

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS – AGRONOMIA

**SUBDOSES DE GLYPHOSATE E TRINEXAPAC-ETHYL
NAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS E DE
CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL**

Autor: Roberto Gomes Vital

Orientador: DSc. Adriano Jakelaitis

Rio Verde - GO
Junho – 2015

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**SUBDOSES DE GLYPHOSATE E TRINEXAPAC-ETHYL
NAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS E DE
CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL**

Autor: Roberto Gomes Vital

Orientador: DSc. Adriano Jakelaitis

Dissertação apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde, Área de concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Junho – 2015

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**SUBDOSES DE GLYPHOSATE E TRINEXAPAC-ETHYL
NAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS E DE
CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL**

Autor: Roberto Gomes Vital
Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 17 de julho de 2015.

Prof. Dr. Paulo César Timossi
Avaliador externo
UFG – Câmpus Jataí

Prof. Dr. Alan Carlos Costa
Avaliador interno
IF Goiano – Câmpus Rio Verde

Dr. João Carlos Madalão
Avaliador interno
PNPD/CAPES-IF Goiano – Câmpus Rio Verde

Prof. Dr. Adriano Jakelaitis
Presidente da banca
IF Goiano – Câmpus Rio Verde

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, força para superar as dificuldades.

A minha mãe, minha irmã e ao meu pai, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha namorada Fábiana, pelo carinho, paciência e por sua capacidade de me ajudar em todos os momentos.

Ao meu orientador Professor Adriano Jakelaitis, pela paciência na orientação e pelas contribuições que tornaram possível a conclusão desta dissertação

A meu coorientador Professor Alan Carlos Costa, pelos ensinamentos e contribuições.

Em especial aos meus amigos, Ana Elisa, Deusomar e Christian Gonzales, pelo companheirismo.

Ao Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

A todos os amigos e colegas do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal e do Laboratório de Plantas Daninhas, pelos cordiais momentos que passamos juntos, pelo aprendizado, disponibilidade e dedicação nas análises realizadas.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia, pelos ensinamentos repassados.

E a todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse concluído.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ROBERTO GOMES VITAL, filho de Marly Vital Gomes e Sebastião Carlos Gomes Lopes, nasceu no dia 6 de julho de 1981, na cidade de Palmeiras de Goiás, Goiás.

Em fevereiro de 2000, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Goiás, *Campus Goiânia - Goiás*, graduando-se em dezembro de 2004.

Em agosto de 2007, ingressou no curso de especialização lato-sensu em Bovinocultura de Leite, pela Universidade Estadual de Goiás, *Campus São Luis de Montes Belos – Goiás*, concluindo em julho de 2009.

Em agosto de 2013, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – *Campus Rio Verde*, sob a orientação do Professor Adriano Jakelaitis.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	XI
RESUMO GERAL.....	1
INTRODUÇÃO GERAL	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
OBJETIVO.....	9
CAPÍTULO I.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1 MATERIAL VEGETAL E AS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	14
2.2 IMPOSIÇÕES DOS TRATAMENTOS	15
2.3 AVALIAÇÕES MORFOLÓGICAS	15
2.4 AVALIAÇÕES VISUAIS E DE FITOTOXIDEZ	15
2.5 AVALIAÇÕES DE BIOMASSA.....	15
2.6 A ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4. CONCLUSÃO.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

CAPÍTULO II	31
RESUMO	32
ABSTRACT.....	33
1. INTRODUÇÃO.....	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1 MATERIAL VEGETAL E AS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	36
2.2 IMPOSIÇÕES DOS TRATAMENTOS	36
2.3 AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS	36
2.3.1 Avaliações de Trocas gasosas	37
2.3.2 Medições de fluorescência de clorofila a	37
2.3.3 Carboidratos.....	37
2.3.4 Pigmentos Cloroplastídicos.....	38
2.3.5 Concentração de malondialdeído (MDA) e taxa de liberação de eletrólitos	38
2.3.6 Ácido chiquímico	39
2.4 A ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
3. RESULTADOS	40
4. DISCUSSÃO.....	49
5. CONCLUSÕES	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CONCLUSÃO GERAL.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1. Altura de planta (cm) (A), número de folhas (B) e área foliar (cm²) (C) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA)..... 17
- Figura 2. Diâmetro de caule (A) e número de nós (B) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). 19
- Figura 3. Altura de planta (cm) (A), número de folhas (B) e área foliar (cm²) (C) de plantas de girassol avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) do trinexapac-ethyl. 21
- Figura 4. Diâmetro de caule (A) e número de nós (B) de plantas de girassol avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) do trinexapac-ethyl. 21
- Figura 5. Fitotoxicidade (%) em plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas em cinco diferentes tempos..... 22
- Figura 6. Sintomas visuais da parte aérea de plantas de girassol submetidas as diferentes doses do herbicida glyphosate aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos. 23
- Figura 7. Sintomas visuais de plantas de girassol submetidas as diferentes doses do herbicida glyphosate aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos. 23
- Figura 8. Sintomas visuais de plantas de girassol submetidas as diferentes doses do herbicida trinexapac-ethyl aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos. 24
- Figura 9. Sintomas visuais de plantas de girassol submetidas as diferentes doses do herbicida trinexapac-ethyl aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos. 24

Figura 10. Matéria seca de folhas (g) (A), parte aérea (g) (B), caule (g) (C), raiz (g) (D), flores (g) (E) e matéria seca total (g) (F) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 28 dias após aplicação..... 26

Figura 11. Matéria seca de folhas (g) (A), parte aérea (g) (B), caule (g) (C), raiz (g) (D), flores (g) (E) e matéria seca total (g) (F) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de trinexapac-ethyl aos 28 dias após aplicação. 27

CAPÍTULO II

Figura 1. Taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E) e relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de glyphosate (A-D) e avaliadas em diferentes tempos..41

Figura 2. Rendimento quântico máximo (F_v/F_m), e rendimento quântico efetivo do FSII ($\Delta F/F_m'$), taxa de transporte de elétrons (ETR) e quenching não fotoquímico (NPQ) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de glyphosate (A-D) e avaliadas em diferentes tempos..... 42

Figura 3. Açúcares solúveis totais (A), açúcares não redutores (B), Açúcares redutores (C) e amido (D) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de trinexapac-ethyl aos 28 DAA..... 43

Figura 4. Açúcares solúveis totais (A), açúcares não redutores (B), açúcares redutores (C) e amido (D) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de glyphosate aos 28 DAA..... 44

Figura 5. Concentração de clorofila a, clorofila b, e clorofila total de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do trinexapac-ethyl avaliadas aos 28 DAA..... 45

Figura 6. Concentração de clorofila a, clorofila b, e clorofila total de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate e avaliadas aos 28 DAA.....46

Figura 7. Concentração de carotenoides e razão C_{la}/C_{lb} de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do trinexapac-ethyl e avaliadas aos 28 DAA..... 46

Figura 8. Concentração de carotenoides e razão C_{la}/C_{lb} de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate e avaliadas aos 28 DAA..... 47

Figura 10. Taxa de liberação de eletrólitos (TLE) em plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate (A) e trinexapac-ethyl (B) e avaliadas aos 28 DAA..... 48

Figura 11. Concentração de ácido chiquímico em plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate e avaliadas aos 28 DAA.....48

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<i>A</i>	Taxa fotossintética	($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
ATP	Adenosina trifosfato	
C_i/C_a	Relação entre concentração interna e externa de CO_2	
CO_2	Dióxido de carbono	
EROs	Espécies reativas de oxigênio	
ETR	Taxa relativa de transporte de elétrons	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
FSII	Fotossistema II	
F_v/F_m	Rendimento quântico potencial do fotossistema II	
g_s	Condutância estomática	($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
DAA	Dias após aplicação	
MDA	Malondialdeído	(mmol/g Massa Fresca)
NADPH	Nicotinamida-adenina-dinucleotido	
<i>NPQ</i>	Coefficiente de extinção não fotoquímica	
Q_A	Quinona A	
TBA	Ácido tiobarbitúrico	
TCA	Ácido tricloroacético	
TLE	Taxa de liberação de eletrólitos	%
$\Delta F/F_m'$	Rendimento quântico efetivo do fotossistema II	

RESUMO GERAL

VITAL, R. G., M. Sc., Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, julho de 2015. **Características fisiológicas e de crescimento de plantas de girassol submetidos à subdoses de glyphosate e trinexapac-ethyl.** Orientador: Dsc. Adriano Jakelaitis. Coorientador: Dsc. Alan Carlos Costa.

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura favorável ao cultivo de safrinha no Cerrado brasileiro, em decorrência da plasticidade que apresenta, principalmente a tolerância a seca. Entretanto, a deriva de agroquímicos, como os maturadores usados na cultura da cana-de-açúcar, podem prejudicar o desempenho do girassol quando cultivado próximo à cana. Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos de subdoses dos maturadores glyphosate e trinexapac-ethyl sobre as características fisiológicas e de crescimento de plantas de girassol. Dois ensaios foram conduzidos em casa de vegetação climatizada, em blocos ao acaso com quatro repetições. O regulador de crescimento trinexapac-ethyl não afetou as características de crescimento, o metabolismo fotossintético e, não promoveu danos às membranas celulares de plantas de girassol. Ao contrário, o glyphosate reduziu as características biométricas, as trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, com exceção da razão C_i/C_a e quenching não fotoquímico (NPQ) que teve valores aumentados. Em função das alterações nas características fotossintéticas, as plantas tratadas com glyphosate diminuiu a concentração de carboidratos e de pigmentos cloroplastídicos. Observou-se ainda danos celulares nas plantas tratadas com glyphosate, sendo observado por meio do aumento da concentração de malondialdeído e da taxa de liberação de eletrólitos, em adição aos

sintomas visuais e de fitotoxicidade nas plantas. Dessa forma, conclui-se que plantas de girassol possuem tolerância ao trinexapac-ethyl, considerando as doses utilizadas e, são sensíveis a deriva do glyphosate.

Palavras-chave: fotossíntese, EPSPs, giberelina, regulador vegetal.

ABSTRACT

VITAL, R. G, M. Sc, Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - GO July 2015.
Physiologic and growth characteristics of sunflower plants subjected to subsoses of trinexapac-ethyl and glyphosate. Advisor: Dsc. Adriano Jakelaitis. Advisor: Dsc. Alan Carlos Costa.

Sunflower (*Helianthus annus L.*) is a culture favorable to the off-season cultivation in the Brazilian Cerrado, due to the plasticity que has Mainly to drought tolerance. However, the drift of agrochemicals, such as maturing used in the culture of sugarcane, may adversely Affect the performance of sunflower When grown next to sugarcane. The objective of this study was to evaluate the effects of doses of glyphosate and trinexapac-ethyl maturing on physiological characteristics and sunflower plants growth. Two trials were conducted in-house a greenhouse heated in a randomized block design with four replications. Ethyl-trinexapac growth regulator did not Affect the growth characteristics, photosynthetic metabolism and promoted in damage to cell membranes of sunflower plants. In contrast, glyphosate reduced the biometric characteristics, gas exchange, chlorophyll fluorescence, except C_i / C_a and quenching not photochemical (NPQ) Which had Increased values. Due to the changes in photosynthetic characteristics of plants treated with glyphosate Decreased the concentration of carbohydrates and chloroplastid pigments. It was Also Observed cellular damage on the treated plants with glyphosate being Observed by Increasing the concentration of malondialdehyde release and rate of electrolyte, in addition to visual and Symptoms of

phytotoxicity in plants. Thus, if conlui sunflower plants que have tolerance to trinexapac-ethyl, considering the doses used, and are sensitive to glyphosate drift.

Key words: photosynthesis, EPSPs, gibberellin, growth regulator.

INTRODUÇÃO GERAL

Os maturadores químicos são utilizados com frequência na cultura da cana-de-açúcar por promoverem alterações na morfologia e fisiologia das plantas. Esses produtos induzem modificações qualitativas e quantitativas, como o aumento na concentração de sacarose, a precocidade de maturação e conseqüentemente o aumento na produtividade (Caputo et al., 2008). Os principais maturadores utilizados na cana-de-açúcar pertencem aos grupos dos retardadores de crescimento (ethephon, sulfometuron-methyl, trinexapac-ethyl) e dos inibidores de crescimento (diquat, glyphosate e fluazifop-butyl) (Castro, 2000).

O glyphosate, como maturador, promove efeitos primários e secundários na planta. Como primário ele inibe ou retarda o desenvolvimento da planta, acelerando o processo de maturação através da morte da gema apical. Os secundários estão relacionados com alterações na rota metabólica da planta (Velini et al., 2009). Atua inibindo a ação da enzima EPSPs, evitando a transformação de chiquimato em corismato, que é precursor dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano, sendo esses precursores da maioria dos compostos aromáticos essenciais à vida das plantas (Galli e Montezuma, 2005).

O trinexapac-ethyl atua reduzindo a alongação celular no estágio vegetativo e obstruindo a biossíntese do ácido giberélico (Heckman et al., 2002). Esse regulador reduz drasticamente o nível do ácido giberélico ativo (GA_1), por inibir a enzima 3-hidroxilase (Nakayama et al., 1990), ocasionando redução do crescimento das plantas. Estudos realizados por Maxson e Jones (2002) com macieiras confirmaram o efeito

retardante do trinexapac-ethyl no final do processo de síntese do GA, pela ocorrência de redução no crescimento vegetativo de ramos depois de 10 a 14 dias da pulverização, sendo a inibição mantida por mais 30 dias.

A aplicação de maturadores na cultura da cana-de-açúcar usualmente é feita por pulverização aérea, podendo comprometer o desenvolvimento de plantas cultivadas em áreas vizinhas em função da deriva. A deriva é considerada sério problema em muitas áreas de cultivo (Yamashita et al., 2006) e suas causas são decorrentes do tamanho da gota aspergida, da altura da ponta de pulverização, da velocidade de operação, do volume de aplicação e da formulação utilizada, bem como das condições ambientais no momento da aplicação, como a velocidade do vento, temperatura e umidade do ar (Ferreira et al., 2010).

A detecção dos efeitos da deriva na aplicação de herbicidas tem grande importância. Dificilmente, as perdas econômicas ocasionadas não são facilmente identificadas, e culturas sensíveis cultivadas em áreas adjacentes à aplicação podem ter significativas reduções na produção, sem, no entanto, ter a causa diagnosticada (Ramos, 2001). A metodologia empregada para a quantificação da deriva em estudos científicos é validada pela aplicação de subdoses do produto de interesse, denominada “deriva simulada”. Vários autores já demonstraram os prejuízos ocasionados pela deriva de herbicidas por meio da utilização de subdoses em espécies cultivadas (Tuffi et al., 2009; Franca et al., 2010; Tiburcio et al., 2012).

Assim, uma das ferramentas importantes na avaliação dos efeitos da deriva em culturas suscetíveis são por meio da análise de crescimento de plantas e das características fotossintéticas. Esses parâmetros auxiliam na mensuração das condições morfofisiológicas das plantas, além de quantificar a produção líquida da planta, derivada do processo fotossintético, sendo o resultado do desempenho do sistema assimilatório, durante certo período de tempo (Benincasa, 2003; Mateus et al., 2010).

Dentre as culturas que são cultivadas paralelamente a cana-de-açúcar, que merece ênfase para pesquisas do impacto da deriva desses maturadores, destaca-se o girassol (*Helianthus annuus* L.). O girassol é uma cultura originária da América do Norte, cultivada em todo mundo por causa da adaptação as diferentes condições ambientais (Souza et al., 2010). Essa cultura é facilmente introduzida em várias regiões do Brasil, principalmente em decorrência de sua tolerância à seca, e precocidade.

No cerrado, o cultivo do girassol possui alto potencial de expansão, uma vez que pode ser cultivado no período de safrinha como forma de rotação de culturas

(EMBRAPA CERRADOS, 2002). Tem-se mostrado também vantajoso em sucessão a outras culturas, como excelente alternativa para os produtores permitindo o aproveitamento de áreas irrigadas, de reforma de canaviais ou mesmo áreas habituais de cultivo (Gomes et al., 2010). Ademais, a safrinha de girassol se torna ótima opção para otimizar o uso da terra, de máquinas agrícolas e mão de obra, bem como reduzir a ociosidade das indústrias beneficiadoras, favorecendo a criação e o prolongamento de empregos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2ª ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 41, 2003.

CAPUTO, M.M.; BEAUCLAIR, E.G.F.; SILVA, M.A.; PIEDADE, S.M.S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, p.15-23, 2008.

CASTRO, P.R.C. Utilização de reguladores vegetais no sistema de produção da cana-de-açúcar. Simpósio Internacional de Fisiologia da Cana-de-Açúcar. **STAB**, Piracicaba, p. 10, 2000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2001/2002**. Londrina: Embrapa Soja, 2003. P. 53 – 84.

FERREIRA, L.R.; MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, F.A.; SAN, L.D.T. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto**. – Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010.

FRANCA, A.C., FREITAS, M.A.M., FIALHO, C.M.T., SILVA, A.A., REIS, M.R., GALON, L., VICTORIA FILHO, R. Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 599-607, 2010.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Glifosato: alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura**. ACADCOM Gráfica e Editora Ltda, p. 66, 2005.

GOMES, E. P.; ÁVILA, M. Z.; RICKLI, M. E.; PETRI, F.; FEDRI, G. Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâminas de irrigação em semeadura direta na região do arenito Caiuá, estado do Paraná. **Irriga**, v.15, p.373-385, 2010.

HECKMAN, N. L.; ELTHON, T. E.; HORST, G. L.; GAUSSOIN, R. E. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, v. 42, n. 2, p. 423-427, 2002.

MAXSON, K.L.; JONES, A.L. Management of fire blight with gibberellin inhibitors and sar inducers. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.590, p.217-223, 2002.

MATEUS, C.M.D.; PIVETTA, K.F.L.; VILLAS BÔAS, R.L.; COAN, R.M. Análise de crescimento do Amarfílis cultivado a pleno sol. **Revista Ceres**, v. 57, p. 469-475, 2010.

NAKAYAMA, K.; KAMIAY, Y.; KOBAYASHI, M.; ABE, H.; SAKURAI, A. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cellfree systems derived from immature seeds. **Plant Cell Physiology**, v. 31, n. 8, p. 1183-1190, 1990.

RAMOS, H. H. No lugar certo. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 6, p 16-19, 2001.

SOUZA, R. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 125-133, 2010.

TIBURCIO, R.; AUGUSTO, S.; FERREIRA, F.A.; PAES, F.A.; SILVA V.M.; CHRISTIANE A.D.; MEDEIROS, W. N. Crescimento de mudas de clones de eucalipto submetidos à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Revista Árvore**, Viçosa , v. 36, n. 1, p. 65-73, 2012.

TUFFI SANTOS L.D.; SANT'ANNA-SANTOS B.F.; MEIRA R.M.S.A.; FERREIRA F.A., TIBURCIO R.A.S.; MACHADO A.F.L. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 1, p. 129-136, 2009.

VELINI, E.D.; DUKE, S.O.; TRINDADE, M.L.B.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A. Modo de ação do glyphosate. In: VELINI, E.D.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A.; TRINDADE, M.L.B. (Eds.) **Glyphosate**. Botucatu:FEPAP, p.113-134, 2009.

YAMASHITA, O.M.; VIEIRA, R.G.; SANTI, A.; RONDON NETO, R.M.; ALBERGUINI, S.E. Resposta de varjão (*Parkia multijuga*) a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, n.3, p. 527-531, 2006.

OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos de subdoses dos maturadores glyphosate e trinexapac-ethyl sobre as características fisiológicas e de crescimento de plantas de girassol.

CAPÍTULO I

Resposta de plantas de girassol a deriva simulada de glyphosate e trinexapac-ethyl

RESUMO

Atualmente na cultura da cana-de-açúcar, tem-se utilizado com frequência maturadores químicos, de forma a aumentar sua rentabilidade. No entanto, a deriva desses produtos pode expor plantas suscetíveis não alvo, como o girassol, impactando indiretamente o crescimento e o desenvolvimento da cultura. Portanto, objetivou neste estudo avaliar a intoxicação e caracterizar possíveis alterações no crescimento de plantas de girassol expostas a deriva simulada de glyphosate e trinexapac-ethyl. Para cada maturador foram utilizadas as seguintes doses: glyphosate (0 (controle); 3,6; 7,2; 14,4; 28,8 e 86,4 g e.a. ha⁻¹) e trinexapac-ethyl (0 (controle), 3,12; 6,25; 12,50; 25 e 75 g i.a. ha⁻¹). Foram avaliados os efeitos desses produtos sobre a altura das plantas, número de folhas, área foliar, diâmetro de caule, matéria seca (folhas, caule, flores, raiz, parte aérea e total), além de análises visuais de sintomas de fitotoxidez. Plantas de girassol apresentaram efeitos distintos em relação aos maturadores e doses, sendo que plantas tratadas com glyphosate apresentaram seu padrão de crescimento alterado, indicando maior sensibilidade das plantas ao herbicida. Com o aumento das doses, os resultados demonstraram que a deriva do glyphosate promoveram menor crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo afetar negativamente sua produtividade. Contudo, a deriva do trinexapac-ethyl, nas doses avaliadas, não afetaram as plantas de girassol.

Palavras Chaves: *Helianthus annuus*; fitotoxidade; herbicida; regulador de crescimento.

ABSTRACT

Nowadays chemical ripeners have been frequently used in sugarcane crop in order to increase profitability. However, the drift of these products can expose non-target susceptible plants, such as sunflower, causing indirect impacts on growth and development of the crop. Therefore, this study aimed to assess the intoxication and characterize possible changes in the growth of sunflower plants exposed to simulated drift of glyphosate and trinexapac-ethyl. For each ripener the following doses were used: glyphosate (0 (control), 3.6, 7.2, 14.4, 28.8 and 86.4 a.e g ha⁻¹) and trinexapac-ethyl (0 (control), 3.12, 6.25, 12.50, 25 and 75 a.i g ha⁻¹). The effects of these products were evaluated on plant height, number of leaves, leaf area, stem diameter, dry matter (leaves, stem, flower, root, shoot and total), and visual analysis of symptoms of phytotoxicity. Sunflower plants showed different effects according to the ripener and dose, in which plants treated with glyphosate, had changed their growth pattern, indicating higher sensitivity of plants to the herbicide. With increasing doses, results showed that glyphosate drift promoted lower growth and development of plants and can negatively affect productivity. Nevertheless, ethyl-trinexapac drift, in the evaluated doses, did not affect sunflower plants.

Key words: *Helianthus annuus*; phytotoxicity; herbicide; growth regulator.

1. Introdução

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é originário da América do Norte e cultivado em todo o mundo pela adaptação as diferentes condições ambientais, sendo sua produtividade pouco influenciada pela latitude, altitude e fotoperíodo (SOUZA et al., 2010). É considerado de grande importância comercial, principalmente para a produção de óleo (ELEZOVIC et al., 2012). No Brasil o seu cultivo ocupa uma área de aproximadamente 119,4 mil hectares, com produção estimada em 183 mil toneladas para a safra 2014/2015 (CONAB, 2015).

O girassol se apresenta como opção de cultivo de safrinha para o centro-oeste brasileiro, por ser uma cultura que possui maior tolerância ao estresse hídrico, além de ser ótima opção para produção de óleo pois diminui a ociosidade das indústrias beneficiadoras, otimiza o uso da terra, máquinas e mão de obra, gerando renda e empregos (CAPONE et al., 2011). No entanto, áreas de produção de girassol podem estar localizadas nas proximidades de áreas de cultivo de cana-de-açúcar, em que a utilização intensiva de herbicidas para o controle de plantas daninhas (LOURENCETTI et al., 2008) e a utilização de maturadores químicos, para a obtenção de maiores rendimentos (TOPPA et al., 2014) podem afetar o desenvolvimento de culturas vizinhas. O transporte de moléculas desses produtos para área adjacentes pode ocorrer tanto via deriva, pela utilização de pulverizadores acoplados em tratores ou com aeronaves, quanto via processos de lixiviação, escoamento superficial, volatilização e erosão/carreamento (NUNES et al., 2009).

O uso de maturadores na cultura da cana-de-açúcar, promove alterações morfológicas e fisiológicas na planta (MESCHÉDE et al., 2012), que podem resultar na diminuição da taxa de crescimento, possibilitando incrementos no teor de sacarose, precocidade de maturação e aumento na produtividade (SIQUEIRA, 2014).

Entre os maturadores, destacam-se o glyphosate e o trinexapac-ethyl. O trinexapac-ethyl atua na síntese de giberelinas, após formação do GA₁₂ aldeído, inibindo a 3 β-hidroxilação, impedindo a síntese de GAs de alta atividade biológica, especialmente a GA₁, uma das mais eficientes em promover o alongamento celular. Após absorção sua translocação é rápida, aparecendo sintomas de inibição de crescimento em 48 horas após aplicação (RAJALA, 2003). Já o glyphosate retarda o desenvolvimento da planta em função da inibição da síntese do ácido indol-3-acético, que é sintetizado nos tecidos meristemáticos. As plantas entram em estresse e passam a

sintetizar o etileno e, conseqüentemente entram em processo de maturação aumentando o conteúdo de sacarose no colmo de forma mais consistente (MESCHEDÉ et al., 2012).

A implementação da aplicação desses maturadores ocorre principalmente nos períodos de outubro-dezembro e janeiro-abril, sendo os períodos de maiores riscos de transporte de moléculas para fora do local (MASTERS et al., 2013), sendo que o período de janeiro a abril coincide com o cultivo do girassol, cuja proximidade potencializa a deriva dos maturadores, causando prejuízos significativos nas fases vegetativa e reprodutiva do girassol.

Estudos sobre os efeitos dos maturadores nas características morfológicas de plantas de girassol. Portanto neste estudo, foi avaliada a hipótese que plantas de *Helianthus annuus* submetidas a deriva simulada dos maturadores trinexapac-ethyl e glyphosate apresentam alterações morfológicas, que em função desses efeitos causam menor produtividade. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a intoxicação e caracterizar possíveis alterações no crescimento de plantas de girassol expostas a deriva simulada de glyphosate e trinexapac-ethyl.

2. Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos no Instituto Federal Goiano, *Campus* Rio Verde – GO, Brasil, em condições controladas, em casa de vegetação climatizada, durante os meses de outubro de 2013 a janeiro de 2014. A temperatura na casa de vegetação climatizada variou entre 22 a 29°C e a umidade relativa entre 60 a 75%.

2.1 Material vegetal e as condições experimentais

Plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) foram cultivadas em vasos de polietileno contendo 8 kg de substrato obtido a partir da mistura de duas partes de solo do tipo Latossolo Vermelho distroférico com uma parte de areia. De acordo com a análise química do solo, o substrato possuía as seguintes características: pH em H₂O de 4,7; 2,6 mg dm⁻³ de P; 14 mg dm⁻³ de K; 0,75 cmolc dm⁻³ de Ca; 0,22 cmolc dm⁻³ de H⁺ Al; 13 g kg⁻¹ de matéria orgânica e 24,4% de saturação por bases. A correção e adubação do substrato foram realizadas de acordo com a análise do solo e as exigências nutricionais da cultura (RIBEIRO et al., 1999). Foram utilizadas duas plantas por vaso padronizadas quanto ao tamanho e vigor, sendo irrigadas diariamente.

2.2 Imposições dos tratamentos

Foram conduzidos dois experimentos independentes, sendo o primeiro para a avaliação do efeito do maturador glyphosate (480 g L⁻¹ do equivalente ácido) e o outro para o regulador trinexapac-ethyl (250 g L⁻¹ do ingrediente ativo). Objetivando realizar a deriva simulada para cada produto foram utilizadas as seguintes doses: glyphosate (0 (controle); 3,6; 7,2; 14,4; 28,8 e 86,4 g e.a. ha⁻¹) e trinexapac-ethyl (0 (controle), 3,12; 6,25; 12,50; 25 e 75 g i.a. ha⁻¹), correspondente a 0%; 1,25%; 2,5%; 5%; 10% e 30% da dose recomendada a campo. As aplicações foram realizadas aos 30 dias após a emergência, utilizando pulverizador costal (Herbicat[®] Catanduva, Brasil) com pressão constante mantida por CO₂ comprimido, munido de uma barra com quatro pontas de pulverização e bico (Teejet), tipo leque modelo XR110 02. A pressão de serviço utilizada foi de 5 kgf cm⁻², proporcionando o volume de calda de 180 L ha⁻¹.

2.3 Avaliações morfológicas

As análises de crescimento foram realizadas para as seguintes características; altura de plantas (cm), número de folhas, área foliar (cm²), diâmetro de caule (mm) e número de nós. Tanto para o glyphosate, quanto para o trinexapac-ethyl as avaliações ocorreram aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos.

Para a obtenção da altura das plantas de girassol foi utilizada uma régua graduada. O diâmetro de caule foi aferido por meio de um paquímetro e a área foliar foi mensurada através da largura do limbo de todas as folhas da planta e ajustados de acordo com o modelo de regressão $AF = 1,7582L^{1,7067}$ (MALDANE *et al.*, 2009).

2.4 Avaliações visuais e de fitotoxidez

Para as avaliações visuais as plantas foram fotografadas, utilizando a máquina digital Finepix SL 300, zoom óptico 30x, 14 megapixels, LCD de alta resolução aos 7 e 28 DAA.

As avaliações de fitotoxidez foram realizadas aos, 7, 14, 21 e 28 (DAA) utilizando a metodologia proposta por ALAM (1974). Essa avaliação consiste em escala percentual de notas, variando entre 0 (zero) e 100 (cem), em que 0 implica na ausência de quaisquer injúrias e 100, a morte da planta.

2.5 Avaliações de biomassa

Aos 28 dias após a aplicação (DAA) dos maturadores foram coletadas as plantas para obtenção das seguintes características: matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC),

flores (MSFL), raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST). As diferentes partes das plantas foram separadas em sacos de papel e levadas a estufa com ventilação forçada a 65°C pelo período de 72 horas para a obtenção da massa seca constante. Em seguida o material foi pesado e o resultado expresso em gramas por planta.

2.6 A análise estatística

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em bloco ao acaso, em arranjo de parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas as doses de glyphosate ou trinexapac-ethyl e nas subparcelas os tempos de avaliações, com cinco repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ajustados aos modelos de regressão. As análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* SISVAR versão 5.3.

3. Resultados e Discussão

Ao analisar os efeitos dos maturadores sobre as plantas de girassol, observou-se que os tratamentos com o regulador de crescimento trinexapac-ethyl não interferiram nas características morfológicas das plantas. No entanto, o glyphosate influenciou negativamente no padrão de crescimento, tanto em função das doses, quanto em função do tempo após a aplicação (Fig. 1 A – C e Fig. 2 A - B), indicando maior sensibilidade das plantas de girassol ao glyphosate.

O estudo das características morfológicas tem grande importância, pois influência diretamente na arquitetura da planta (SILVA et al., 2010). Desse modo, a altura de plantas, número de folhas, área foliar, diâmetro de caule, número de nós e a massa seca da planta, podem influenciar diretamente nos padrões da cultura e na produtividade da mesma. Essas características permitem não só avaliar as condições da planta em função do tempo, mas também quais são as influências exercidas pelo fator de estresse (CRUZ et al., 2010).

As plantas de girassol tratadas com o glyphosate apresentaram reduções mais proeminentes aos 28 DAA, principalmente na dose de 86,4 g e.a. ha⁻¹, sendo de 55% na altura de plantas (Fig.1 A), 50,47% no número de folhas (Fig. 1 B), 90% da área foliar (Fig. 1 C), 26,92% do diâmetro de caule (Fig. 2 A) e de 47,66% no número de nós (Fig. 2 B). Nas Tabelas 1 e 2, são apresentadas as equações de regressão ajustadas para as características morfológicas, em função das doses do maturador glyphosate e dos dias

após aplicação. Nessas características, foram ajustados modelos lineares e quadráticos, nos dias após aplicação, com reduções em função do aumento das doses.

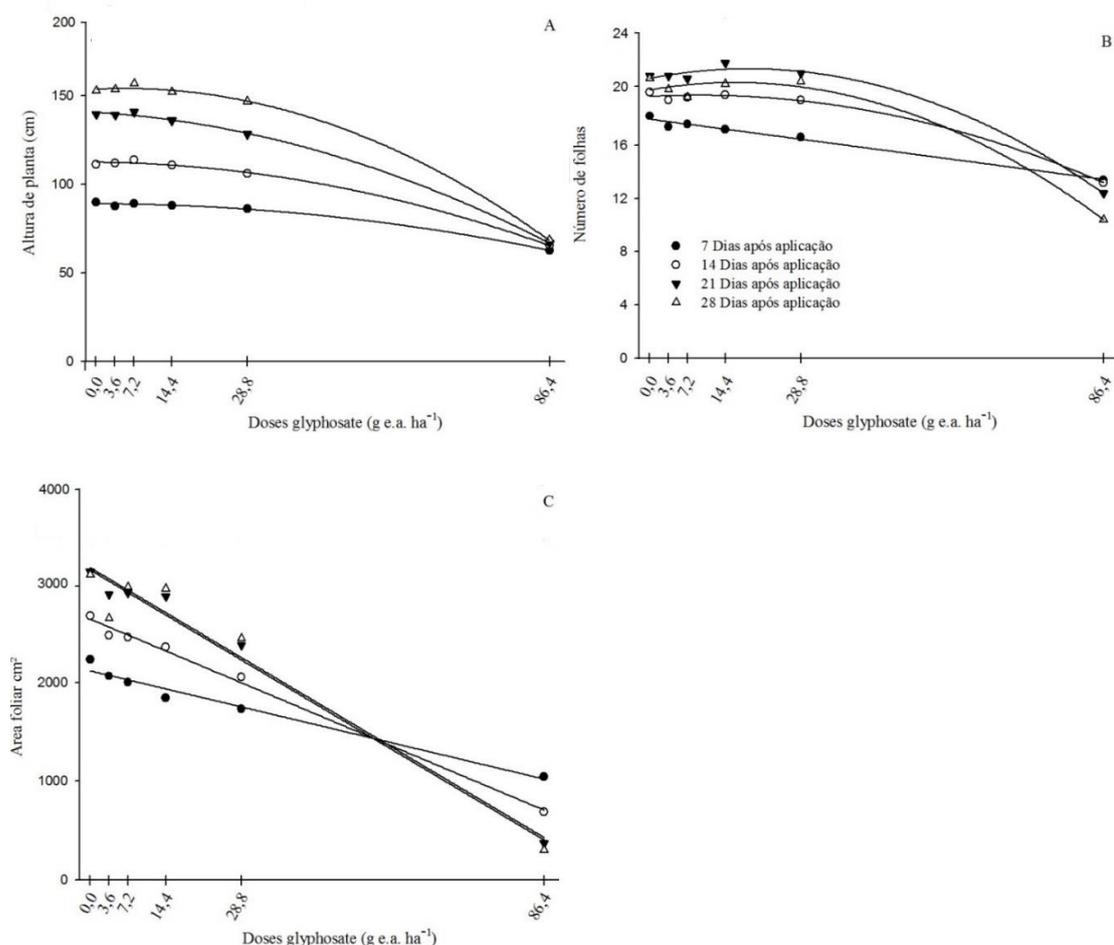


Figura 1. Altura de planta (cm) (A), número de folhas (B) e área foliar (cm²) (C) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA).

Tabela 1. Equações de regressão ajustadas para altura de plantas, número de folhas e área foliar de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), referente a figura 1.

Característica	Unidade	Equações ajustadas	R ²
Altura de Planta (cm)	7 DAA	$\hat{Y} = 88,7277 + 0,0356x - 0,0039x^2$	0,99**
	14 DAA	$\hat{Y} = 112,3866 - 0,0302x - 0,0059x^2$	0,99**
	21 DAA	$\hat{Y} = 140,4787 - 0,1838x - 0,0077x^2$	0,99**
	28 DAA	$\hat{Y} = 153,6205 + 0,1433x - 0,0131x^2$	0,99**
Número de folhas	7 DAA	$\hat{Y} = 17,9584 - 0,0523x$	0,98**

	14 DAA	$\hat{Y} = 19,6596 + 0,0205x - 0,0011x^2$	0,99**
	21 DAA	$\hat{Y} = 21,0233 + 0,0766x - 0,0020x^2$	0,99**
	28 DAA	$\hat{Y} = 20,1613 + 0,0677x - 0,0021x^2$	0,97**
	7 DAA	$\hat{Y} = 2115,8309 - 12,6607x$	0,97**
Área foliar (cm ²)	14 DAA	$\hat{Y} = 2640,4476 - 22,3565x$	0,99**
	21 DAA	$\hat{Y} = 3160,5660 - 31,5752x$	0,98**
	28 DAA	$\hat{Y} = 3137,2785 - 31,5999x$	0,95**

A redução na altura das plantas, está diretamente relacionada com o mecanismo de ação do glyphosate, que após ser absorvido atua inibindo a atividade da enzima EPSPs, que catalisa a reação na qual o chiquimato-3-fosfato (S3P) que reage com o fosfoenolpiruvato (PEP) formando o 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato (EPSPs) e fosfato inorgânico (Pi) (FRANÇA, 2009). Como consequência a via do chiquimato é interrompida, inibindo a síntese de triptofano, fenilalanina e tirosina, além de aminoácidos essenciais a síntese de proteínas nos meristemas apicais, resultando na interrupção do desenvolvimento (SILVA et al., 2012). Yamashita et al., (2009) por exemplo, observou forte redução da altura de plantas de *Schizolobium amazonicum* e *Ceiba petandra* após aplicação de deriva simulada do glyphosate, além de sintomas de toxicidade no meristema apical das plantas.

Além dos efeitos do glyphosate na altura das plantas de girassol, a redução no número de folhas e na área foliar influencia diretamente na produção de aquênios, principalmente por manter relação direta com o estado nutricional da planta e a produção de fotoassimilados (ZOBIOLE et al. 2010). A folha é o principal órgão fotossinteticamente ativo, acumulando nutrientes e compostos orgânicos que serão posteriormente translocados para os órgãos reprodutivos e os grãos. Assim alterações na estrutura da folha podem afetar tanto o estado vegetativo quanto reprodutivo da planta (CASTRO e FARIAS, 2005).

Outra variável de característica importante para a cultura do girassol é o diâmetro de caule, sendo que o seu bom desenvolvimento permite que ocorra menos acamamento, facilitando seu manejo, tratos e colheita (ALVES et al., 2010). Neste estudo, mesmo sendo notória a redução no diâmetro de caule das plantas tratadas com o

glyphosate, os valores encontrados estão dentro da normalidade, que variam de 10 a 80 mm, segundo Castro e Farias (2005). Segundo Naves (1993), o diâmetro de caule tem relação estreita mais com a fotossíntese, do que com o crescimento em altura, pois depende diretamente do acúmulo de carboidratos e do balanço favorável entre a fotossíntese líquida e a respiração. Durante o estágio vegetativo o acúmulo de fotoassimilados no caule permite melhor alocamento de carboidratos para órgãos reprodutivos, no caso do girassol, para maior produção de aquênios.

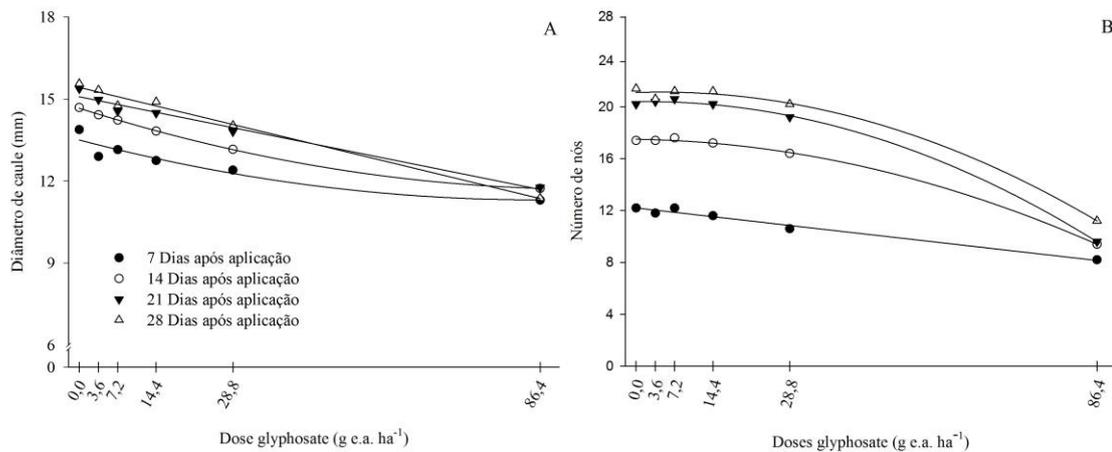


Figura 2. Diâmetro de caule (A) e número de nós (B) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA).

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas para diâmetro de caule e número de nós de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), referente a figura 2.

Característica	Unidade	Equações ajustadas	R ²
Diâmetro de caule (mm)	7 DAA	$\hat{Y} = 13,5005 - 0,0511x + 0,0003x^2$	0,90**
	14 DAA	$\hat{Y} = 14,6630 - 0,0619x + 0,0003x^2$	0,99**
	21 DAA	$\hat{Y} = 15,0819 - 0,0392x$	0,97**
	28 DAA	$\hat{Y} = 15,4252 - 0,0471x$	0,98**
Número de nós	7 DAA	$\hat{Y} = 12,1958 - 0,0468x$	0,97**
	14 DAA	$\hat{Y} = 17,4959 - 0,0067x - 0,0010x^2$	0,99**
	21 DAA	$\hat{Y} = 20,3897 - 0,0062x - 0,0015x^2$	0,99**
	28 DAA	$\hat{Y} = 1,0985 + 0,0138x - 0,00148x^2$	0,99**

Ao contrário do que foi observado nas plantas tratadas com o glyphosate, para o maturador trinexapac-ethyl pela análise de variância das características morfológicas, não houve interação entre as doses do maturador e o tempo de exposição das plantas. Sendo significativo apenas em função do tempo demonstrando o crescimento da planta em função de seu ciclo vegetativo, conforme Fig. 3 (A, B e C). De acordo com o tempo, foram observados aumento de 78% na altura de plantas (Fig.3 A), 13% no número de folhas (Fig. 3 B), 56% da área foliar (Fig. 3 C), 19% do diâmetro de caule (Fig. 4 A) e de 72% no número de nós (Fig. 2 B).

Zagonel e Ferreira (2013), constataram, resultados semelhantes a ausência de resposta ao trinexapac-ethyl nas características morfológicas de determinados híbridos de milho. A ausência ocorreu em razão do produto não ter afetado de forma substancial a altura de plantas e outras características morfológicas da planta. Também, Alvarez et al. (2007) verificaram que em alguns cultivares de arroz submetidos a reguladores vegetais em diferentes doses, não houve alterações nas características de crescimento. Esses dados reforçam que o efeito do trinexapac-ethyl é dependente do momento e da dose de aplicação (DUNAND, 2003) e cultivar (RAJALA e PELTONEN-SAINIO, 2001).

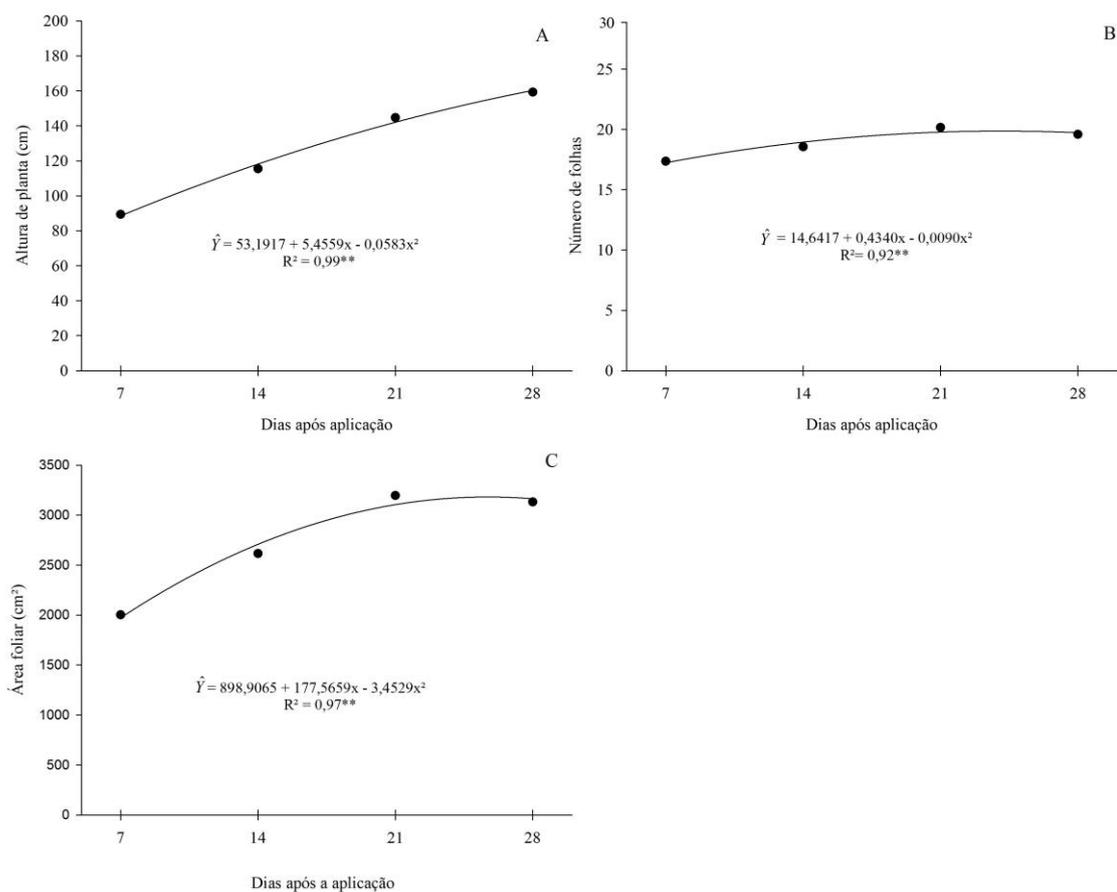


Figura 3. Altura de planta (cm) (A), número de folhas (B) e área foliar (cm²) (C) de plantas de girassol avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) do trinexapac-ethyl.

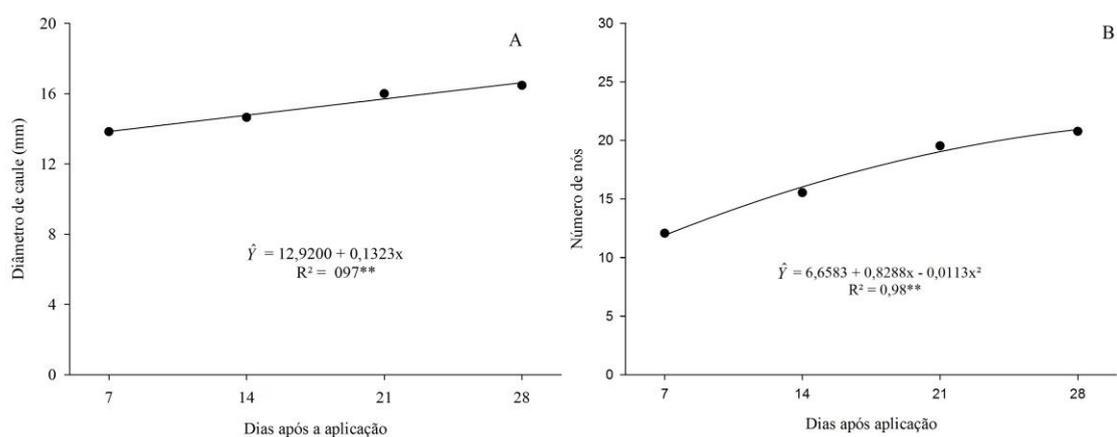


Figura 4. Diâmetro de caule (A) e número de nós (B) de plantas de girassol avaliadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) do trinexapac-ethyl.

Decorrentes da fitotoxidez ocasionada pelo glyphosate nas plantas de girassol foram notados sintomas de intoxicação a partir de 7 (DAA) (Fig. 5), danificando severamente as plantas. Maiores porcentagens de intoxicação foram observadas na dose

de 86,4 g e.a. ha⁻¹ em todos os tempos avaliados. No entanto, particularmente aos 14 (DAA), nas doses de até 28,8 g e.a. ha⁻¹ foram constatadas reduções na intoxicação (Fig. 5), só que essa possível recuperação não foi suficiente para evitar sintomas visuais, como, amarelecimento e cloroses com evolução para necroses (Fig. 6). Em adição, à redução na altura das plantas, nas formações do capítulo e morte do meristema apical caulinar (Fig. 7).

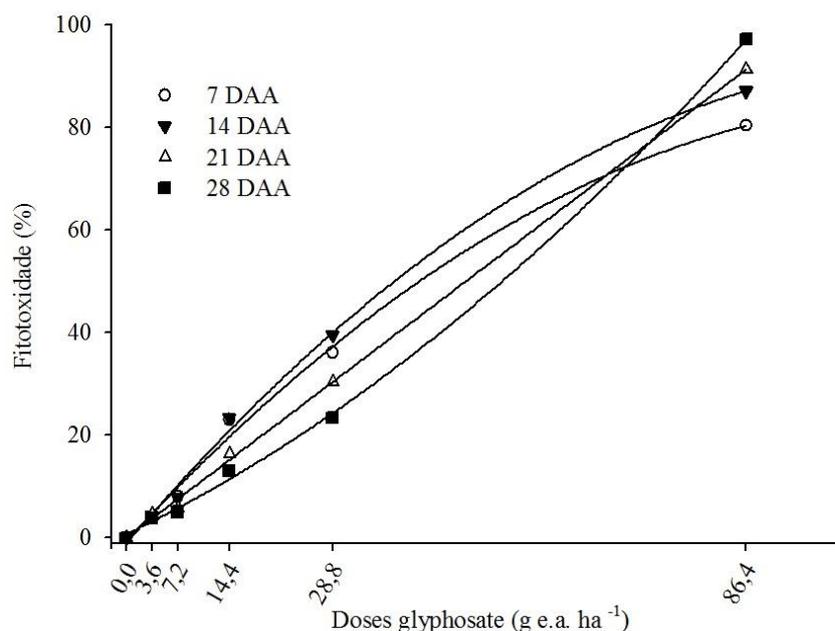


Figura 5. Fitotoxidade (%) em plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas em cinco diferentes tempos.

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para fitotoxidade de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate e avaliadas em cinco diferentes tempos, referente a figura 5.

Característica	Unidade	Equações ajustadas	R ²
Fitotoxidade (%)	7 DAA	$\hat{Y} = -0,6874 + 1,5115x - 0,0066x^2$	0,99**
	14 DAA	$\hat{Y} = -1,0744 + 1,6286x - 0,0070x^2$	0,99**
	21 DAA	$\hat{Y} = -0,0694 + 1,0571x$	0,99**
	28 DAA	$\hat{Y} = 0,6692 + 0,6721x + 0,0051x^2$	0,99**

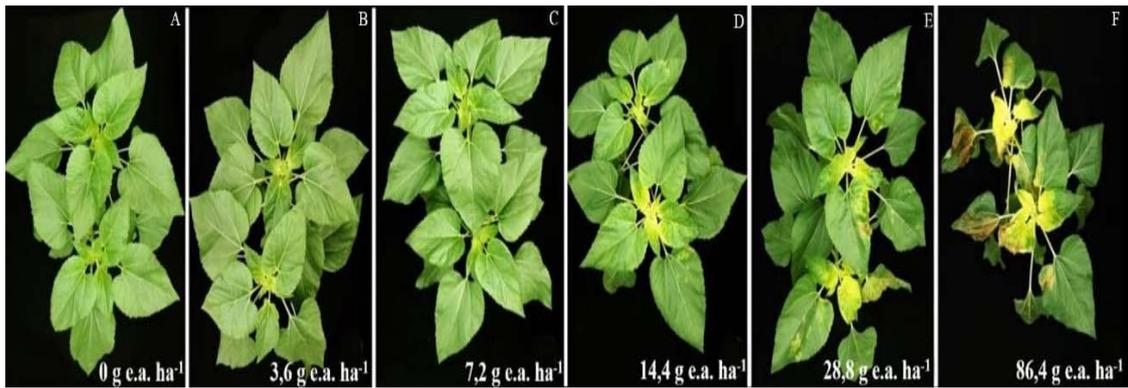


Figura 6. Sintomas visuais da parte aérea de plantas de girassol submetidas às diferentes doses do herbicida glyphosate aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos.

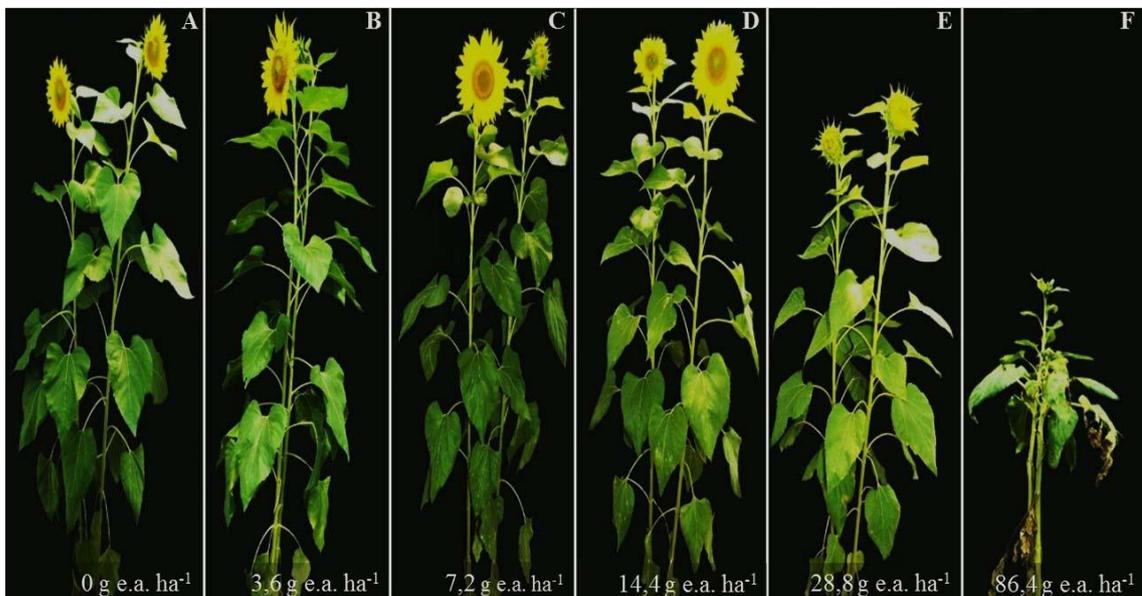


Figura 7. Sintomas visuais de plantas de girassol submetidas as diferentes doses do herbicida glyphosate aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos.

França (2009), por exemplo, estudando o efeito da aplicação de subdoses de glyphosate em plantas de café observou redução nos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, esses nutrientes são essenciais para o desenvolvimento da planta. Como as raízes de plantas sensíveis expostas a este herbicida se tornam afuncionais, possivelmente influenciará diretamente na absorção de água e nutrientes minerais, tais como os descritos acima. Reduções na concentração de nutrientes como nitrogênio induz a suscetibilidade das plantas ao estresse oxidativo. Isso ocorre principalmente pela malformação de clorofilas que necessitam de nitrogênio e magnésio em suas estruturas, na ausência destes induz o aparecimento de cloroses e necroses, principalmente de folhas em expansão, como evidenciado neste estudo.

Corroborando com os dados obtidos neste trabalho, sintomas de amarelecimento, seguidos de cloroses e necroses, também foram demonstrados em plantas de algodoeiro (Yamashita e Guimarães, 2006), sendo que a intoxicação ocorreu de forma mais rápida em plantas mais novas e na maior dose do glyphosate, que em alguns casos resultou na morte da planta. Evidentemente, assim como nos resultados morfológicos, as Figuras 8 e 9 mostram a ausência de sintomas das plantas de girassol submetidas ao trinexapac-ethyl, que possivelmente pode ter ocorrido pelas baixas concentrações do regulador aplicado. Maciel et al. (2010) relata que a aplicação de trinexapac-ethyl em grama esmeralda na dosagem de 250 g i.a. ha⁻¹ promoveu necrose nas bordas do limbo foliar, o que não foi observado nas testemunhas.

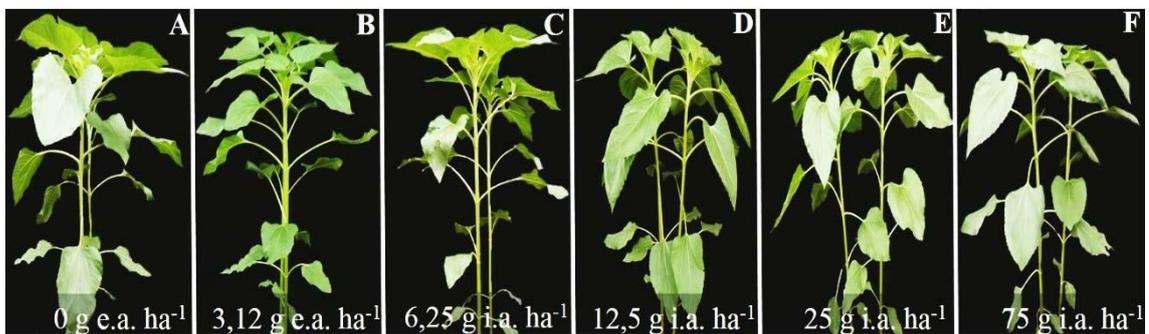


Figura 8. Sintomas visuais de plantas de girassol submetidas as diferentes doses do herbicida trinexapac-ethyl aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos.

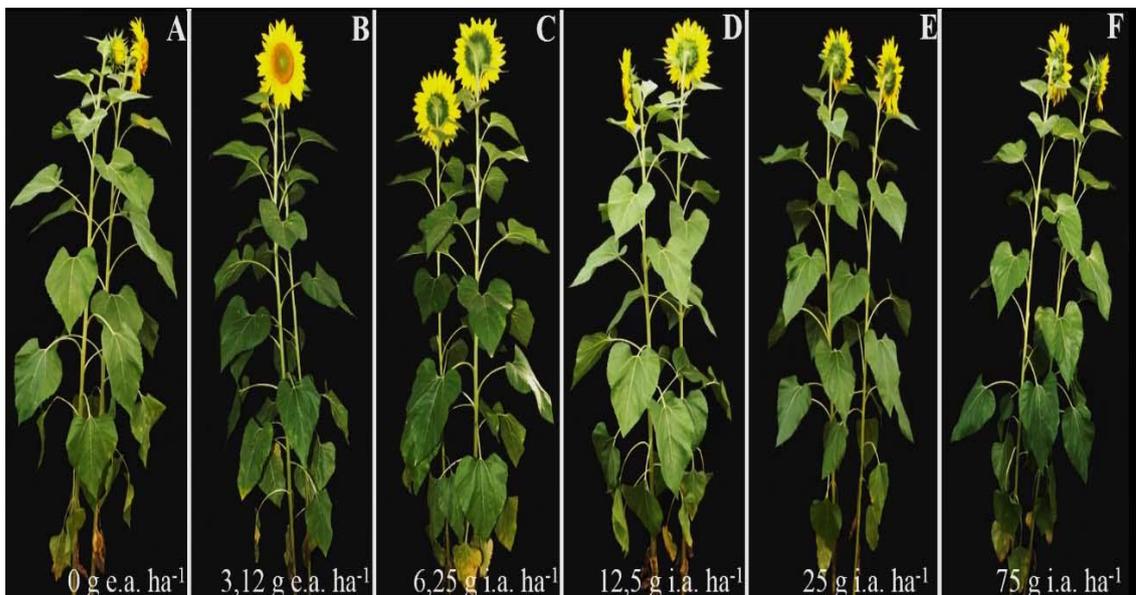


Figura 9. Sintomas visuais de plantas de girassol submetidas as diferentes doses do herbicida trinexapac-ethyl aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos.

O menor crescimento e desenvolvimento das plantas de girassol, em adição a maior fitotoxicidade pelo glyphosate, afetou diretamente a formação de biomassa.

Considerando a produção de matéria seca em folhas (Fig. 10 A), parte aérea (Fig. 10 B), caule (Fig. 10 C), raiz (Fig. 10 D), flores (Fig. 10 E) e matéria seca total (Fig. 10 F) de plantas de girassol avaliadas aos 28 (DAA) e tratadas com o maturador glyphosate, foram observados decréscimos de acordo com o aumento da dose. Essas reduções foram mais pronunciadas na dose de 86,4 g e.a. ha⁻¹. Diferentemente para as plantas de girassol tratadas com o maturador trinexapac-ethyl não foi constatado diferenças significativas entre os tratamentos, conforme Fig. 11 (A, B, C, D, E e F).

Essa redução na produção de matéria seca é decorrente, possivelmente, da morte acelerada dos meristemas radicular e caulinar causada pela toxidez do glyphosate. Além disso, é de conhecimento que o glyphosate inibe a via do chiquimato. Aproximadamente 20% do carbono fixado pelas plantas verdes estão presentes nesta via metabólica (CEDERGREEN e OLESEN, 2010), com grande quantidade de produtos finais, como vitaminas, ligninas, alcaloides, flavonoides e auxina, alterando a biomassa das plantas.

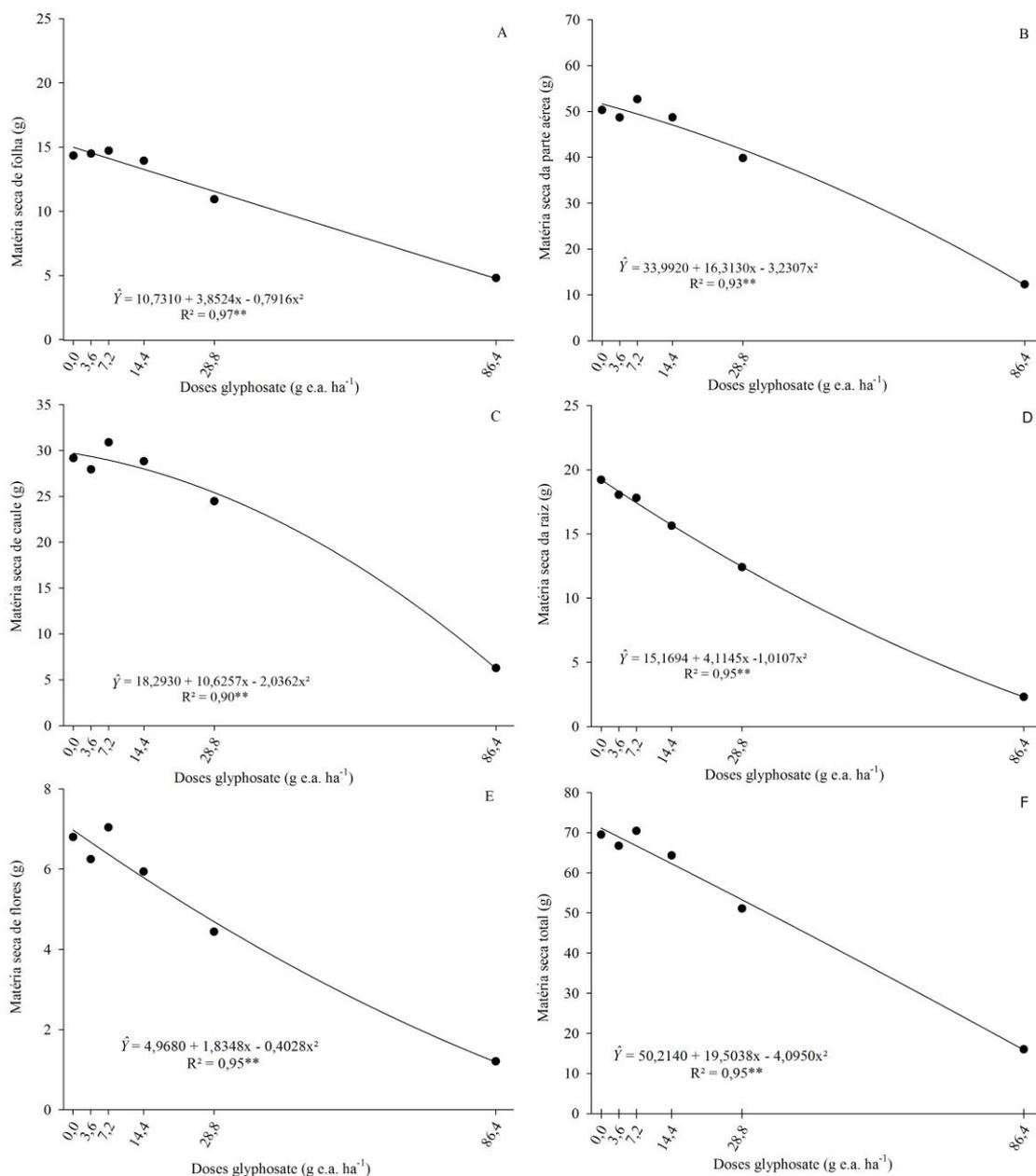


Figura 10. Matéria seca de folhas (g) (A), parte aérea (g) (B), caule (g) (C), raiz (g) (D), flores (g) (E) e matéria seca total (g) (F) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 28 dias após aplicação.

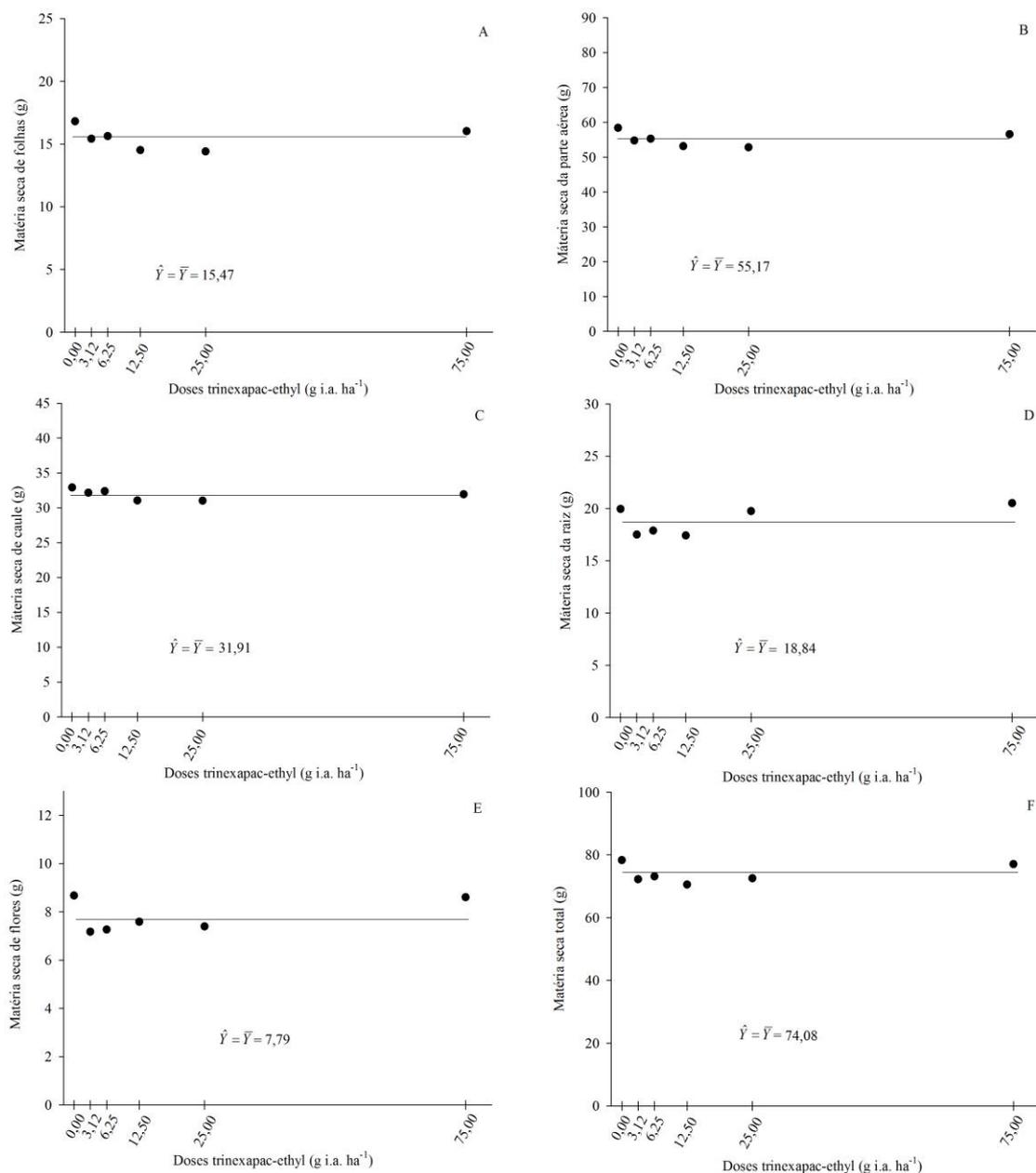


Figura 11. Matéria seca de folhas (g) (A), parte aérea (g) (B), caule (g) (C), raiz (g) (D), flores (g) (E) e matéria seca total (g) (F) de plantas de girassol submetidas a doses crescentes de trinexapac-ethyl aos 28 dias após aplicação.

4. Conclusão

Diante do exposto conclui-se que plantas de girassol possuem alta sensibilidade as baixas concentrações do glyphosate, como demonstrado pelas alterações na morfologia e na biomassa seca das plantas de girassol, com indução de fitotoxicidade visualizados nas plantas, não sendo evidenciado nas plantas tratadas com trinexapac-ethyl.

5. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, ao Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás e ao Instituto Federal Goiano, *Campus* Rio Verde, pelo apoio financeiro.

6. Referências Bibliográficas

ALAM (Asociación Latino americana de Malezas). Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, Bogotá, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C; OCHEUZE, P.C.; RODRIGUES, J.D.; ALVAREZ, A.C.C. Influência do etil- trinexapac no acúmulo, na distribuição de nitrogênio (15N) e na massa de grãos de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 1487-1496, 2007.

ALVES, G. M. R. et al. Avaliação do crescimento de girassol no semiárido sob diferentes densidades de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4., 2010, João Pessoa. **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 1181-1185.

CAPONE, A.; BARROS, H. B.; SANTOS, E. R.; SANTOS, A. F.; FERRAZ, E. C.; FIDELIS, R. R. Épocas de semeadura de girassol safrinha após milho, em plantio direto no cerrado tocantinense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p. 460-466, 2011.

CASARI, S. F. ; SILVA, A. F. ; FREITA, L. A. ; MUTTON, M. A. ; MUTTON, M. J. R. Qualidade do melaço de cana de açúcar bisada submetida à aplicação de maturador químico. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB** (Online), v. 6, p. 1, 2014.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. Girassol no Brasil. Londrina: **Embrapa Soja**, cap. 9, p.163-218, 2005.

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

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira, grãos, v.2 - SAFRA 2014/15 N.6 - Sexto Levantamento Março/2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 29 março 2015.

CRUZ, M. B.; ALVES, P. L. C. A.; KARAM, D.; FERRAUDO, A. S. Capim-colonião e seus efeitos sobre o crescimento inicial de clones de *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 391-401, 2010.

DUNAND, R. T. Influence of growth suppression on panicle growth, plant stature, and crop production in rice. In: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL MEETING PLANT GROWTH REGULATION SOCIETY OF AMERICA. LaGrange: **The Plant Growth Regulation Society of America**, p. 72, 2003.

ELEZOVIC, I.; DATTA, A.; VRBNICANIN, S.; GLAMOCLJIA, D.; SIMIC, M.; MALIDZA, G.; KNEZEVIC, S.Z. Yield and yield components of imidazolinone-resistant sunflower (*Helianthus annuus* L.) are influenced by pre-emergence herbicide

and time of post-emergence weed removal. **Field Crops Research**, v. 128, p. 137-146, 2012.

FRANÇA, A. C. Ação do glyphosate sobre o crescimento e teores de nutrientes em cultivares de café arábica. 2009. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009.

LOURENCETTI, C.; MARCHI, M. R. R.; RIBEIRO, M. L. Determination of sugar cane herbicides in soil and soil treated with sugar cane vinasse by solid-phase extraction and HPLC-UV. **Talanta**, v. 77, p. 701-709, 2008.

MACIEL, C. D. G.; POLETINE, J.P.; RAIMONDI, M. A.; RODRIGUES, M.; RIBEIRO, R. B.; COSTA, R. S.; MAIO, R. M. D. Desenvolvimento de gramados submetidos à aplicação de retardadores de crescimento em diferentes condições de luminosidade. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, 2011.

MALDANER, I.C.; HELDWEIN, A.B.; LOOSE, L.H.; LUCAS, D.D.P.; GUSE, F.I.; BERTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1356-1361, 2009.

MASTERS, B., ROHDE, K., GURNER, N., REID, D. Reducing the risk of herbicide runoff in sugarcane farming through controlled traffic and early-banded application. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 180, p. 29-39, 2013.

MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D.; TONIN, F.G.; CARBONARI, C.A. Alterações no metabolismo da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 113-119, 2012.

NAVES, V. L. Crescimento, distribuição de matéria seca, concentração de clorofila e comportamento estomático de mudas de três espécies florestais submetidas à diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa. **Dissertação** (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. MG, 1993.

NUNES, A.L.; VIDAL, R.A. Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais. **Revista ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 19, n. 1, p. 19-28, 2009.

RAJALA, A.; PELTONEN-SAINIO, P. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 936-943, 2001.

RAJALA, A. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in Northern growing conditions. **Dissertation** (Academic) – Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki, 2003.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. *Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais*, p. 359, 1999.

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

SILVA, L.; MARCHIORI, P.E.R.; MACIEL, C.P.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, R.V. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 965-972, 2010.

SIQUEIRA, G. F. Aplicação de boro e maturadores na pré-colheita da cana-de-açúcar em início e final de safra. **Tese de doutorado**, UNESP, Botucatu, 2014.

- SOUZA, R. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 125-133, 2010.
- TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 3, p. 215-221, 2010.
- YAMASHITA, O.M.; BETONI, J.R.; GUIMARÃES, S.C.; ESPINOSA M.M. Influência do glyphosate e 2,4-D sobre o desenvolvimento inicial de espécies florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 359-366, 2009.
- YAMASHITA, O.M.; GUIMARAES, S.C. Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: efeito de dose, cultivar e estágio de desenvolvimento. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, 2006.
- ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Rates and times of growth regulator application on corn hybrids. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, 2013.
- ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; YAMADA, T.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Effect of glyphosate on symbiotic N₂ fixation and nickel concentration in glyphosate-resistant soybeans. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 176-180, 2010.

CAPÍTULO II

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E NO CONTEÚDO DE CARBOIDRATOS DE PLANTAS DE GIRASSOL SUBMETIDAS A SUBDOSES DE GLYPHOSATE E TRINEXAPAC-ETHYL

RESUMO

A deriva de maturadores utilizados na cultura da cana-de-açúcar pode induzir efeitos nocivos em outras culturas cultivadas paralelamente à lavoura canavieira. Dentre estas, o girassol cultivado na safrinha pode ser alvo da aplicação de maturadores e ter seu crescimento e produtividade afetados pela deriva. Objetivou-se nesta pesquisa avaliar, se a deriva dos maturadores trinexapac-ethyl e glyphosate promovem alterações no metabolismo fotossintético de plantas de girassol. Dois ensaios foram realizados para avaliar o efeito destes produtos nas trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, pigmentos cloroplastídicos, permeabilidade de membranas, conteúdo de açúcares e de ácido chiquímico e concentração de malondialdeído das plantas tratadas. No primeiro ensaio testou-se o glyphosate nas subdoses de 0 (controle); 3,6; 7,2; 14,4; 28,8 e 86,4 g e.a. ha⁻¹ e no segundo o trinexapac-ethyl nas subdoses de 0 (controle), 3,12; 6,25; 12,50; 25 e 75 g i.a. ha⁻¹. O regulador vegetal trinexapac-ethyl não promoveu alterações no metabolismo fotossintético das plantas. No entanto, o glyphosate ocasionou danos ao aparato fotossintético, redução na concentração de carboidratos e pigmentos cloroplastídicos, com eventuais danos às membranas celulares, sendo estes efeitos intensificados com o aumento das doses. Os efeitos do glyphosate foram evidenciados pelo aumento da concentração de ácido chiquímico, proveniente do seu mecanismo de ação. Nas dosagens utilizadas as plantas de girassol são fisiologicamente tolerantes a deriva do trinexapac-ethyl e sensíveis ao glyphosate.

Palavras-chave: Giberelina, EPSPs, Fotossistema II, Eficiência fotoquímica.

ABSTRACT

The maturing of drift used in the culture of cane sugar can induce harmful effects on other crops grown in parallel with sugarcane plantations. Among these, sunflower grown in the off-season can be targeted application of maturing and have their growth and productivity affected by drift. The objective of this research was to evaluate if the drift of ethyl-trinexapac and glyphosate maturing promote changes in photosynthetic metabolism of sunflower plants. Two trials were carried out to evaluate the effect of these products in the gas exchange, chlorophyll fluorescence, chloroplastid pigments, membrane permeability, sugar content and shikimic acid and malondialdehyde concentration in the treated plants. In the first experiment tested the glyphosate in doses of 0 (control); 3.6; 7.2; 14.4; 28.8 and 86.4 g ae ha⁻¹ and in the second the trinexapac-ethyl at doses of 0 (control) 3.12; 6.25; 12.50; 25 and 75 g ai ha⁻¹. Ethyl-trinexapac growth regulator did not change the photosynthetic metabolism of plants. However, glyphosate caused damage to the photosynthetic apparatus, reduction in the carbohydrate concentration and chloroplastid pigments, with casual damage to cell membranes being these effects intensified with increasing doses. The effects of glyphosate were evidenced by the increased concentration of shikimic acid, derived from its mechanism of action. In the used dosages sunflower plants are physiologically tolerant to derived from ethyl-trinexapac, and sensitive to glyphosate drift.

Key words: Gibberellin, EPSPs, Photosystem II, Photochemical efficiency.

1. Introdução

Culturas energéticas têm se expandido significativamente no Brasil nos últimos anos (Mello et al., 2015). Entre 2005 e 2015, aproximadamente 2,98 milhões de hectares de cana-de-açúcar foram adicionados, elevando a área cultivada para 9,07 milhões de hectares (CONAB, 2015). A alta produtividade e o aumento da área cultivada desta cultura têm se destacado como a principal fonte de energia renovável no Brasil (EPE, 2013), em adição ao potencial de utilização na produção de combustível e açúcares.

O aumento da produtividade canavieira se deve entre outros fatores, a utilização de maturadores vegetais, sendo essa prática cada vez mais comum no setor sucroalcooleiro (Fioreze e Rodrigues, 2014). Esses maturadores são comumente aplicados via pulverização aérea (Ferreira, 2014). Dessa forma, a ocorrência de deriva desses produtos, podem ocasionar possíveis alterações no desenvolvimento de plantas não alvo, cultivadas paralelamente.

Estudos sobre o impacto da deriva de herbicidas e de maturadores em diversas culturas têm sido uma crescente preocupação científica (Bassa *et al.*, 2011). No entanto, pesquisas relacionadas aos efeitos de maturadores em culturas não alvo, em razão do avanço no setor sucroalcooleiro, ainda são incipientes. A detecção de alterações no desenvolvimento de plantas adjacentes, em função da deriva desses produtos, pode servir de alerta a pressupostos erros na tecnologia de aplicação.

Entre os maturadores químicos utilizados com frequência na cultura da cana-de-açúcar se destacam o regulador vegetal trinexapac-ethyl e o herbicida glyphosate. O mecanismo de ação do glyphosate se baseia na inibição específica da enzima EPSPs, evitando, a síntese de três aminoácidos aromáticos essenciais: triptofano, fenilalanina e tirosina (Geiger et al., 1986). A inibição dessa enzima, afeta a rota metabólica do ácido chiquímico, responsável pela formação dos compostos fenólicos, que podem representar até 35% da biomassa vegetal (Gomes, 2011).

O trinexapac-ethyl promove a redução acentuada do caule, conseqüentemente, altura de plantas, por meio da inibição da biossíntese de giberelina (Rajala, 2002). Esse regulador atua desde a GA12-aldeído, inibindo a partir deste a síntese de giberelinas de eficiência biológica, como: GA1 e GA3. Essa redução no nível de ácido giberélico ou na sua sensibilidade, com concomitante redução na altura de planta é importante para a indução de tolerância a estresses em cereais (Korol e Klein, 2002).

Dentre as metodologias disponíveis atualmente para mensurar de forma rápida e precisa os efeitos nocivos da deriva de agrotóxicos em plantas, destacam-se a utilização de variáveis morfológicas e fisiológicas. As medidas da emissão da fluorescência da clorofila *a* e a estimativa da concentração de clorofila têm sido utilizadas para obter informações qualitativas e quantitativas sobre o processo fotossintético, com a vantagem de serem determinações rápidas (Corrêa e Alves, 2010).

Catunda et al., (2005), por exemplo, constataram que o herbicida amicarbazone promoveu o declínio na concentração de pigmentos fotossintéticos de folhas de abacaxi. No entanto, diuron + paraquat foi letal para a cultura, haja vista a redução nos valores de clorofila *a* e *b* e carotenoides, concluindo que o tratamento diuron + paraquat causou maiores danos ao aparelho fotossintético das plantas. O uso de variáveis fisiológicas e bioquímicas se torna de suma importância em espécies de interesse comercial cultivadas em áreas próximas à cultura da cana-de-açúcar, tendo-se em vista o aumento da aplicação de maturadores na cultura.

Na região do Cerrado, destaca-se entre as culturas cultivadas próximas às lavouras canavieiras e cujo período de cultivo coincide com a época de aplicação de maturadores, a cultura do girassol. Esta cultura se sobressai principalmente na produção de biodiesel (Del Gatto et al., 2015) e pode ser explorada também para diversos fins, como: óleo comestível, alimentação animal, como silagem ou no preparo de rações, e rotação de cultivos para aumento da produtividade de culturas como milho e algodão (PORTO et al., 2007). Ademais, é facilmente cultivada em diferentes condições e solos (Kaya e Kolsarici, 2011; Lopez-Valdez et al., 2011) pela plasticidade fenotípica que apresenta, principalmente em virtude da tolerância à deficiência hídrica.

Diante do exposto foi investigada nesta pesquisa a hipótese de que plantas de girassol são sensíveis a subdoses dos maturadores ethyl-trinexapac e glyphosate utilizados na cultura canavieira, e a sensibilidade pode ser mensurada por meio de avaliações de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, carboidratos, pigmentos cloroplastídicos e, danos às membranas celulares. Assim, objetivou-se avaliar as alterações no metabolismo fotossintético de plantas de girassol submetidas à deriva simulada dos maturadores trinexapac-ethyl e glyphosate.

2. Material e métodos

2.1 Material vegetal e as condições experimentais

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação climatizada, no Instituto Federal Goiano, *Campus* Rio Verde – GO, Brasil, durante os meses de outubro de 2013 a janeiro de 2014. A umidade na casa de vegetação climatizada variou entre 60 a 75% e a temperatura oscilou entre 22 a 29°C.

Plantas de girassol foram cultivadas em vasos de polietileno contendo 8 kg de substrato obtido a partir da mistura de uma parte de areia com duas partes de solo do tipo Latossolo Vermelho distroférrico. O substrato possuía as seguintes características, de acordo com a análise química do solo: pH em H₂O de 4,7; 2,6 mg dm⁻³ de P; 14 mg dm⁻³ de K; 0,75 cmolc dm⁻³ de Ca; 0,22 cmolc dm⁻³ de H⁺ Al; 13 g kg⁻¹ de matéria orgânica e 24,4% de saturação por bases. A correção e adubação do substrato foram realizadas de acordo com a análise do solo e as exigências nutricionais da cultura (RIBEIRO et al., 1999). As irrigações foram realizadas frequentemente de acordo com a necessidade da cultura. Sendo que foram utilizadas duas plantas por vaso padronizadas quanto ao tamanho e vigor.

2.2 Imposições dos tratamentos

Foram conduzidos dois experimentos independentes, sendo o primeiro para a avaliação do efeito do maturador glyphosate (480 g L⁻¹ do equivalente ácido) e o outro para o regulador trinexapac-ethyl (250 g L⁻¹ do ingrediente ativo). Como tratamentos para cada produto foram utilizadas as seguintes doses: glyphosate 0 (controle); 3,6; 7,2; 14,4; 28,8 e 86,4 g e.a. ha⁻¹ e trinexapac-ethyl 0 (controle), 3,12; 6,25; 12,50; 25 e 75 g i.a. ha⁻¹. As aplicações foram realizadas aos 30 dias após a emergência, utilizando um pulverizador costal (Herbicat[®] Catanduva, Brasil) com pressão constante mantida por CO₂ comprimido, munido de uma barra com quatro pontas de pulverização e bico (Teejet), tipo leque modelo XR110 02. A pressão de serviço utilizada foi de 5 kgf cm⁻², proporcionando um volume de calda de 180 L ha⁻¹.

2.3 Avaliações fisiológicas

As avaliações de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas aos 1, 7, 14 21 e 28 dias após a aplicação dos maturadores, sempre em uma folha completamente expandida. Já as avaliações de carboidratos, pigmentos cloroplastídicos, conteúdo de malondialdeído (MDA), taxa de liberação de eletrólitos

(TLE) e ácido chiquímico foram realizadas aos 28 dias após à aplicação dos maturadores.

2.3.1 Avaliações de Trocas gasosas

As medições de trocas gasosas foram realizadas no período de 7 às 10 horas da manhã, para registro da taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiratória (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e da relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a). Foi utilizado analisador de gases no infravermelho (IRGA), modelo LI-6400XTR (Licor[®]/Nebraska, Estados Unidos), acoplado a uma fonte de luz artificial incidindo a densidade de fluxo de fótons igual a $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

2.3.2 Medições de fluorescência de clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* foi realizada utilizando fluorômetro portátil modulado modelo MINI-PAM (Walz[®], Effeltrich, Germany), equipado com pinça especial para suporte da folha modelo 2030-B (BILGER et al., 1995; RASCHER et al., 2000). O rendimento quântico potencial do fotossistema II (F_v/F_m) foi calculado após 30 minutos de adaptação ao escuro (VAN e SNEL 1990). O rendimento quântico efetivo do fotossistema II ($\Delta F/F_m'$) foi determinado por meio da sobreposição de pulso de saturação em folhas previamente adaptadas à luz ambiente (GENTY et al., 1989). O $\Delta F/F_m'$ foi utilizado para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), (BILGER et al., 1995; LAISK e LORETO, 1996) e o coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ) foi calculado segundo Bilger e Bjorkman (1990).

2.3.3 Carboidratos

Método de extração

Foram determinados os açúcares redutores, açúcares não redutores, açúcares solúveis totais e amido. Amostras de 1,0 g de folhas frescas foram transferidas para frascos âmbar com volume de 25 ml e em seguida, foram totalmente cobertas com etanol 80%, previamente aquecido até a temperatura de 65 - 70°C. Após 30 minutos em temperatura ambiente, os frascos foram transferidos para geladeira. A extração dos açúcares foi realizada por meio da maceração das amostras em etanol 80%, seguido de três filtragens sucessivas. O filtrado obtido foi completado com etanol 80% e, os resíduos após a secagem, foram utilizados para a obtenção do amido. A determinação dos açúcares redutores, açúcares solúveis totais e amido foram realizadas por meio de

leitura dos extratos em espectrofotômetro UV – VIS modelo Evolution 60S (Thermo Fischer Scientific[®], Madison, Estudos Unidos).

Determinação de açúcares redutores, solúveis totais, não redutores e amido

Os açúcares redutores foram determinados conforme método do ácido dinitrosalicílico, segundo Miller, (1959), ao comprimento de onda de 540 nm, utilizando uma curva padrão de glicose (1%) de intervalo de 0 a 40 µg. Para os açúcares solúveis totais foi empregado o método fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956), ao comprimento de onda de 490 nm, utilizando uma curva padrão de sacarose (1%) de intervalo de 0 a 50 µg. Com base nos resultados de açúcares totais e açúcares redutores foi estimado a concentração de açúcares não redutores. A concentração de amido foi realizada segundo Mc Cready et al. (1950) ao comprimento de onda de 490 nm, utilizando uma curva padrão de sacarose (1%) de intervalo de 0 a 50 µg.

As análises foram realizadas em triplicatas e, a partir dos valores, foram efetuados os cálculos e os resultados expressos em porcentagem (%), utilizando a equação proposta por Nelson (1944) e Somogy (1945).

2.3.4 Pigmentos Cloroplastídicos

Foi determinado por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com CaCO₃, mediante ajustes da metodologia descrita por Kuki et al., (2005). Três discos foliares de peso fresco conhecido com 5 mm de diâmetro foram incubados em DMSO em frascos âmbar vedados e envolvidos com papel alumínio pelo período de 24 horas sob temperatura de 65°C. Posteriormente a absorvância do extrato foi determinada por meio do espectrofotômetro UV – VIS modelo Evolution 60S (Thermo Fischer Scientific[®], Madison, Estudos Unidos). Os comprimentos de ondas e as equações para o cálculo das concentrações de Clorofila *a*, *b* e carotenoides, clorofila total e razão *Cl_a/Cl_b* foram baseados no trabalho de Wellburn (1997).

2.3.5 Concentração de malondialdeído (MDA) e taxa de liberação de eletrólitos

Amostras de 0,15 g de folhas foram trituradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 2,0 mL de ácido tricloroacético (TCA) 0,1% (m/v), seguido de filtração através de quatro camadas de gazes e da centrifugação a 10.000xg por 15 min a 4°C. Para a reação, alíquota de 0,5 mL do sobrenadante foi adicionada a 1,5 mL de solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,5% (m/v) em TCA 20% (m/v). Os tubos foram fechados e incubados em banho-maria a 95°C por 30 min. A reação foi paralisada em

banho de gelo por 1 min e centrifugado a 9.000xg por 4 min a 25°C. A absorvância foi medida a 600 e 440 nm. A concentração do complexo aldeído malônico-TBA foi obtida mediante subtração das absorvâncias e da utilização do coeficiente de absorvidade molar de 155 mM⁻¹ cm⁻¹ (Hodges 1999), sendo os resultados expressos em nmol g⁻¹ de massa fresca.

A permeabilidade de membranas foi avaliada pela taxa de liberação de eletrólitos (TLE) de 15 discos de folhas imersos em 30 mL de água desionizada em frascos âmbar, segundo a metodologia descrita por Vasquez-Tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002).

2.3.6 Ácido chiquímico

Método de extração

Foram coletados oito discos foliares de seis mm (\pm 25 mg) da segunda folha abaixo do meristema apical de cada planta. As amostras coletadas foram congeladas e armazenadas em nitrogênio líquido até o momento da extração. A extração do extrato bruto foi realizada conforme método descrito por Singh e Shaner (1998), com modificações. As amostras congeladas foram maceradas em microtubos contendo tampão HCl (0,25N), na relação 1:10 [peso do tecido (g) / volume de HCl 0,25 N (mL)]. O extrato obtido foi centrifugado a velocidade de 15.000xg, em temperatura de 4°C durante 25 minutos. Após este período, coletou-se o sobrenadante, que foi utilizado para determinação de ácido chiquímico.

Determinação de ácido chiquímico

Foi efetuada segundo metodologia proposta por Gaitonde e Gordon (1957) e Perez-Jones et al. (2005) com modificações. Foi coletada a alíquota de 30 μ L do sobrenadante, transferido para microtubos, sendo adicionados 500 μ L de solução a 1% de ácido periódico. Os microtubos foram fechados e incubados em banho-maria a 37°C por 45 min. Após esse período, acrescentou-se 500 μ L de hidróxido de sódio (1 N) e 300 μ L de glicina (0,1 M). Em seguida, foram realizadas as leituras a 380 nm, em espectrofotômetro UV – VIS modelo Evolution 60S (Thermo Fischer Scientific®, Madison, Estados Unidos). A concentração de ácido chiquímico foi obtida mediante utilização do coeficiente de absorvidade molar de 4,76x10⁴ mM⁻¹ cm⁻¹ (Gaitonde e Gordon, 1957), sendo os resultados expressos em mg g⁻¹ de Massa Fresca, as análises foram realizadas em triplicatas.

2.4 A análise estatística

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em bloco ao acaso, em arranjo de parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas as doses de glyphosate ou trinexapac-ethyl e nas subparcelas os tempos de avaliações, com cinco repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ajustados aos modelos de regressão. As análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* SISVAR versão 5.3.

3. Resultados

Parâmetros fotossintéticos

De modo geral, as variáveis fotossintéticas responderam de forma contrastante, aos tratamentos impostos, sendo que para o regulador de crescimento trinexapac-ethyl não houve efeitos significativos entre as doses utilizadas e o tempo após aplicação. Para as variáveis avaliadas prevaleceram nos dias 1 aos 28 DAA as seguintes médias: A ($\hat{Y} = \bar{Y} = 20,3990 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), g_s ($\hat{Y} = \bar{Y} = 0,5662 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), E ($\hat{Y} = \bar{Y} = 1,5664 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e C_i/C_a ($\hat{Y} = \bar{Y} = 0,6379$). No entanto, para o glyphosate houve diferenças significativas entre as doses, bem como entre os dias após aplicação (DAA) do herbicida. Como as interações para esses fatores foram significativas, são mostradas as taxas de trocas gasosas para as doses em função dos DAA (Figura 1 A-D). Tanto a taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s) e transpiratória (E) reduziram com o aumento das doses e ao passar dos dias, com exceção da relação C_i/C_a que aumentou em função do aumento das doses e dos períodos após aplicação.

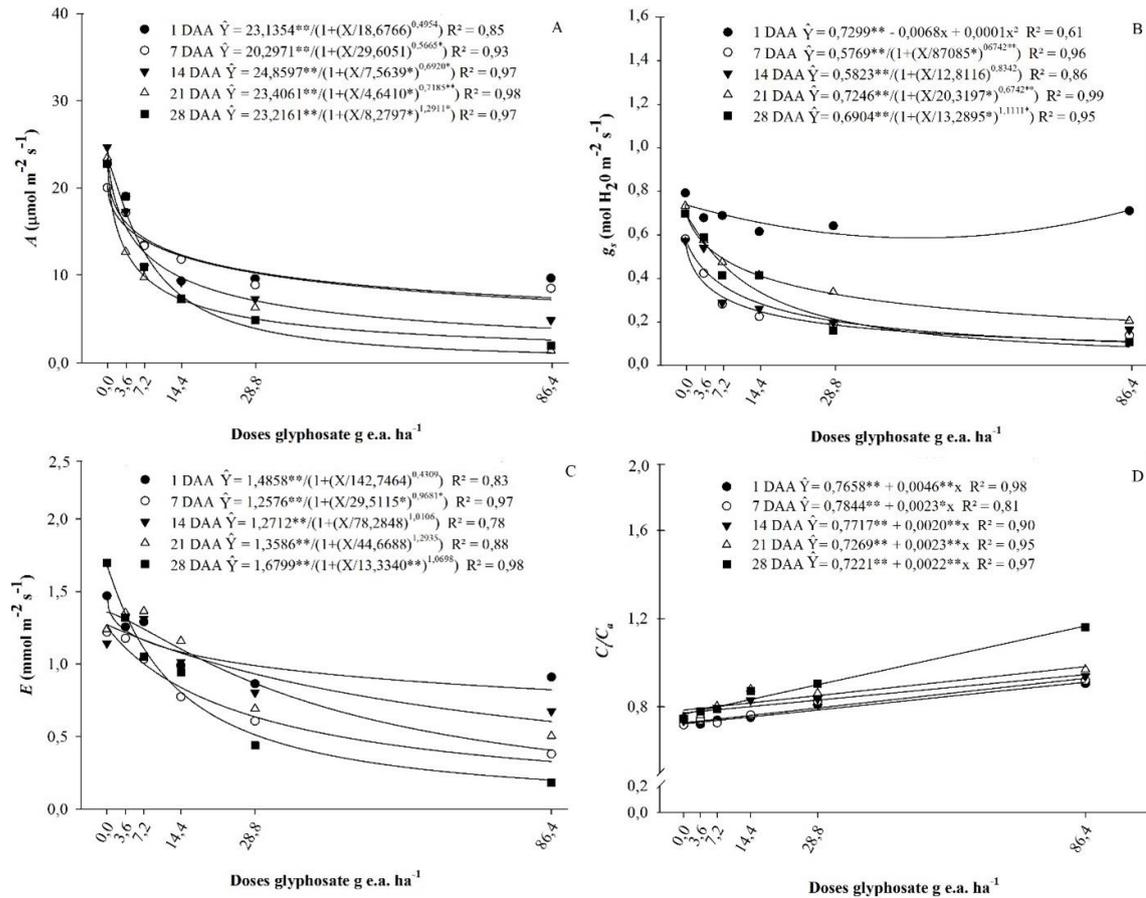


Figura 1. Taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), taxa transpiratória (E) e relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de glyphosate (A-D) e avaliadas em diferentes tempos.

Assim como observado nas trocas gasosas, para as características da fluorescência da clorofila *a*, o regulador de crescimento trinexapac-ethyl não demonstrou efeitos significativos entre as doses utilizadas e o tempo após aplicação. Para as variáveis avaliadas prevaleceram nos dias 1 aos 28 DAA as seguintes médias: F_v/F_m ($\hat{Y} = \bar{Y} = 0,8535$), $\Delta F/F_m'$ ($\hat{Y} = \bar{Y} = 0,3720$), ETR ($\hat{Y} = \bar{Y} = 106,7434$) e NPQ ($\hat{Y} = \bar{Y} = 0,64786$). Nas plantas submetidas ao glyphosate foram notadas reduções na eficiência quântica máxima do FSII (F_v/F_m), eficiência quântica efetiva do FSII ($\Delta F/F_m'$) e na taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) (Figura 2 A – D). Reduções mais pronunciadas ocorreram aos 21 e 28 DAA para a relação F_v/F_m , e a partir dos 7 DAA para as variáveis $\Delta F/F_m'$ e ETR . Estas modificações resultaram em aumento no fluxo de energia dissipada na forma de calor (*não fotoquímica*), como observado pelos valores mais pronunciados do NPQ a partir dos 14 DAA.

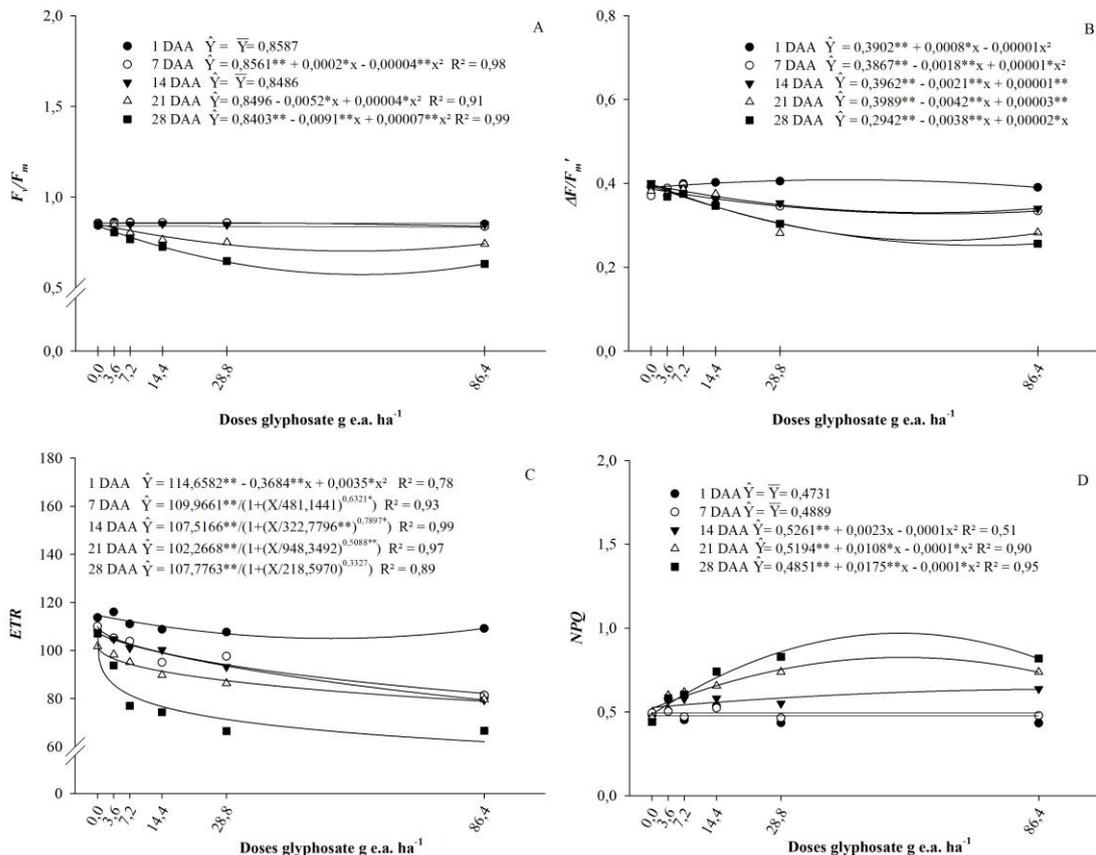


Figura 2. Rendimento quântico máximo (F_v/F_m), e rendimento quântico efetivo do FSII ($\Delta F/F_m'$), taxa de transporte de elétrons (ETR) e quenching não fotoquímico (NPQ) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de glyphosate (A-D) e avaliadas em diferentes tempos.

Concentração de carboidratos

Nas plantas tratadas com o trinexapac-ethyl não foram observadas alterações nas características de açúcares solúveis totais, açúcares redutores, açúcares não redutores e amido (Figura 3). Já em função do tratamento com o glyphosate a concentração de açúcares e amido foi significativamente menor correspondendo a redução na maior dose de 72% para açúcares solúveis totais, 71% açúcares redutores, 73% açúcares não redutores e de 92% para o amido (Figura 4 A – D), quando comparado com o controle.

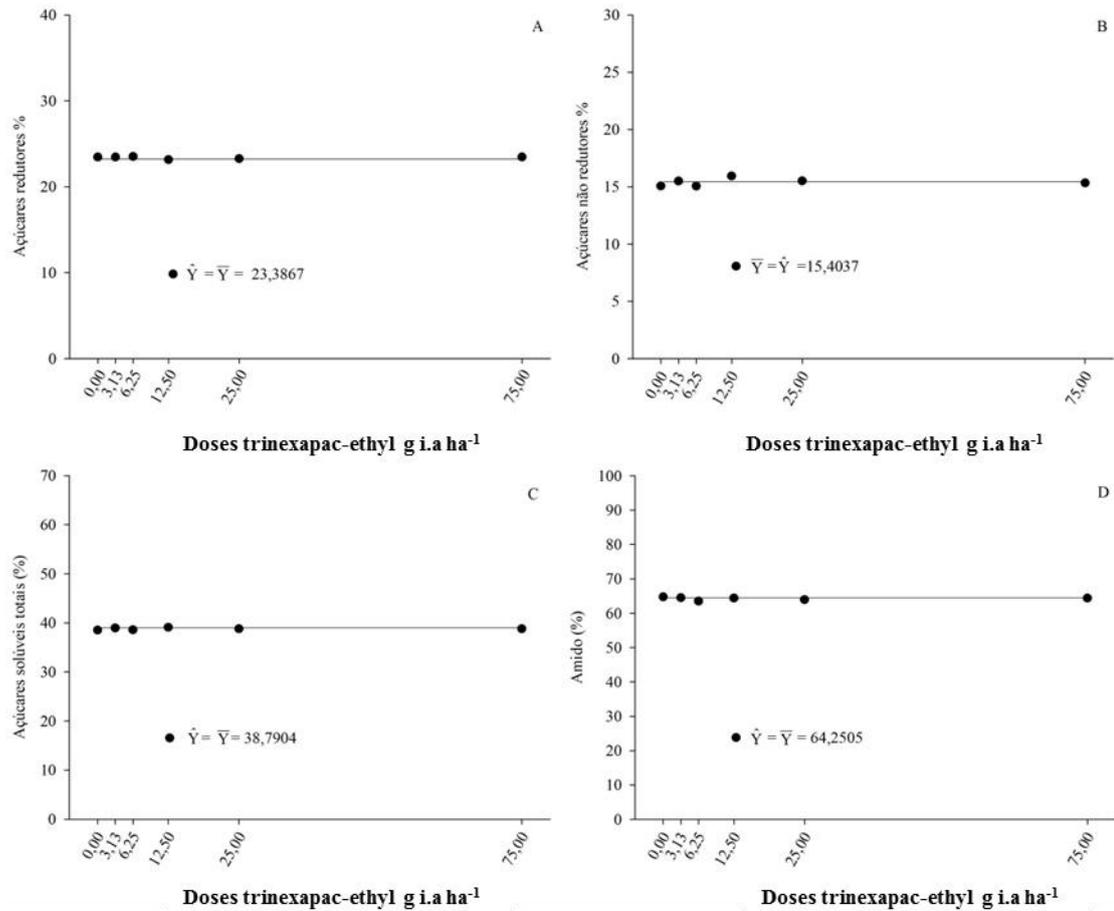


Figura 3. Açúcares solúveis totais (A), açúcares não redutores (B), Açúcares redutores (C) e amido (D) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de trinexapac-ethyl aos 28 DAA.

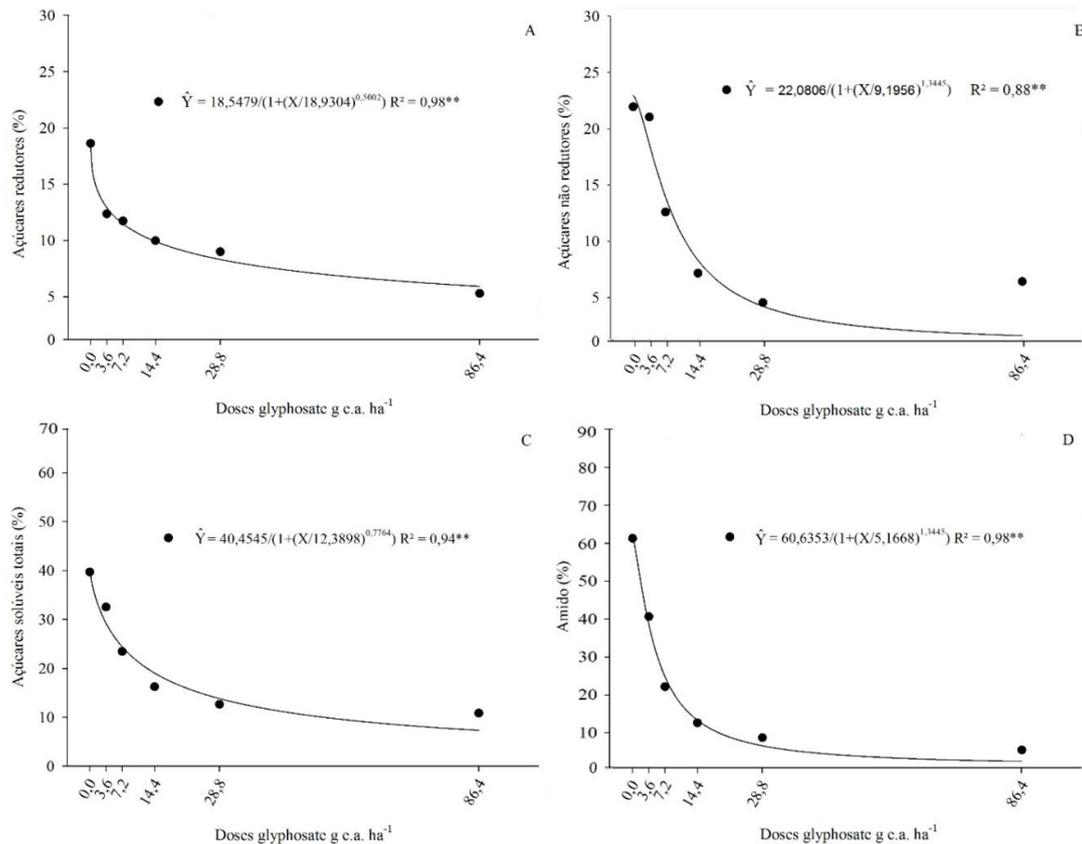


Figura 4. Açúcares solúveis totais (A), açúcares não redutores (B), açúcares redutores (C) e amido (D) de plantas de girassol tratadas com doses crescentes de glyphosate aos 28 DAA.

Concentração de pigmentos cloroplásticos

Assim como nas demais características analisadas, o etil-trinexapc não promoveu reduções significativas na concentração de pigmentos cloroplásticos (Figura 5 A-C) e (Figura 7 A e B). Já para o glyphosate foram observadas reduções na concentração de clorofila *a* (Figura 6 A), clorofila *b* (Figura 6 B), clorofila total (Figura 6 C) e carotenoides (Figura 8 A). Por exemplo, na maior dose 86,4 g e.a. ha⁻¹ a concentração de *Cla* diminuiu cerca de 45%, *Clb* 38%, clorofila total 43% e carotenoides 63%, quando comparado ao controle. Para a razão clorofila *Cla/Clb* (Figura 8 B) não foram observados efeitos significativos.

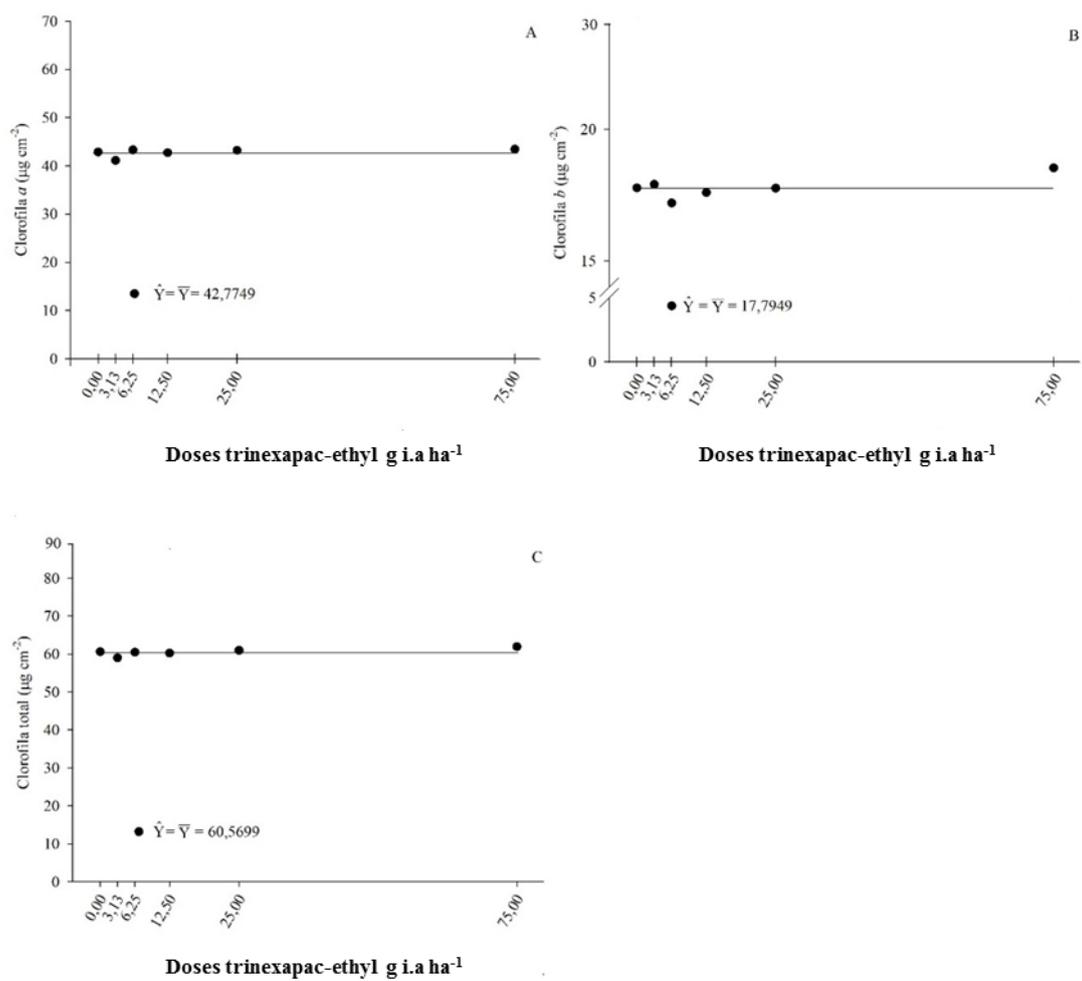


Figura 5. Concentração de clorofila *a*, clorofila *b*, e clorofila total de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do trinexapac-ethyl e avaliadas aos 28 DAA.

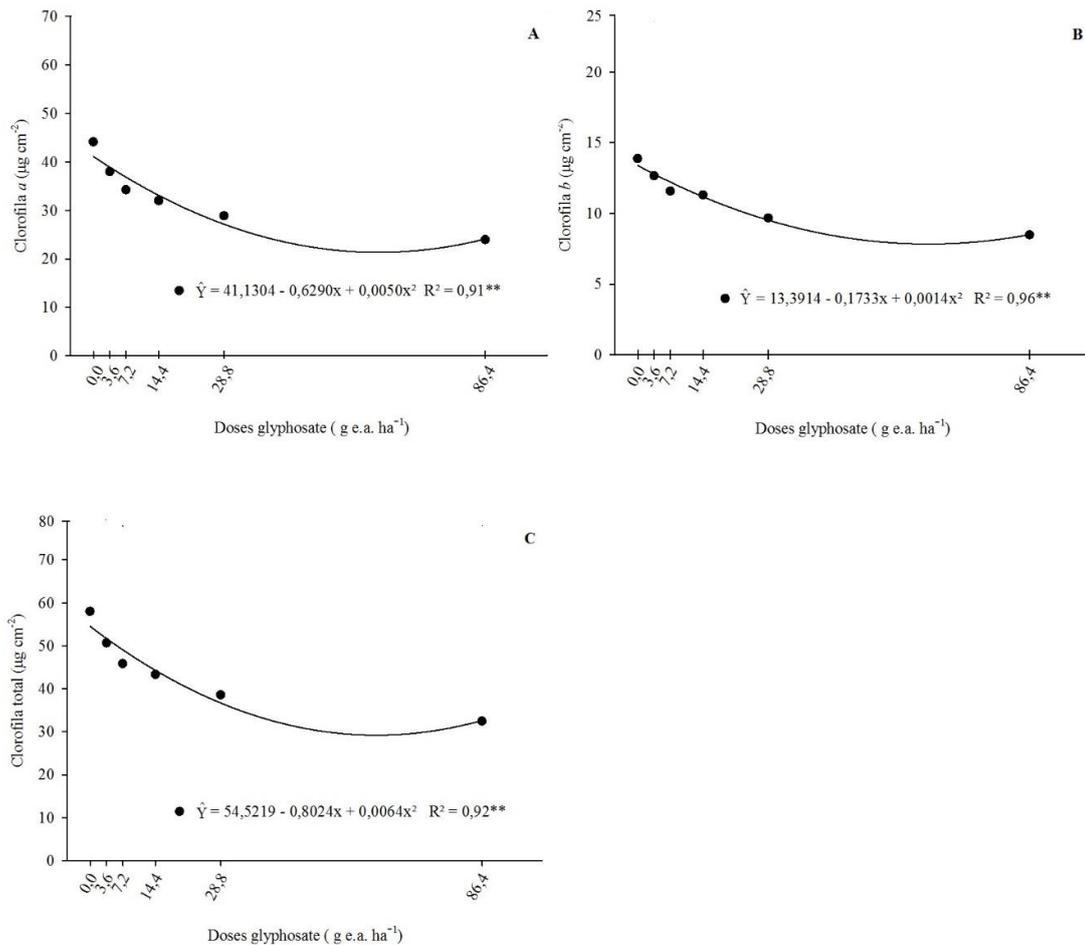


Figura 6. Concentração de clorofila a, clorofila b, e clorofila total de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate e avaliadas aos 28 DAA.

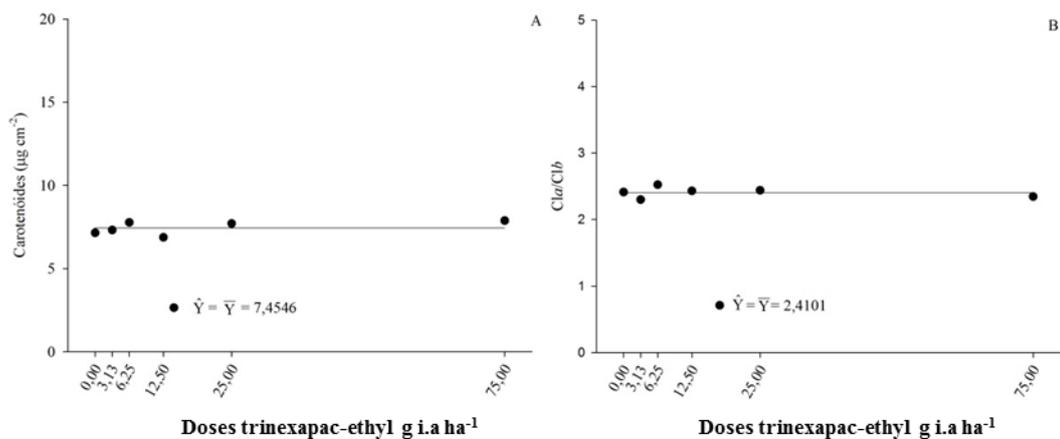


Figura 7. Concentração de carotenóides e razão Cl a/Cl b de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do trinexapac-ethyl e avaliadas aos 28 DAA.

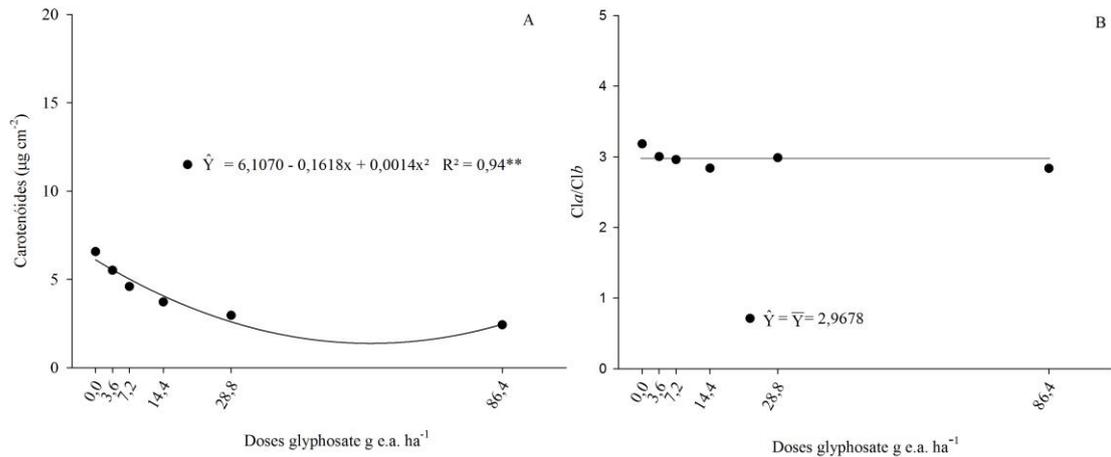


Figura 8. Concentração de carotenoides e razão Cl a/Cl b de plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate e avaliadas aos 28 DAA.

Determinação de danos celulares

As espécies reativas de oxigênio (EROs) em altas concentrações danificam constituintes celulares, sendo o MDA um composto estável formado pela peroxidação de lipídios. Neste estudo, plantas submetidas ao tratamento com o trinexapac-ethyl não foram notados aumento no MDA (Figura 9 B). Por conseguinte, o tratamento com o glyphosate influenciou significativamente sobre a concentração de MDA das plantas de girassol (Figura 9 A), sendo observado na maior dose aumento de 180%, comparado com plantas controle.

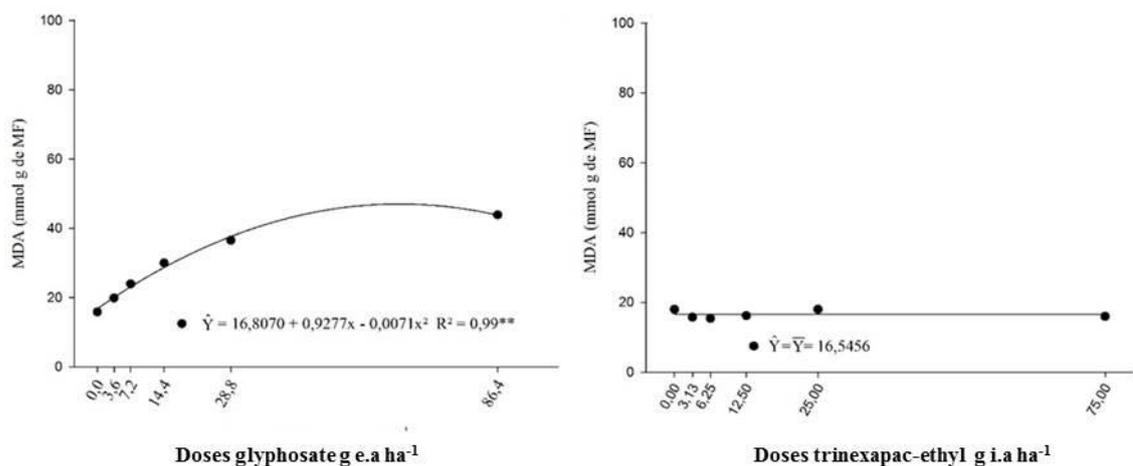


Figura 9. Concentrações de malondialdeído (MDA) em plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate (A) e trinexapac-ethyl (B) e avaliadas aos 28 DAA.

Semelhante ao observado para o MDA, não houve aumento na taxa de liberação de eletrólitos em plantas tratadas com o trinexapac-ethyl (Figura 10 B). No

entanto, a alteração na concentração de MDA nas plantas tratadas com glyphosate culminou no aumento da TLE (Figura 10 A).

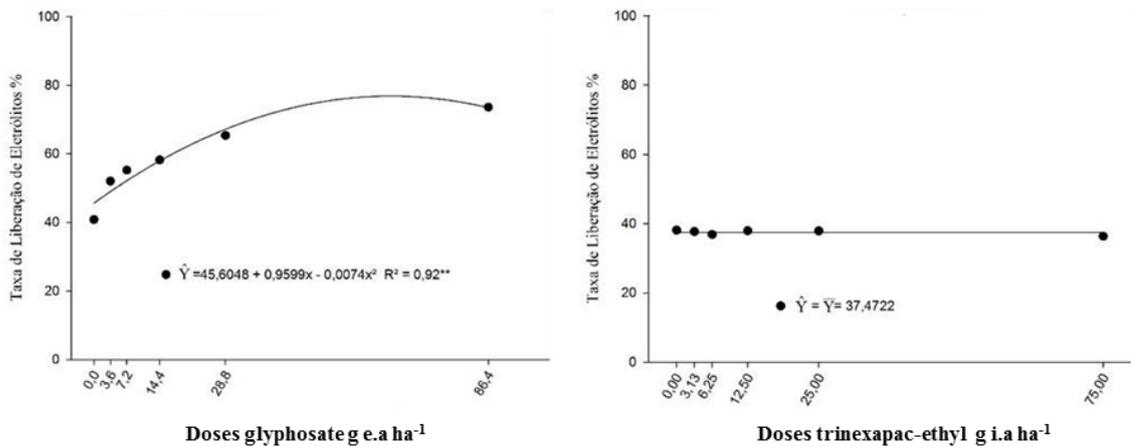


Figura 9. Taxa de liberação de eletrólitos (TLE) em plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate (A) e trinexapac-ethyl (B) e avaliadas aos 28 DAA.

Em virtude do aumento na concentração de MDA que resultou no extravasamento de eletrólitos foi avaliada a concentração de ácido chiquímico das plantas tratadas com o herbicida glyphosate (Figura 11). A concentração de ácido chiquímico na dose de 86,4 g ha⁻¹ aumentou 169 % se comparado ao controle.

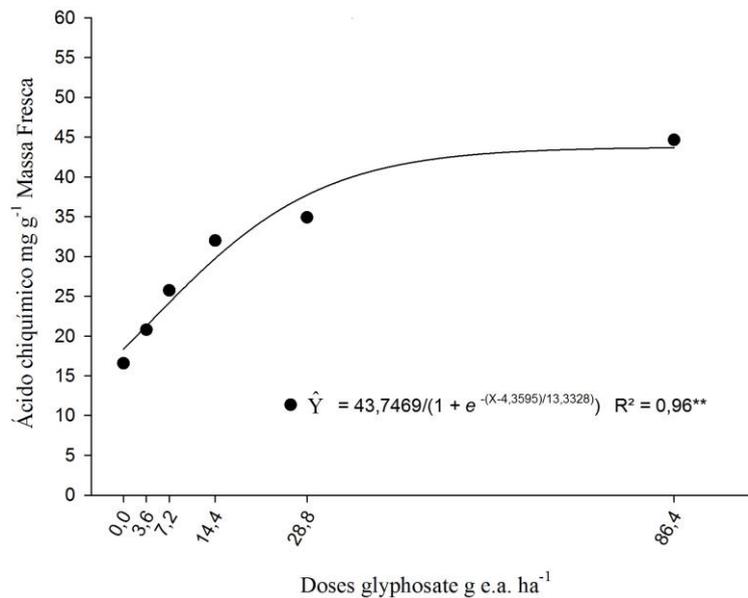


Figura 10. Concentração de ácido chiquímico em plantas de girassol, tratadas com doses crescentes do glyphosate e avaliadas aos 28 DAA.

4. Discussão

Os maturadores são conhecidos por aumentar a concentração de sacarose nos colmos de plantas de cana-de-açúcar, promovendo menor desenvolvimento e, maior produtividade. No entanto, a deriva desses produtos constitui importante causa de intoxicação de plantas não alvo suscetíveis (Martins et al., 2015). Neste estudo, os maturadores trinexapac-ethyl e glyphosate promoveram respostas contrastantes nas plantas de girassol. Não foram observados efeitos do trinexapac-ethyl no metabolismo fotossintético, na concentração de carboidratos, nos pigmentos cloroplastídicos e nem danos às membranas celular das plantas. Fioreze e Rodrigues (2014), estudando o efeito do trinexapac-ethyl em plantas de trigo, observaram maior concentração de carboidratos, em consequência do aumento da assimilação de carbono nas plantas tratadas. A aplicação dos reguladores vegetais, como o trinexapac-ethyl, pode resultar em alterações no desenvolvimento de estômatos, em quantidade ou tamanho, ou mesmo no controle da abertura e fechamento estomático, resultando nos maiores valores de transpiração e absorção de CO₂ (Fioreze e Rodrigues, 2014), não sendo observado neste estudo.

Em contrapartida, os resultados do presente trabalho sugerem que o glyphosate promove efeitos deletérios para espécies não alvo, como o girassol, através de alterações do metabolismo fotossintético, evidenciado pela redução na A , g_s , E e, aumento na relação C_i/C_a . Em condições de redução da abertura estomática e maior concentração de carbono intercelular, são observados diminuições na eficiência do ciclo de Calvin (Silva, 2015). A eficiência na fixação de CO₂ pode ser afetada tanto pelo fornecimento de energia, na forma de ATP e NADPH quanto, pela inibição de enzimas do próprio ciclo de Calvin. Cedergreen et al. (2010), por exemplo, reportaram que plantas de cevada tratadas com glyphosate, a redução da condutância estomática foi resultado de cessação da fixação de CO₂ com base em diminuição no processo de regeneração da Rubisco, em vez de, efeito direto sobre a condutância estomática. Esse fato pôde ser observado neste estudo, uma vez que a relação C_i/C_a aumentou a partir de 1 DAA e a g_s aos 7 DAA.

Após declínios das trocas gasosas foi observado reduções na concentração de carboidratos das plantas de girassol, possivelmente pela redução da atividade de carboxilação. Alterações na maquinaria fotossintética refletem diretamente na concentração de carboidratos gerados pela fotossíntese. Esses compostos são fontes essenciais de carbono e energia para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Wen

et al., 2015). Nesta pesquisa foi possível verificar que em plantas tratadas com glyphosate suas reservas de carboidratos foram reduzidas drasticamente.

A taxa de consumo de ATP e NADPH é um dos principais fatores que determinam a eficiência operacional do FSII em muitas situações de estresse (Taiz e Zeiger, 2013). Alterações na eficiência de carboxilação, no fornecimento de CO₂ e na taxa de transporte de carboidratos para fora da célula podem influenciar na taxa de utilização de ATP e NADPH e, conseqüentemente reduções no rendimento do FSII. Vários estudos relatam que o glyphosate prejudica o FSII (Olesen e Adergreen, 2010; Yaniccari et al., 2012; Zhang et al., 2015). Neste estudo, os baixos valores de F_v/F_m , $\Delta F/F_m'$ e ETR , são indicativos de danos ao aparato fotossintético. A razão F_v/F_m representa a eficiência máxima com que a luz absorvida pelo FSII é usada para a redução da Q_A , valores ótimos estão em torno de 0,75 a 0,85 para a maioria das espécies (BAKER, 2008). Contudo, decréscimos nesses valores são indicativos de fotoinibição ou fotoxidação, assim como evidenciado nesta pesquisa.

O mesmo foi observado nos dados do rendimento quântico efetivo do FS II ($\Delta F/F_m'$) e da taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), indicando que houve redução na quantidade de energia aproveitada pela planta para realização dos processos fotoquímicos, como fixação de CO₂ e redução de NADPH. Quando a energia proveniente da luz não é usada na etapa fotoquímica com eficiência, pode ocorrer produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) que são responsáveis pela perda da atividade do FSII e a degradação da proteína D₁. Além disso, segundo Vivancos et al. (2011) o glyphosate pode inibir a síntese da proteína D₁ prejudicando a reparação do FSII. Há dois possíveis caminhos para esse efeito, o primeiro é que o herbicida após inibir a EPSPS, promove reduções na síntese de aminoácidos aromáticos, dessa forma prejudicando o *pool* de aminoácidos. Este efeito subsequentemente perturba os níveis normais de síntese de uma nova proteína D₁. Outro mecanismo possível é o aumento na produção de EROS (Ahsan et al., 2008), que também inibe a síntese de novas proteínas D₁ (Takahashi e Murata, 2008).

Adicionalmente, segundo Maxwell e Johnson (2000) decréscimo na eficiência fotossintética, na maioria das vezes é acompanhado pelo aumento do NPQ durante períodos de estresse, como observado neste estudo. A resposta a alta tensão de luz nos centros de reações é fornecida pela dissipação não fotoquímica. Dessa forma, ao minimizar maiores danos aos centros de reações, parte da energia absorvida pode ser dissipada na forma de processos não fotoquímicos, dentre eles a dissipação térmica,

medida pelo *NPQ*. Nesse estudo, o declínio no rendimento quântico efetivo do FSII e na taxa aparente de transporte de elétrons, aliados ao aumento do coeficiente de extinção não fotoquímica (*NPQ*) sugerem que a maior parte da energia de excitação foi dissipada em processos não fotoquímicos, sendo que esse mecanismo protege a folha contra danos induzidos pela luz.

As alterações nas trocas gasosas e na fluorescência da clorofila *a* estão de acordo com os encontrados na concentração de pigmentos cloroplastídicos, em que o glyphosate promoveu reduções na clorofila *a*, *b* e carotenoides. Redução dos pigmentos está relacionado com a redução na fotossíntese ocasionalmente pelos danos diretos do glyphosate na clorofila (Zobiolo et al., 2010). Isso ocorre principalmente em virtude da imobilização de Mg e Mn necessário para formação da clorofila. Como esse herbicida é um ácido fosfônico acaba atuando como agente quelante, formando complexo estável com cátions de metais divalente e trivalente (Zobiolo et al., 2010). Esse efeito quelante imobiliza micronutrientes essenciais como magnésio e manganês, componentes necessários que atuam como cofatores e reguladores de funções fisiológicas na planta (Zobiolo et al., 2011).

Esse estresse desenvolvido pelo glyphosate resultou no aumento na concentração de MDA e da taxa de liberação de eletrólitos. O MDA é um dos produtos finais da peroxidação lipídica. As severidades dos danos podem ocorrer em vários níveis, variando desde reduções localizadas na fluidez da membrana até a ruptura total (Halliwell, 2005). Dessa forma, a consequência direta do dano às membranas celulares pela peroxidação lipídica é o extravasamento do conteúdo celular para o meio que estiver envolvendo os tecidos danificados, quando o dano for suficiente para tanto (KRUSE et al., 2006), como observado nesta pesquisa.

A folha é o principal órgão envolvido na penetração de herbicidas, sendo esta afirmação constatada pela redução das características avaliadas, principalmente para o glyphosate. Os decréscimos nos resultados puderam ser observados em análises visuais (Capítulo I), visto que o herbicida provocou uma série de injúrias nas plantas, possivelmente em virtude do desequilíbrio ocasionado pela sua absorção pela cutícula foliar. A ausência de efeitos com o etil-trinexpac pode estar relacionado tanto com a absorção cuticular, dose utilizada, quanto por mecanismos de desintoxicação da planta. São necessários mais estudos de forma a conhecer melhor mecanismos que a planta possivelmente evita os efeitos de maturador vegetal.

Adicionalmente, os dados deste estudo atentam para o cuidado em se utilizar o glyphosate, pois em baixas concentrações o mesmo pode ocasionar alterações na fisiologia de plantas de importância econômica como o girassol. Além disso, é sabido que ao longo do tempo, esse produto pode alterar a expressão gênica e vias metabólicas, danificando proteínas, prejudicando o desenvolvimento e consequentemente, induzir o decréscimo das defesas antioxidantes ou causar danos oxidativos imediatos aos organismos (Valavanidis et al., 2006).

5. Conclusões

O metabolismo fotossintético de plantas de girassol não é afetado pela aplicação do regulador vegetal trinexapac-ethyl. No entanto, ao utilizar o maturador glyphosate as plantas sofreram alterações no aparato fotossintético, com redução na concentração de carboidratos e pigmentos cloroplásticos e, posteriores danos às membranas celulares.

7. Referências Bibliográficas

AHSAN, N.; LEE, D.G.; LEE, K.W.; ALAM, I.; LEE, S.H.; BAHK, J.D.; LEE, B.H. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. **Plant Physiology Biochemistry**, v.46, n.12, p.1062-1070, 2008.

BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*. **Anais Annual Review Plant Biology**, v.59, p.89–113, 2008.

BASSA, M.; BOUTIN, C.; CHAMORRO, L.; SANS, F.X. Effects of farming management and landscape heterogeneity on plant species composition of Mediterranean field boundaries. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.141, p.455 - 460, 2011.

BRAZIL - Ministry of Mines and Energy Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional 2013 - Ano base 2012 (EPE Publication, 2013); <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2013.aspx>

BILGER, W.; BJORKMAN, O. **Photosynthesis Research**, v. 25 p. 173, 1990.

BILGER, W., SCHEREIBER, U., BJORKMAN, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia Brasiliensis**; v. 102, p.425-432, 1995.

CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.C.A.; COSTA, F.R. Differential response of clones of eucalypt to glyphosate. **Revista Árvore**, v.39, n.1, p. 177-187, 2015.

- CATUNDA, M.G.; FREITAS, S.P.; OLIVEIRA, J.G.; SILVA, C.M.M. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). *Planta Daninha*, v.23, n.1, p.115-121, 2005.
- CEDERGREEN, N.; OLESEN, C.F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? ***Pesticide Biochemistry Physiology***, v.96, p.140-148, 2010.
- CORREA, M. J. P.; ALVES, P. L. C. A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. ***Ciências Agrotécnica***, v.34, n.5, p. 1136-1145, 2010.
- DEL GATTO, A.; MENGARELLI, C.; PEDRETTI, E.F.; DUCA, D.; PIERI, S.; MANGONI, L.; SIGNOR, M.; RACCUA, S. A.; MELILLI, M. G. Adaptability of sunflower (*Helianthus annuus* L.) high oleic hybrids to different Italian areas for biodiesel production. ***Industrial Crops and Products***, p.1-10, 2015.
- DUBOIS M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. ***Analytical Chemistry***, v. 28, p. 350-356, 1956.
- FERREIRA, M.L.P.C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios. ***Revista de Direito Sanitário***, v.15, n.3, p.18-45, 2014.
- FIGLIORINI, S.L.; RODRIGUES, J.D. Componentes produtivos do trigo afetados pela densidade de semeadura e aplicação de regulador vegetal. ***Sêmima: Ciências Agrárias***, v.35, n.1, p. 39-54, 2014.
- GAITONDE, M. K.; GORDON, M. W. A microchemical method for the detection and determination of shikimic acid. ***The Journal of biological chemistry***, v. 230, n. 2, p. 1043-1050, 1958.
- GEIGER, J. P.; NANDRIS, D.; GOUJON, M. Activité des laccases et des peroxydases au sein des racines d'Hévéa attaquées par le pourridié blanc *Leptoporus lignosus* (U.) Heim. ***Physiology Vegetable***, v.14, n.2, p.271 – 282, 1986.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M.; BAKER, N.R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. ***Biochimica et Biophysica Acta***, v.990, p.87-92, 1989.
- GOMES, G.L.G.C. Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glyphosate e fosfito. ***Dissertação de Mestrado***, UNESP, Botucatu, 2011.
- HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J.M.C. Free radicals in biology and medicine. 3rd ed. p. 936, 2005.
- HASSAN, E.G.; ALKAREEM, A.M.A.; MUSTAFA, A.M.I. Effect of fermentation and particle size of wheat bran on the antinutritional factors and bread quality. ***Pakistan Journal of Nutrition***, v.7, n.4, p. 521-526, 2008.

- KAYA, M.D.; KOLSARICI, O. Seed yield and oil content of some sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids irrigated at different growth stages. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n.22, p. 4591-4595, 2011.
- KOROL, L.; KLEIN, J.D. Profiles of trinexapac-ethyl and ABA-induced heat-stable proteins in embryonic axes of wheat seeds. **Euphytica**, v.126, p.77-81, 2002.
- KRUSE, N.D.; VIDAL, R.A.; DALMAZ, C.; TREZZI, M.M.; SIQUEIRA, I. Estresse oxidativo em girassol (*Heliantus annuus*) indica sinergismo para as misturas dos herbicidas metribuzin e clomazone. *Planta Daninha*, v. 24, n. 2, p. 379-390, 2006.
- KUKI, K.N.; OLIVA, M.A.; GOMES, F.P.; COSTA, A.C.; Avaliação da eficiência do dimetilsulfóxido na extração de pigmentos foliares de *Schinus terebenthifolius* e *Cocos nucifera*. In: X Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e XII Congresso Latino-Americano de Fisiologia Vegetal, Recife. **Anais**, SBFV. CD Rom, 2005.
- LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO₂ exchange and chlorophyll fluorescence. **Plant Physiology**, v. 110, p. 903-91, 1996,
- LÓPEZ-VALDEZ, F.; FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F.; CEBALLOS-R AMÍREZ, J. M.; MARSCH, R.; OLALDE-PORTUGAL, V.; DENDOOVEN,L. A strain of *Bacillus subtilis* stimulates sunflower growth (*Helianthus annuus* L.) temporarily. **Horticulturae**, Mission, v. 128, p. 499–505, 2011.
- MILLER,G. L. Use of dinitrosalicycle acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, n. 31, p. 226-248, 1959.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal Experimental Botany**, v. 51, p. 659–668, 2000.
- MCCREADY, R.M.; GUGGOLZ, J.; SILVIERA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 9, p. 1156–1158, 1950.
- MELLO, F.F.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIES, C.A.; HOLBROOK, M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C. Payback time for soil carbono and sugar-cane ethanol. **Nature Climate Change**, v.4, p. 605-609, 2015.
- NELSON, N.A. Photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal Biological Chemistry**, v. 153, p. 375-380, 1944.
- OLESEN, C.F.; CEDERGREEN. N. Glyphosate uncouples gas exchange and chlorophyll fluorescence. **Pest Management Science**, v.66, p. 536-542, 2010.
- ORAKI H, ALAHDADI I, PARHIZKARKHAJANI F. Investigation of the effect of water deficit stress on yield and yield components in sunflower hybrids. **African Journal Agriculture Research**, v. 6, n. 10, p. 2358-2363, 2011.

PEREZ-JONES, A.; PARK, K.W.; COLQUHOUN, J.; MALLORY-SMITH, C.; SHANER, D. Identification of glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in Oregon. **Weed Science**, v. 53, n. 6, p. 775-779, 2005.

PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; MACAULEY, H. R. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural - Série Ciências da Vida**, n.22, p.07 -14, 2002.

PORTO, W.S.; CARVALHO, C. G. P.; PINTO, R. J. B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 42, n. 4, p. 491-499, 2007.

RAJALA, A. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in Northern growing conditions. 2003. 53 f. **Dissertation (Academic)** – Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki, 2003. Disponível em: <<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/sbiol/vk/rajala/plantgro.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2015.

RASCHER, U.; LIEBIG, M.; LÜTTGE, U. Evaluation of instant light-responses curves of chlorophyll parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. **Plant Cell Environment**, v. 23, n. 12, p. 1397-1405, 2000.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. *Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais*, p. 359, 1999.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **Journal Biological Chemistry**, v. 160, p. 69-73, 1945.

SINGH, B. K.; SHANER, D. L. Rapid determination of glyphosate injury to plants and identification of glyphosate resistant plants. **Weed Technology**., v. 12, n. 3, p. 527-530, 1998.

TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 5ed, p. 954, 2013.

TAKAHASHI, S.; MURATA, N. How do environmental stresses accelerate photoinhibition? **Trends Plant Science**, v.13, p. 178-182, 2008.

VALAVANIDIS, A.; VLAHOGIANNI, T.; DASSENAKIS, M.; SCOULLOS, M. Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.64, p. 178–189, 2006.

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J.F.H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v, 25 n. 3, p.147–150, 1990.

VASQUEZ-TELLO, A., Y. ZUILY-FODIL, A. T. PHAM T.H.I.; J. VIEIRA DA SILVA. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany**, n.41, p. 827- 32, 1990.

VIVANCOS, P.D.; DRISCOLL, S.P.; BULMAN, C.A.; YING, L.; EMAMI, K.; TREUMANN, A.; MAUVE, C.; NOCTOR, G.; FOYER, C.H. Perturbations of amino acid metabolism associated with glyphosate-dependent inhibition of shikimic acid metabolism affect cellular redox homeostasis and alter the abundance of proteins involved in photosynthesis and photorespiration. **Plant Physiology**, v.157, p. 256–268, 2011.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p. 307-313, 1997.

WEN-WEN, X.; LIN, L.; PAN, G.; HE, L.; QIAO-SAI, S.; SHENG, S.; JIN, S.; SHI-RONG, G. Effects of grafting with pumpkin rootstock on carbohydrate metabolism in cucumber seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.87 p. 124-132, 2015.

ZOBIOLE, L.H.S.; KREMER, R.J.; OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J. Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation of ‘‘second generation’’ glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.99, p.53-60, 2011.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR, R.S.; HUBER, D.M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JR, A. Glyphosate reduces shoot concentration of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. **Plant and Soil**, v.328, p.57–69, 2010.

CONCLUSÃO GERAL

Os maturadores glyphosate e trinexapac-ethyl promoveram efeitos contrastantes em plantas de girassol. O trinexapac-ethyl não alterou o crescimento e as características fotossintéticas das plantas avaliadas. No entanto, o glyphosate promoveu alterações nas características de crescimento, nas trocas gasosas, na fluorescência da clorofila *a*, e na concentração de carboidratos e de clorofilas, além da maior concentração de malondialdeído que resultou no aumento da taxa de liberação de eletrólitos.

Os resultados demonstram que em folhas de girassol os sintomas visuais e o aumento da concentração de ácido chiquímico constituem respostas importantes da intoxicação provocada pelo glyphosate.