYL	Inibe a enzima ALS	40	320	11	4,20	110
DICLOSULAM		60-90	1,42	117	4,09	90
IMAZAPIR+IMAZAPIC		25-142	0,16-1,30	11,27-2200	1,30-3,90	3-8,81
FLUMIOXAZIN	Inibe a enzima PROTOX	10-25	2,55	1,79	Não ionizável	581-2000
METRIBUZIM	Inibe o fotossistema II	30-60	44,7	1100	1,0	60

Fonte: Handbook Herbicide, 9ed. Weed Science Society of America. 2007

O herbicida ideal é aquele que permanece ativo no ambiente tempo suficientemente longo para o controle das plantas daninhas durante o ciclo da cultura alvo, entretanto, não causando danos às culturas de rotação (MANCUSO *et al.*, 2011) que podem apresentar sensibilidade à estes compostos.

Devido à todos os fatores aqui apresentados, considerando as características das moléculas herbicidas e a importância das culturas cultivadas em sucessão à soja, são necessários estudos que detectem a influência de diferentes moléculas nas principais culturas de safrinha no Brasil.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Três ensaios foram conduzidos simultaneamente, para as culturas do milho, algodão e melancia (planta bioindicadora de resíduos de herbicida), em casa de vegetação em áreas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em Seropédica/RJ, em esquema de sucessão de culturas, durante o período de setembro de 2016 a março de 2017.

Cada ensaio teve delineamento experimental de casualização por bloco, com quatro repetições, em esquema fatorial 5x4+1 cada um, onde o fator A foi composto pelos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim, e o fator B, as quatro doses dos herbicidas - meia dose de bula (½D), dose inteira máxima indicada em bula (D), dose inteira acrescida da metade (D+½) e dobro da dose máxima indicada em bula (2D) - em gramas de ingrediente ativo por hectare (g ia ha⁻¹), além do tratamento controle (sem aplicação do herbicida) (Tabela 1). Para cada experimento, as unidades experimentais foram constituídas por 84 vasos de polietileno de 5L, preenchidos com solo peneirado, previamente analisado (Tabela 2).

Tabela 2 Doses aplicadas dos herbicidas estudados em g ia ha⁻¹.

HERBICIDA	DOSE (g ia ha ⁻¹)			
	½ D	D	D+ ½	2D
CHLORIMURON-ETHYL	10	20	30	40
DICLOSULAM	17,5	35	52	70
IMAZAPIR+IMAZAPIC	52,5	105	157,5	210
FLUMIOXAZIM	25	50	75	100
METRIBUZIM	240	480	720	960

Tabela 3 Propriedades físico-químicas do solo determinadas pelo Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizantes da Universidade Federal de Viçosa.

Classificação Textural	pH H ₂ O	P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	Ca ²⁺ (mg dm ⁻³)	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	AL ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	T (cmol _c dm ⁻³)	MO* (dag kg ⁻¹)
FRANCO ARENOSO	5,80	37,20	77,00	2,33	0,65	0	3,18	0,25

*MO (Mat. Orgânica) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black. T=capacidade de troca catiônica.

A semeadura da soja BRS 397cv, linhagem BRZ11-6426cv, de ciclo de aproximadamente 110 dias, foi realizada no dia 23 de setembro de 2016 em todos os vasos e imediatamente após, foi realizada a aplicação dos herbicidas (sistema plante-aplique). A cultura foi manejada conforme as recomendações da Embrapa Soja (2013).

A aplicação dos herbicidas foi realizada com auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO₂, munido de barra de 2m, contendo quatro pontas de pulverização tipo Teejet Turbo Jet 110.02 proporcionando a aplicação de 150 L ha⁻¹ de calda herbicida, observando as especificidades de bula de cada produto utilizado.

Independente do tratamento avaliado, todas as parcelas foram mantidas isentas da presença de plantas daninhas durante o ciclo da cultura, por meio de capinas manuais. Os tratamentos culturais referentes a pragas, doenças, adubações de cobertura e reguladores de crescimento, foram realizadas de acordo com os monitoramentos e recomendações agrônomicas.

Após a coleta da soja, 120 dias após a aplicação dos produtos, foram semeadas as culturas de milho, algodão e melancia, correspondente aos experimentos I, II - para verificar fitotoxicidade - e III - indicadora de herbicida no solo -, respectivamente, no dia 27 de janeiro de 2017. A cultura da melancia foi selecionada previamente em ensaio testando sua sensibilidade à subdoses dos herbicidas estudados, que demonstraram sua sensibilidade às moléculas e potencial uso como bioindicadora do resíduo destas no solo.

Aos 15 e 60 dias após a emergência das culturas, foram realizadas as análises de fluorescência da clorofila *a*; e após 60 dias da emergência das plantas - quando melancia e milho estava em frutificação e algodão em estágio de emissão de botão floral - foi realizada a coleta para a realização das análises das variáveis de crescimento: altura de parte aérea (cm), comprimento de raiz (cm), volume de raiz (ml), massa seca de parte aérea (g) e massa seca de raiz (g).

No momento da coleta das culturas, também, uma parte do material vegetal foi separado para obtenção da atividade das enzimas antioxidantes, sendo coletada para o milho o terço médio da folha fisiologicamente madura; para o algodão e a melancia, todas as folhas foram coletadas, descartando-se o caule, visando ter suficiente volume de material para análise. Para a análise de enzimas antioxidantes, foram coletadas somente os tratamentos controle e dose comercial de cada herbicida. Não foram coletadas folhas com necrose. O material vegetal foi armazenado em ultra freezer a -80°C no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/UFRRJ para posterior avaliação.

Fluorescência transiente da clorofila a

A fluorescência transiente da clorofila *a* foi medida adaptando-se ao escuro as folhas jovens totalmente expandidas, com o auxílio de cliques foliares, durante 20 minutos para que o sistema fotossintético fosse completamente oxidado. Após esse período, utilizando-se um fluorômetro portátil HandyPEA (Hanstech, King's Lynn - Norfolk, Reino Unido), a emissão de fluorescência foi induzida em uma área de 4mm de diâmetro da folha pela exposição da amostra a um pulso de luz saturante numa intensidade de $3.000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (STRASSER & GOVINDJEE, 1992; VIANA, 2013). A partir da curva de emissão de fluorescência transiente obtida após o pulso, as intensidades determinadas a 50 μs (fluorescência inicial - F_0), 200 μs (F_T) e 300 μs (F_i) e 1s (F_M) (fluorescência máxima), foram utilizadas para o cálculo dos parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (Tabela 4) através do software Biolyzer, que conduz a uma quantificação da arquitetura e comportamento do sistema fotossintético (TSIMILLI-MICHAEL & STRASSER, 2008).

Tabela 4 Principais parâmetros do Teste JIP (Adaptado de TSIMILLI-MICHAEL & STRASSER *et al.*, 2008)

PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA CALCULADOS A PARTIR DOS DADOS PRIMÁRIOS OBTIDOS	
$F_V = F_M - F_0$	Fluorescência variável
F_V/F_M	Rendimento quântico máximo do fotossistema II
V_T	Fluorescência variável relativa em um tempo “t”
V_J	Fluorescência variável relativa em relação ao nível J
V_I	Fluorescência variável relativa em relação ao nível I
$M_0 = 4(F_{300\mu s} - F_0)/(F_M - F_0)$	Declive inicial aproximado (em ms^{-1}) da fluorescência transiente $V = f(t)$
$S_S = V_J/M_0$	Área total normalizada complementar correspondente apenas a fase O-J (reflete um único volume de eventos de redução de Q_A)
$S_M = (AREA)/(F_M - F_0)$	Área total normalizada complementar acima da curva OJIP (reflete múltiplos eventos de redução de Q_A)
$N = S_M/S_S$	Número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons entre o tempo de 0 e t (necessário para atingir F_M)
ATIVIDADE ESPECÍFICA POR CENTRO DE REAÇÃO (RC)	
$ABS/RC = M_0 (1/V_J)$ ($1/\phi PO$)	Medida do tamanho aparente do sistema antena ou o fluxo de absorção por RC
$TR_0/RC = M_0 (1/V_J)$	Máxima taxa pela qual um éxciton é capturado pelo RC resultando em uma redução da plastoquinona (Q_A^-)
$ET_0/RC = M_0 (1/V_J) \Psi_0$	Re-oxidação da Q_A^- via transporte de elétrons em um RC ativo
$DI_0/RC = (ABS/RC) - (TR_0/RC)$	Razão de dissipação total de energia de excitação não capturada do total de RC, sendo a dissipação neste caso à perda de energia na forma de calor
RE_0/RC	Redução do acceptor final de elétrons no lado do acceptor de elétrons do fotossistema I por RC
RENDIMENTOS ENERGÉTICOS OU TAXAS DE FLUXO	
$\Phi P_0 = TR_0/ABS = F_V/F_M$	Rendimento quântico máximo fotoquímico
$\Phi E_0 = ET_0/ABS$	Rendimento quântico de transporte de elétrons de Q_A^- para o intersistema de aceptores de elétrons
$\Phi D_0 = 1 - \phi PO = (F_0/F_M)$	Rendimento quântico para dissipação de energia
$\Phi R_0 = RE_0/ABS$	Rendimento quântico de transporte de elétrons de Q_A^- para o acceptor final de elétrons do PSI
EFICIÊNCIAS	
$\Psi E_0 = ET_0/TR_0$	Eficiência com que um éxciton capturado no RC pode mover um elétron de Q_A^- para o intersistema de aceptores de elétrons
$r_0 = RE_0/TR_0$	Eficiência com que um éxciton capturado no RC pode mover um elétron dentro da cadeia de transporte de elétrons de Q_A^- para os aceptores finais de elétrons do fotossistema I
$\Delta R_0 = RE_0/ET_0$	Eficiência com que um elétron pode mover o intersistema de aceptores de elétrons reduzidos no intersistema para o acceptor final de elétrons do fotossistema I
ÍNDICES DE DESEMPENHO	
$\frac{F_0}{F_M} = \frac{F_0}{F_0 + (F_M - F_0) \left(\frac{1}{\phi PO} \right)} = \frac{F_0}{F_0 + \frac{F_0}{\phi PO} \times \frac{F_M - F_0}{F_0}}$	Índice de desempenho fotossintético (conservação de energia a partir do éxciton para a redução dos aceptores de elétrons do intersistema)
$\frac{F_0}{F_M} = \frac{F_0}{F_0 + \frac{F_0}{\phi PO} \left(\frac{F_M - F_0}{F_0} \right)}$	Índice de desempenho fotossintético total (conservação de energia a partir de éxciton para a redução de aceptores finais do fotossistema I)

O ponto “O” do transiente refere-se ao nível de fluorescência inicial; “P” (obtido aproximadamente em 0.05 ms) é para o pico; “J” (de 2 a 3 ms) e “I” (30 ms) são pontos de

inflexão, intermediário, entre os níveis O e P. "O" indica que o parâmetro se refere ao início da iluminação e dos fluxos de energia no fotossistema. Neste momento todos os RC estão abertos; a intensidade máxima de fluorescência (FM) que é igual a FP (ou passo "P"), uma vez que o pulso utilizado foi saturado, ou seja, todos as Q_A são reduzidas e todos os centros de reação estão fechados. O teste JIP é amplamente aceito e usado com sucesso para analisar atividades fotossintéticas e vitalidade fisiológica em outras plantas (CHEN *et al.*, 2015).

A fluorescência transiente da clorofila *a* está correlacionada com a redução do pool plastoquinona. O relacionamento desses eventos com o transiente de fluorescência O, J, I e P são sugeridos como sendo: O, mínimo rendimento de fluorescência da clorofila *a* e consequentemente maior rendimento fotoquímico; O a J, redução de Q_A para Q_A^- (fase fotoquímica, dependente de intensidade de luz); J para I para P, fase não-fotoquímica, contudo, ainda representando uma acumulação adicional de Q_A^- (STRASSER *et al.*, 1995).

Variáveis de crescimento

A altura de parte aérea (cm) foi obtido medindo-se o comprimento total da parte aérea a partir da intercessão de caule e parte aérea; o comprimento de raiz (cm) foi obtido medindo-se o comprimento total das raízes a partir da intercessão entre caule e raiz; o volume de raiz (ml) foi mensurado pelo método da proveta; a massa seca da parte aérea (g) e massa seca da raiz (g) foram obtidas através da secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até alcançar massa constante, quando foram imediatamente pesadas em balança analítica.

Atividade de enzimas antioxidantes

A extração de enzimas antioxidantes foi realizada nas plantas cultivadas em solo tratado com a dose comercial (D) dos 5 herbicidas estudados - chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir-imazapic, flumioxazin e metribuzim - além do tratamento controle, em quatro repetições, totalizando 24 unidades amostrais.

Para a extração das enzimas antioxidantes, o tecido foliar, previamente pesado, foi macerado em N_2 líquido acrescido de 20% de PVPP (Polivinilpolipirrolidona) e homogeneizados em 1,5 ml do seguinte tampão de extração: fosfato de potássio 200 mM, pH 7,8, EDTA 10 mM, ácido ascórbico 2000 mM e água. O homogeneizado foi centrifugado numa rotação de 12.000 g por 20 min a 4°C e o sobrenadante coletado para as análises enzimáticas. Para a cultura do milho, foram avaliadas a atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), glutathiona redutase (GR), guaiacol peroxidase (GPOD) e glutathiona S-transferase (GST). Para a cultura bioindicadora, só foi possível a análise das enzimas guaiacol peroxidase (GPOD) e glutathiona redutase (GR). Para a cultura do algodão não foi possível realizar a avaliação das enzimas antioxidantes por estas seguirem protocolos distintos dos utilizados nesta pesquisa.

A atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) foi determinada como descrito por Urbanek *et al* (1991), com modificações, num tampão de incubação contendo fosfato de potássio 200 mM (pH 7,0), 10 μ M EDTA, 200 mM de guaiacol, 33 μ L de água e 5 μ L de extrato enzimático. A reação foi ativada pela adição de 30 μ L de H_2O_2 250mM e o aumento da absorbância foi registrado em 470 nm durante 5 minutos. A atividade enzimática foi quantificada pela quantidade de tetraguaiacol formada usando seu coeficiente de extinção molar (26,6 $mM^{-1} cm^{-1}$). Os resultados foram expressos em $\mu mol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1}$ de proteína levando em consideração que 4mol de H_2O_2 são reduzidos para produzir 1 mol de tetraguaiacol (AZEVEDO NETO *et al.*, 2006).

A atividade total de APX foi mensurada de acordo com Nakano & Asada (1981), com modificações. A solução continha tampão de fosfato de potássio 200 mM (pH 7,0), 10mM de ácido ascórbico, 30 μ L de água e de amostra. A reação foi iniciada pela adição de 30 μ L de H_2O_2 2mM a atividade enzimática foi quantificada pela oxidação do ácido ascórbico medida a 290 nm durante 5 minutos. A atividade foi quantificada usando o coeficiente de extinção molar para

ácido ascórbico ($2,8\text{mM cm}^{-1}$) e os resultados expressos em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína, levando em consideração que 2mol de ácido ascórbico são necessários para redução de 1 mol de H_2O_2 (AZEVEDO NETO *et al.*, 2006).

A atividade da glutathiona redutase (GR) foi obtida segundo Foyer & Halliwell (1976), com modificações, com a mistura reacional de tampão fosfato 200mM (pH 7,8), 10 mM de glutathiona oxidada (GSSG), 1mM de NADPH e 10 μ M da alíquota enzimática. A atividade de GR foi determinada pela oxidação de NADPH (coeficiente de extinção molar $6,2 \text{ mM cm}^{-1}$) seguindo a diminuição da absorbância em 340 nm durante 5 minutos (CAKMAK *et al.*, 1993).

A extração de proteínas para análise da atividade enzimática da glutathiona S-transferase (GST) foi realizada conforme descrito por Dalton *et al* (1993). O tampão de extração consistiu em tampão fosfato de potássio 200mM (pH 7,8), 10 Mm EDTA e b-mercaptoetanol 5 mM. Após a centrifugação em 12 000 g durante 20 minutos à 4°C, o sobrenadante foi coletado para a atividade de GST de acordo com os procedimentos descritos por Habig & Jakoby (1981), com modificações para leitura em placa de cultivo de tecidos. O tampão de incubação continha fosfato de potássio 200mM (pH 7,5), glutathiona na forma reduzida 20mM e água. A reação foi iniciada com adição de CDNB 20mM e 30 μ L de amostra. A atividade foi obtida a partir de acréscimo na absorbância a 340nm (DALTON *et al.*, 2009).

O teor de proteínas foi determinado de acordo com o método de Bradford (BRADFORD, 1976) com albumina de soro bovino (BSA) como padrão, adicionando 10 μ L de amostra vegetal. Todas as análises espectrofotométricas foram realizadas em um Espectrofotômetro Multiskan GO e os protocolos foram adaptados para uso em placa de cultivo de tecidos de 96 poços, fazendo-se a leitura de uma coluna por vez.

Análise estatística

Todos os dados gerados nos experimentos foram submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$); em sendo significativos, estes foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa estatístico Sisvar.

4 RESULTADOS

4.1 Experimento I: milho em sucessão

Os resultados obtidos para a variável altura de parte aérea das plantas de milho demonstram diferença entre os herbicidas apenas na dose comercial do herbicida flumioxazin, com aumento de até 49% em relação aos demais herbicidas estudados dentro deste tratamento (Tabela 4).

Tabela 5 Altura de parte aérea (cm) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	40,17Aa	40,17Aa	40,17Aa	40,17Ab	40,17Aa
½ D	47,00Aa	43,96Aa	41,25Aa	50,46Aab	40,73Aa
D	43,73Ba	43,13Ba	38,67Ba	57,74Aa	40,88Ba
D + ½	53,36Aa	41,75Aa	45,59Aa	52,03Aab	39,84Aa
2D	45,38Aa	47,13Aa	36,00Aa	49,18Aab	44,31Aa
CV (%)	15,89				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

Entre as doses dos herbicidas (representado por letras minúsculas) observa-se diferença somente para o herbicida flumioxazin que apresentou aumento cerca de 43% de biomassa de parte aérea na dose recomendada em bula quando comparada ao tratamento controle (Tabela 4).

Para a variável comprimento de raiz das plantas de milho cultivadas em solo previamente tratado com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim, observou-se diferença entre os herbicidas (representados por letra maiúscula) na dose de ½ D, onde a mistura formulada dos herbicidas imazapir+imazapic apresentou maior média neste tratamento, seguido dos herbicidas chlorimuron-ethyl, flumioxazin, metribuzim e diclosulam, este último apresentando a menor média na comparação entre os herbicidas estudados no tratamento com ½ D (Tabela 5).

Tabela 6 Comprimento de raiz (cm) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

COMPRIMENTO DE RAIZ (cm)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	46,33Aa	46,33Aa	46,33Ab	46,33Aa	46,33Aa
½ D	54,23ABa	40,77Ca	57,63Aa	49,32ABCa	46,99BCa
D	44,52ABa	43,50Ba	54,01Aab	51,82ABa	44,04ABa
D + ½	52,38ABa	42,86Ba	53,14Aab	53,31Aa	46,74ABa
2D	47,36ABa	43,25Ba	54,25Aab	49,95ABa	43,11Ba
CV (%)	10,53				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

Para a dose recomendada em bula (D), a maior média de comprimento de raízes fora observada em plantas submetidas à solo tratado com a mistura formulada dos herbicidas imazapir+imazapic, seguida do herbicida flumioxazin, chlorimuron-ethyl, metribuzim e diclosulam, que apresentou média cerca de 19% menor em comparação à imazapir+imazapic (Tabela 5). No tratamento com D + ½ os herbicidas imazapir+imazapic e flumioxazin apresentaram maior incremento em comprimento de raiz, porém, diferenciando somente do herbicida diclosulam que apresentou comprimento de raiz cerca de 19% menor comparado à maior média observada em flumioxazin (Tabela 5). Para o tratamento com o dobro da dose comercial recomendada em bula (2D), as plantas cultivadas em solo tratado com imazapir+imazapic apresentaram maior comprimento de raiz, diferenciando-se somente das plantas cultivadas sob resíduo de diclosulam e metribuzim, que apresentaram menores comprimentos de raiz (Tabela 5). Entre as doses testadas, somente as plantas tratadas com imazapir+imazapic apresentaram diferença no tratamento de ½ D, com aumento de 24% em relação ao controle. Os demais herbicidas não diferiram entre as doses testadas.

Para a variável volume de raiz, somente o herbicida diclosulam apresentou maior incremento em volume no tratamento com metade da dose recomendada (½ D), quando comparado aos demais herbicidas, seguido do herbicida imazapir+imazapic, flumioxazin, metribuzim e chlorimuron-ethyl, o qual demonstrou diminuição em torno de 58% em relação ao herbicida diclosulam (Tabela 6).

Tabela 7 Volume de raiz (ml) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

VOLUME DE RAIZ (ml)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	9,50Aa	9,50Aa	9,50Aa	9,50Aa	9,50Aa
½ D	3,05Bb	7,36Aab	4,75ABbc	4,13Bb	3,83Bb
D	5,43Bb	9,75Aa	5,78Bb	4,73Bb	4,30Bb
D + ½	3,85Ab	6,5Ab	4,59Abc	5,00Ab	4,01Ab
2D	3,13Bb	10,22Aa	2,88Bc	4,95Bb	4,68Bb
CV (%)	24,24				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

No tratamento com a dose recomendada em bula (D) e com o dobro da dose recomendada (2D), também o diclosulam foi o que apresentou maiores médias de volume de raiz, diferenciando, assim, dos demais herbicidas. Para o tratamento com D + ½, os herbicidas não diferenciaram entre si, como pode ser observado na tabela 6.

Entre as doses testadas do herbicida chlorimuron-ethyl, observou-se redução no volume das raízes de até 67% em relação ao controle; para o herbicida diclosulam, apenas as doses ½ D e D + ½ apresentaram redução em relação ao controle, as demais doses obtiveram incremento em volume de raiz; maior redução em volume de raiz foi observado no tratamento com 2D da mistura formulada dos herbicidas imazapir+imazapic, em torno de 69% quando comparado ao tratamento sem aplicação de herbicida, e para este herbicida, todas os tratamentos sofreram redução em volume de raiz, diferenciando do tratamento controle (Tabela 6). As plantas cultivadas em solos tratados com os herbicidas flumioxazin e metribuzim apresentaram diminuição no volume de raiz em todas as doses testadas, diferindo do controle em todos os tratamentos (Tabela 6).

Em massa seca de parte aérea o herbicida diclosulam apresentou a maior média de acúmulo de biomassa no tratamento ½ D quando comparado aos demais herbicidas, seguido de flumioxazin, chlorimuron-ethyl, imazapir+imazapic e metribuzim (Tabela 7).

Tabela 8 Massa seca da parte aérea (g) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

MASSA SECA DE PARTE AÉREA (g)					
DOSE (g ia ha⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	2,44Aa	2,44Ab	2,44Aa	2,44Ab	2,44Aa
½ D	3,98ABa	4,83Aa	2,62Ba	3,99ABab	2,28Ba
D	2,27Aa	3,42Aab	2,23Aa	3,14Ab	2,07Aa
D + ½	3,36Ba	3,59ABab	2,27Ba	5,35Aa	2,13Ba
2D	3,16ABa	4,56Aa	1,95Ba	4,31Aab	3,32ABa
CV (%)	31,99				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

Na dose máxima recomendada em bula (D) de cada herbicida, não se constatou diferença entre os herbicidas estudados. Em D + ½ o herbicida flumioxazin foi o que apresentou maior incremento em massa seca da parte aérea, cerca de 151% em relação ao metribuzim que apresentou a menor média (Tabela 7). Já para o tratamento com o dobro da dose recomenda em bula de cada herbicida (2D), as plantas cultivadas sob resíduo do herbicida diclosulam apresentaram maior média de incremento de massa seca da parte aérea de até 133% em relação à menor média observada, seguido de flumioxazin, metribuzim, chlorimuron-ethyl e imazapir+imazapic (Tabela 7).

Os herbicidas chlorimuron-ethyl, imazapir+imazapic e metribuzim não apresentaram diferença entre as doses testadas e o tratamento controle (sem aplicação de herbicida) (médias seguidas de letras minúsculas na coluna) (Tabela 7). Já para as plantas tratadas com diclosulam, as maiores médias podem ser observadas nos tratamentos ½ D e 2D, que diferiram do tratamento controle, entretanto não diferem dos tratamentos D e D + ½; o herbicida flumioxazin apresentou diferença somente entre os tratamentos D + ½ e controle; as demais doses não diferem entre si (Tabela 7).

Para a variável de crescimento massa seca da raiz (MSR) os herbicidas diclosulam e flumioxazin apresentaram as maiores médias dentre os herbicidas no tratamento com subdose (½ D) seguidos dos herbicidas imazapir+imazapic, chlorimuron-ethyl e metribuzim, entretanto, estes últimos, não diferem entre as doses testadas quando comparadas ao tratamento controle (médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna) (Tabela 8).

Tabela 9 Massa seca da raiz (g) do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

MASSA SECA DE RAIZ (g)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	0,84Aa	0,84Ac	0,84Aa	0,84Ab	0,84Aa
½ D	1,49Aba	3,04Aab	1,90Aba	2,90Aa	0,70Ba
D	1,49BCa	3,31Aab	1,69BCa	2,82ABa	0,98Ca
D + ½	1,03Ba	2,16ABbc	2,01Aba	2,70Aa	0,78Ba
2D	1,47Ba	4,12Aa	1,28Ba	1,97Bab	1,03Ba
CV (%)	47,38				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

No tratamento com D, o herbicida diclosulam apresentou maior incremento de raiz dentre os herbicidas estudados, cerca de 237% em relação à menor média observada, demonstrando diferença entre os herbicidas neste tratamento, seguido do flumioxazin, imazapir+imazapic, chlorimuron-ethyl e metribuzim; em D + ½ o herbicida flumioxazin diferiu de chlorimuron-ethyl e flumioxazin com maior incremento em massa seca de raiz em relação à estes herbicidas (Tabela 8). No tratamento com o dobro da dose recomendada em bula (D), o herbicida diclosulam diferiu dos demais herbicidas com média 300% superior ao observado nas plantas cultivadas em solo tratado com metribuzim, que representa a menor média (Tabela 8).

Para o diclosulam, todos os tratamentos testados apresentaram incremento em massa seca da parte aérea, entretanto, apenas ½ D, D e 2D diferiam do controle; as plantas cultivadas sob resíduo de flumioxazin tiveram maior crescimento de biomassa de raízes nas doses ½ D, D e D + ½, diferindo do tratamento controle (sem aplicação de herbicida) (Tabela 8).

4.1.1 Chlorimuron-ethyl

Nas análises realizadas a partir da curva de emissão de fluorescência, se observou que aos 15 DAE do milho as curvas OJIP de todos os tratamentos não apresentaram diferença estatística quando comparados ao tratamento controle (Tabela 9).

Tabela 10 - Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	457 ^{NS}	1070 ^{NS}	1526 ^{NS}	1969 ^{NS}	285 ^b	631 ^b	853 ^c	1051 ^c
½ D	459	1046	1377	1788	289 ^b	648 ^b	905 ^c	1099 ^c
D	446	1110	1486	1926	331 ^a	734 ^a	1082 ^a	1345 ^a
D + ½	403	993	1384	1780	283 ^b	652 ^b	856 ^c	1048 ^c
2D	403	963	1363	1773	300 ^{ab}	699 ^a	998 ^b	1224 ^b
CV (%)	7,57	7,73	8,15	7,43	4,84	2,49	3,93	3,15

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE, observa-se menor intensidade de emissão de fluorescência em torno de 38% no ponto O, cerca de 43% no ponto J, 44% no ponto I e em torno de 46% no ponto P em relação ao período anterior (Tabela 9, Figura 1).

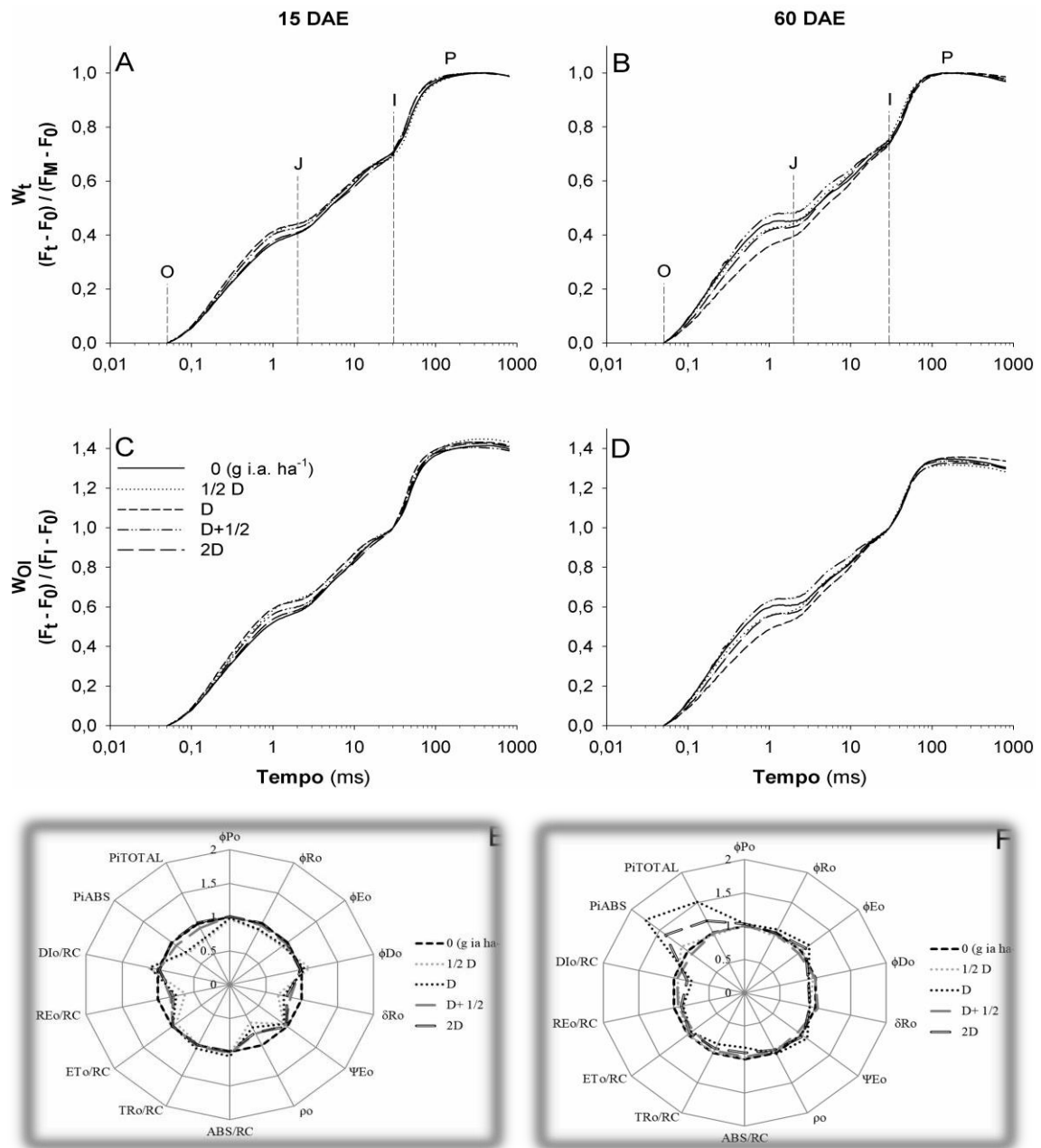


Figura 1 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Para os parâmetros obtidos através do teste JIP aos 15 DAE do milho se observou a redução do parâmetro de rendimento quântico fotoquímico (ϕP_0) e aumento da dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC) nas doses de 1/2 D e D g i.a. ha⁻¹ quando comparadas ao tratamento controle; houve também redução do índice de desempenho fotossintético nas doses 1/2 D, D e D + 1/2 em relação ao controle, entretanto, ABS/RC e Pi_{TOTAL} não diferem entre as doses testadas (Tabela 10).

Tabela 11 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77a	28079 ^{NS}	0,65b	17463a	17002 ^{NS}	0,73b	35901a	0,97a	8846c	7963b
½ D	0,74b	28667	0,74a	12735c	15826	0,74ab	34823a	0,91a	10194bc	7820b
D	0,76a	29481	0,71ab	14195bc	16292	0,75a	30381b	0,76b	14457a	11580a
D + ½	0,77a	28391	0,64b	16302ab	16486	0,74ab	34418a	0,91a	9236bc	8068b
2D	0,77a	28037	0,64b	17434a	18272	0,75a	31314b	0,77b	13112ab	10281ab
CV (%)	0,99	2,62	4,85	8,84	7,34	1,43	4,03	6,35	16,60	15,26

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE houve aumento do rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) nas doses de bula (D) e dobro da dose recomendada em bula (2D), enquanto que nos parâmetros referentes à dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC) e ao tamanho aparente do complexo de captação de luz (ABS/RC) as médias observadas nestas doses diminuíram em relação ao tratamento controle (Tabela 10). O desempenho fotossintético medido pelo parâmetro PI_{ABS} foi maior na dose máxima recomendada em bula (D) quando comparada ao controle, assim como no parâmetro que mede o desempenho total do aparato fotossintético (PI_{TOTAL}) (Tabela 10).

4.1.2 Diclosulam

Nas plantas tratadas com o herbicida diclosulam, não se observou diferença nas curvas OJIP obtidas ao 15 DAE do milho, entre as doses testadas e o tratamento controle. Aos 60 DAE, as curvas OJIP demonstram maior emissão de fluorescência na dose recomendada em bula (D) nos pontos O-J-I, e no ponto P, há diminuição da fluorescência nas doses ½ D e D + ½ (Tabela 11, Figura 2).

Tabela 12 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	457 ^{NS}	1070 ^{NS}	1526 ^{NS}	1969 ^{NS}	284 ^b	637 ^{bc}	856 ^b	1051 ^a
½ D	443	1043	1461	1928	273 ^b	586 ^d	777 ^c	921 ^b
D	443	1025	1464	1930	305 ^a	702 ^a	930 ^a	1111 ^a
D + ½	430	1028	1474	1943	277 ^b	592 ^{cd}	794 ^c	949 ^b
2D	445	1057	1484	2012	285 ^b	650 ^b	883 ^b	1122 ^a
CV (%)	3,45	5,94	5,76	4,28	3,00	3,48	2,38	3,07

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

No teste JIP realizado aos 15 DAE, os parâmetros ϕP_0 , ABS/RC, DI_0/RC e PI_{ABS} demonstraram insensibilidade às doses do herbicida, mesmo com a elevação das doses, não se diferenciando do tratamento controle, enquanto que o índice de desempenho fotossintético total (PI_{TOTAL}) foi mais sensível nas plantas tratadas com o dobro da dose recomendada em bula (2D) (Tabela 12).

Aos 60 DAE observou-se menores médias de rendimento quântico fotoquímico (ϕP_0) nos tratamentos ½ D e D + ½ quando comparados ao controle, indicando uma redução no fluxo de elétrons nestes tratamentos. Plantas cultivadas sobre solo tratado com a dose recomendada em bula (D) apresentaram sensibilidade aos parâmetros DI_0/RC , PI_{ABS} e PI_{TOTAL} obtidos como o Teste JIP, demonstrando menores médias em relação ao controle (Tabela 12).

Tabela 13 - Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	DI_0/RC	PI_{ABS}	PI_{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	DI_0/RC	PI_{ABS}	PI_{TOTAL}
0	0,77 ^{NS}	28079 ^{NS}	0,65 ^{NS}	17463 ^{NS}	17002 ^b	0,73 ^b	35901 ^c	0,98 ^a	8846 ^b	7963 ^b
½ D	0,78	27046	0,61	18635	20898 ^{ab}	0,70 ^c	40533 ^a	0,12 ^c	6285 ^c	4734 ^c
D	0,77	27960	0,65	19283	20904 ^{ab}	0,72 ^b	38066 ^b	0,11 ^c	7200 ^c	5557 ^c
D + ½	0,78	27133	0,60	19882	21216 ^{ab}	0,71 ^c	38508 ^b	0,11 ^c	7164 ^c	5589 ^c
2D	0,78	27264	0,60	20351	25488 ^a	0,75 ^a	29953 ^d	0,76 ^b	12825 ^a	13362 ^a
CV (%)	1,17	3,08	5,98	7,18	10,26	0,46	2,12	2,09	5,91	10,08

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

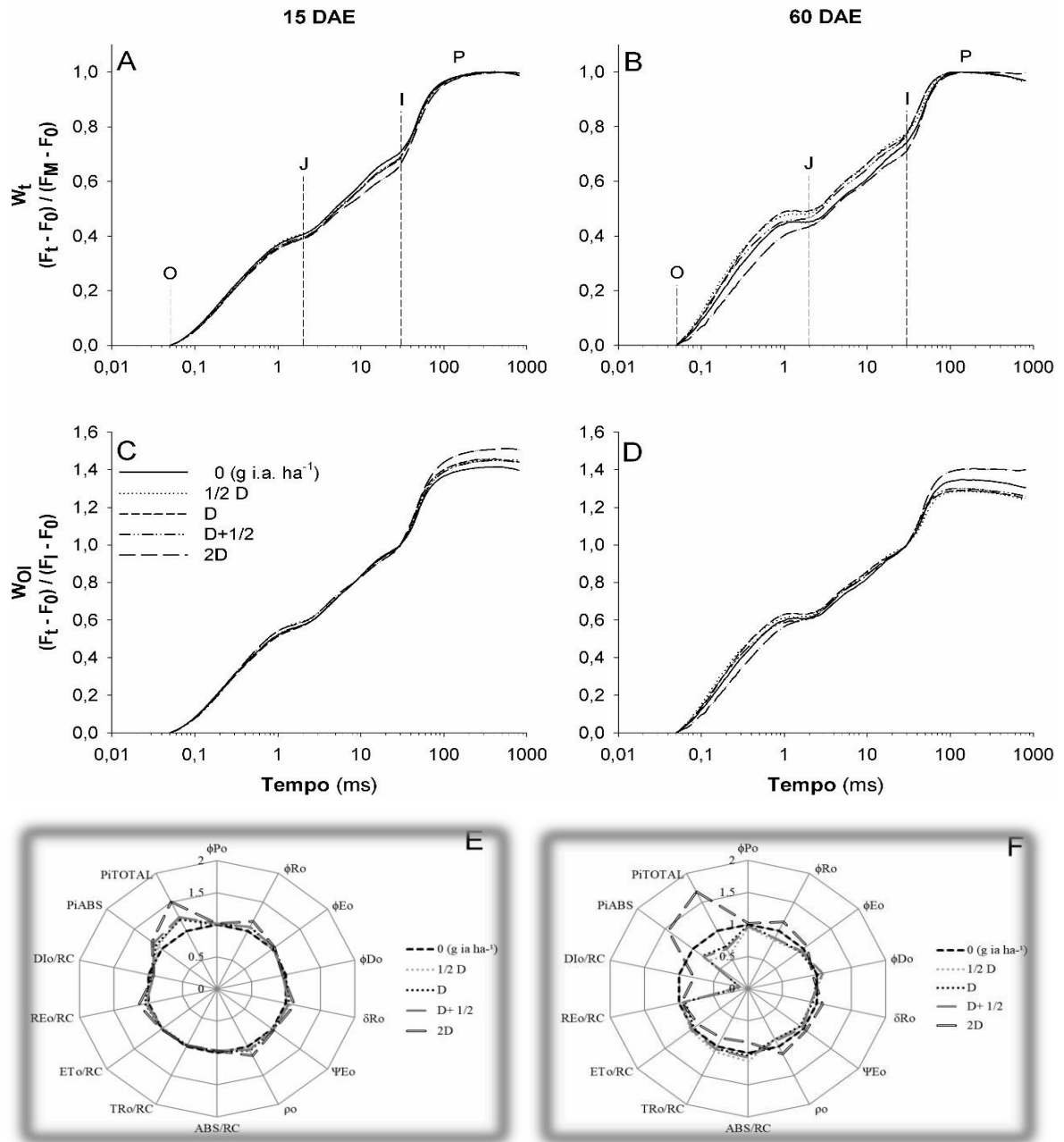


Figura 2 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida diclosulam. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

4.1.3 Imazapir+imazapic

Aos 15 DAE das plantas de milho tratadas com os herbicidas imazapir+imazapic, não houve diferença entre os pontos J-I-P dos tratamentos com diferentes doses dos herbicidas em relação ao controle (Tabela 13).

Tabela 14 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	457 ab	1070 ^{NS}	1526 ^{NS}	1969 ^{NS}	284 b	637 c	856 c	1051 c
½ D	464 a	1074	1497	1947	294 ab	666 bc	921 bc	1184 ab
D	459 a	1048	1437	1875	302 ab	717 a	1027 a	1226 a
D + ½	396 b	934	1360	1806	312 a	655 bc	894 c	1123 bc
2D	417 ab	990	1376	1750	308 ab	692 ab	996 ab	1201 ab
CV (%)	6,29	6,19	5,61	6,11	3,76	2,89	3,79	3,87

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Já aos 60 DAE, no ponto O somente o tratamento D+ ½ diferenciou do controle; nos pontos J e I, os tratamentos com dose de bula (D) e com dobro da dose de bula (2D) diferiram do tratamento controle e no ponto P das curvas, as plantas cultivadas em solo tratado com ½ D, D e 2D diferiram do controle (Tabela 13, Figura 3).

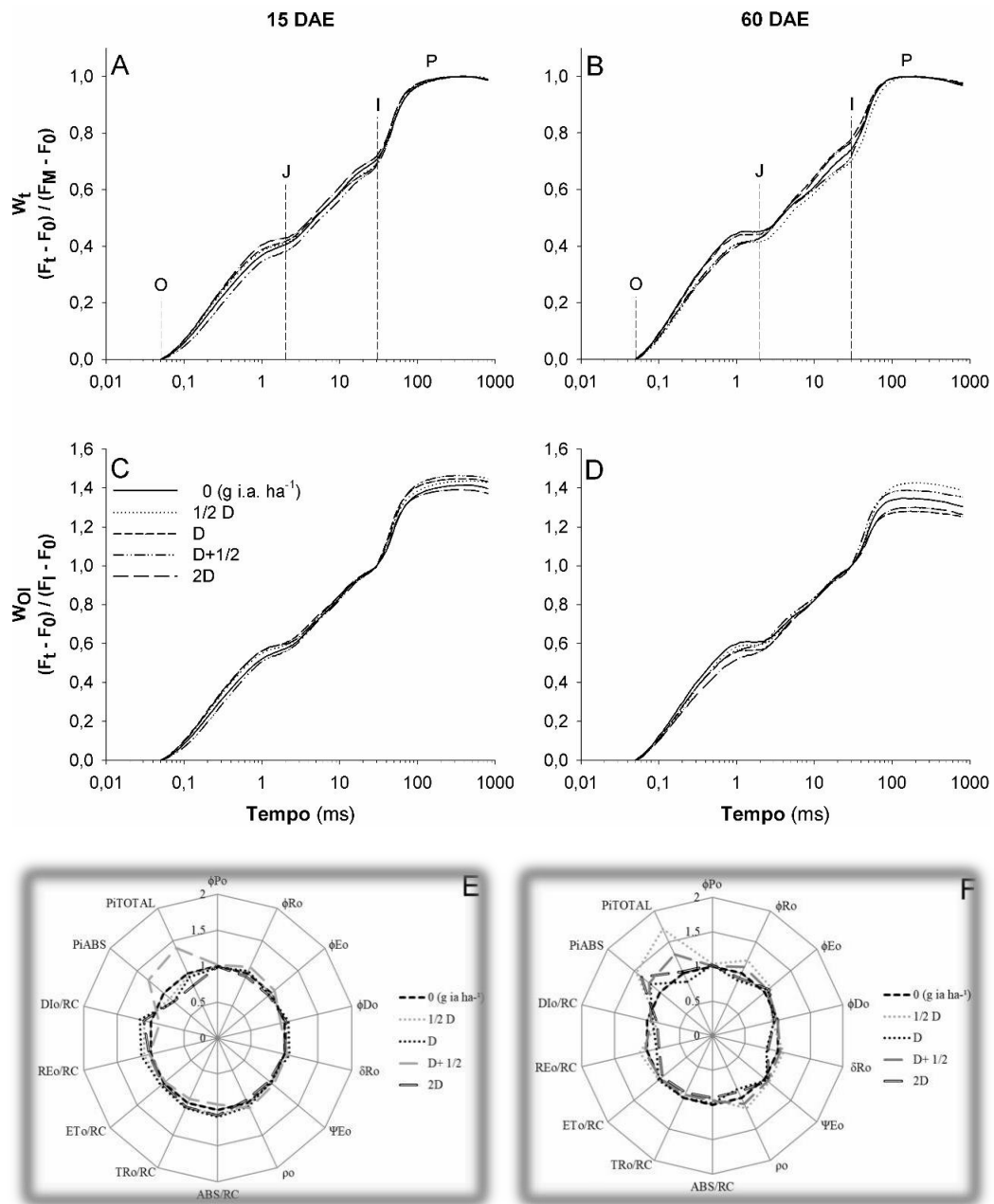


Figura 3 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Aos 15DAE, como observado pelos parâmetros obtidos com o teste JIP, houve aumento no tamanho do complexo antena (ABS/RC) nas doses $\frac{1}{2}$ D, D e 2D que também demonstraram maiores emissões de energia na forma de calor (DiO/RC) em relação ao tratamento controle, enquanto que os índices de desempenho fotossintético (Pi_{ABS}) e desempenho fotossintético total (Pi_{TOTAL}) só fora maior nas plantas cultivas em solo tratado com a dose D + $\frac{1}{2}$ (Tabela 14).

Tabela 15 - Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	Di ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	Di ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77 ^{NS}	28079 b	0,65 b	17463 b	17002 b	0,73 b	35901 a	0,97 a	8846 d	7963 c
½ D	0,76	29965 a	0,71 ab	15338 bc	16350 b	0,75 a	32894 bc	0,81 c	13012 a	13803 a
D	0,76	30730 a	0,75 a	14060 c	15832 bc	0,75 a	34976 a	0,89 b	10577 c	6822 c
D + ½	0,76	26008 c	0,57 c	22245 a	23527 a	0,73 b	33768 b	0,91 b	10697 bc	10364 b
2D	0,76	30109 a	0,72 ab	14141 c	13680 c	0,74 a	32188 c	0,83 c	11959 ab	8103 bc
CV (%)	1,80	1,98	4,27	6,93	6,62	0,65	1,58	3,02	5,31	11,57

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60DAE, as plantas submetidas aos tratamentos ½ D, D e 2D demonstraram maior rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) quando comparadas ao tratamento controle (Tabela 14). Houve também redução do complexo antena (ABS/RC) entre as doses testadas e o controle, além da redução de energia dissipada na forma de calor (Di₀/RC); Pi_{ABS} foi maior em todas as doses testadas; e somente D e 2D não diferiram do controle em Pi_{TOTAL} (Tabela 14).

4.1.4 Flumioxazin

Para as plantas cultivadas em solo tratado com o herbicida flumioxazin, as curvas OJIP demonstram diminuição na emissão de fluorescência entre as doses testadas em todos os pontos da curva, e, a dose máxima recomendada em bula (D) não diferenciou do tratamento controle nos pontos O-J-I-P (Tabela 15).

Tabela 16 - Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	457a	1070a	1526a	1969a	284b	637b	856c	1051c
½ D	358c	868c	1169c	1543c	342a	694ab	993ab	1259a
D	416ab	1020a	1489a	1889ab	305ab	694ab	975ab	1184abc
D + ½	382bc	902bc	1241c	1618c	295ab	684ab	908bc	1096bc
2D	429ab	1007ab	1373b	1795b	346a	760a	1020a	1237ab
CV (%)	5,38	5,06	3,68	4,16	8,03	6,17	4,91	5,48

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60DAE, as plantas sob tratamento com ½ D e 2D apresentaram maior emissão de fluorescência no ponto O e P, diferindo do tratamento sem aplicação de herbicida (Tabela 15). No ponto J, somente plantas cultivadas em solo tratado com 2D do herbicida flumioxazin apresentaram maior emissão de fluorescência transiente; já no ponto P, a menor e a maior dose testada diferiram do controle.

Quanto aos parâmetros obtidos pelo teste JIP aos 15DAE, somente apresentaram diferença em relação ao tratamento sem herbicida em ABS/RC, os tratamentos ½ D e 2D, com tamanho aparente do complexo antena cerca de 7% nos dois tratamentos (Tabela 16).

Tabela 17 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP ₀	ABS/RC	Di ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP ₀	ABS/RC	Di ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77ab	28079b	0,65bc	17463a	17002ab	0,73ab	35901a	0,97a	8846bc	7963b
½ D	0,77ab	30226a	0,70ab	14528b	18100a	0,73ab	29541b	0,79c	15072a	14009a
D	0,78a	28914b	0,63c	17674a	15083b	0,74a	34391a	0,89b	9871b	7866b
D + ½	0,76b	28297b	0,67bc	15745b	17507a	0,73ab	35585a	0,96ab	8112c	6846b
2D	0,76b	30134a	0,72a	14427b	16658ab	0,72b	34995a	0,96ab	8774bc	7501b
CV (%)	0,77	1,34	3,40	4,05	5,79	0,86	3,45	3,78	6,08	8,78

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

A maior dissipação de energia na forma de calor pode ser observada no tratamento 2D aos 15DAE, entretanto, obteve menor média de desempenho fotossintético (PI_{ABS}) juntamente com ½ D e D + ½. Aos 60DAE, o tratamento 2D apresentou menor rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP₀) entre os tratamentos testados. Em relação ao tamanho do complexo antena (ABS/RC) e a dissipação de energia na forma de calor (Di₀/RC) destaca-se a subdose (½ D) que apresentou menor média nestes parâmetros. A dose máxima recomendada em bula

não diferiu do tratamento controle nos principais índices de rendimento fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) (Tabela 16, Figura 4).

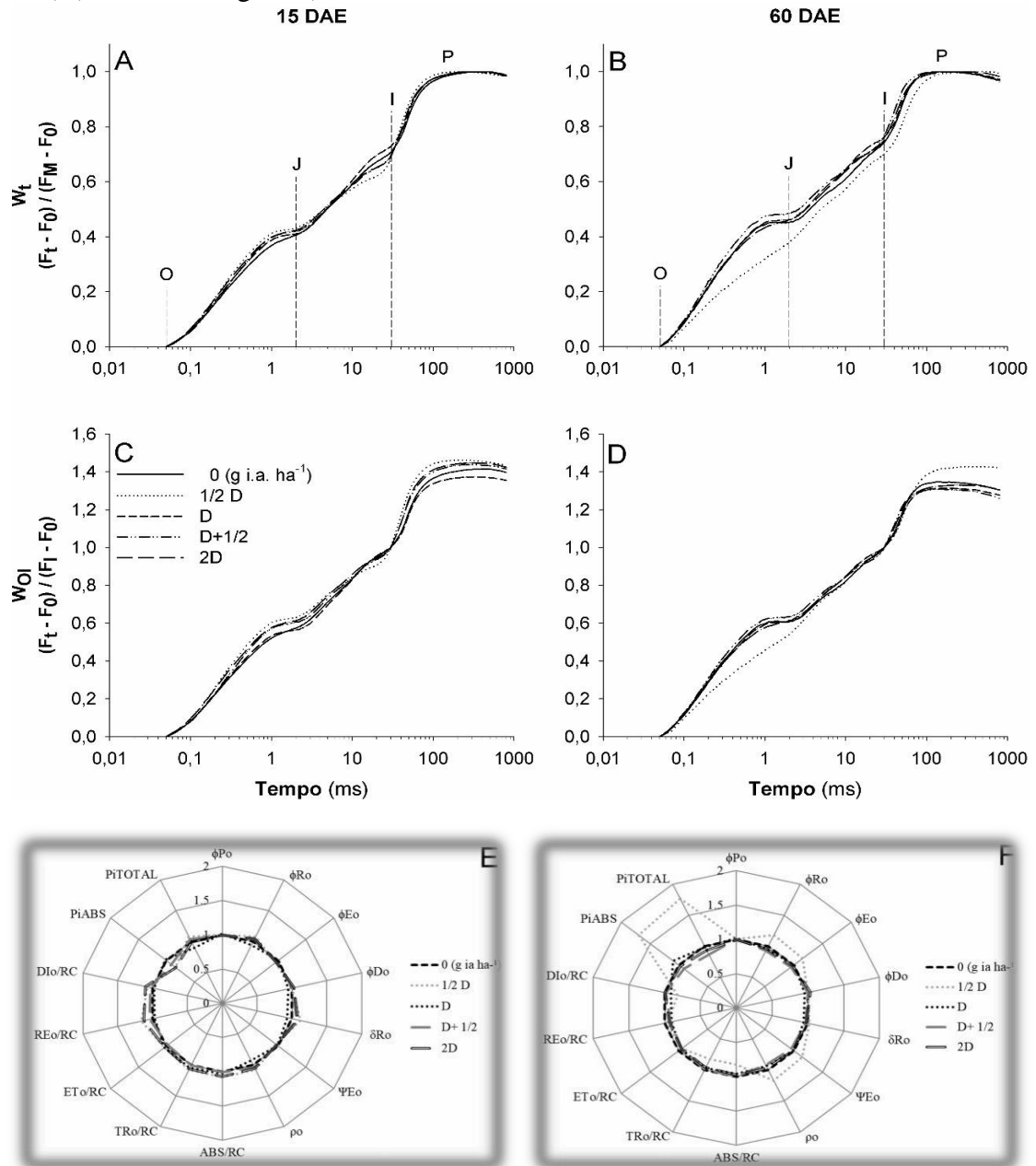


Figura 4 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida flumioxazin. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

4.1.5 Metribuzim

Observando as curvas OJIP obtidas aos 15DAE das plantas de milho cultivadas em solo tratado com o herbicida metribuzim em diferentes doses, nota-se que somente os pontos O e I da curva de indução de fluorescência apresentaram diferença entre os tratamentos testados, havendo no ponto O uma diminuição de fluorescência nas maiores doses testadas (D+ ½ e 2D) e diminuição também nas doses D e 2D no ponto I, diferindo do tratamento controle (Tabela 17).

Tabela 18 - Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	457a	1070 ^{NS}	1526a	1969 ^{NS}	284b	637b	856bc	1051b
½ D	428ab	1022	1402ab	1809	290ab	653ab	887bc	1096b
D	425ab	956	1341b	1846	308ab	664ab	925ab	1125ab
D + ½	397b	1003	1382ab	1719	312a	694a	970a	1192a
2D	394b	967	1348b	1716	287ab	648ab	845c	1052b
CV (%)	5,21	5,48	5,45	6,59	4,14	3,62	3,83	3,63

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60DAE observa-se maior emissão de fluorescência em todos os pontos da curva OJIP em plantas cultivadas sob solo tratado com a dose D+ ½ enquanto as menores emissões de energia na forma de fluorescência transiente da clorofila *a* ocorreram nos pontos I e J no dobro da dose máxima recomendada em bula (2D) (Figura 5).

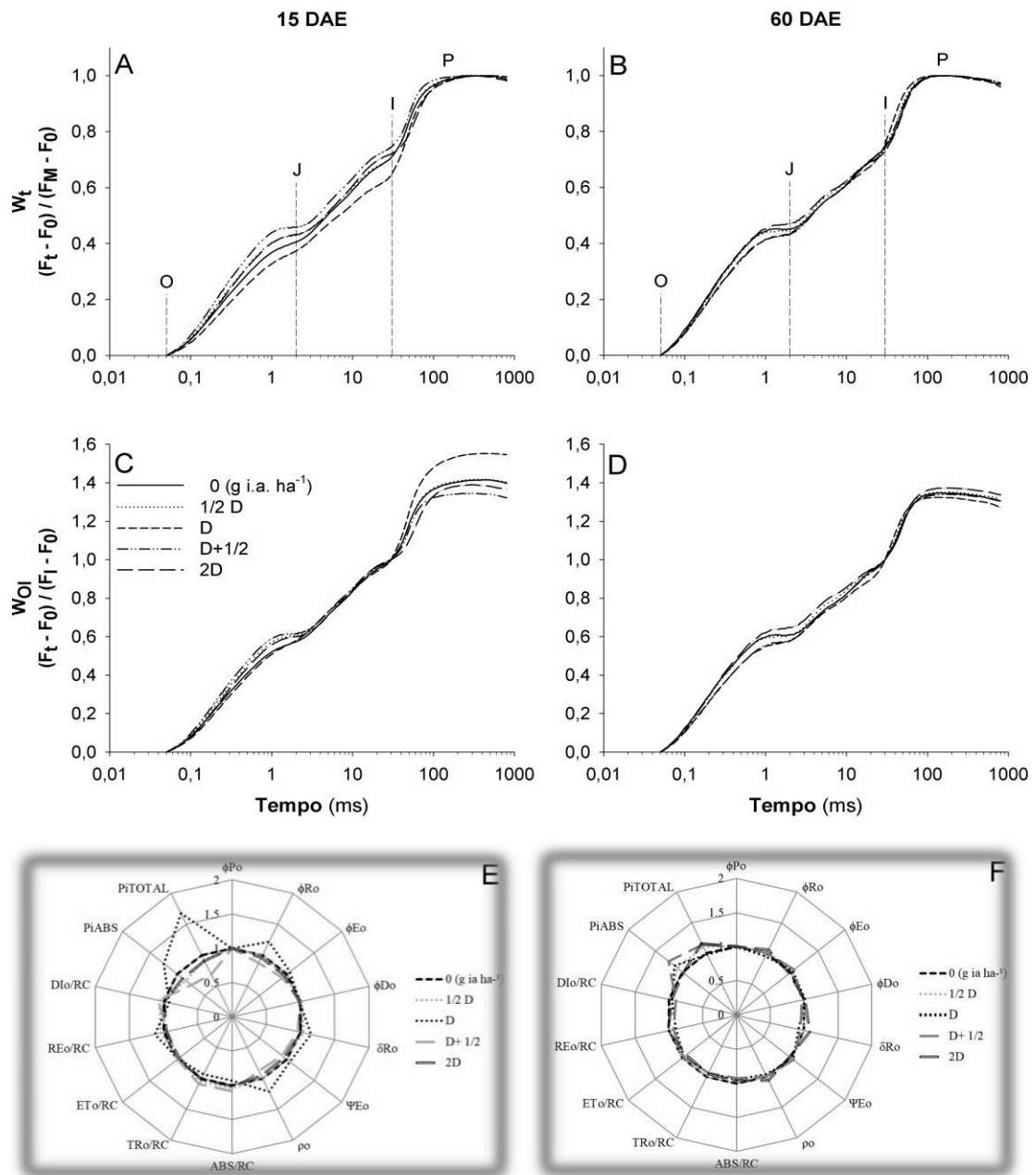


Figura 5 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de milho sob diferentes doses do herbicida metribuzim. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

No que tange aos parâmetros obtidos através do teste JIP, não houve diferença entre as doses testadas e o tratamento controle no rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) aos 15 DAE, enquanto que o tamanho do complexo antena (ABS/RC) diminuiu no tratamento D e aumentou em D+ 1/2; a dissipação de energia na forma de calor foi menor no tratamento com dose de bula (D), entretanto, os índices de desempenho fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) foram maiores neste tratamento, enquanto que no tratamento D+ 1/2 observou-se diminuição dos parâmetros de desempenho (Tabela 18, Figura 5).

Tabela 19 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do milho cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77 ^{NS}	28079b	0,65a	17463b	17002b	0,73b	35901a	0,97a	8846cd	7963b
½ D	0,76	29199b	0,69a	14590bc	15663bc	0,74a	34905ab	0,92b	9751bc	8749ab
D	0,77	24635c	0,55b	25238a	31906a	0,73b	33777bc	0,92b	10182b	7901b
D + ½	0,77	30466a	0,70a	12972c	11601c	0,74a	33143c	0,87c	11189a	9029a
2D	0,77	28255b	0,65a	15660bc	15234bc	0,73b	34212bc	0,93ab	8733d	9294a
CV (%)	1,06	1,96	4,48	9,73	11,19	0,70	1,69	2,29	4,50	5,66

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE, houve aumento no fluxo de elétrons (ΦP₀) nas plantas sob os tratamentos ½ D e D+ ½, entretanto, neste último, houve diminuição no tamanho do complexo antena (ABS/RC), assim como nos tratamentos D e 2D; as plantas cultivadas em solo tratado com as doses ½ D, D e D+ ½ diferiram do tratamento controle por demonstrarem menor dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC); observa-se aumento em PI_{ABS} nas doses D e D+ ½ e aumento de PI_{TOTAL} nas duas maiores doses testadas (D+ ½ e 2D) (Tabela 18).

Na análise do sistema antioxidante das plantas de milho, o estresse oxidativo causou aumento na atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) nas plantas tratadas com a dose comercial de todos os herbicidas testados em relação ao tratamento controle (sem aplicação de herbicida), entretanto, apenas Diclosulam, Imazapir+imazapic e Metribuzim diferiram do controle, com aumento significativo na atividade específica desta enzima, em cerca de 116%, 94% e 36%, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 19).

Tabela 20 Atividade específica da enzima ascorbato peroxidase (APX) (μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	ASCORBATO PEROXIDASE (APX) (μmol min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)				
	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	5,34±0,3Aa	5,34±0,3Ab	5,34±0,3Ab	5,34±0,3Aa	5,34±0,3Ab
D	5,52±0,6Ca	11,51±1,0Aa	10,64±0,5Aa	5,51±0,7Ca	7,29±0,3Ba
CV (%)	9,37				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Valores apresentados representam a média±desvio padrão (n=3).

A atividade específica da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) não apresentou diferença entre as doses dos herbicidas e o tratamento controle (sem aplicação de herbicida) e também não apresentou diferença entre os herbicidas estudados (Tabela 20).

Tabela 21 Atividade específica da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.

GUAIACOL PEROXIDASE (GPOD) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	9,24±1,0Aa	9,24±1,0Aa	9,24±1,0Aa	9,24±1,0Aa	9,24±1,0Aa
D	10,68±1,5Aa	8,36±0,9Aa	7,95±0,9Aa	9,53±0,9Aa	10,63±0,7Aa
CV (%)	14,29				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Valores apresentados representam a média±desvio padrão ($n=3$).

Para a atividade específica da enzima glutatona redutase (GR) em plantas de milho tratadas com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim, fora observada maior atividade desta enzima em plantas submetidas ao resíduo do herbicida metribuzim, cerca de 96% em relação à menor média observada entre os herbicidas estudados (Tabela 21).

Tabela 22 Atividade específica da enzima glutatona redutase (GR) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.

GLUTATIONA REDUTASE (GR) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+Imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	35,72±1,7Aa	35,72±1,7Aa	35,72±1,7Aa	35,72±1,7Aa	35,72±1,7Ab
D	37,08±1,3Ba	27,55±0,4Cb	31,36±0,8Cb	31,13±1,9Cb	54,16±0,7Aa
CV (%)	5,46				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Valores apresentados representam a média±desvio padrão ($n=3$).

Entre as doses testadas, diclosulam, imazapir+imazapic e flumioxazin diferiram do tratamento controle apresentando menores médias de atividade específica de GR; metribuzim diferiu do controle com atividade específica cerca de 51% maior em relação ao tratamento sem aplicação de herbicida (Tabela 21).

Para a atividade específica da enzima glutatona S-transferase, dos herbicidas testados, apenas imazapir+imazapic apresentou maior atividade desta enzima na dose de bula em relação ao controle (Tabela 22).

Tabela 23 Atividade específica da enzima glutatona S-transferase (GST) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) no milho cultivado 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.

GLUTATIONA S-TRANSFERASE (GST) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron- Ethyl	Diclosulam	Imazapir+ imzapique	Flumioxazin	Metribuzim
0	2,84±0,1Aa	2,84±0,1Aa	2,84±0,1Ab	2,84±0,1Aa	2,84±0,1Aa
D	3,46±0,1Aba	1,39±0,3Cb	3,94±0,3Aa	2,52±0,8BCa	3,14±0,5Aba
CV (%)	17,55				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Valores apresentados representam a média±desvio padrão ($n=3$).

Entre os herbicidas, imazapir+imazapic apresentou maior atividade da enzima glutatona S-transferase, seguido dos herbicidas chlorimuron-ethyl, metribuzim, flumioxazin e diclosulam, este último com atividade até 64% menor que a maior média observada (Tabela 22).

4.2 Experimento II: algodão em sucessão

Os resultados obtidos para as variáveis de crescimento referentes às plantas de algodão cultivadas em solo tratado com diferentes doses dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim demonstraram que em altura de parte aérea as plantas não apresentaram diferença entre os herbicidas quando submetidas à dose comercial dos mesmos (D) e também ao tratamento D+ ½, enquanto que para o tratamento ½ D as plantas cultivadas em solo tratado com chlorimuron-ethyl apresentaram menor altura de parte aérea entre os herbicidas (Tabela 23).

Tabela 24 Altura de parte aérea (cm) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

ALTURA DE PARTE AÉREA (cm)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDA				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	18,29Ab	18,29Ab	18,29Aa	18,29Ab	18,29Aa
½ D	18,25Bb	22,75Aa	18,81ABa	21,08ABab	21,13Aba
D	19,38Aab	21,63Aab	19,55Aa	20,75Aab	22,31Aa
D + ½	22,52Aa	22,73Aa	19,63Aa	22,63Aa	22,00Aa
2D	22,13ABab	21,88ABab	18,08Aa	23,50Aa	20,38Aba
CV (%)	10,41				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (n=4).

Quando avaliada a sensibilidade das plantas às diferentes doses dos herbicidas testados, observou-se que para o herbicida chlorimuron-ethyl, somente o tratamento D+ ½ demonstrou diferença em relação ao tratamento controle, enquanto que para o herbicida diclosulam esta diferença pode ser observada em ½ D e D+ ½ e para o flumioxazin, D+ ½ e 2D diferenciaram do controle; já para os herbicidas metribuzim e a mistura comercial de imazapir+imazapic, as plantas de algodão não demonstraram diferença entre as doses testadas e o tratamento sem aplicação de herbicidas (0) (Tabela 23).

Em comprimento de raiz, foi observada maior sensibilidade das plantas já na subdose (½ D) de imazapir+imazapic, que reduziu em cerca de 21% em relação à maior média observada - para o herbicida diclosulam -, havendo também redução de comprimento das raízes nos tratamentos D+ ½ e 2D em imazapir+imazapic (Tabela 24).

Tabela 25 Comprimento de raiz (cm) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

COMPRIMENTO DE RAIZ (cm)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDA				
	Chlorimuron- Ethyl	Diclosulam	Imazapir+ Imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	18,00Ab	18,00Ac	18,00Aa	18,00Aa	18,00Ac
½ D	21,26ABab	23,39Aab	18,42Ba	19,45ABa	22,31ABab
D	20,42Ab	21,50Aabc	18,42ABa	15,97Ba	20,56Abc
D + ½	20,97ABab	24,63Aa	16,97Ca	18,16BCa	23,56Aab
2D	24,91Aa	20,62BCbc	18,92Ca	19,55Ca	24,56Aba
CV (%)	10,01				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

Na dose comercial (D) é interessante observar que as plantas cultivadas em solo tratado com os herbicidas inibidores de ALS (chlorimuron-ethyl, diclosulam e imazapir+imazapic) e o metribuzim apresentaram respostas semelhantes, não diferenciando entre si. Entre as doses testadas, não houve diferença para imazapir+imazapic e flumioxazin, demonstrando que independente do aumento da dose do herbicida, não houve alteração significativa no comprimento das raízes das plantas submetidas à estes tratamentos (Tabela 24). Incremento significativo de raiz pode ser observado no tratamento 2D de chlorimuron-ethyl, no tratamento D+ ½ de diclosulam e nos tratamentos ½ D, D+ ½ e 2D de metribuzim.

O volume das raízes de algodão cultivado em solo tratado com os cinco herbicidas estudados não diferiu entre os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim, e não diferiu entre as doses testadas de cada herbicida (Tabela 25).

Tabela 26 Volume de raiz (ml) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

VOLUME DE RAIZ (cm)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron- ethyl	Diclosulam	Imazapir+ imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	1,28Aa	1,28Aa	1,28Aa	1,28Aa	1,28Aa
½ D	0,79Aa	1,00Aa	0,91Aa	1,23Aa	1,16Aa
D	0,92Aa	1,65Aa	1,29Aa	1,30Aa	1,07Aa
D + ½	1,25Aa	1,31Aa	0,76Aa	1,05Aa	1,20Aa
2D	1,28Aa	1,37Aa	0,94Aa	1,39Aa	1,08Aa
CV (%)	33,14				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

Entre os herbicidas, não se observou diferença da massa seca da parte aérea do algodão quando cultivado em solo tratado com a subdose (½ D) e a dose comercial dos herbicidas (D),

enquanto que para o tratamento D+ ½ se observou redução de 51% em imazapir+imazapic em relação à média observada em diclosulam, e em 2D houve redução de 55% em imazapir+imazapic em relação à flumioxazin, que demonstrou maior incremento de biomassa (Tabela 26).

Tabela 27 Massa seca de parte aérea (g) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

MASSA SECA DE PARTE AÉREA (g)

DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+Imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	2,15Aa	2,15Aa	2,15Aa	2,15Aa	2,15Aa
½ D	0,85Ab	1,42Aa	1,19Aa	1,54Ab	1,35Aa
D	1,43Aab	1,55Aa	0,96Aa	1,66Ab	1,44Aa
D + ½	1,57ABab	2,04Aa	0,98Ba	1,56ABb	1,61Aba
2D	1,54ABab	1,72Aba	0,93Ba	2,09Ab	1,40Aba
CV (%)	28,36				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (n=4).

Em relação às doses testadas, não houve incremento de massa seca de parte aérea em diclosulam, imazapir+imazapic e metribuzim independente do aumento da dose, enquanto que para chlorimuron-ethyl houve redução de biomassa no tratamento ½ D e em flumioxazin as plantas submetidas à todos os tratamentos apresentaram redução de biomassa de parte aérea, diferenciando, portanto, do tratamento controle (Tabela 26).

Em massa seca de raiz, dentre os herbicidas testados, chlorimuron-ethyl foi o que ocasionou redução significativa de biomassa em ½ D e D, enquanto que imazapir+imazapic ocasionou menores incrementos em biomassa de raiz nos tratamentos D+ ½ e 2D (tabela 27).

Tabela 28 Massa seca de raiz (g) do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

MASSA SECA DE RAIZ (g)

DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+Imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	0,25Aab	0,25Ab	0,25Aa	0,25Ab	0,25Ab
½ D	0,12Bb	0,33Aab	0,20ABa	0,24Ab	0,23ABb
D	0,24Bab	0,43Aa	0,26ABa	0,28ABab	0,27ABab
D + ½	0,31ABa	0,42ABab	0,26Ba	0,27ABab	0,44Aa
2D	0,37ABa	0,42Aab	0,22Ba	0,43Aa	0,26ABb
CV (%)	31,73				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (n=4).

Dentre as doses testadas, houve aumento de massa seca de raiz em plantas submetidas ao tratamento D do herbicida diclosulam, em plantas submetidas ao tratamento com o dobro da dose comercial (2D) do herbicida flumioxazin e em plantas submetidas ao tratamento D+ ½ de metribuzim, enquanto que para imazapir+imazapic o aumento da dose deste herbicida não ocasionou incremento significativo na massa seca das raízes de algodão (Tabela 27).

4.2.1 Chlorimuron-ethyl

Na avaliação da fluorescência transiente da clorofila *a* realizada aos 15 DAE constata-se aumento da indução de fluorescência nos tratamentos ½ D e D+ ½ no ponto O, enquanto que para o ponto J há redução de emissão de fluorescência nas maiores doses estudadas e na dose de bula (D, D+ ½ e 2D) e no ponto I somente a plantas cultivadas sob a subdose (½ D) do herbicida apresentaram maior emissão de fluorescência, quando comparadas ao tratamento sem aplicação de herbicida (0). Aos 60DAE não houve diferença nas curvas OJIP entre as doses testadas e o tratamento controle (Tabela 28).

Tabela 29 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	420ab	1044a	1630ab	2194ab	352 ^{NS}	896 ^{NS}	1144 ^{NS}	1460 ^{NS}
½ D	432a	1084a	1759a	2238a	363	867	1187	1625
D	409b	966b	1528b	2166ab	357	909	1163	1475
D + ½	432a	975b	1499b	2104b	389	992	1239	1653
2D	402b	959b	1533b	2139ab	383	959	1241	1595
CV (%)	2,04	2,83	4,72	2,53	7,93	7,70	6,77	6,31

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Para os parâmetros JIP obtidos a partir emissão de fluorescência transiente da clorofila *a* aos 15DAE se observa redução do rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) na dose D+ ½, enquanto que, neste mesmo tratamento, o algodão apresenta maior tamanho aparente do complexo de captação de energia (ABS/RC) e maior perda de energia na forma de calor (DI_0/RC). Se observa também que as plantas submetidas ao tratamento D apresentaram maiores índices de desempenho (PI_{ABS}) e desempenho total (PI_{TOTAL}) quando comparadas ao tratamento sem herbicida (0) (Tabela 29).

Tabela 30 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	DI_0/RC	PI_{ABS}	PI_{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	DI_0/RC	PI_{ABS}	PI_{TOTAL}
0	0,81a	19156b	0,37bc	40787bc	39186bc	0,76 ^{NS}	27909b	0,67a	12110b	15835c
½ D	0,81a	20678a	0,40b	35787c	25390c	0,78	23480d	0,52c	22628a	32426a
D	0,81a	18464b	0,35c	50625a	58749a	0,76	29464a	0,71a	11305b	13659c
D + ½	0,79b	21502a	0,44a	37418c	43197ab	0,77	25477c	0,60b	14540b	25148ab
2D	0,81a	19092b	0,36c	48137ab	52848ab	0,76	27194b	0,65ab	12919b	17648bc
CV (%)	0,70	2,90	4,55	8,84	18,07	1,37	1,53	5,20	15,00	16,90

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE as plantas submetidas ao tratamento D apresentaram maior tamanho do complexo antena (ABS/RC) porém não diferiram do tratamento sem herbicida nos principais índices de desempenho fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}). Menor dissipação de energia pode ser observada nas plantas submetidas aos tratamentos D+ ½ e ½ D, este último ainda, apresentando

maiores índices de desempenho fotossintético obtido através dos parâmetros PI_{ABS} e PI_{TOTAL} (Tabela 29, Figura 6).

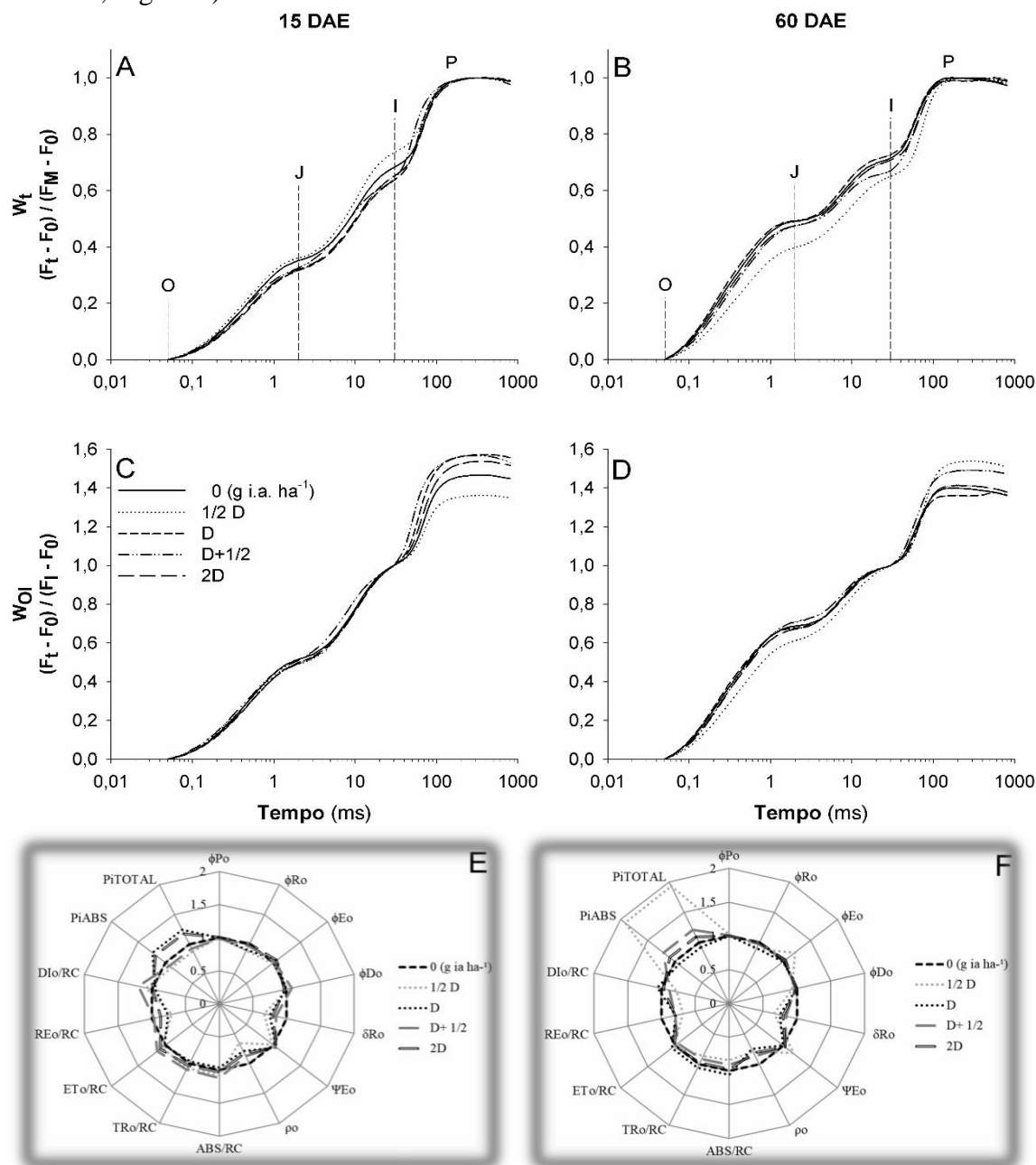


Figura 6 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

4.2.2 Diclosulam

As plantas cultivadas em solo tratado com diferentes doses do herbicida diclosulam demonstraram redução na emissão de fluorescência aos 15DAE no ponto O quando submetidas ao tratamento com dose comercial (D), e no ponto J a partir da dose comercial (D), enquanto que no ponto I essa redução já pode ser observada a partir do tratamento de meia dose (1/2 D), entretanto, no ponto P da curva OJIP, somente os tratamentos com D e D+ 1/2 diferiram do tratamento controle, com menor emissão de fluorescência transiente (Figura 7, Tabela 30).

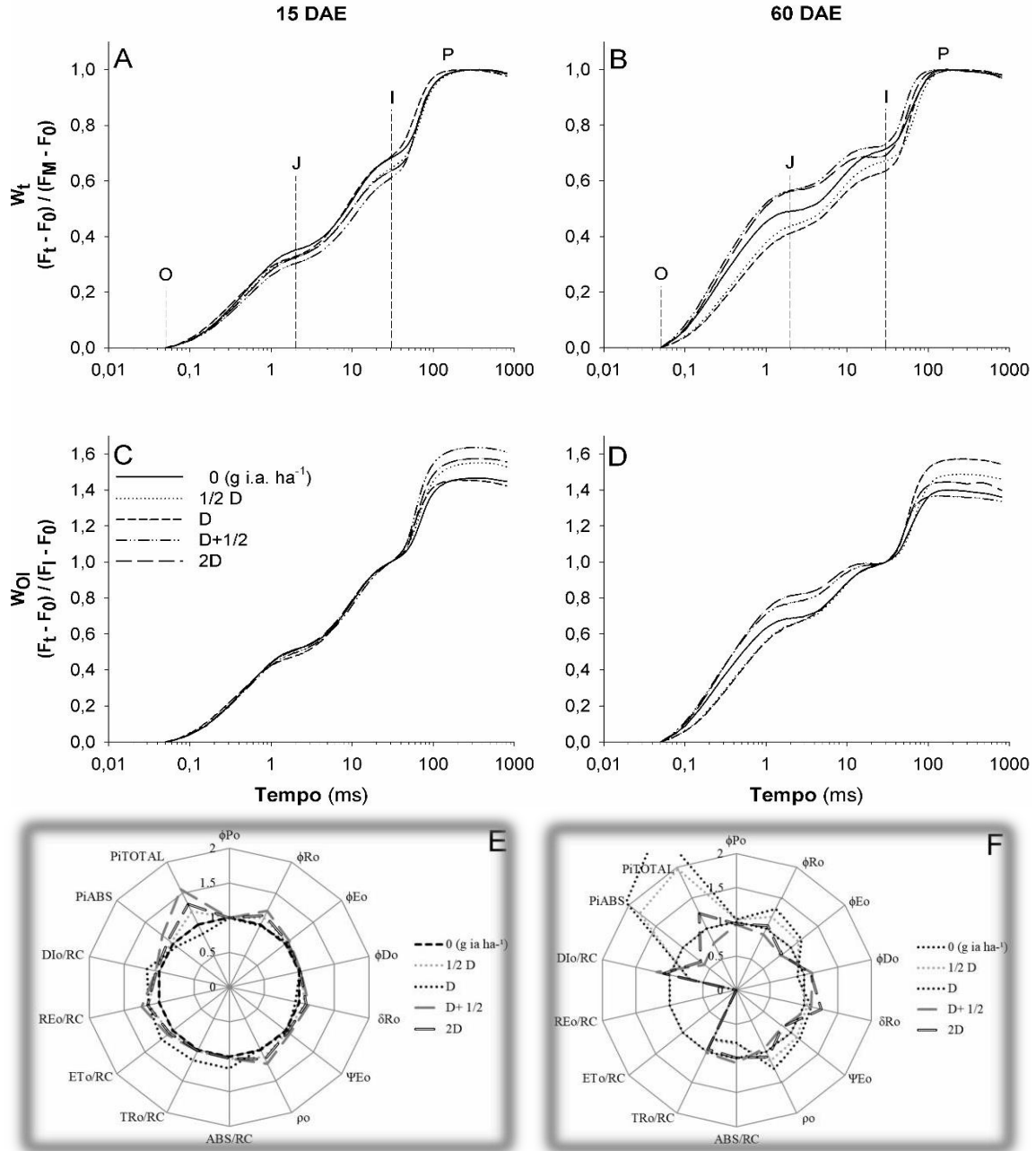


Figura 7 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida diclosulam. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Tabela 31 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	420a	1044a	1630a	2194a	352ab	896b	1144a	1460a
½ D	407ab	951ab	1475b	2062ab	344b	883b	1173a	1575a
D	350b	832c	1357c	1815c	343b	854b	1132ab	1581a
D + ½	378ab	849c	1328c	1933bc	338b	854b	1005b	1249b
2D	387ab	905bc	1402bc	1985abc	387a	992a	1131ab	1461a
CV (%)	7,04	4,88	3,47	4,67	4,67	3,79	5,14	4,81

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60DAE, maior emissão de fluorescência foi observada em plantas submetidas ao tratamento com o dobro da dose recomendada em bula (2D) no ponto J, entretanto, nos demais pontos da curva OJIP, este tratamento não diferiu do controle, havendo apenas diminuição da emissão de fluorescência transiente em plantas submetidas ao tratamento D+ ½ nos pontos I e P (Tabela 30).

De acordo com os parâmetros da fluorescência obtidos através do teste JIP, aos 15DAE, as plantas cultivadas em solo tratado em pré emergência com o herbicida diclosulam em sua dose máxima recomendada em bula (D) demonstraram aumento no tamanho aparente do complexo antena (ABS/RC) e na dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC), entretanto, as plantas submetidas à este tratamento não diferiram do tratamento sem aplicação de herbicida nos principais parâmetros que medem o desempenho fotossintético - PI_{ABS} e PI_{TOTAL} (Tabela 31).

Tabela 32 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,81 ^{NS}	19156b	0,37b	40787ab	39186cd	0,76b	27909b	0,67c	12110b	15835d
½ D	0,80	19785b	0,39ab	42083ab	47457bc	0,78a	22006c	0,48d	21285a	30327b
D	0,81	22479a	0,44a	38376b	33885d	0,78a	21504d	0,46d	24139a	39591a
D + ½	0,80	19706b	0,38b	48241a	61201a	0,73c	29643a	0,80a	6985c	11329d
2D	0,81	19566b	0,38b	44579ab	52191ab	0,74c	27746b	0,73b	8207bc	23093c
CV (%)	0,98	2,75	5,74	9,72	11,36	1,37	0,63	4,18	15,87	9,74

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

O rendimento quântico máximo fotoquímico diminuiu nas maiores doses testadas, enquanto que aumentou na subdose e na dose de bula, aos 60DAE. Para as doses ½ D e D, pode-se observar menores tamanhos de complexo antena e na dissipação de energia na forma de calor, entretanto, seus índices de desempenho fotossintético foram maiores em relação ao tratamento sem herbicida (0). Já para a dose D+ ½, que apresentou maior tamanho no complexo de captação de energia luminosa (ABS/RC) e maior dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC), o índice de desempenho fotossintético foi o menor dentre os observados neste período (Tabela 31).

4.2.3 Imazapir+imazapic

Os dados de emissão de fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos para a cultura do algodão indicam diminuição na emissão de fluorescência transiente aos 15DAE no ponto J-I-P a partir do tratamento com a metade da dose máxima comercializada ($\frac{1}{2}$ D), com exceção do tratamento D+ $\frac{1}{2}$ que não diferencia do controle no ponto I, e do tratamento $\frac{1}{2}$ D que não se diferenciou do tratamento controle no ponto P (Tabela 32).

Tabela 33 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ–2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	420ab	1044a	1630a	2194a	352ab	896 ^{NS}	1144 ^{NS}	1460 ^{NS}
$\frac{1}{2}$ D	394b	917b	1495bc	2072ab	380a	936	1053	1412
D	380b	929b	1403c	1855c	350ab	906	1142	1495
D + $\frac{1}{2}$	447a	946b	1541ab	2013bc	316b	815	1098	1413
2D	386b	883b	1392c	1864c	350ab	862	1129	1588
CV (%)	4,41	4,10	3,44	3,83	7,04	8,14	9,73	8,63

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60DAE, no ponto O, apenas as plantas submetidas aos tratamentos $\frac{1}{2}$ D e D+ $\frac{1}{2}$ apresentaram diferença entre si, entretanto, as curvas de emissão de fluorescência transiente da clorofila *a* não se diferenciaram entre as doses testadas e o tratamento controle a partir do ponto J (Figura 8).

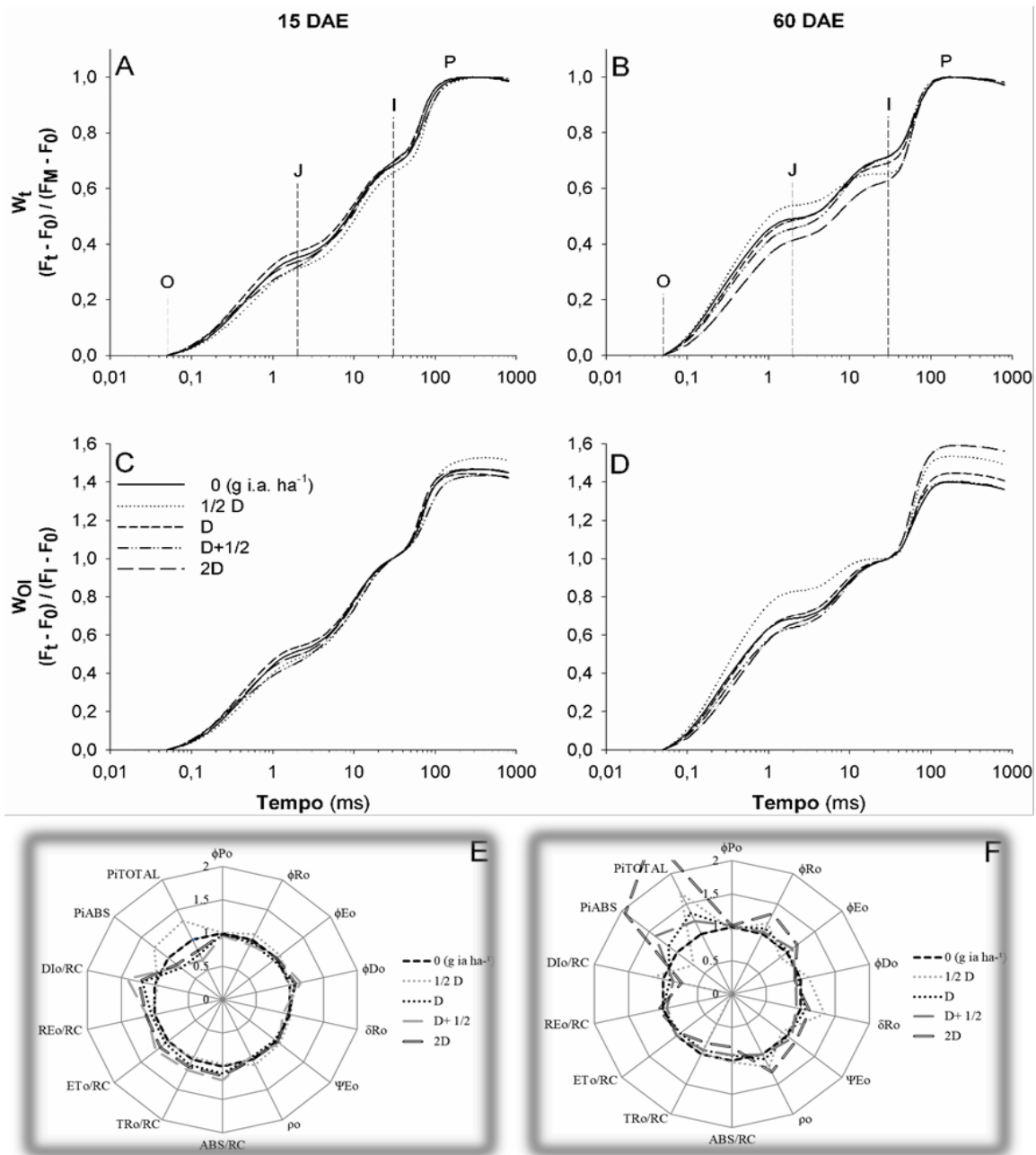


Figura 8 Fluorescência variável transitente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transitente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Nos parâmetros do teste JIP se observou que para as plantas submetidas aos tratamentos com dose comercial (D), dose comercial acrescida de sua metade (D+ 1/2) e dobro da dose comercial (2D), houve diminuição do rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) e dos índices de desempenho fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) enquanto que o tamanho do complexo antena e a dissipação de energia na forma de calor aumentaram em relação ao controle (Tabela 33).

Tabela 34 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,81a	19156c	0,37c	40787b	39186b	0,76a	27909ab	0,67ab	12110bc	15835c
½ D	0,81a	18594c	0,36c	51269a	51464a	0,73b	28520a	0,77a	8438c	25546b
D	0,80b	21370b	0,44b	30822c	29637cd	0,77a	25978b	0,61b	13542b	21389bc
D + ½	0,78c	23309a	0,52a	32275c	25769d	0,78a	25701b	0,58bc	16306b	18191c
2D	0,79b	21959ab	0,45b	34734bc	32649c	0,78a	22380c	0,50c	22584a	39380a
CV (%)	0,69	3,96	4,46	9,38	8,36	1,33	4,17	7,73	16,08	12,81

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 15DAE, somente as plantas submetidas à solo tratado com a subdose do produto (½D) demonstraram aumentos dos índices de desempenho fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) em relação aos demais tratamentos. Aos 60 DAE, as plantas submetidas ao tratamento com dobro da dose comercial do herbicida imazapir+imazapic (2D) apresentaram menor tamanho de complexo antena e menor dissipação de energia na forma de calor, entretanto, maiores índices de desempenho fotossintético - PI_{ABS} e PI_{TOTAL} (Tabela 33).

4.2.4 Flumioxazin

Na avaliação de fluorescência transiente da clorofila *a* realizada aos 15DAE, se observou diminuição na emissão de fluorescência no ponto O no tratamento com o dobro da dose indicada em bula (2D); no ponto J, houve diminuição nos tratamentos ½ D, D e D+ ½; enquanto que nos pontos I e P, esta diminuição pode ser observada nos tratamentos ½ D e 2D. Aos 60 DAE as curvas OJIP não diferenciam entre si, destacando-se ainda, que o fluxo de captura por centro de reação (TR/RC) apresentou o mesmo padrão da razão ABS/RC (Figura 9E) demonstrando similaridade entre a absorção da energia luminosa pelo sistema antena e a captura dos éxcitons pelos centros de reação do PSII (Tabela 34, Figura 9).

Tabela 35 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	420a	1044a	1630a	2194a	352 ^{NS}	896 ^{NS}	1144 ^{NS}	1460 ^{NS}
½ D	388ab	917c	1417b	1930b	377	922	1162	1517
D	415ab	994ab	1681a	2246a	387	945	1245	1626
D + ½	415ab	948bc	1588a	2130a	420	1024	1330	1806
2D	380b	928bc	1371b	1869b	364	953	1346	1757
CV (%)	4,07	3,31	3,51	3,04	8,63	9,41	11,94	10,67

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

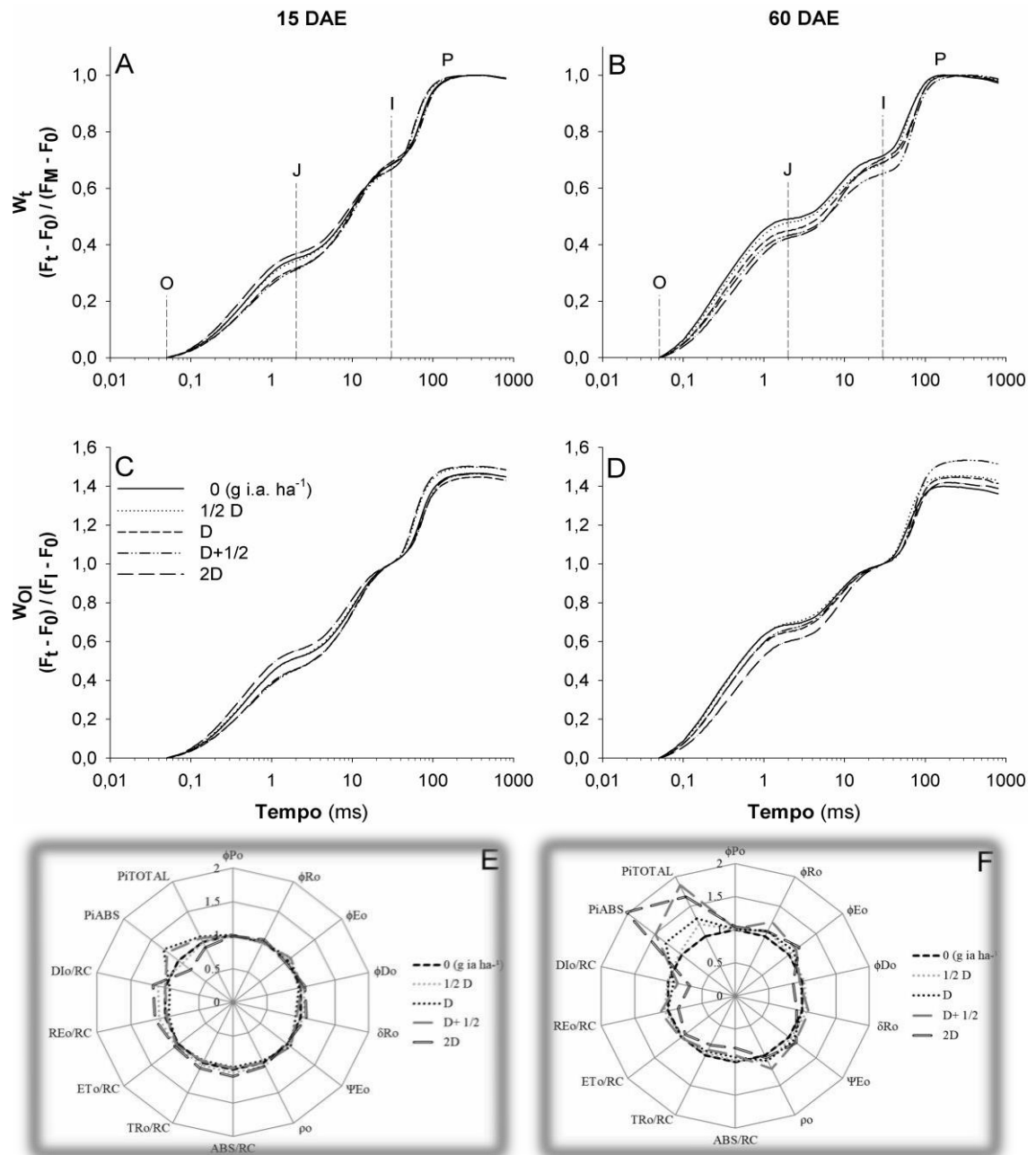


Figura 9 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida flumioxazin. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Em relação aos parâmetros JIP, D e D+ 1/2 apresentaram maiores índices de desempenho fotossintético (PI_{ABS}) enquanto plantas submetidas ao tratamento com o dobro da dose comercial (2D) apresentaram o menor índice de desempenho fotossintético, mesmo tendo apresentado maior tamanho de complexo antena (ABS/RC) (Tabela 35). O índice de desempenho fotossintético total (PI_{TOTAL}) não diferiu entre as doses testadas e o tratamento controle.

Tabela 36 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,81 ab	19156 c	0,37 b	40787 b	39301 ^{NS}	0,76 b	27909 a	0,67 ab	12110 b	15835 c
½ D	0,80 b	20165 b	0,41 a	37861 bc	39186	0,75 b	27238 ab	0,68 a	12297 b	18883 bc
D	0,81 ab	18491 c	0,34 b	51526 a	42908	0,76 b	26173 ab	0,62 ab	15296 b	19437 bc
D + ½	0,80 b	18855 c	0,37 b	48659 a	41813	0,77 ab	25070 b	0,58 c	17427 ab	29841 a
2D	0,80 b	21177 a	0,43 a	31596 c	38301	0,79 a	22276 c	0,47 d	23633 a	25153 ab
CV (%)	0,65	2,22	3,73	7,89	11,03	1,44	4,17	6,85	18,80	13,93

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

A avaliação realizada aos 60DAE demonstrou sensibilidade das plantas quando cultivadas em solo previamente tratado com o dobro da dose comercial (2D), com diminuição do complexo antena (ABS/RC) e da dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC) e consequente aumento do índice de rendimento fotossintético (PI_{ABS}), e, ainda, aumento no rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) indicando perda de eficiência no PSII devido ao bloqueio de transporte elétrons para além da Q_A (CHEN *et al.*, 2015). Para a dose comercial (D), no entanto, não houve diferença entre os parâmetros fotossintéticos quando comparados ao tratamento controle (Tabela 35).

4.2.5 Metribuzim

Os resultados obtidos nas plantas tratadas com o herbicida metribuzim mostram redução na emissão de fluorescência no tratamento D+ ½ em todos os pontos da curva OJIP, e também, redução da emissão de fluorescência em plantas submetidas à dose comercial do herbicida a partir do ponto J da curva OJIP, enquanto que aos 60DAE houve aumento da indução de fluorescência a partir do ponto J em plantas submetidas ao tratamento com dobro da dose comercial (2D) e, em plantas submetidas ao tratamento ½ D houve aumento da emissão de fluorescência nos pontos I e P (Tabela 36, Figura 10).

Tabela 37 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	420a	1044a	1630a	2194ab	352 ^{NS}	896b	1144b	1460b
½ D	395a	948bc	1553a	2111b	380	989ab	1354a	1783a
D	379a	919cd	1383b	1932c	359	912b	1202b	1555b
D + ½	335b	842d	1376b	1837c	371	909b	1167b	1520b
2D	408a	1026ab	1599a	2235a	395	1042a	1356a	1712a
CV (%)	4,83	3,61	2,69	2,39	6,00	5,49	4,54	3,83

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

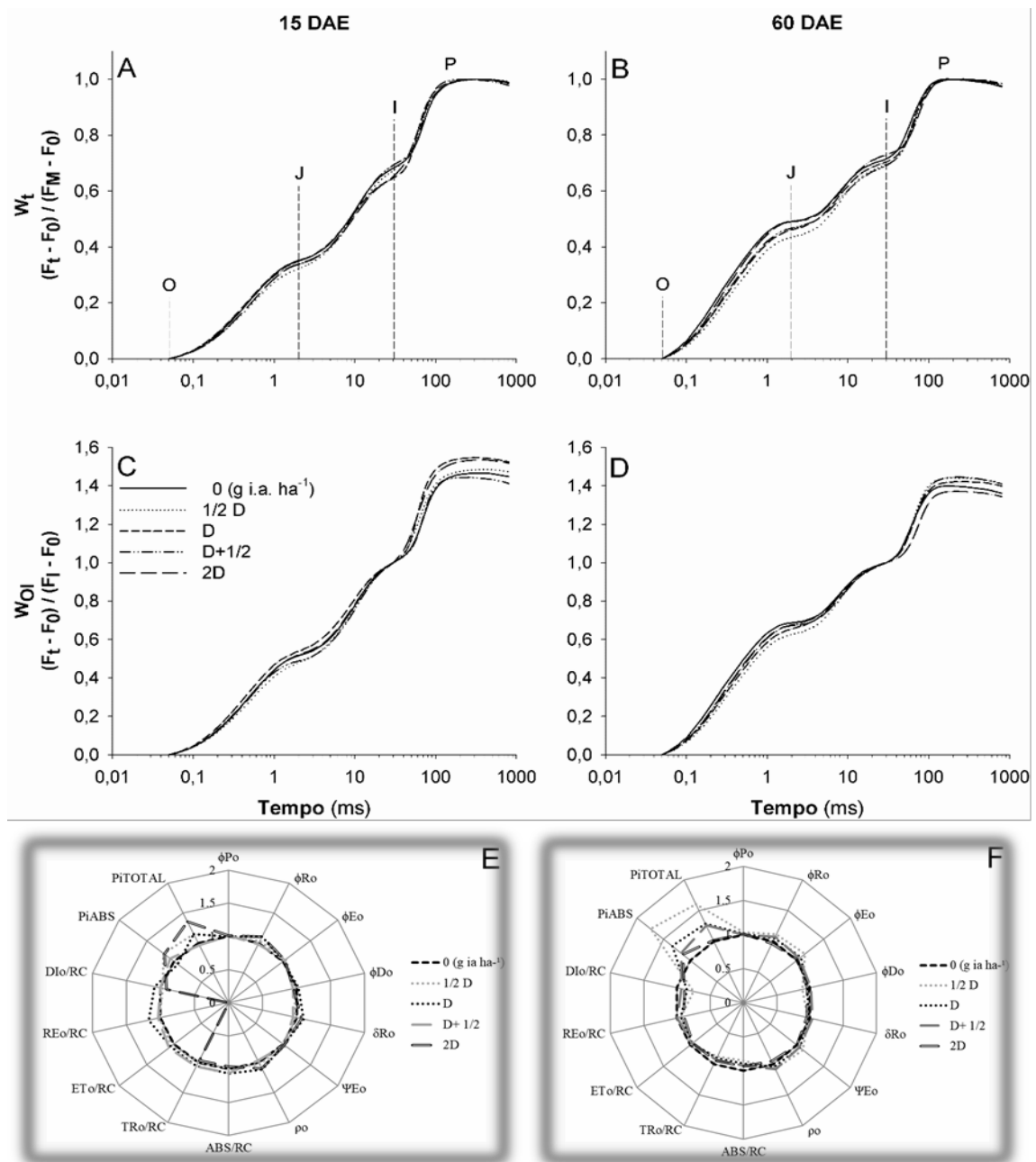


Figura 10 Fluorescência variável transitente da clorofila *a* em plantas de algodão sob diferentes doses do herbicida metribuzim. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transitente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Em relação aos parâmetros obtidos com o teste JIP, houve aumento no tamanho aparente do complexo antena (ABS/RC) em D e D+ 1/2, enquanto que o índice de desempenho fotossintético (PI_{ABS}) aumentou em plantas submetidas aos tratamentos 1/2 D e 2D e o índice de desempenho fotossintético total (PI_{TOTAL}) foi maior em 2D (Tabela 37).

Tabela 38 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,81 ^{NS}	19156 b	0,37 ab	40787 b	39186 bc	0,76 b	27909 a	0,67 a	12110 b	15835 b
½ D	0,81	18911 b	0,36 b	48847 a	45256 b	0,79 a	23768 c	0,51 c	20320 a	23935 a
D	0,80	20356 a	0,40 a	37901 b	44955 b	0,77 ab	24911 bc	0,57 bc	15680 b	20400 ab
D + ½	0,82	20275 a	0,37 ab	43423 ab	37848 c	0,76 b	25864 b	0,63 ab	13808 b	20007 ab
2D	0,82	18353 b	0,34 b	47841 a	53319 a	0,77 ab	25977 b	0,60 ab	13563 b	15281 b
CV (%)	0,82	2,63	4,46	6,75	6,98	1,07	2,92	5,15	11,23	15,02

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60DAE, as plantas cultivadas em solo tratado com a meia dose do herbicida metribuzim (½D) apresentaram maiores índices de rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0), desempenho fotossintético (PI_{ABS}) e desempenho fotossintético total (PI_{TOTAL}) e menor dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC). Se observou também, redução no tamanho do complexo antena (ABS/RC) em todas as doses testadas quando comparadas ao controle (Tabela 37).

4.3 Experimento III: melancia

Os dados apresentados na Tabela 38 mostram que dentre os herbicidas estudados, a melancia apresentou maior sensibilidade à mistura formulada dos herbicidas imazapir+imazapic, respondendo com menores médias em comprimento de parte aérea em todas as doses testadas, chegando até 40% de redução de biomassa no tratamento com o dobro da dose comercial (2D) (Tabela 38).

Tabela 39 Comprimento de parte aérea (cm) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	30,00Aa	30,00Aa	30,00Aa	30,00Ab	30,00Aa
½ D	25,83ABa	29,47Aa	21,90Bb	32,24Aab	28,00Aba
D	23,69BCa	30,89Aa	21,45Cb	33,59Aab	28,86Aba
D + ½	24,17Ca	31,52ABa	23,89Cab	35,71Aab	27,38BCa
2D	25,06BCa	29,68Ba	22,88Cb	38,22Aa	27,44BCa
CV (%)	11,49				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

Além das plantas tratadas com imazapir+imazapic, plantas tratadas com chlorimuron-ethyl, diclosulam e metribuzim, em seus respectivos dobros da dose recomendada em bula (2D), apresentaram redução de comprimento de parte aérea. Dentre as doses do herbicida imazapir+imazapic, houve redução de comprimento de parte aérea nas plantas cultivadas em solo tratado com as doses ½D, D e 2D deste herbicida; enquanto que para o herbicida flumioxazin, houve aumento de comprimento de parte aérea em plantas cultivadas sob o tratamento 2D quando comparadas às plantas controle. Os demais herbicidas não apresentaram diferença entre as doses testadas e o tratamento controle (Tabela 38).

No comprimento das raízes, as plantas cultivadas em solo tratado com o herbicida diclosulam apresentaram maior incremento de raiz em todas as doses testadas, diferenciando dos demais herbicidas nestes tratamentos. Ainda dentre os herbicidas, o herbicida metribuzim apresentou menores comprimentos das raízes nos tratamentos D e D + ½, e chlorimuron-ethyl apresentou menor média dentre os herbicidas em ½ D (Tabela 39).

Tabela 40 Comprimento de raiz (cm) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

COMPRIMENTO DE RAIZ (cm)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+ imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	12,04Aa	12,04Ab	12,04Aa	12,04Ab	12,04Aa
½ D	12,00Ca	16,08Aa	12,70BCa	15,21ABa	13,03BCa
D	11,98Ba	15,32Aa	12,34Ba	14,25ABab	11,72Ba
D + ½	11,74Ba	16,38Aa	12,57Ba	16,36Aa	11,47Ba
2D	12,50Aa	14,20Aab	11,53Aa	13,99Aab	13,75Aa
CV (%)	10,73				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (n=4).

Dentre as doses do herbicida diclosulam, observou-se incremento em comprimento de raiz nas doses ½D, D e D+ ½, enquanto que para flumioxazin, este incremento só pode ser observado em ½D e D+ ½. Para os demais herbicidas, mesmo com o aumento da dose, não houve diferença entre os tratamentos testados (Tabela 40).

Em volume de raiz, se observa diferença na resposta das plantas ao herbicida flumioxazin, com maior volume, e os herbicidas chlorimuron-ethyl e imazapir+imazapic, com menores médias de volume das raízes (Tabela 40).

Tabela 41 Volume de raiz (ml) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

VOLUME DE RAIZ (ml)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+ imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	0,51Aab	0,51Aa	0,51Aa	0,51Aa	0,51Aa
½ D	0,35Bb	0,52ABa	0,38Bab	0,62Aa	0,45ABa
D	0,56ABa	0,53ABa	0,41Bab	0,64Aa	0,43Ba
D + ½	0,46Bab	0,70Aa	0,41Bab	0,70Aa	0,35Ba
2D	0,46BCab	0,62ABa	0,26Cb	0,69Aa	0,57ABa
CV (%)	21,29				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (n=4).

Observa-se ainda, que o herbicida flumioxazin apresentou maiores médias de volume de raiz em todas as doses, diferenciando-se dos demais herbicidas. No tratamento D, houve redução do volume de raiz para os herbicidas imazapir+imazapic e metribuzim, enquanto que no tratamento D+ ½, além destes herbicidas já citados, houve redução também para chlorimuron-ethyl. Já para o tratamento 2D, dentre os herbicidas, somente chlorimuron-ethyl e

imazapir+imazapic apresentaram diferença em relação à média de flumioxazin, a maior observada neste tratamento (Tabela 40).

Dentre as doses testadas, somente para o tratamento com o dobro da dose comercial (2D) do herbicida imazapir+imazapic houve redução em volume de raiz quando comparado ao tratamento controle (Tabela 40).

Na variável massa seca de parte aérea, dentro do tratamento ½ D, as plantas cultivadas sob o herbicida flumioxazin não apresentaram diferença em relação às plantas cultivadas sob o herbicida diclosulam, entretanto diferiram das plantas cultivadas sob os herbicidas metribuzim, chlorimuron-ethyl e imazapir+imazapic, enquanto que, no tratamento D, as plantas cultivadas em solo tratado com os herbicidas diclosulam, flumioxazin e metribuzim não demonstraram diferença entre si, diferenciando apenas quando comparadas às plantas cultivadas sob o residual dos herbicidas chlorimuron-ethyl e imazapir+imazapic. Entretanto, nos tratamentos D+ ½ e 2D, somente chlorimuron-ethyl, imazapir+imazapic e flumioxazin demonstraram diferença entre si (Tabela 41).

Tabela 42 - Massa seca de parte aérea (g) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

MASSA SECA DE PARTE AÉREA (g)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	0,89Aa	0,89Ab	0,89Aa	0,89Ab	0,89Ab
½ D	0,75Ca	1,12ABab	0,52Cb	1,38Aa	1,05Bb
D	0,78Ba	1,24Aa	0,50Bb	1,32Aa	1,14Aab
D + ½	0,87Ca	1,28ABa	0,58Db	1,53Aa	1,13BCab
2D	0,85Ba	1,18Aab	0,53Cb	1,38Aa	1,36Aa
CV (%)	15,06				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (n=4).

Entre as doses do herbicida diclosulam, somente apresentou diferença as plantas cultivadas sob residual deste herbicida aplicado na sua dose comercial (D) quando comparado ao tratamento controle. Já para o herbicida imazapir+imazapic, todos os tratamentos apresentam redução em massa seca de parte aérea, enquanto que para o herbicida flumioxazin este efeito ocorre de forma inversa, onde todos os tratamentos apresentam aumento em biomassa de parte aérea, quando comparados ao tratamento controle. Para o metribuzim, somente o tratamento com 2D favoreceu o incremento de massa seca de parte aérea das plantas cultivadas sob este residual, quando comparadas às plantas controle (tabela 42).

Na variável massa seca de raiz, o herbicida flumioxazin se diferenciou dos demais herbicidas, pois apresentou maiores médias de incremento de biomassa de raiz, sendo este herbicida também, o único tratamento que apresentou diferença entre as doses testadas (Tabela 42).

Tabela 43 - Massa seca de raiz (g) da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim nas doses ½ D, D, D + ½ e 2D, além do tratamento controle (sem aplicação de herbicida), 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

MASSA SECA DE RAIZ (g)					
DOSE (g ia ha⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+ imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	0,07Aa	0,07Aa	0,07Aa	0,07Ab	0,07Aa
½ D	0,05Ba	0,07Ba	0,06Ba	0,11Aa	0,06Ba
D	0,06Ba	0,06Ba	0,06Ba	0,11Aa	0,06Ba
D + ½	0,07Ba	0,07Ba	0,06Ba	0,13Aa	0,06Ba
2D	0,07Ba	0,07Ba	0,05Ba	0,12Aa	0,07Ba
CV (%)	22,32				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($n=4$).

4.3.1 Chlorimuron-ethyl

As curvas OJP obtidas aos 15 DAE demonstram sensibilidade das plantas cultivadas sob residual do herbicida chlorimuron-ethyl nas doses D, D+ ½ e 2D com redução da emissão de fluorescência no ponto J, em relação ao tratamento controle, enquanto que nos pontos I e P essa redução só pode ser observada nos tratamentos com ½ D e D+ ½ (Tabela 43).

Tabela 44 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	509ab	1232a	1519a	2144a	408c	970b	1262b	1566b
½ D	465b	1190ab	1319bc	1847b	505b	1048a	1333b	1592b
D	472b	1104bc	1462ab	2113a	381c	879c	1081c	1441c
D + ½	459b	1019c	1272c	1821b	409c	987b	1411a	1841a
2D	546a	1039bc	1483a	2164a	572a	1023a	1097c	1264d
CV (%)	4,86	4,66	4,87	5,51	3,11	1,49	2,69	2,34

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE se observa maior emissão de fluorescência em ½ D e 2D no ponto O e J, entretanto nos pontos I e P o tratamento ½ D não se diferencia do controle, enquanto que o tratamento 2D apresenta menor emissão de fluorescência transiente. O tratamento D apresenta indução de fluorescência menor em todos os pontos da curva OJIP, em relação ao tratamento controle (Tabela 43, Figura 11).

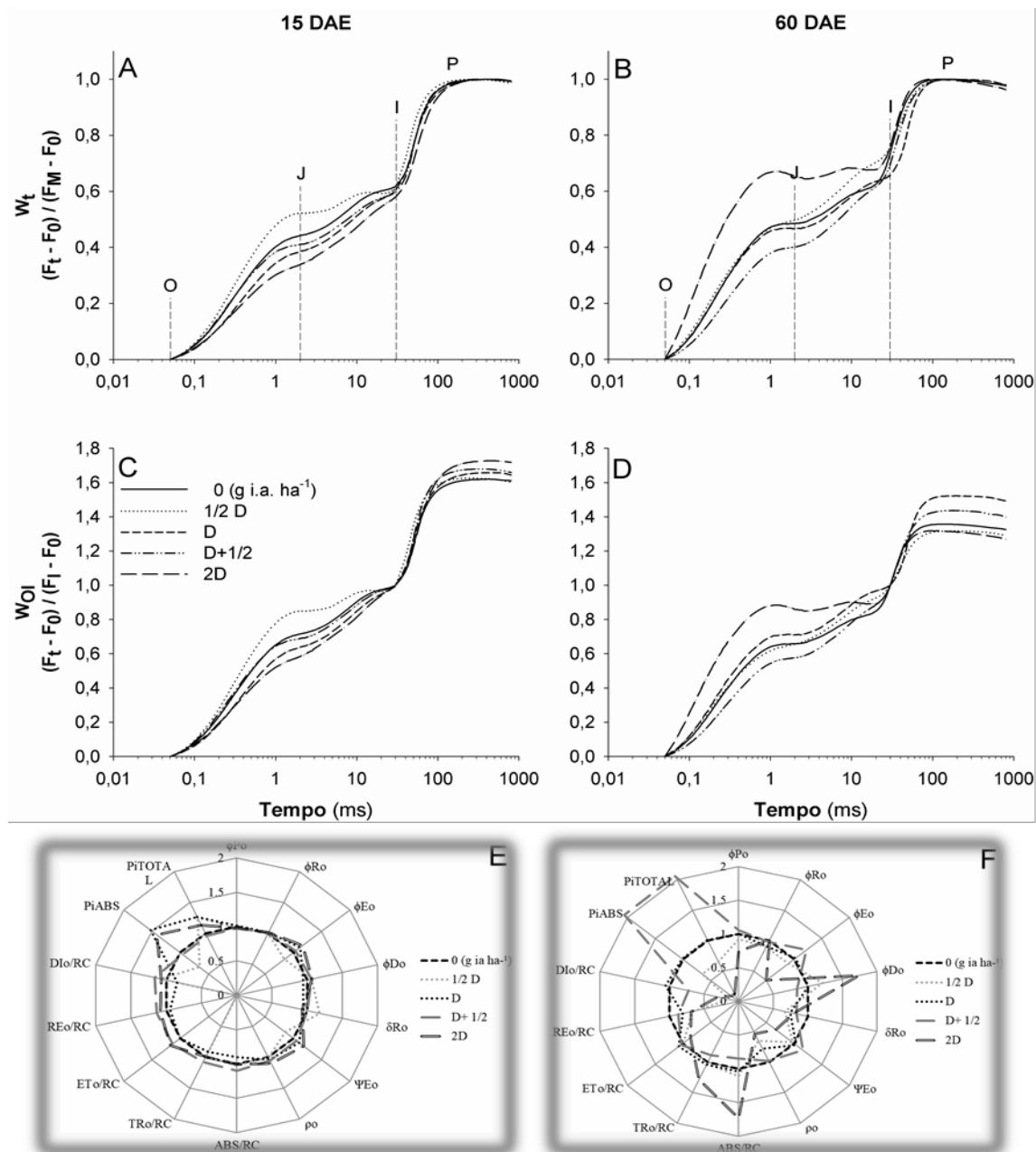


Figura 11 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Quanto aos parâmetros JIP, os tratamentos com diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl apresentam diferença entre as doses testadas, entretanto, não apresentam diferença em relação ao tratamento controle. Já aos 60 DAE observa-se redução no rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) e menor dissipação de energia na forma de calor (DI_0/RC) além de menores desempenhos fotossintéticos (PI_{ABS}) nas doses 1/2 D e 2D em relação ao tratamento controle. A dose comercial (D) do herbicida chlorimuron-ethyl diferiu do tratamento controle apenas no parâmetro de índice de desempenho fotossintético total (PI_{TOTAL}) (Tabela 44).

Tabela 45 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida chlorimuron-ethyl em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77 ^{NS}	25957 ab	0,62 ab	16417 ab	40531 ^{NS}	0,74 b	33052 c	0,86 a	9164 b	9615 b
½ D	0,75	26401 ab	0,66 ab	10810 b	45065	0,68 c	36165 b	0,11 d	6335 c	5842 bc
D	0,77	23469 b	0,54 b	26679 a	48421	0,74 b	34474 bc	0,91 a	9381 b	17688 a
D + ½	0,75	28453 a	0,71 a	15320 ab	35600	0,78 a	27927 d	0,62 b	18836 a	19715 a
2D	0,75	26236 ab	0,66 ab	22206 ab	39273	0,55 d	57188 a	0,25 c	1130 d	2549 c
CV (%)	2,46	6,12	11,73	33,25	30,13	0,81	2,97	5,62	12,01	22,36

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.3.2 Diclosulam

As curvas OJIP não diferiram entre si para as diferentes doses do herbicida diclosulam. Entretanto, aos 60 DAE, se observa aumento na emissão de fluorescência nas doses ½ D e D+ ½ no ponto O e J, e para a dose ½ D, este aumento também é observado nos pontos I e P, enquanto que as plantas cultivadas sob o residual da dose comercial deste herbicida (D) não demonstraram diferença entre as curvas OJIP neste tratamento em relação ao controle (Tabela 45).

Tabela 46 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	509 ^{NS}	1232 ^{NS}	1519 ^{NS}	2144 ^{NS}	408 ^c	970 ^b	1262 ^b	1566 ^{bc}
½ D	492	1175	1390	1975	504 ^a	1203 ^a	1568 ^a	2007 ^a
D	458	1080	1349	1985	412 ^c	984 ^b	1325 ^b	1740 ^b
D + ½	300	716	948	1417	489 ^{ab}	1070 ^{ab}	1373 ^b	1599 ^{bc}
2D	472	1002	1252	1804	440 ^{bc}	1035 ^b	1251 ^b	1510 ^c
CV (%)	21,31	22,17	21,67	22,84	5,75	6,48	5,61	5,02

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Em relação aos parâmetros JIP obtidos a partir das curvas de emissão de fluorescência, se observa que na maioria dos parâmetros, os tratamentos diferem somente entre si, e não em relação ao tratamento controle, com exceção do parâmetro PI_{ABS} que aumentou significativamente na dose D+ ½ em relação ao controle (Tabela 46).

Tabela 47 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida diclosulam em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77 ^{NS}	25957 ^{ab}	0,62 ^{ab}	16417 ^b	40531 ^{NS}	0,74 ^{ab}	33052 ^{bc}	0,86 ^a	9164 ^{bc}	9615 ^c
½ D	0,75	26620 ^{ab}	0,66 ^a	13498 ^b	37318	0,75 ^a	29944 ^c	0,75 ^b	12471 ^{ab}	15364 ^b
D	0,77	24683 ^{ab}	0,57 ^{ab}	20577 ^{ab}	50161	0,77 ^a	28368 ^c	0,67 ^b	15415 ^a	19402 ^a
D + ½	0,76	21823 ^b	0,50 ^b	29426 ^a	61971	0,69 ^c	38714 ^a	0,12 ^c	5202 ^c	4414 ^d
2D	0,74	27278 ^a	0,71 ^a	16850 ^b	38068	0,71 ^{bc}	35445 ^{ab}	0,10 ^c	6183 ^c	7402 ^{cd}
CV (%)	2,97	8,60	10,34	24,64	26,99	1,73	6,93	8,64	23,97	14,38

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE se observa diminuição no fluxo de elétrons (ΦP₀) em plantas submetidas ao residual do herbicida diclosulam na dose D+ ½ e consequente diminuição no índice de desempenho fotossintético total (PI_{TOTAL}), além do aumento no tamanho aparente do complexo antena (ABS/RC) e redução da dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC). As plantas cultivadas em solo tratado com a dose recomendada na bula do herbicida diclosulam (D) demonstraram os maiores índices de desempenho fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) quando comparadas ao tratamento controle (Tabela 46, Figura 12).

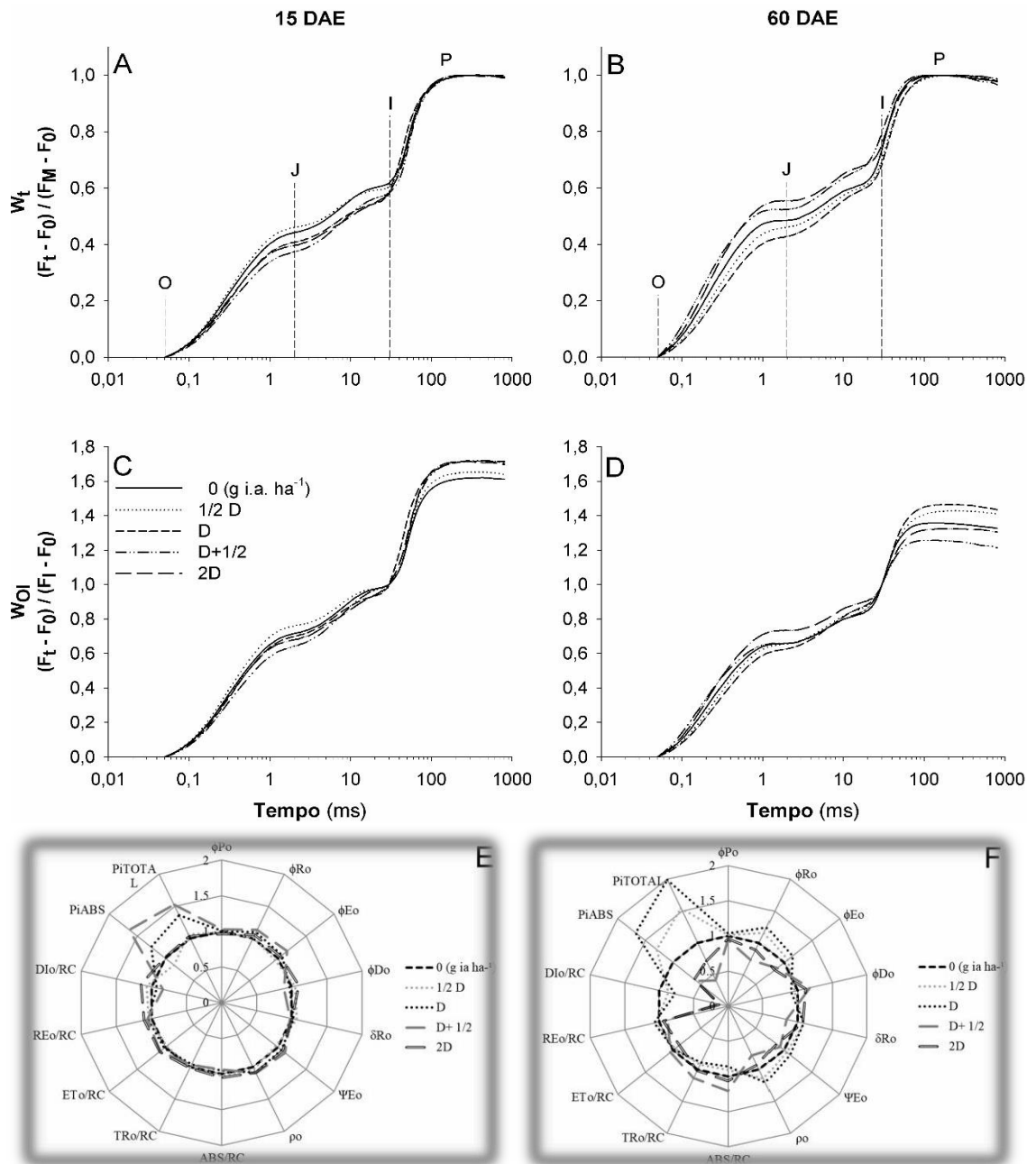


Figura 12 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida diclosulam. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

4.3.3 Imazapir+imazapic

As curvas OJIP das plantas cultivadas sob resíduo do herbicida imazapir+imazapic mostram um aumento gradativo na emissão de fluorescência entre os passos da curva aos 15 DAE, com maior emissão de fluorescência emitida nas plantas submetidas ao tratamento ½ D e menor emissão em D+ ½ e 2D no passo J, enquanto que nos passos I e P, a emissão de fluorescência nestes tratamentos foram menores em relação ao controle (Tabela 47).

Tabela 48 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	509ab	1232b	1519a	2144a	408b	970b	1262bc	1566bc
½ D	563a	1401a	1433ab	2026ab	379bc	992b	1233bc	1685b
D	520ab	1238b	1354b	1953b	369c	863c	1187c	1426c
D + ½	477b	987c	1340b	2026ab	557a	1262a	1750a	2126a
2D	455b	1054c	1386ab	1955b	405bc	981b	1320b	1674b
CV (%)	7,45	4,99	5,07	3,58	3,89	4,18	3,15	4,59

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE, se observa aumento na emissão de fluorescência transiente da clorofila *a* em todos os passos da curva OJIP em plantas cultivadas em solo tratado com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic na dose D+ ½, diferenciando do tratamento sem aplicação herbicida (0). No tratamento com dose de bula (D) houve diminuição da emissão de energia luminosa na forma de fluorescência nos pontos O e J da curva (Tabela 47, Figura 13).

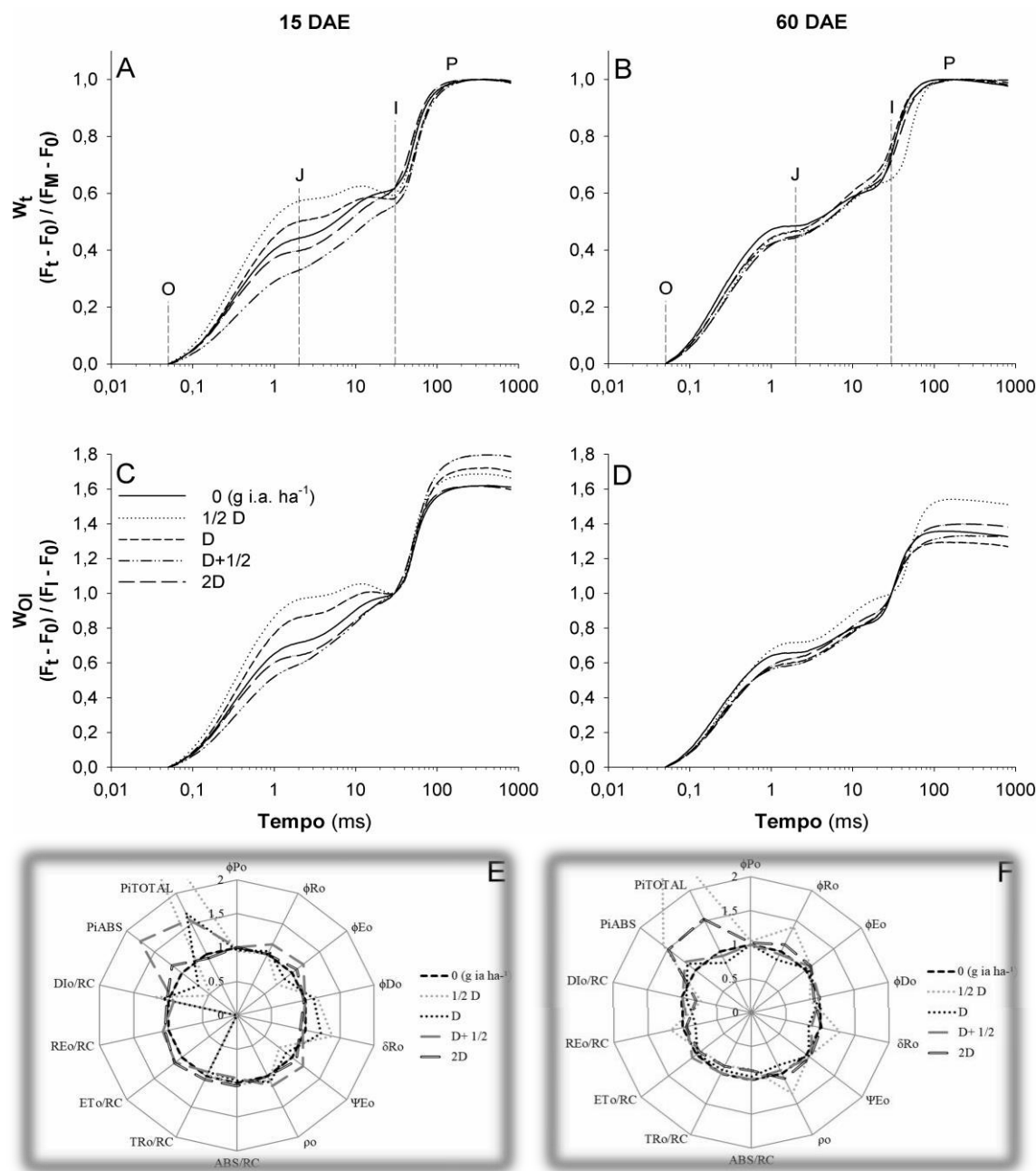


Figura 13 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de melancia sob diferentes doses da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Aos 15 DAE, se observa a redução do rendimento quântico máximo fotoquímico e no índice de rendimento fotoquímico (PI_{ABS}) em plantas cultivadas sob resíduo de imazapir+imazapic na dose $1/2D$, que também apresentaram aumento da dissipação de energia na forma de calor (DI_0/RC) e no índice de rendimento fotossintético total (PI_{TOTAL}), enquanto que os demais tratamentos não diferiram do controle nos principais parâmetros que medem o desempenho fotossintético, com exceção do tratamento com $D+1/2$ que demonstrou maior índice de rendimento fotoquímico em relação (PI_{ABS}) ao controle (Tabela 48).

Tabela 49 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com a mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP_0	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77 ab	25957 ab	0,62 b	16417 b	40531 b	0,74 b	33052 a	0,86 a	9164 ^{NS}	9615 b
½ D	0,72 c	26761 a	0,74 a	7387 c	160606 a	0,77 a	27573 c	0,64 b	17513	32184 a
D	0,73 bc	25124 ab	0,67 ab	11053 bc	62128 b	0,74 b	31104 abc	0,81 ab	10866	8174 b
D + ½	0,76 ab	25216 b	0,58 b	28171 a	54352 b	0,74 b	32724 ab	0,85 a	10910	8829 b
2D	0,77 a	27058 a	0,62 ab	18652 b	32295 b	0,76 ab	28540 bc	0,69 ab	14092	15795 b
CV (%)	2,03	4,25	8,85	23,63	31,77	1,85	6,53	10,84	35,25	29,43

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Já aos 60 DAE, as plantas cultivadas em solo tratado com a dose ½D da mistura formulada dos herbicidas imazapir+imazapic apresentaram maior rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0), diminuição do tamanho do complexo antena por centro de reação (ABS/RC) e da dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC) além do aumento no índice de desempenho fotossintético total (PI_{TOTAL}). O PI_{ABS} não diferiu entre os tratamentos testados (Tabela 48).

4.3.4 Flumioxazin

Nas análises de fluorescência transiente realizadas aos 15 DAE da melancia submetida aos tratamentos com o herbicida flumioxazin, as plantas cultivadas em solo tratado com a dose comercial deste herbicida (D) apresentaram diminuição de emissão de fluorescência e diferiram do tratamento controle nos pontos J-I-P da curva. Aos 60 DAE, as curvas OJIP não diferiram entre os tratamentos analisados e o controle (Tabela 49, Figura 14).

Tabela 50 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	509ab	1232a	1519a	2144a	408 ^{NS}	970 ^{NS}	1262 ^{NS}	1566 ^{NS}
½ D	524ab	1149ab	1490a	2131a	390	907	1274	1601
D	478b	1043b	1301b	1829b	500	914	1147	1384
D + ½	555a	1258a	1495a	2080a	470	1056	1269	1517
2D	486b	1114ab	1413ab	2046a	443	921	1028	1209
CV (%)	5,55	5,99	5,25	3,62	10,98	8,88	11,75	13,68

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

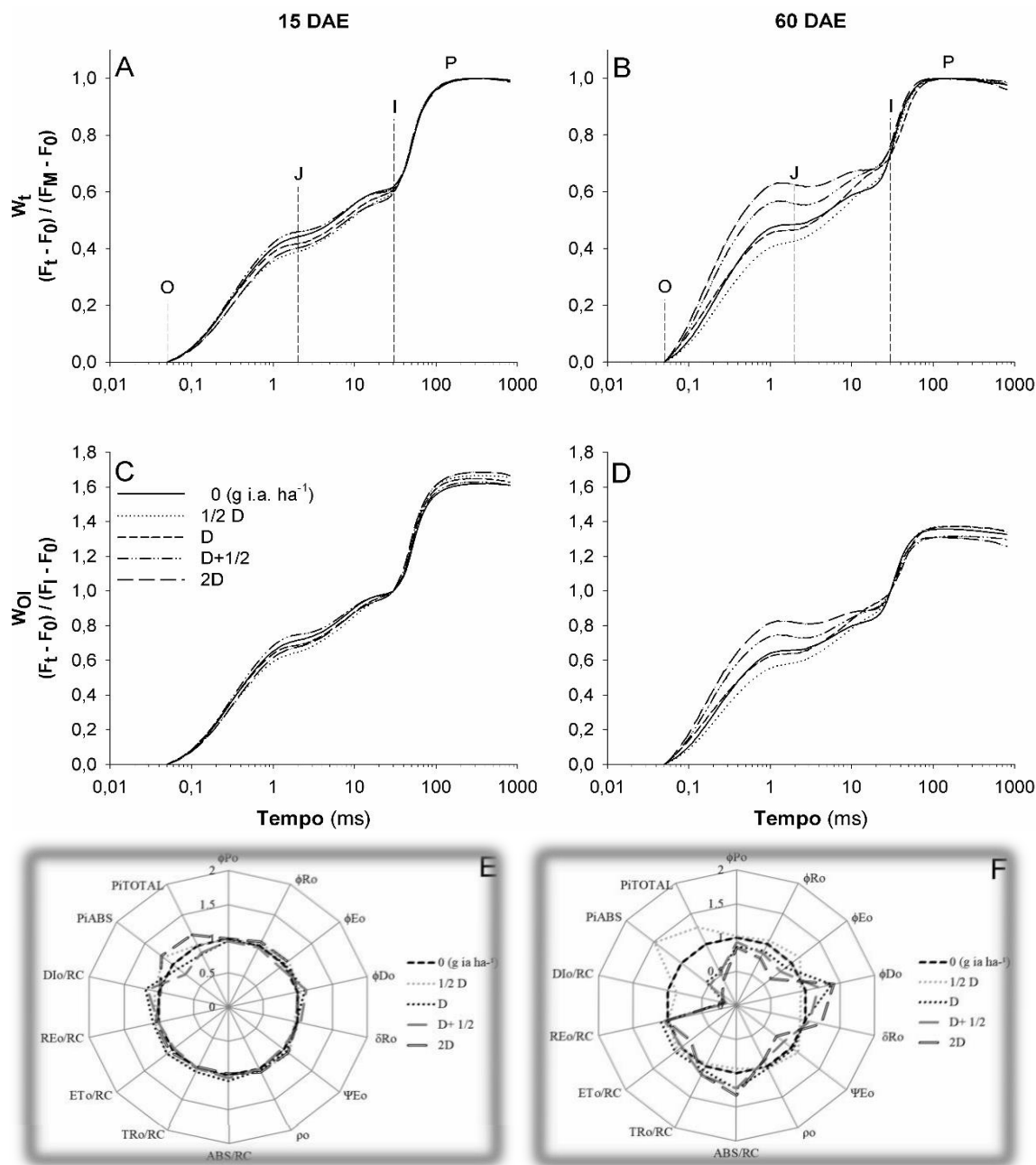


Figura 14 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida flumioxazin. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Para os parâmetros JIP se observa a redução do rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP_0) em plantas cultivadas em solo tratado com a dose D+ 1/2 do herbicida flumioxazin aos 15 DAE e aumento da dissipação de energia na forma de calor (DI_0/RC) em plantas cultivadas sob resíduo de flumioxazin aplicado na dose comercial (D). Os demais parâmetros obtidos através do teste JIP, não diferiram entre os tratamentos (Tabela 50).

Tabela 51 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE do algodão cultivado em solo tratado em pré-emergência com o herbicida flumioxazin em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (g ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77a	25957 ^{NS}	0,62bc	16417 ^{NS}	40531 ^{NS}	0,74ab	33052c	0,86a	9164ab	9615ab
½ D	0,75ab	26537	0,65abc	18796	35503	0,76a	30876c	0,76a	14387a	13441a
D	0,74ab	28029	0,73a	14625	30184	0,69bc	34914bc	0,11b	3930b	12397ab
D + ½	0,73b	27087	0,72ab	12024	32613	0,69bc	40893ab	0,13b	4435b	5687ab
2D	0,76a	25380	0,60c	19047	45716	0,64c	43924a	0,16b	3323b	5360b
CV (%)	1,74	5,30	7,44	21,71	32,81	3,65	9,49	15,99	30,42	38,81

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 60 DAE o tratamento com dose de bula (D) não diferiu do tratamento controle em quase todos os parâmetros, exceto a dissipação de energia na forma de calor que diminuiu neste tratamento em relação ao controle. Em plantas cultivadas sob resíduo de flumioxazin aplicado na dose D+ ½, se observa aumento no tamanho do complexo antes (ABS/RC) e redução da dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC), entretanto, os principais índices que medem o desempenho fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) não diferiram entre esse tratamento e o controle. O mesmo ocorre com o tratamento 2D (Tabela 50).

4.3.5 Metribuzim

As plantas de melancia cultivadas sob resíduo do herbicida metribuzim apresentaram na dose D+ ½ apresentaram menor emissão de fluorescência no ponto O, J e P, quando comparadas ao tratamento controle; o tratamento com dose recomendada em bula (D) não apresentou diferença em relação ao controle; já no ponto I, as curvas não diferiram entre todos os tratamentos testados. Aos 60 DAE, as plantas submetidas ao residual do herbicida metribuzim aplicado na dose 2D apresentaram maior emissão de fluorescência no passo P das curvas OJIP, cerca de 29% em relação ao controle (Tabela 51, Figura 15).

Tabela 52 Fluorescência transiente da clorofila *a* nos pontos O, J, I e P obtidas aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (l ha ⁻¹)	15 DAE				60 DAE			
	O	J	I	P	O	J	I	P
0	509a	1232a	1519 ^{NS}	2144a	408 ^{NS}	970ab	1262ab	1566bc
½ D	499a	1167ab	1410	2061ab	412	955ab	1317ab	1726ab
D	518a	1110abc	1413	2013ab	418	1024ab	1305ab	1606bc
D + ½	443b	1041c	1322	1853b	381	845b	1092b	1284c
2D	476ab	1050bc	1413	1962ab	474	1111a	1538a	2022a
CV (%)	4,94	4,96	6,57	6,38	12,69	11,08	11,96	11,11

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

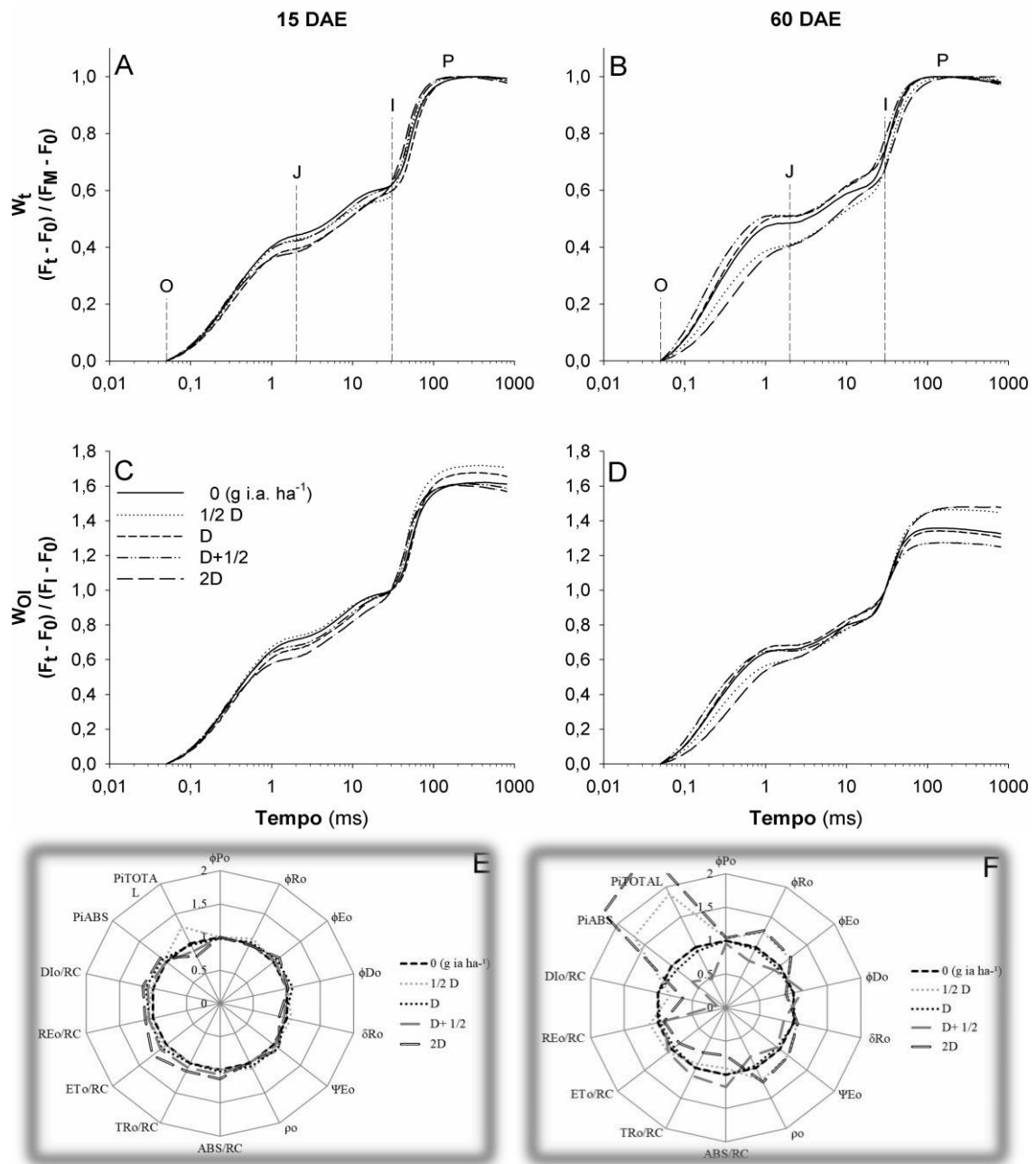


Figura 15 Fluorescência variável transiente da clorofila *a* em plantas de melancia sob diferentes doses do herbicida metribuzim. Fluorescência variável relativa entre os passos O e P (A e B) e fluorescência variável relativa entre os passos O e I (C e D) e parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE (E) e 60 DAE (F). Valores do tratamento controle normalizados para 1 no teste JIP ($n=4$).

Em relação aos parâmetros do teste JIP, se observa que aos 15 DAE somente as plantas cultivadas em solo com resíduo do herbicida metribuzim aplicado na dose 2D, apresentaram aumento do tamanho aparente do complexo antena por centro de reação (ABS/RC) quando comparadas ao tratamento sem aplicação de herbicida. Para os demais parâmetros analisados, não houve diferença quando comparados os tratamentos ao controle (Tabela 52).

Tabela 53 Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* obtidos através do teste JIP aos 15 DAE e 60 DAE da melancia cultivada em solo tratado em pré-emergência com o herbicida metribuzim em diferentes doses, 120 dias após a aplicação. Seropédica/RJ – 2017.

DOSE (l ha ⁻¹)	15 DAE					60 DAE				
	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}	ΦP ₀	ABS/RC	DI ₀ /RC	PI _{ABS}	PI _{TOTAL}
0	0,77 ^{NS}	25957 ^b	0,62 ^{NS}	16417 ^{NS}	40531 ^{ab}	0,74 ^b	33052 ^b	0,86 ^a	9164 ^c	9615 ^c
½ D	0,76	25909 ^b	0,63	16227	43597 ^a	0,76 ^a	30121 ^b	0,71 ^b	15492 ^b	18217 ^b
D	0,74	26710 ^{ab}	0,69	16730	33514 ^{ab}	0,74 ^b	33175 ^b	0,86 ^a	8398 ^c	9824 ^c
D + ½	0,76	28193 ^{ab}	0,68	16136	31048 ^{ab}	0,71 ^c	38682 ^a	0,11 ^d	5912 ^d	4841 ^d
2D	0,76	29544 ^a	0,71	17264	26882 ^b	0,77 ^a	23610 ^c	0,55 ^c	20689 ^a	24708 ^a
CV (%)	1,46	4,84	8,42	19,75	21,09	0,55	5,53	3,29	7,43	9,76

NS=Não significativo na análise de variância à 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na avaliação dos parâmetros JIP realizada aos 60 DAE se observa que na dose ½D houve aumento do rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP₀) e dos índices de desempenho fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) enquanto que a dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC) diminuiu neste tratamento em relação ao controle. Para a dose de bula (D), não houve diferença em relação ao controle. Na dose D+ ½ houve redução do ΦP₀, DI₀/RC, PI_{ABS} e PI_{TOTAL}, no entanto, houve aumento de ABS/RC. Já para o tratamento 2D, se observa aumento do rendimento quântico máximo fotoquímico (ΦP₀) e dos nos principais índices que medem o rendimento fotossintético (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}), enquanto que o tamanho do complexo antena por centro de reação (ABS/RC) e a dissipação de energia na forma de calor (DI₀/RC) reduziram em relação ao tratamento controle (Tabela 52).

Na análise da atividade específica da enzima guaiacol peroxidase (GPOD), realizada em melancia coletada 60 DAE, se observa que as plantas demonstraram aumento na atividade específica da GPOD quando submetidas à solo tratado com a dose comercial dos herbicidas (D), sendo as plantas sob tratamento com o herbicida diclosulam as que apresentaram maior atividade específica desta enzima, cerca de 300% em relação ao controle. Dentre os herbicidas, diclosulam e imazapir+imazapic demonstraram maior atividade desta enzima, diferenciando de metribuzim, que apresentou menor atividade (Tabela 53).

Tabela 54 Atividade específica da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) (μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína) na melancia cultivada 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.

DOSE (g ia ha ⁻¹)	GUAIACOL PEROXIDASE (GPOD) (μmol min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)				
	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	1,25±0,2 ^{Ab}	1,25±0,2 ^{Ab}	1,25±0,2 ^{Ab}	1,25±0,2 ^{Ab}	1,25±0,2 ^{Ab}
100	4,41±1,1 ^{ABa}	5,17±0,9 ^{Aa}	5,14±0,8 ^{Aa}	4,14±0,2 ^{Aba}	3,07±0,7 ^{Ba}
CV (%)	26,39				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Valores apresentados representam a média±desvio padrão (n=4).

Para glutathiona redutase (GR), as plantas cultivadas sob resíduo da dose comercial de cada um dos cinco herbicidas (D) apresentaram maior atividade desta enzima, diferindo do controle. Dentre os herbicidas estudados, a maior atividade desta enzima foi observada no

flumioxazin, que age diretamente no aparelho fotossintético inibindo a PROTOX e a menor atividade de glutatona redutase foi observada em plantas cultivadas em solo tratado com a dose D do herbicida chlorimuron-ethyl (Tabela 54).

Tabela 55 - Atividade específica da enzima glutatona redutase (GR) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína) na melancia cultivada 120 dias após a aplicação dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim em suas respectivas doses máximas recomendadas em bula (D) além do tratamento controle (0). Seropédica/RJ - 2017.

GLUTATIONA REDUTASE (GR) ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína)					
DOSE (g ia ha ⁻¹)	HERBICIDAS				
	Chlorimuron-ethyl	Diclosulam	Imazapir+imazapic	Flumioxazin	Metribuzim
0	0,71±0,1 Ab	0,71±0,1 Ab	0,71±0,1 Ab	0,71±0,1 Ab	0,71±0,1 Ab
100	2,00±0,03 Ca	2,42±0,5 Ca	2,64±0,4 BCa	3,80±0,3 Aa	3,26±0,5 ABa
CV (%)	21,98				

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si na linha a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Valores apresentados representam a média±desvio padrão ($n=4$).

5 DISCUSSÃO

O aumento na biomassa das plantas, principalmente nos tratamentos com os herbicidas diclosulam e flumioxazin, pode ser explicado pela tentativa da planta em acelerar sua atividade metabólica para degradar os herbicidas, pois, a acumulação de biomassa representa o efeito líquido de assimilação de carbono. Quando há perda de biomassa, na massa seca de parte aérea de algodão cultivado em solo tratado com diferentes doses do herbicida flumioxazin, por exemplo, podemos correlacionar com a redução no fluxo de elétrons, o que pode ser facilmente compreendido, uma vez que estes processos são recursos importantes na acumulação de biomassa, mesmo em herbicidas que não atuam diretamente no processo fotossintético. Isto ocorre, pois, estes herbicidas atuam em rotas secundárias essenciais para o pleno funcionamento da fase fotoquímica da fotossíntese.

Para herbicidas que não atuam diretamente no fotossistema, Baker (2008) sugere que a redução no fluxo de elétrons não é causada pela redução da atividade fotoquímica no fotossistema, mas provavelmente pela deficiência de energia para a assimilação de carbono na fotossíntese. Há evidências de que muitos inibidores de processos metabólicos que não estão diretamente envolvidos no metabolismo fotossintético podem produzir modificações na cinética de indução de fluorescência (BARBAGALLO *et al.*, 2003).

O flumioxazin, por exemplo, altera funções metabólicas induzindo uma forte inibição na fotossíntese líquida e uma diminuição paralela da condutância estomática, afetando também a atividade do fotossistema II. As injúrias causadas nas plantas tratadas com o herbicida flumioxazin são, ainda, devido à destruição das membranas celulares que ocasiona extravasamento celular comprometendo o aparato fotossintético (DAN HESS, 1993).

Segundo Oukarroum *et al* (2007) os índices de desempenho fotossintético são considerados mais sensíveis à detecção de estresse nas plantas pois relacionam a eficiência de absorção, captura e transferência de energia de excitação pelo fotossistema II proporcionando uma visão maior do efeito do estresse ambiental sobre a planta. Assim sendo, a diminuição nos índices de desempenho fotossintético das plantas cultivadas sob resíduo dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim, indica o efeito fotoinibitório destes herbicidas sobre as plantas, já que, a redução de PI_{ABS} reflete, em especial, a redução de fluxo de elétrons na cadeia transportadora de elétrons (CHEN *et al.*, 2014).

Entretanto, os efeitos fitotóxicos observados nas varáveis de crescimento e nas análises de fluorescência transiente da clorofila *a* não foram suficientes para caracterizar *carryover* em milho e algodão, pois, não influenciaram significativamente no crescimento das plantas. Em geral, as plantas de milho e algodão sofreram danos mais severos em todos os tratamentos com os herbicidas no comprimento das raízes, destacando-se os herbicidas do grupo das imidazolinonas que ocasionaram efeitos fitotóxicos mais severos nas plantas.

Krausz *et al* (1994) também verificaram baixos níveis de fitotoxicidade em milho cultivado em sucessão à soja causado por chlorimuron-ethyl aplicado nas doses de bula. Segundo Krausz e colaboradores (1994) os níveis de matéria orgânica em solos de textura média contribuíram para este herbicida não afetar negativamente a soja e as culturas em rotação e, ainda, as altas temperaturas do solo e as chuvas relativamente altas provavelmente aumentam a taxa de dissipação deste herbicida. No entanto, as doses acima da indicada em bula podem prejudicar a soja e culturas sucessoras dependendo das condições climáticas após a aplicação (KRAUSZ *et al*, 1994).

Segundo Artuzi & Contiero (2006), em estudos analisando a produtividade de milho submetido à diferentes tratamentos com herbicidas pré-emergentes, entre eles o chlorimuron-

ethyl, o milho apresenta boa capacidade de recuperação, não demonstrando correlação direta entre eventual fitotoxicidade causada pelos herbicidas e a produtividade.

Já para o algodão, estudos realizados por Carvalho *et al* (2010) com o herbicida nicosulfuron, do mesmo mecanismo de ação que o chlorimuron, constataram diversos problemas de fitotoxicidade nas plantas, definindo que o intervalo seguro para a semeadura de algodão deve ser feita após 60 dias da aplicação. Já Johnson *et al* (1993) não encontraram problemas de fitotoxicidade em algodão cultivado após 52 semanas da aplicação de nicosulfuron. Segundo observações de Silva *et al* (1999) e Gonçalves *et al* (2001) plantas que sofrem fitotoxidez causada pelo herbicida chlorimuron-ethyl, apresentam maior crescimento de raízes secundárias, além da paralização do crescimento da parte aérea.

Resultados de Monks & Banks (1991) demonstraram que o algodão era mais sensível à herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja do que o milho e sorgo. Segundo os autores, os resultados indicaram que o algodão não é uma cultura de rotação apropriada para a soja previamente tratada com chlorimuron-ethyl, clomazone e imazaquin.

Para as plantas tratadas com diclosulam, os resultados obtidos corroboram com os estudos de Dan *et al* (2011) que só verificaram fitotoxicidade através de clorose internerval e atraso no crescimento das plantas de milho quando foram semeadas em intervalos curtos após a aplicação do diclosulam. Entretanto, 120 dias após a aplicação do herbicida - aproximadamente o mesmo intervalo testado no presente estudo -, estes mesmos autores encontraram uma leve clorose nas plantas de milho, dada a baixa persistência deste herbicida no solo, indicando que os danos mais severos podem ser causados em curtos espaços de tempo entre aplicação e semeadura.

Alister & Korgan (2005) não observaram redução de crescimento de milho tratado com imidazolinonas quando comparadas aos tratamentos controle. Em contrapartida, Sousa *et al* (2012) observaram redução de altura e de acúmulo de massa seca da parte aérea de milho em rotação ao arroz cultivado no sistema Clearfield®. Artuzi & Contiero (2006), ao avaliarem os efeitos das imidazolinonas na cultura do milho, verificaram lesões nas plantas, sendo este efeito mais intensificado no solo com imazethapyr após 28 DAE. Rodrigues & Almeida (1998) recomendam um intervalo de 300 dias entre a aplicação do imazaquin e a semeadura do milho em rotação.

Os resultados encontrados para as plantas de algodão cultivadas em solo tratado com o imazapir+imzapic estão em acordo com o trabalho realizado por Walsh e colaboradores (1993), onde não foi observada redução de biomassa em plantas de algodão cultivadas sob resíduo deste grupo de herbicidas em tratamentos com a dose recomendada em bula após 1 e 2 anos da aplicação do herbicida.

De acordo com Monks & Banks (1991) o imazaquin causou mais lesões no algodão do que no milho após a aplicação realizada no ano anterior na cultura da soja. Wiatrak *et al* (2009) relataram que no algodão a altura foi reduzida pelas altas taxas de imazapic em um ano, mas não em outro. Grey *et al* (2005) verificaram uma tendência exponencial negativa em que a altura do algodão diminuiu à medida que se aumenta a dose de imazapic. Matocha *et al* (2003) relataram uma redução na altura do algodão com imazapic aplicado a 140 e 210 g ia ha⁻¹ durante o ano anterior. Grichar *et al* (2004), porém, não observaram redução de crescimento das plantas quando submetidas à tratamento com os herbicidas imazapic e imazapir.

Uma preocupação especial para a metabolização de herbicidas do grupo das imidazolinonas são solos com baixo pH e áreas de baixa precipitação, pois a umidade reduzida do solo parece limitar a degradação destes herbicidas e a absorção é reduzida em solos de baixo pH, o que aumenta a biodisponibilidade, aumentando assim o potencial de lesão em culturas sucessoras (Ball *et al*, 2003). No presente estudo, o pH inicial do solo preparado para receber o cultivo da soja era de 5,80, portanto, abaixo da faixa ideal tolerada pela cultura do algodão, que

é em torno de 7, o que pode ter aumentado a disponibilidade do herbicida no solo e seu potencial fitotóxico.

Para o algodão cultivado em solo previamente tratado com flumioxazin, os tratamentos não diferenciaram do controle nas variáveis de crescimento, denotando tolerância das plantas ao herbicida. Dan e colaboradores (2010) observaram efeitos visuais de fitotoxidez mais baixos ocasionados por residual flumioxazin em plantas de sorgo cultivados em sucessão à soja, em até 28 DAE destas plantas.

A diminuição das médias dos índices de performance (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) verificadas nas plantas cultivadas sob residual de flumioxazin nas doses $\frac{1}{2} D$ e $2D$ aos 15 DAE, indicam perda de eficiência energética dado o estágio fenológico das plantas, que já se encontram em emissão do primeiro botão floral, portanto, exigindo pleno crescimento vegetativo (KERBI & HAKE, 1993; ROSOLEM, 2001).

Poucas variações nas variáveis de crescimento analisadas nas plantas cultivadas sob residual do herbicida metribuzim sugerem a baixa persistência da molécula em solos arenosos como também encontrado por Khoury *et al* (2003) que analisaram a adsorção deste herbicida em solos arenosos e argilosos em profundidades de 20 e 30 cm. Ainda segundo estes autores, a matéria orgânica é o principal fator de degradação deste herbicida e regula sua presença no solo, estabelecendo equilíbrio entre as partículas. Nemat Alla *et al* (2008) encontraram redução dos pesos frescos e secos de plantas de milho apenas quando receberam a aplicação do herbicida metribuzim, na dose recomendada em bula, dez dias após a emergência.

Estudo realizado por Chen *et al* (2015) não identificou injúrias físicas, bem como poucas variações no aparato fotossintético do algodão tratado com ácido tenuazonico, também inibidor de fotossistema II. Segundo resultados obtidos por Walsh *et al* (1993), o metribuzim em mistura com chlorimuron não afetou as plantas de algodão após um ano da aplicação dos herbicidas. A mistura dos herbicidas foi considerada segura para o algodão em rotação quando cultivado sob condições desses estudos.

A melancia demonstrou sensibilidade aos herbicidas estudados com sintomas de encarquilhamento e necrose em todos os tratamentos com os herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim. Resultados esperados para herbicidas que atuam, dentre outras formas, no crescimento das plantas. O efeito negativo no desenvolvimento da melancia se relaciona à fitointoxicação das plantas, o que resulta em menor aparato fotossintético, prejudicando o acúmulo de fotoassimilados.

A deficiência do aparato fotossintético causada pela ação do herbicida pode causar falha na incorporação de aminoácidos, reduzindo a síntese proteica. Dessa forma, não só o aumento da degradação da proteína, mas também o retardamento da incorporação de aminoácidos pode reduzir o teor de proteína. A incorporação de aminoácidos no processo de síntese proteica é afetada por vários herbicidas.

Egli *et al* (1985) relataram que a inibição da síntese de proteínas por herbicidas é principalmente devido ao distúrbio da absorção e retenção de aminoácidos disponíveis para a síntese proteica, interferência na incorporação de aminoácidos em proteínas e/ou formação de enzimas responsáveis pela síntese e metabolismo proteico. Duke *et al* (1975) detectou reduções na síntese de proteínas nos hipocótilos de soja e pepino por herbicidas a-cloroacetanilida várias horas antes da inibição observada no crescimento dessas plantas.

Além disso, Moreland *et al* (1969) indicaram que o propacloro inibiu a incorporação de leucina em hipocótilos de soja. Segundo Nemat Alla *et al* (2008), o chlorimuron-ethyl teve uma relação direta com o metabolismo do nitrogênio, inibindo ainda a atividade da enzima AHAS e reduzindo os aminoácidos de cadeia ramificada, levando a queda na síntese proteica.

Os resultados do presente estudo, corroboram com os estudos realizados por Guerra *et al* (2011) que verificaram intensos sintomas de fitointoxicação em plantas de pepino quando

cultivadas após 21 dias da aplicação de herbicidas inibidores da ALS, demonstrando potencial sensibilidade de Cucurbitáceas a estes herbicidas se cultivadas em curtos espaços de tempo.

O aumento de emissão de fluorescência observado no passo J aos 60 DAE de plantas submetidas aos tratamentos com $\frac{1}{2}$ D e D+ $\frac{1}{2}$ de diclosulam indica que a maioria das Q_A estão reduzidas pela inibição do transporte de elétrons. Isso acontece quando há concentrações saturantes de herbicidas agindo sobre a fotossíntese deslocando o elétron do acceptor secundário (BUKHOV *et al.*, 2004).

A redução significativa no comprimento da haste, volume de raiz e massa seca da parte aérea da melancia cultivada em solo tratado com imazapir+imazapic corroboram com os resultados de Johnson & Talbert (1996), que ao avaliarem o efeito residual de imazaquin, demonstraram que resíduos desse herbicida no solo causam toxicidade às culturas de melão, pepino, girassol e mostarda, até quando semeadas aos 112 dias após aplicação. Outros cultivos como pepino, espinafre, brássicas e beterraba são também sensíveis ao resíduo desse produto (JOURDAN & AYENI, 1998).

Segundo Souza *et al* (2016), o imazethapyr e sua mistura com o imazapic causaram reduções da matéria seca superiores a 94% das plantas de sorgo utilizadas como indicadores mesmo após 150 dias da aplicação. O imazapic causou menor inibição do crescimento do sorgo, indicando menor efeito residual desse herbicida nos solos.

A maioria dos herbicidas não só inibe o crescimento de culturas, mas também afetam sua fotossíntese, mesmo que indiretamente. Yordanova *et al* (2001) confirmaram a mudança no aparato fotossintético causada por imazapic, observando uma redução significativa no número de elétrons e esta redução foi concomitante com a dose imazápica no solo, sugerindo que a fotossíntese foi inibida. No entanto, Fv/Fm não foi afetada pelo imazapic neste mesmo estudo.

Quanto ao herbicida flumioxazin, resposta semelhante foi observada nos estudos de Johnson & Talbert (1992), que indicaram que as cucurbitáceas eram menos sensíveis ao fomesafen, um inibidor de PROTOX, do que várias outras hortaliças. Experimentos realizados por Peachey e colaboradores (2012) demonstraram que as cucurbitáceas são relativamente tolerantes ao fomesafen, mas que a seletividade pode não ser consistente entre as culturas da família, incluindo cultivares em *C. maxima*, *C. moschata*, e *C. sativus*.

A diminuição em ΦP_0 em plantas de melancia submetidas aos tratamentos com flumioxazin, está relacionada com o dano de proteína D1 nos complexos do fotossistema. Sob estresse, as limitações na assimilação de CO_2 podem promover um desequilíbrio entre a atividade fotoquímica e resultar em uma super excitação e subseqüentes danos fotoinibitórios do centro de reação no PSII (FAN *et al.*, 2017). No presente experimento, ΦP_0 reflete as mudanças na eficiência de conversão fotoquímica no PSII sugerindo que a capacidade de transporte de elétrons em PSII foi reduzida, afetando o desempenho fotossintético das plantas.

A leve sensibilidade da melancia ao herbicida metribuzim podem estar relacionados alta mobilidade do herbicida no solo que é fracamente adsorvido no solo. Porém, Mendes *et al* (2015) consideram a espécie *C. sativus* de alta sensibilidade a este herbicida. Dados semelhantes foram observados por Guerra *et al* (2011), que utilizaram espécies bioindicadoras ao trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium - de mesmo mecanismo de ação do metribuzim -, sendo o *C. sativus* a espécie que apresentou sensibilidade aos herbicidas em doses 37 vezes menor que a dose recomendada em relação as demais espécies estudadas (*Glycine max*, *Zea mays* e *Phaseolus vulgaris*).

Em ensaios realizados por Ben *et al* (2015) com *C. sativus* relacionado à persistência deste herbicida em diferentes tipos de solo, indicada pelo controle da espécie quando submetidas aos tratamentos, verificou-se a sensibilidade de *C. sativus* ao herbicida além de sua baixa persistência em solos arenosos, sendo essa persistência não influenciada com o período entre a aplicação e a semeadura do bioindicador.

Os dados observados no presente estudo mostram maior atividade da enzima GST em plantas de milho tratadas com a dose comercial do herbicida imazapir+imazapic quando comparadas ao tratamento controle, mostrando que o milho respondeu à presença deste herbicida através do mecanismo desintoxicante que confere à GST. A glutathione é abundante nas plantas, muitas vezes excedendo a concentração de 1 mM no citoplasma, onde funciona como um eliminador de radicais livres, protegendo as células fotossintéticas do dano oxidativo. Como as GSTs são um grande grupo de enzimas semelhantes encontradas em todos os eucariotas, as diferenças no espectro de GST presentes desempenham um papel importante na seletividade dos herbicidas. As GSTs possuem uma gama de funções endógenas que envolvem habilidades para desintoxicar e atuar como agentes redox. Certos herbicidas, aumentando as atividades da GST ajudam a cultura a metabolizar estes herbicidas e, portanto, não são danificados por eles (COBB & READE, 2010). A GST catalisa a conjugação de alguns xenobióticos, como os herbicidas, conduzindo-os para o vacúolo, desintoxicando a célula (CATANEO *et al.*, 2003).

No presente estudo, a atividade da enzima APX foi maior em plantas de milho cultivadas sob resíduo dos herbicidas diclosulam, imazapir+imazapic e metribuzim, enquanto que para a enzima GR, a atividade desta enzima foi maior em milho cultivado sob resíduo de metribuzim e chlorimuron-ethyl e maior em melancia cultivada sob resíduo de todos os herbicidas estudados.

Edwards & Dixon (2000) consideram que as GST estão posicionadas para usar concentrações citoplasmáticas fisiologicamente elevadas de glutathione (entre 0,2 e 1,0 mM) para conjugar resíduos de herbicidas, quando as plantas são expostas ao estresse ambiental ou à infecção apresentando alta atividade da enzima GST, sugerindo um papel na manutenção da homeostase celular após o estresse oxidativo. As culturas geralmente são relatadas como possuindo maiores atividades de GST quando tratadas com herbicidas do que as plantas daninhas suscetíveis e isso pode oferecer algum grau de seletividade entre a cultura e as plantas daninhas.

Segundo relatado por Anderson & Gronwald (1991), Leah *et al* (1994) e Powles & Yu, (2010) os herbicidas inibidores do PSII são tipicamente desintoxicados através de três caminhos metabólicos principais mediados pelo citocromo P450, glutathione S-transferase (GST) e arilacilamidase.

O acúmulo de protoporfirinogênio IX nas células após a inibição da protoporfirinogênio oxidase por uso de herbicidas inibidores de PROTOX ocasiona a formação de espécies reativas de oxigênio na presença de luz caracterizando estresse oxidativo e consequente ativação do sistema antioxidante (JUNG & KUK, 2003).

Geoffroy *et al* (2002) observaram aumento da atividade de CAT, APX, GR e GST quando *Scenedesmus obliquus* foi exposto ao efeito de oxyfluorfen. Outro mecanismo de produção de oxigênio tóxico é fornecido pela drenagem de elétrons induzida por herbicidas inibidores do fotossistema I. Estes herbicidas reagem com o oxigênio molecular produzindo o ânion superóxido, que começa uma cadeia de oxidações e peroxidações, estabelecendo assim, a ação fitotóxica do herbicida, devido a canalização dos elétrons até o oxigênio, enfraquecendo o aparelho fotossintético e desbalanceando o estado redox das células (SUNTRES, 2002).

Zabalza *et al* (2007) verificaram em seus estudos falta de efeitos mais visíveis da atividade de enzimas antioxidantes em plantas tratadas com herbicidas inibidores da ALS. Os resultados sugerem que o estresse oxidativo não está relacionado ao modo de ação dos herbicidas já que as pequenas alterações detectadas no estado antioxidante das plantas tratadas são muito secundárias em tempo e intensidade para serem relacionadas à letalidade causada por inibidores de ALS. Destacam ainda que o imazapir não exerce efeito herbicida através do estresse oxidativo, mas é possível determinar que existe indução do mecanismo antioxidante. Alarcon & Malone (1995) ressaltam que a idade da planta influencia na indução de inibidores

de proteinase em resposta à injúrias, evidenciando que a função de proteínas em plantas em estresse não é um processo somente dependente da lesão, mas também da espécie, da duração do estresse, da idade da planta e do seu estado fisiológico. Assim, as plantas podem apresentar maior atividade específica das enzimas em estados fisiológicos mais susceptíveis, como as fases iniciais de crescimento e florescimento.

6 CONCLUSÃO

Para as culturas de milho e algodão, não foi verificado o efeito *carryover* quando cultivadas 120 dias após a aplicação em pré-emergência dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, imazapir+imazapic, flumioxazin e metribuzim.

A cultura da melancia utilizada como bioindicadora mostrou-se sensível aos herbicidas, demonstrando a persistência destes no solo, entretanto, esta persistência não foi capaz de causar danos por fitotoxicidade nas culturas de milho e algodão cultivadas em sucessão à soja dentro do intervalo testado neste trabalho.

7 BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALARCON, J.J.; MALONE, M. The influence of plant age on wound induction of proteinase inhibitors in tomato. **Physiologia Plantarum**, vol.95, p.423 – 427, 1995.
- ALISTER, C.; KORGAN, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone resistant maize and their carryover effect on rotational crops. **Crop Protection**, vol.24, p.375–37, 2005.
- ANDERSON, M.P.; GRONWALD, J.W. Atrazine resistance in a velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) biotype due to enhanced glutathione-S-transferase activity. **Plant Physiol.**, vol.96, p.104–109, 1991.
- ARTUZI, J.P.; CONTIERO, R.L.; Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília. vol.41, n.7, p.1119-1123, 2006.
- AZEVEDO NETO, A.D. de; PRISCO, J.T.; ENÉAS-FILHO, J.; ABREU, C.E.B. de; GOMES-FILHO, E. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, vol.56, p.87–94, 2006.
- BALL, D.A.; YENISH, J.P.; ALBY, T. Effect of Imazamox Soil Persistence on Dryland Rotational Crop. **Weed Technology**, vol.17, p.161-165, 2003.
- BARBAGALLO, R.P.; OXBOROUGH, K.; PALLETT, K.E.; BAKER, N.R. Rapid, non-invasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiology**, vol.132, p.485–493, 2003.
- BEHLOUL, M.; LOUNICI, H.; DROUCHE, N.; MAMERI, N. Adsorption study of metribuzim pesticide on fungus *Pleurotus mutilus*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, vol.119, p.687-695, 2017.
- BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. – **Annu. Rev. Plant Biol.**, vol.59, p.89-113, 2008.
- BIGOT, A.; FONTAINE, F.; CLEMENT, C.; VAILLANT-GAVEAU, N. Effect of the herbicide flumioxazin on photosynthetic performance of grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Chemosphere**, vol.67, p.1243–1251, 2007.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A.; ARAÚJO, J.B.M.; GRASSI, N. Observações sobre o período em que as plantas daninhas competem com a soja (*Glycine max*). **O Biológico**, São Paulo, vol.39, p.31-35, 1973.
- BLEASDALE, J.D.A. Studies on plant competition. In: HARPER, J.L. **The biology of weeds**. Oxford: Blackwell, 1960. p.133-142.
- 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**, vol.72, p.248-254, 1976.
- BUKHOV, N.G.; EGOROVA, E.A.; GOVINDACHARY, S.; CARPENTIER, R. Changes in polyphasic chlorophyll a fluorescence induction curve upon inhibition of donor or acceptor side of photosystem II in isolated thylakoids. **Biochimica et Biophysica Acta**, vol.1657, p.121–130, 2004.

- BUNDT, A.D.C.; AVILA, L.A.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M.A.; VARGAS, H.C. Carryover of Imazethapyr + Imazapic on Ryegrass and Non-tolerant Rice as Affected by Thickness of Soil Profile. **Planta Daninha**, vol.33, n.2, p.357-364, 2015.
- CAKMAK, I.; DRAGANA, S.; HORST, M. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. **Journal of Experimental Botany**, vol.44, p.127-132, 1993.
- CARATTI, F.C.; D'AVILA ROSA, T.; SILVEIRA, L.P.; BONOW, J.F.; RODRIGUES, D.B. Desempenho de herbicidas pré-emergentes no controle de capim-arroz e nabo na cultura da soja. vol.11. Goiânia: Enciclopédia Biosfera. 2015.
- CARVALHO, F.T.; MORETTI, T.B.; SOUZA, P.A. Efeito do residual no solo de nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine. **Revista Brasileira de Herbicidas**, vol.9, n.1, p.26-34, 2010.
- CATANEO, A.C.; DESTRO, G.F.G.; FERREIRA, L.C.; CHAMMA, K.L.; SOUSA, D.C.F. Atividade de glutathione S-transferase na degradação do herbicida glyphosate em plantas de milho. **Planta Daninha**, vol.21, n.2, p.307-312, 2003.
- CHEN, S.G.; STRASSER, R.J.; QIANG, S. In vivo assessment of effect of phytotoxin tenuazonic acid on PSII reaction centers. **Plant Physiol. Biochem.** vol.84, p.10-21, 2014.
- CHEN, S.; KANG, Y.; ZHANG, M.; WANG, X.; STRASSER, R. J.; ZHOU, B.; QIANG, S. Differential sensitivity to the potential bioherbicide tenuazonic acid probed by the JIP-test based on fast chlorophyll fluorescence kinetics. **Environmental and Experimental Botany**, vol.112, p.1-15, 2015.
- COBB, A.H.; READE, J.P.H. Herbicide Selectivity and Metabolism. *Herbicides and Plant Physiology*, in *Herbicides and Plant Physiology* (2Ed) Wiley-Blackwell, Oxford, UK. 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO [CONAB]. Acomp. safra bras. grãos, vol.4. Safra 2016/17 - Décimo primeiro levantamento, Brasília. p.1-171, 2017.
- CONSTANTIN, J. Métodos de Controle. In: Oliveira JR., R.S.; Constantin, J.; Inoue, M.H. (Eds.). *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. Editora Omnipax, 2011. p.125-140.
- DALTON, D.A.; LANGEBERG, L.; TRENEMAN, N. Correlations between the ascorbate-glutathione pathway and effectiveness in legume root nodules. **Physiol Plant**, vol.87, p.365-370, 1993.
- DALTON, D.A.; BONIFACE, C.; TURNER, Z.; LINDAHL, A.; KIM, H.J.; JELINEK, L.; GOVINDARAJULU, M.; FINGER, R.E.; TAYLOR, C.G. Physiological Roles of Glutathione S-Transferases in Soybean Root Nodules. **Plant Physiology**, vol.150, p.521-530, 2009.
- DAN, H.A.; DAN, L.G.M.; BARROSO, A.L.L.; PROCÓPIO, S.O.; OLIVEIRA JR., R.S.; SILVA, A.G.; LIMA, M.D.B.; FELDKIRCHER, C. Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. **Planta Daninha**, vol.28, p.1087-1095, 2010.
- DAN, H.A.; DAN, L.G.M.; BARROSO, A.L.L.; PROCÓPIO, S.O.; OLIVEIRA JR., R.S.; ASSIS, R.L.; SILVA, A.G.; FELDKIRCHER, C. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, vol.29, n.2, p.437-445, 2011.
- DAN, H.A.; DAN, L.G.M.; BARROSO, A.L.L.; PROCÓPIO, S.O.; OLIVEIRA JR., R.S.; BRAZ, G.B.P.; ALONSO, D.G. Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, 2012 (online).

- DAN HESS, F. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: Pesticide interactions in crop production. CRC Press, 1993. p. 13-34.
- DE JONGE, R.J.; BREURE, A.M.; VAN ANDEL, J.G.; Reversibility of adsorption of aromatic compounds onto powdered activated carbon (PAC). **Water Res.**, vol.30, p.883–892, 1996.
- DOVALA, A.C.; MONTEIRO, A. Controle químico de *Striga asiatica* por recurso a sementes revestidas de milho resistentes ao imazapir. **Revista de Ciências Agrárias**, vol.36, n.4, p.466-474, 2013.
- DRÖGE, W. Free radicals in the physiological control of cell function. **Physiological Reviews**, Bethesda. vol.82, n.1, p.47-95, 2002.
- DUKE, W.B.; SLIFE, F.W.; HANSON, J.B.; BUTLER, H.S. An investigation on the mechanism of action of propachlor, **Weed Sci.**, vol.23, p.142–147, 1975.
- DUARTE, A.P. Milho safrinha: características e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p.109-138.
- EDWARDS, R.; DIXON, D.P. The role of glutathione transferases in herbicide metabolism. In: Cobb, A.H. and Kirkwood, R.C. (eds) *Herbicides and their Mechanisms of Action*. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press, Ch. 3. 2000.
- EGLI, M.A.; LOW, D.; WHITE, K.R.; HOWARD, J.A. Effect of herbicide and herbicide analogue on C-14 leucine incorporation by suspension cultured *Solanum nigrum* cells, **Pestic. Biochemistry Physiology**, vol.24, p.112–118, 1985.
- EMBRAPA SOJA. *Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014*. – Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p.
- EMBRAPA MILHO E SORGO. *Sistemas de produção*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.
- FOYER, C.H.; HALLIWELL, B. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. **Planta**, vol.133, p.21–25, 1976.
- GEOFFROY, L.; TEISSEIRE, H.; COUDERCHET, M.; VERNET, G. Effect of oxyfluorfen and diuron alone and in mixture on antioxidative enzymes of *Scenedesmus obliquus*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, vol.72, n.3, p.178-185, 2002.
- GREY, T.L.; PROSTKO, E.P.; BEDNARZ, C.W. Cotton (*Gossypium hirsutum*) response to simulated imazapic residues. **Weed Technol.** vol.19, p.1045-1049, 2005.
- GRICHAR, W.J.; BESLER, B.A.; BAUGHMAN, T.A.; DOTRAY, P.A.; LEMON, R.G.; SENSEMAN, S.A. Cotton response to imazapic and imazethapyr residues following peanut. **Texas Journal of Agriculture and Natural Resources**, vol.17, n.1, p.32-39, 2004.
- GUERRA, N.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A.M.; DAN, H.A.; ALONSO, D.G.; JUMES, T.M.C. Seleção de espécies bioindicadoras para os herbicidas trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium. **Revista Brasileira de Herbicidas**, vol.10, n.1, p.37-48, 2011.
- GUO, L.; JURY, W.A.; WAGENET, R.J.; FLURY, M.; Dependence of pesticide degradation on sorption: nonequilibrium model and application to soil reactors. **J. Contam. Hydrol.**, vol.43, p.45–62, 2000.
- HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. **Geoderma**, vol.99, p.225- 243, 2001.

- HABIG, W.H.; JAKOBY, W.B. Assays for differentiation of glutathione S-transferases. **Methods Enzymol**, vol.77. p.398–405, 1981.
- HANLEY, T.R.; BILLINGTON, R. Toxicology of Triazolopyrimidine Herbicides. In: KRIEGER. R. I.; KRIEGER. W. C. Handbook of Pesticide Toxicology. Academic Press, vol.2, p.1653-1665, 2001.
- JOHNSON, D.H.; TALBERT, R.E.; Imazaquin, chlorimuron, and fomesafen may injure rotational vegetables and sunflower (*Helianthus annuus*). **Weed Technol.**, vol.7, p.573-577, 1992.
- JOHNSON, D.H.; JORDAN, D.L.; JOHNSON, W.G.; TALBERT, R.E.; FRANS, R.E. Nicosulfuron, Primisulfuron, Imazethapyr, and DPX-PE350 injury to succeeding crops. **Weed Technology**, vol.7, n.3, p.641-644, 1993.
- JOHNSON, D.H.; TALBERT, R.E. Cotton (*Gossypium hirsutum*) response to imazaquin and imazethapyr soil residues. **Weed Science**, vol.44, n.1, p.156-161, 1996.
- JUNG, S.; KUK, Y.I. The expression. level of a specific catalase isozyme of maize mutants alters catalase and superoxide dismutase during norflurazon-induced oxidative stress in *Scutella*. **Journal of Pesticide Science**, vol.28, n.3, p.287-292, 2003.
- KHOURY, R.; GEACHAN, A.; COSTE, C.M.; COOPER, J-F.; BOBE, A. Retention and degradation of metribuzim in sandy loam and clay soils of Lebanon. **Weed Research Society**, vol.43, p.252–259, 2003.
- KOGAN, A.M.; PEREZ, J.A. Herbicidas: Fundamentos Fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Ediciones Universidad Católica de Chile, 2003, 333p.
- KRAUSZ, R.F.; KAPUSTA, G.; MATTHEWS, J.L. Soybean (*Glycine max*) and rotational crop response to PPI Chlorimuron, Clomazone, Imazaquin, and Imazethapyr. **Weed Technology**, vol.8, n.2, p.224-230, 1994.
- KRIEGER. R. I.; KRIEGER. W. C. Handbook of Pesticide Toxicology. Academic Press, vol.2, 2007, 459p.
- LEAH, J.M.; CASELEY, J.C.; RICHES, C.R.; VALVERDE, B.; Association between elevated activity of aryl acylamidase and propanil resistance in Jungle-rice *Echinochloa colona*. **Pest Sci.**, vol.42, p.281–289, 1994.
- LINN, D.M.; CARSKI, T.H.; BRUSSEAU, M.L.; CHANG, F.H. (Eds.). Sorption and Degradation of Pesticides and Organic Chemicals in Soil. Madison: **Soil Science Society of America**, WI, p. 260, 1993.
- MACIEL, C.D.G. Manejo na cultura da mamona em sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, vol.95, p.38-40, 2006.
- MANCUSO, M.A.C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“*Carryover*”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, vol.10, n.2, p.151-164, 2011.
- MATOCHA, M.A.; GRICHAR, W.J.; SENSEMAN, S.A.; GERNGROSS, C.A.; BRECKE, B.J.; VENCILL, W.K. The persistence of imazapic in peanut (*Arachis hypogaea*) crop rotations. **Weed Technol.**, vol.17, p.325-329, 2003.
- MENDES, K.F.; SOUZA, T.C.N.; POSSAMAI, A.C.S.; INOUE, M.H.; ANA NUNES, A.K.A.; MERTENS, T.B. Seleção de plantas indicadoras para o monitoramento do mesotrione e metribuzim em solo argiloso. **Revista de Ciências Agroambientais**, vol.13, n.1, p.53-59, 2015.

- MIRANDA, R.A.; LÍCIO, A.M.A.; PURCINO, A.A.C.; PAULINELLI, A.; PARENTONI, S.N.; DUARTE, J.O.; NETO, M.M.G.; LANDAU, E.C.; QUEIROZ, V.A.V.; OLIVEIRA, I.R. Diagnóstico dos problemas e potencialidades da cadeia produtiva do milho no Brasil. (Eds) Rubens Augusto de Miranda & Antônio Martinho Arantes Lício. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 102p.
- MITTLER, R. Oxidative stress antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, vol.7, n.9, p.405-410, 2002.
- MONKS, C.D., BANKS, P.A. Rotational crop response to chlorimuron, clomazone, and imazaquin applied the previous year. **Weed Sci.**, vol.39, p.629-633, 1991.
- MONQUERO, P.A.; CÔRREA, M.C.; BARBOSA, L.N.; GUTIERREZ, A.; ORZARI, I.; HIRATA, A.C.S. Seleção de espécies de adubos verdes visando a fitorremediação de diclosulam. **Planta Daninha**, vol.31, n.1, p.127-135, 2013a.
- MONQUERO, P.A.; MUNHOZ, W.S.; HIRATA, A.C.S. Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. ISSN 1982-8470. **Revista Agro@mbiente On-line**, vol.7, n.3, p.331-337, 2013b.
- MORELAND, D.E.; MALHOTRA, S.S.; GRUENHAGEN, R.D.; SHOKRAH, E.H. Effects of herbicides on RNA and protein synthesis, **Weed Sci.**, vol.17, p.556, 1969.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen Peroxide Is scavenged by ascorbate-Specific peroxidases In Spinach chloroplast. **Plant Cell Physiology**, vol.22, p.867-880, 1981.
- NEMAT ALLA, M.M.; BADAWI, A.M.; HASSAN, N.M.; EL-BASTAWISY, Z.M.; BADRAN, E.G. Effect of metribuzim, butachlor and chlorimuron-ethyl on amino acid and protein formation in wheat and maize seedlings. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, vol. 90, p.8-18, 2008.
- NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; MOREIRA, M.S.; CARVALHO, S.J. P.; TOLEDO, R.; SCARPARI, L. Alternativas de manejo para as populações de picão-preto (*Bidens pilosa* e *Bidens subalternans*) resistentes aos herbicidas inibidores da ALS. **Revista Brasileira de Herbicidas**, n.3, p.72 –79, 2006.
- OLIVEIRA JR, R.S. Conceitos importantes no estudo do comportamento de herbicidas no solo. Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, vol.27, n.2, p.9-12, 2002.
- OLIVEIRA JR., R.S. Introdução ao controle químico. In: Oliveira JR., R.S.; Constantin, J.; Inoue, M.H. (Eds.). *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. Curitiba, PR: Omnipax, 2011. p.125-140.
- OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A.M. Comportamento de herbicida no ambiente. In: Oliveira JR., R.S.; Constantin, J.; Inoue, M.H. (Eds.). *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. Curitiba, PR: Omnipax, 2011. p.141-192.
- OUKARROUM, A.; MADIDI, S.E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J.; Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environ Experim Bot**, vol.60, p.438–446, 2007.
- PEACHEY, E.; DOOHAN, D.; KOCH, T. Selectivity of fomesafen based systems for preemergence weed control in cucurbit crops. **Crop Protection**, vol.40, p.91-97, 2012.
- PITELLI, R.A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, vol.11, n.129, p.16-27, 1985.
- POWLES, S.B.; YU, Q.; Evolution in action: plants resistant to herbicide. **Annu.Rev. Plant Biol.**, vol.61, p.317–347, 2010.

- RAMOS, G.A.; BARROS, M.A.L.; KOURI, J.; SANTOS, R.F. Cultivo do Algodão Irrigado. (Ed.) Jose Renato Cortez Bezerra. Embrapa Algodão: Sistemas de Produção, ISSN 1678-8710. 2014.
- REFATTI, J.P.; AVILA, L.A.; AGOSTINETTO, D.; MANICA-BERTO, R.; BUNDT, A.C.; ELGUEIRA, D.B. Efeito da calagem na lixiviação de imazethapyr e imazapyr em solo de cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, vol.44, n.6, p.1008-1014, 2014.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.R. **Guia de herbicidas**. 4. ed., Londrina: Edição dos Autores, 648p., 1998.
- ROSOLEM, C.A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. Encarte técnico/Informações Agronômicas, n.95, 2001.
- SCOTT, G.H.; ASKEW, S.D.; WILCUT, J.W.; Economic evaluation of diclosulam and flumioxazin systems in Peanut (*Arachis hypogaea*). **Weed Technology**, vol.15, p.360–364, 2001.
- SILVA, A.A.; OLIVEIRA JR, R.S.; COSTA, E.R.; FERREIRA, L.R. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v.17, n.3, p.345-354, 1999.
- SILVA, M.S.; COCENZA, D.S.; ROSA, A.H.; FRACETO, L.F. Efeito da associação do herbicida clomazone a nanoesferas de alginato/quitosana na sorção em solos. **Quim. Nova**, vol.35, n.1, p.102-107, 2012.
- SILVA, A.A.; D'ANTONINO, L.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR., R.S. Comportamento de herbicida no solo. In: MONQUERO, P. A. (Org. e Ed.) Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas. São Carlos: Rima Editora, p.129-144, 2014.
- SILVA JUNIOR, A.C.; QUEIROZ, J.R.G.; MARTINS, D. Quantidade de chuva e lixiviação do herbicida metribuzim através de planta bioindicadora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.19, n.6, p.592-597, 2015.
- SOUSA, C.P.; BACARIN, M.A.; PINTO, J.J.O. Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield®. **Planta Daninha**, vol.30, n.1, p.105-111, 2012.
- SOUZA, M.F.; NETO, M.D.C.; MARINHO, M.I.; SARAIVA, D.T.; FARIA, A.T.; SILVA, A.A.; SILVA, D.V. Persistence of imidazolinones in soils under a Clearfield System of rice cultivation. **Planta Daninha**, vol.34, n.3, p.589-596, 2016.
- STRASSER, R.J.; GOVINDJEE. The Fo and the O-J-I-P fluorescence rise in higher plants and algae. In: Argyroudi-Akoyunoglou, J.H. (Ed.), Regulation of Chloroplast Biogenesis, p. 423–426, Plenum Press, New York, 1992.
- STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; GOVINDJEE. Polyphasic Chlorophyll A Fluorescence Transient In Plants And Cyanobacteria. **Photochemistry and Photobiology**, vol.61, n.I, p.32-42, 1995.
- SU, W.C.; SUN, L.L.; WU, R.H.; MA, Y.H.; WANG, H.L.; XU, H.L.; YAN, Z.L.; LU, C.T. Effect of imazapic residues on photosynthetic traits and chlorophyll fluorescence of maize seedlings. **Photosynthetica**, 2017.
- SUNTRES, Z.E. Role of antioxidants in paraquat toxicity. **Toxicology**, vol.180, n.1, p.65-77, 2002.
- TEHRANCHIAN, P.; NORSWORTHY, J.K.; KORRES, N.E.; MCELROY, S.; CHEN, S.; SCOTT, R.C. Resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in Amazon sprangletop:

Confirmation, control and molecular basis of resistance. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, vol.132, 2016.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R.J. In Vivo Assessment of Stress Impact on Plants' Vitality: Applications in Detecting and Evaluating the Beneficial Role of Mycorrhization on Host Plants. In: Varma, A. (ed) Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics, 3rd edition, 2008, Springer, p.679-703.

TOPP, E.; VALLAEYS, T.; SOULAS, G. In: Van Elsas, J.D.; Trevors, J.T.; Wellington, E.M.H. (Eds.) Modern Soil Microbiology, p.547–575. Marcel Dekker, New York, 1997.

TROPALDI, L; VELINI, E.D.; CARBONARI, C.A.; ARALDI, R.; CORNIANI, N.; GIROTTO, M.; SILVA, I.P.F. Detecção da tolerância de diferentes espécies de capim-colchão a herbicidas inibidores do fotossistema II utilizando a técnica da fluorescência. **Ciência Rural**, vol.45, n.5, 2015.

URBANEK, H.; KUZNIAK-GEBAROWSKA, E.; HERKA, K. Elicitation of defense responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. **Acta Phys. Plant**, vol.13, p.43–50, 1991.

USDA. 6º levantamento USDA da safra 2017/18. 2017. disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/attachment/boletim milho outubro 2017.pdf>> Acesso em: 23 de out. 2017.

VIANA, D.G.; NASCIMENTO, A.F.; BELO, A.F.; PIRES, F.R.; FALQUETOS, A.R.; BONOMO, R.; TENIS, L.H.O.; ORTELANO, B.P.; TREVISAN, E. Intensidade máxima de fluorescência e parâmetros O-J-I-P do café conilon em função de corretivos de solo e déficit hídrico. VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 25 a 28 de novembro de 2013. Salvador - BA.

WALSH, J.D.; DEFELICE, M.S.; SIMS, B.D. Soybean (*Glycine max*) Herbicide Carryover to Grain and Fiber Crops. **Weed Technology**, vol.7, p.625-632, 1993.

WIATRAC, P.J.; WRIGHT, D.L.; MAROIS, J.J. Influence of imazapic herbicide simulated carryover on cotton growth, yields, and lint quality. **Crop Manage.**, vol.8, 2009.

WILCUT, J.W. ASKEW, S.D.; BAILEY, W.A.; SPEARS, J.F.; ISLEIB, T.G. Virginia market-type peanut (*Arachis hypogaea*) cultivar tolerance and yield response to flumioxazin pre-emergence. **Weed Technology**, vol.15, n.1, p.137-140, 2001.

YORDANOVA, E.; GEORGIEVA, K.; GORINOVA, N.; YORDANOV, Y. Influence of the herbicide chlortoluron on photosynthetic activity in transgenic tobacco plants. **Photosynthetica**, vol.39, p.313-316, 2001.

ZABALZA, A.; GASTON, S.; SANDALIO, L.M.; DEL RIO, L.A.; ROYUELA, M. Oxidative stress is not related to the mode of action of herbicides that inhibit acetolactate synthase. **Environmental and Experimental Botany**, vol.59, p.150–159, 2007.