

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal

Márcio Marques da Silva

PLANTAS INDICADORAS DE RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DO CLOMAZONE

Diamantina- MG

2016

Márcio Marques da Silva

PLANTAS INDICADORAS DE RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DO CLOMAZONE

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador Prof. Dr. José Barbosa dos Santos

Diamantina- MG

2016

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

A948d	Silva, Márcio Marques da Plantas indicadoras de resíduos atmosféricos do clomazone/ Márcio Marques da Silva. – Diamantina, 2016. 60 p. : il. Orientador: José Barbosa dos Santos Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 1. Intoxicação. 2. Fisiologia. 3. Sensibilidade. 4. Fluorescência. I. Título. II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. CDD 632.95
-------	---

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Márcio Marques da Silva

PLANTAS INDICADORAS DE RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DO CLOMAZONE

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador :Prof. Dr. José Barbosa dos Santos

APROVADA em 28 de abril de 2016

Prof. Dr. Edson Aparecido dos Santos
Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM

Prof. Dr. Evander Alves Ferreira
Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM

Profa. Dr. Márcia Vitória Santos
Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM

Prof. Dr. José Barbosa dos Santos
Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM

Diamantina – MG

Ofereço

*A Deus, por ser meu tudo,
Por ser meu Deus, e por
todas as graças
derramadas
em vida...*

Dedico*A Deus...*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ser tudo na minha vida, e por me abençoar com inúmeras graças.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo e incentivo à pesquisa.

Ao professor Dr. José Barbosa, pelo apoio, dedicação, amizade incontestável e principalmente pela grande orientação.

Ao professor Dr. Evander Alves Ferreira, pela orientação e dedicação nos primeiros semestres do mestrado e pela amizade.

Aos colegas do grupo de pesquisa INOVAHERB pela amizade, parceria e auxílio na execução desta pesquisa.

A todos os meus familiares, principalmente os meus irmãos pelo incentivo, apoio e suporte, vocês são minha base.

A todos os meus amigos, de república (Luan e Igor), os que estiveram na execução desde projeto (Orlando, Levi, Josy, Ana Flávia, Guilherme, José Adão, Michele e Priscila).

Aos meus filhos (amigos), os irmãos da RCC-Janaúba, cidade de Janaúba, Monte Azul e outros. Aos que por graça de Deus conheci aqui em Diamantina do GOU, RCC, do GPP e Seminário.

A todos que estiveram comigo durante esse período e que de alguma forma contribuíram para o bom êxito desta pesquisa, o meu muito obrigado, que Deus possa retribuir em dobro todo esforço e dedicação.

Agradeço pela confiança em mim depositada! Que Deus os abençoe!

RESUMO

MÁRCIO MARQUES DA SILVA. **PLANTAS INDICADORAS DE RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DO CLOMAZONE**. 2016. 60p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2016.

O clomazone é um herbicida inibidor da síntese de carotenoides. Esse herbicida é facilmente solubilizado e volatilizado e por consequência, pode causar danos ao ambiente. Em vista do problema, objetivou-se com esta pesquisa: avaliar a sensibilidade de espécies forrageiras e daninhas a resíduos atmosféricos do clomazone e determinar a campo o efeito do resíduo atmosférico do clomazone sobre a fisiologia de plantas forrageiras e daninhas. Foram realizados dois experimentos. O primeiro foi conduzido em câmaras experimentais de 500 dm³ em ambiente monitorado, delineado inteiramente casualizado com 5 repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 6x5, sendo, seis espécies vegetais: triticale, milho, sorgo, braquiário, beldroega e campim braquiaria e o segundo cinco doses de clomazone 0, 90, 180, 270 e 360 g ha⁻¹ (equivalentes às concentrações atmosféricas de 0,0; 0,05; 0,10; 0,15 e 0,20 mg L⁻¹, considerado o volume). As espécies ficaram expostas ao herbicida no interior das câmaras por período de 96 horas em atmosfera controlada. Após esse intervalo, as câmaras foram abertas, procedendo-se à primeira avaliação, repetida aos 7 e 14 dias após a abertura. Avaliou-se a intoxicação e o teor de clorofila. Com exceção do milho, todas as espécies testadas mostraram-se sensíveis às concentrações residuais de clomazone na atmosfera, podendo ser utilizadas no monitoramento da qualidade do ar. O segundo experimento foi conduzido a campo. Delineado em blocos causalizados com quatro repetições, em esquema fatorial 6x4, sendo seis espécies vegetais [quatro plantas forrageiras: lab lab, sorgo, braquiário e java, e duas plantas daninhas: beldroega e sida] e quatro soluções de aplicação do clomazone (0, 360, 720 e 1.080 g ha⁻¹, equivalentes a 0; 0,05; 0,10 e 0,20 mg L⁻¹, considerado o volume). As plantas forrageiras e daninhas ficaram expostas ao clomazone, em túneis cobertos por filme de polietileno de baixa densidade (150 µm) de volume de 12m³, por período de 72 horas. Após esse tempo, os túneis foram abertos, procedendo-se às seguintes avaliações: intoxicação das plantas, fluorescência inicial, fluorescência máxima, a razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima, quenching fotoquímico e quenching não-fotoquímico, taxa de transporte de elétrons e do teor de clorofila. Mesmo em concentrações que não promovem efeito visual, o clomazone é capaz de causar danos significativos na atividade

fotossintética das espécies. As variáveis fisiológicas, clorofila total, rendimento quântico máximo do PSII e fluorescência inicial da clorofila podem ser utilizadas de forma eficiente no monitoramento de resíduos do clomazone na atmosfera.

Palavras-chave: Intoxicação. Fisiologia. Sensibilidade. Fluorescência.

ABSTRACT

MÁRCIO MARQUES DA SILVA. **PLANTAS INDICADORAS DE RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DO CLOMAZONE**. 2016. 60p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2016.

The herbicide Clomazone is an inhibitor of carotenoids synthesis. This herbicide is easily solubilized and volatilized, and by consequence, can cause damage to environment. Due to this problem, the objective of this study was evaluate the sensibility of forage and weeds species to atmospheric wastes of Clomazone and to determinate in field the effect of atmospheric waste of Clomazone in phisiology of forage and weeds plants. Two experiments were performed. The first was conducted in 500dm³ experimental chambers in a monitored environment, completely randomized design design with five repetitions. The treatments was arranged in 6x5factorial scheme, being six vegetable species: triticale, corn, sorghum, braquiara, beldroega e capim braquiara and the second five doses of Clomazone 0, 90, 180, 270 e 360 g ha⁻¹ (equivalent to atmospheric concentrations of 0,0; 0,05; 0,10; 0,15 e 0,20 mg L⁻¹, volume considered). The species were exposed to the herbicide inside the chambers for 96 hours in controled atmosphere. After this interval, the chambers were open, proceeding the first evaluation, repeated at 7 and 14 days after the opening. Was rated the intoxication and the chlorophyll contente. Excepting the corn, all tested species proved to be sensitive to Clomazone residual concentration in atmosphere, and can be used in ais quality monitoring. The second experiment was conducted in field. An experiment was conducted in a randomized block design with four repetitions, in 6x4 factorial scheme, being six vegetable species [four forage plants :lab lab, sorghum, braquiara and java, and two weed plants: beldroega and sida] and four Clomazone application solutions (0, 360, 720 e 1.080 g ha⁻¹, equivalentes a 0; 0,05; 0,10 e 0,20 mg L⁻¹, volume considered). The forage and weeds plants were exposed to Clomazone, in tunnels covered by polyethylene film of low density (150 µm), volume of 12m³, for 72 hours. After this time, the tunnels were open, proceeding this following evaluations: plants intoxication, initial fluorescence, maximum fluorescence, ratio of the variable fluorescence and maximum fluorescence, photochemical quenching and non-photochemical quenching, elétron transport rate and chlorophyll contente. Even in concentrations that don't promote visual effect, the Clomazone is able to cause significative damage in photosynthetic activity of species. The phisiologic variables, total chlorophyll, PSII maximum quantum

yield and chlorophyll initial fluorescence can be used efficiently in monitoring of Clomazone wastes in atmosphere.

Keywords: Intoxication. Physiology. Bioindicator. Fluorescence.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO I.	Pág.
Figura 1- Esquema representativo da câmara experimental para exposição de espécies vegetais a resíduos atmosféricos do herbicida clomazone.....	13
Figura 2- Temperatura máxima, mínima e média no interior das câmaras experimentais durante os quatro dias de exposição ao clomazone.....	13
Figura 3- Estimativas dos efeitos de concentrações de clomazone (C) e das épocas de avaliação (T) sobre a intoxicação (%) de plantas daninhas e forrageiras.....	15
Figura 4- Estimativas dos efeitos de concentrações de clomazone (C) e das épocas de avaliação (T) sobre o teor de total de clorofila ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de plantas daninhas e forrageiras.....	19
ARTIGO CIENTÍFICO II.	
Figura 1- Esquema de montagem e dimensões de cada unidade experimental para o cultivo das forrageiras.....	30
Figura 2- Intoxicação (%) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.....	32
Figura 3- Rendimento quântico máximo do PSII de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.....	34
Figura 4- Clorofila total ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.....	35
Figura 5- Fluorescência inicial (F_o) e Fluorescência máxima (F_m) da clorofila <i>a</i> ($\text{elétrons quantum}^{-1}$) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.....	37
Figura 6- Quenching fotoquímico (Q_p) e Quenching não-fotoquímico (Q_n) de forrageiras e plantas daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.....	39
Figura 7- Taxa de transporte de elétrons (ETR - $\text{mmol m}^{-3}\text{s}^{-1}$) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.....	40

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
ARTIGO CIENTIFICO I. PLANTAS FORRAGEIRAS E DANINHAS SENSÍVEIS A RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DE CLOMAZONE.....	8
1 Resumo.....	8
2 Abstract.....	9
3 Introdução.....	10
4 Material e métodos.....	11
5 Resultados e discussão.....	14
6 Conclusão.....	21
7 Agradecimentos.....	21
8 Referências bibliográficas.....	22
ARTIGO CIENTIFICO II. INTOXICAÇÃO E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS FORRAGEIRAS E DANINHAS SUBMETIDAS A RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DE CLOMAZONE.....	25
1 Resumo.....	25
2 Abstract.....	26
3 Introdução.....	27
4 Material e métodos.....	29
5 Resultados e discussão.....	31
6 Conclusões.....	41
7 Agradecimentos.....	41
8 Referências bibliográficas.....	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
ANEXO.....	47

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura desempenha papel importante no desenvolvimento econômico do Brasil e o setor contribui significativamente para a balança comercial do país. As exportações da agricultura e das agroindustriais foram superiores a US\$ 86 bilhões em 2013, sendo responsáveis por 36% do total das exportações. O Brasil é o segundo maior exportador agrícola mundial. Dentre os fatores que contribuíram para esse desenvolvimento, destacam-se os investimentos duradouros em pesquisa agrícola, que possibilitaram que o Brasil alcançasse a tecnologia mais avançada para a agricultura tropical (OECD, 2014).

Entre os principais avanços nas últimas décadas, sobressai o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas. O manejo de plantas daninhas visa minimizar as perdas na produtividade das culturas devido à interferência causada nas plantas cultivadas por plantas daninhas (Oliveira Jr et al., 2011).

Em extensas e médias áreas agrícolas o controle eficiente destas espécies daninhas é realizado por meio do controle químico, com utilização de herbicidas. Em 2014, o comércio de herbicidas movimentou cerca de US\$3,90 bilhões, respondendo por 52,2% (476.860 toneladas) da quantidade total vendida de produtos fitossanitários no país (IEA, 2015).

O controle químico de plantas daninhas é o método de controle mais utilizado e mais eficiente. É utilizado atualmente para praticamente todas as culturas, devido à sua praticidade e pelo menor custo. Os herbicidas são produtos fitossanitários, formulados sinteticamente, que têm a função de inibir o desenvolvimento e ou provocar a morte das plantas daninhas, quando utilizados em concentrações devidas (Barbosa et al., 2014; Santos et al., 2014).

Dentre as principais moléculas comercializadas, destaca-se o clomazone 2-(2-clorofenil)metil-4,4-dimetil-3-isoxazolidinona), herbicida pertencente ao grupo das isoxazolidinonas, cujo mecanismo de ação é a inibição da síntese de carotenoides em plantas sensíveis. É um herbicida empregado no controle de plantas daninhas nas culturas do arroz irrigado, do algodão, soja, milho, fumo, cana-de-açúcar e mandioca. É aplicado em pré-emergência das plantas daninhas e também da cultura (Kruse, 2001; Mapa, 2015).

É um produto bastante comercializado, com boa aceitação pelos produtores, devido a grande eficiência no controle de diversas espécies daninhas. Apresenta moderada

persistência no solo que é influenciada principalmente pela matéria orgânica e textura. Em condições aeróbicas a meia vida varia de 90 a 274 dias. Em água, o metabolismo indica que o clomazone tem uma meia-vida relativamente curta, de apenas cinco dias (Loux e Slife, 1989; Santos et al., 2008; Scoy e Tjeerdema, 2013).

Atualmente o clomazone é comercializado no Brasil pelos produtos comerciais Gamit 360 CS®, Gamit 500 EC® e Gamit Star®, cuja concentração do ingrediente ativo varia de 360, 500 e 800 gramas, respectivamente (Schreiber et al., 2015).

O clomazone é altamente solúvel em água (1.100 mg L^{-1} a 25°C) com valor de Koc (coeficiente de partição carbono orgânico do solo-água) variando entre 150 e $562 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, valor de constante da Lei de Henry de $4.19 \times 10^{-3} \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1}$ e pressão de vapor de $0,018 \text{ Pa}$ ($1,35 \times 10^{-4} \text{ mmHg}$) a 25°C . Por essas características de solubilidade em água e pressão de vapor, o clomazone é facilmente transportado por lixiviação, mas também por meio do vapor d'água. Acrescido da capacidade de volatilizar, o clomazone pode ser considerado uma molécula importante a nível ambiental (Silva et al., 2012).

A volatilização é o principal meio de perda de produtos para atmosfera, que potencializado pela deriva pode causar danos significativos em culturas sensíveis. Quando presente na atmosfera, o contaminante poderá ser transportado a grandes distâncias e ser novamente depositado à superfície por meio do vento e, ou por deposição úmida, por meio da chuva, orvalho, ou pode ainda ser absorvido pela planta através das trocas gasosas (Gavrilescu, 2005).

Pelo processo de volatilização e deriva, gotas pequenas de herbicida podem ser transportadas em condições variáveis de vento e luminosidade, atingindo assim áreas agrícolas próximas, causando graves e irreversíveis sintomas de injúrias (Yates et al., 1978). Halstead e Harvey (1988) verificaram que em solos inundados a volatilização do clomazone é maior, as gotas da molécula podem viajar cerca de 30 metros do local de aplicação, causando intoxicação visual em plantas de girassol e clorose em plantas de trigo. Schummer et al. (2010) determinaram que as amostras de ar, coletadas a partir de um local de cultivo no nordeste da França, continham concentrações de fase gasosa de clomazone variando $0,14$ a $0,68 \text{ ng m}^{-3}$.

O crescimento e desenvolvimento de inúmeras culturas podem ser afetados significativamente quando expostas a baixas doses de determinado herbicida. Por isso é importante conhecer, antes de iniciar qualquer prática agrícola, o histórico da área de

cultivo, para evitar problemas de resíduos de herbicidas no solo ou no ar (Rogoli et al., 2008).

A deriva simulada de clomazone em ramos de laranjeira, cv. Hamlin resultou em abortos de frutos. Quando o clomazone esteve em mistura com ametryn levou à formação de manchas cloróticas e necróticas na casca do fruto, além de reduzir o diâmetro dos frutos, diminuindo a qualidade e produtividade da lavoura (Timossi e Alves, 2001).

Tendo em vista das características do clomazone e os possíveis efeitos da presença dessa molécula na atmosfera, tornam-se importantes estudos com a finalidade de prever problemas advindos da implantação de espécies sensíveis em proximidades de lavouras que utilizam o clomazone, ou de locais potencialmente contaminados. Uma das técnicas mais comuns para a determinação da presença de um herbicida no solo e água ocorre por meio de plantas indicadoras (Souza, 1999).

O uso de espécies bioindicadoras é uma técnica acessível para informar sobre um possível problema de contaminação do ecossistema, por ser de baixo custo e de fácil realização (Nunes e Vidal, 2009). Para tanto é necessário o conhecimento de quais espécies são sensíveis a determinado herbicida e qual espécie é melhor para indicar o resíduo desse produto no ar.

As gramíneas, principalmente o azevém, têm apresentado bom potencial para ser utilizadas como indicadoras da presença residual de metais pesados, elementos-traços e enxofre na atmosfera (Klumpp et al., 2001). Já Nunes e Vidal (2009) afirmam que as espécies da família *Poaceae* apresentaram-se como potenciais quantificadoras de diversos produtos, entre eles herbicidas no solo. Entretanto, são escassas as informações a respeito da eficiência dessas espécies como bioindicadoras da presença de resíduo atmosférico de clomazone, e muito menos do efeito da concentração dessa molécula na fisiologia destas plantas.

De maneira geral, o uso de plantas bioindicadoras no monitoramento da qualidade do ar segue três etapas básicas, desde o cultivo, a exposição e as análises visuais e químicas das plantas. Essas espécies respondem aos poluentes ou grupos de poluentes com danos visíveis ou alterações anatômicas. Estas acumulam substâncias tóxicas nos tecidos foliares permitindo a detecção do poluente através de análises químicas (Klumpp et al., 2001). A presença destes poluentes no interior das plantas pode gerar também distúrbios fisiológicos.

O uso de herbicidas pode interferir diretamente sobre a fotossíntese das plantas, e uma série de herbicidas pode interferir no sistema de transporte de elétrons. Os dois principais alvos na fotossíntese são a interrupção do fluxo de elétrons, através da competição com a ligação de plastoquinona no seu local de ligação Qb no fotossistema II (FSII), e o desvio de elétrons em fotossistema I (PSI). Além da inibição da síntese de carotenóides em plantas, cuja função é proteger o aparato fotossintético da fotodegradação (Dayan e Zaccaro, 2012).

Em algumas situações, a atividade fisiológica de plantas afetadas é prejudicada antes de quaisquer sintomas externos serem visíveis. Por esta razão, muitos pesquisadores referem-se a uma lesão oculta, invisível, ou fisiológica causadas por poluentes. Os critérios iniciais para essa lesão invisível incluem: poluentes que causaram perturbação no ciclo da planta e que afetaram negativamente o seu crescimento; perturbações que não são evidentes exteriormente (Mudd, 2012). Portanto é necessário avaliar também a nível fisiológico o efeito da concentração atmosférica do clomazone sobre as espécies bioindicadoras.

Em vista do proposto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a sensibilidade das espécies forrageiras e daninhas ao clomazone, por meio da técnica de bioindicação. Buscou-se também determinar em campo o efeito do resíduo atmosférico do herbicida sobre parâmetros fisiológicos das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, A.P.; SILVA, A.F.M.; ALBRECHT, A.P.; BARROSO, A.A.M.; VICTORIA FILHO, R.; ALBRECHT, L.P.; GARCIA, V.V. Controle químico de *Talinum paniculatum* em três estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.13, n.3, p.187-196, 2014.

DAYAN, F.E.; ZACCARO, M.L.M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. **Pesticide biochemistry and physiology**, v.102, n.3, p.189-197, 2012.

GAVRILESCU, M. Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. **Engineering in Life Sciences**, v.5, n.6, p.497- 526, 2005.

HALSTEAD S.J.; HARVEY, R.G. Effect of rate and carrier on clomazone movement off-site. **Weed Technology**, v.2, n.2, p.179-182, 1988.

IEA- **Instituto de Economia Agrícola**. Análises e Indicadores do Agronegócio, v.10, n.5, 2015. Disponível em <<http://www.iea.sp.gov.br>>.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G. FOMIN, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). **Revista brasileira de Botânica [online]**. v.24, n.4, p.511-518, 2001.

KRUSE, N. D. **Inibidores da síntese de carotenóides**. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO, A. J. (Ed). *Herbicidologia*. 1.ed. Porto Alegre: Evangraf , p.13-122, 2001.

LOUX, M.M.; SLIFE, F.W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Science**, v.37, n.2, p.259-267, 1989.

MAPA-**Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. AGROFIT (Sistema de Agrotóxicos fitossanitários (Consulta Aberta)). Disponível

<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acessado em Outubro de 2015.

MUDD, J.B.; KOZLOWSKI, T.T. **Responses of plants to air pollution**. Academic Press, New York, 1975.

NUNES, A.L.; VIDAL, R. A. Seleção de Plantas quantificadoras de herbicida residuais. Pesticidas: **Revista ecotoxicologica e meio ambiente**, v.19, p.19-28, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, p.348, 2011.

OECD - Food and agriculture organization of the united nations, OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris, 2015. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en

ROGOLI, R.P.; FONTANA, L.C.; FIGUEREDO, S.S.; NOLDIN, J.A. Response of beetroot (*Beta vulgaris*) and carrot (*Daucus carota*) to simulated glyphosate and clomazone drift. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.451-456, 2008.

SANTOS, E.A.; CORREIA, N.M.; BOTELHO, R.G. Resíduos de herbicidas em corpos hídricos-Um revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.188-201, 2013.

SANTOS, F.M.; MARCHESAN, E.; MACHADO, S.L.O.; AVILA, L.A.; ZANELLA, R.; GONÇALVES, F.F. Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. **Planta daninha [online]**, v.26, n.4, p.875-881, 2008.

SCHREIBER, F.; AVILA, L.A.; SCHERNER, A.; GEHRKE, V.R.; AGOSTINETTO, D. Volatility of different formulations of clomazone herbicide. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.33, n.2, p.315-321, 2015.

SCHUMMER, C.; MOTHIRON, E.; APPENZELLER, RIZET, A.L.; WENNIG, R.; MILLET, M. Temporal variations of concentrations of currently used pesticides in the atmosphere of Strasbourg, **France Environ Pollut**, v.58, p.576-584, 2010.

SCOY, A.S.; TJEERDEMA, R.S. **Envinmental fata and toxicology of clomazone**. Department of Environmental Toxicology University of California. 2013.

SILVA, M.S.; CONCENZA, D.S.; ROSA, A.H.; FRACETO, L.F. Efeito da associação do herbicida clomazone a nanoesferas de alginato/quitosana na sorção em solos. **Quimica Nova**, v.35, n.1, p.102-107, 2012.

SOUZA, A.P.; PRATES, H.T.; FERREIRA, F.A.; REIS, E.L.; JORDÃO, C.P. Lixiviação do glyphosate e do imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. II. Método analítico. *Planta Daninha*, v.17, p.245-262, 1999.

TIMOSSI P.C.; ALVES P.L.C.A. Efeitos da simulação de deriva de clomazone em plantas de laranjeira 'hamlin'. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.23, n.2, p.310-314, 2001.

YATES, W.E.; AKESSON, N.B.; BAYER, D.E. Drift of glyphosate sprays applied with aerial and ground equipment. **Weed Science**, v.26, n.6, p.597-604, 1978.

PLANTAS FORRAGEIRAS E DANINHAS SENSÍVEIS A RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DE CLOMAZONE

1 RESUMO

Para o monitoramento da presença de moléculas tóxicas no ar, como herbicidas, o uso de biodincadoras pode ser uma alternativa eficiente. Dessa forma, objetivou-se nesta pesquisa, avaliar a sensibilidade de plantas forrageiras e daninhas a concentrações residuais atmosféricas de clomazone. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 6x5, sendo o primeiro fator, seis espécies vegetais: triticale, milho, sorgo, braquiárão, beldroega e capim-braquiária, o segundo consistiu em cinco doses de clomazone 0, 90, 180, 270 e 360 g ha⁻¹ (equivalentes às concentrações atmosféricas de 0,0; 0,05; 0,10; 0,15 e 0,20 mg L⁻¹). Doze dias após emergência, as plantas foram alocadas no interior de câmaras experimentais retangulares, com volume de 500 dm³, recobertos por filme de polietileno, transparente de 150 µm. As plantas ficaram exclusivamente sob a atmosfera da câmara com o herbicida por período de 96 horas. Após, as câmaras foram abertas e procedeu-se a primeira avaliação da intoxicação e também do teor de clorofila. As avaliações foram repetidas aos 7 e 14 dias após abertura da câmara. A presença de clomazone em concentrações mínimas na atmosfera proporcionou prejuízos às plantas avaliadas, justificando a necessidade do conhecimento da qualidade do ar. Campim-braquiaria, braquiárão, sorgo, triticale e beldroega são espécies sensíveis às concentrações residuais atmosféricas de clomazone, podendo ser utilizadas no monitoramento da qualidade do ar quando a resíduos dessa molécula.

Palavras-chave: *Portulaca oleracea* L. *Sorghum bicolor* L. *Triticosecale rimpau* Wittm. *Urochloa brizantha* A. Rich. *Urochloa decumbens* Stapf. *Zea mays* L.

2 ABSTRACT

To monitoring the presence of toxic molecules in air, like herbicides, the use of bio-indicators can be an efficient alternative. Thus, the objective of this research, was evaluate the sensibility of forage and weed plants to atmospheric residuals concentrations of Clomazone. The treatments were arranged in 6x5 factorial scheme, being the first factor, six vegetables species: triticales, corn, sorghum, braquiara, beldroega and campim braquiaria, the second consisted in five doses of clomazone 0, 90, 180, 270 e 360 g ha⁻¹ (equivalente to atmospheric concentrations of 0,0; 0,05; 0,10; 0,15 e 0,20 mg L⁻¹). Twelve days after emergency, the plants were allocated inside rectangular experimental chambers, with 500dm³ volume, recovered by polietilene film, transparente with 150µm. The plants were exclusively under the atmosphere of the chambre with the herbicide for 96 hours. After, the chambers were open and the first evaluation of intoxication and chlorophyll content was done. The evaluations were repeated 7 and 14 days after the chamber opening. The Clomazone presence in minimum concentration in atmosphere provided damage to evaluate plants, justifying the need of air quality knowledge. Campim-braquiaria, braquiara, sorghum, triticales and beldroega are sensitive species to atmospheric residual concentrations of Clomazone, and may be used in monitoring of air quality when there waste of this molecule.

Keywords: *Portulaca oleracea* L. *Sorghum bicolor* L. *Triticosecale rimpaui* Wittm. *Urochloa brizantha* A. Rich. *Urochloa decumbens* Stapf. *Zea mays* L.

3 INTRODUÇÃO

O clomazone [2-[(2-clorofenil)metil]-4,4-dimetil-3-isoxazolidinona] é um herbicida pertencente ao grupo químico das isoxazolidinonas e indicado para controle, em pré emergência, de monocotiledôneas e dicotiledôneas, principalmente nas culturas do feijão, algodão, milho, tabaco, arroz, cana-de-açúcar, soja e mandioca (Zanella et al., 2008).

Os herbicidas do grupo das isoxazolidinonas possuem ação específica sob a enzima deoxixilulose fosfato sintase (DXP sintase), responsável pela síntese de isoterpenoides, que são precursores básicos dos carotenoides, numa rota alternativa chamada de rota metilerithritol 4-fosfato (MEP), que ocorre no cloroplasto (Ferhatoglu et al., 2005).

Devido às características do clomazone, o produto é facilmente volatilizado e pode provocar intoxicação visual temporária em cereais de inverno como o trigo, aveia e o centeio, e também em culturas como; girassol, milho, hortícola e citros. Dependendo da concentração o efeito danoso pode ser não reversível para essas culturas (Karam et al., 2003).

Em função da possibilidade de deslocamento no ar e sua absorção por órgãos superiores das plantas, como folhas, o cultivo de espécies sensíveis pode ser afetado tanto qualitativamente como quantitativamente, mesmo quando expostas a sub doses de herbicidas (Rogoli et al., 2008).

Quando aplicados para o controle de plantas daninhas a dissipação dos herbicidas para o ambiente pode ocorrer devido às propriedades físico-químicas de cada molécula, que sob efeito das condições climáticas pode deslocar o produto de seu alvo. Dentre os destinos do herbicida, após a aplicação, destacam-se a retenção, transformação, transporte, que engloba os processos de perdas: (deriva, volatilização, lixiviação e escurrimto superficial) (Mancuso et al., 2011). Em relação ao clomazone, sua perda para a atmosfera é significativa, sendo poucos os trabalhos que avaliaram o potencial tóxico do produto quando presente na atmosfera.

Uma técnica acessível para informar sobre um possível problema de contaminação do ecossistema por herbicida, ou outros componentes tóxicos, é a utilização de plantas indicadores dos resíduos desses produtos no solo. Tal técnica se caracteriza por ser de baixo custo (Nunes e Vidal, 2009).

Klumpp et al. (2001) afirmam que o uso de bioindicadores é uma metodologia adequada na determinação da presença de poluentes atmosféricos, entretanto pouco se conhece da capacidade indicadora de resíduos atmosféricos de clomazone.

Sobre o comportamento de clomazone no solo, Inoue et al. (2011) avaliando o efeito residual em pré emergência em diferentes solos, evidenciaram que o clomazone proporcionou controle acima de 80% em plantas de *Urochloa decumbens* em solo de textura argilosa, com dose média de 1,0 kg ha⁻¹. Enquanto Mendes et al. (2012) afirmam que a *U. decumbens* foi mais sensível à presença de clomazone, sendo controlada em sua totalidade com doses acima de 50% (1,10 kg ha⁻¹) da recomendada.

Alves et al. (2002) avaliando a seletividade de clomazone e outros herbicidas a espécies forrageiras, verificaram que todas as espécies testadas foram sensíveis à presença do clomazone. Então, sugere-se que as espécies *Urochloa decumbens*, *Urochloa brizantha*, *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia e *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça sejam eficientes no monitoramento de resíduos de clomazone no solo. Entretanto, não se sabe qual o comportamento dessas espécies como indicadoras de resíduo atmosférico.

Dessa forma, a seleção de espécies forrageiras, bem como representantes de plantas daninhas comumente encontradas nas culturas, para as quais o clomazone é recomendado, se torna interessante para fins de bioindicação. Assim, objetivou-se avaliar a sensibilidade de plantas forrageiras e daninhas a concentrações residuais atmosféricas de clomazone.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente monitorado com controle de temperatura, radiação e luminosidade, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri, campus JK, Diamantina-MG. Foi conduzido em câmaras no interior de casa de vegetação. O trabalho foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 6x5, sendo o primeiro fator, seis espécies vegetais: triticale (*Triticosecale rimpai*), milho (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), braquiário (*Urochloa brizantha*), beldroega (*Portulaca oleracea*) e capim-braquiária (*Urochloa decumbens*). O segundo fator consistiu em cinco doses de clomazone: 0, 90, 180, 270 e 360 g ha⁻¹ (equivalentes às concentrações atmosféricas de 0,0; 0,05; 0,10; 0,15 e 0,20 mg L⁻¹). Para

cada concentração do clomazone foi utilizado uma câmara e no interior das mesmas foram colocadas seis unidades experimentais. As unidades experimentais foram constituídas de bandejas plásticas de tamanho 20 X 30 cm, com 7 cm de profundidade, preenchidas com 3,0 dm³ de solo.

A amostra de solo foi coletada em área sem histórico de aplicação de herbicidas, com predominância de solo do horizonte textural A, cuja análise química apresentou a seguinte composição: pH água (1:2,5) = 5,74; CTC pH7 = 5,89 cmolc dm⁻³; material orgânico = 0,80 dag dm⁻³; Ca = 2,45 cmolc dm⁻³; Mg = 0,67 cmolc dm⁻³; Al trocável = 0,06 cmolc dm⁻³; P disponível = 119,06 mg dm⁻³; K trocável = 337,50 mg dm⁻³; V = 67%; argila 6 dag kg⁻¹; areia 86,20 dag kg⁻¹ e t 4,05 cmolc dm⁻³. O solo foi previamente peneirado e adubado com 10,0 g de superfosfato simples por bandeja. As espécies foram semeadas em linhas no interior das bandejas, espaçadas cerca de 10 cm entre plantas e contendo oito sementes por linhas, das quais foram selecionadas posteriormente cinco plantas por meio de desbaste.

Doze dias após a emergência, as plantas foram alocadas no interior das câmaras experimentais. As câmaras foram construídas em formato retangulares, feitas com canos de PVC (20 mm) e recobertas por filme de polietileno de baixa densidade transparente de 150 µm, com as seguintes dimensões: laterais de 1,0 x 1,0 m com 0,5 m de altura, com volume de 500 dm³ (Figura 1A). As espécies ficaram no interior das câmaras por período de 96 horas ininterruptamente (Figura 1B). As temperaturas no interior das câmaras foram monitoradas durante o período de exposição das plantas ao clomazone (Figura 2).

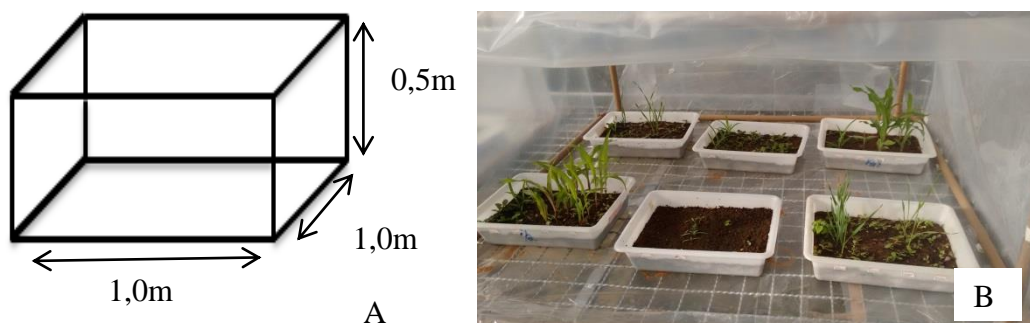


Figura 1. Esquema representativo da câmara experimental para exposição de espécies vegetais a resíduos atmosféricos do herbicida clomazone.

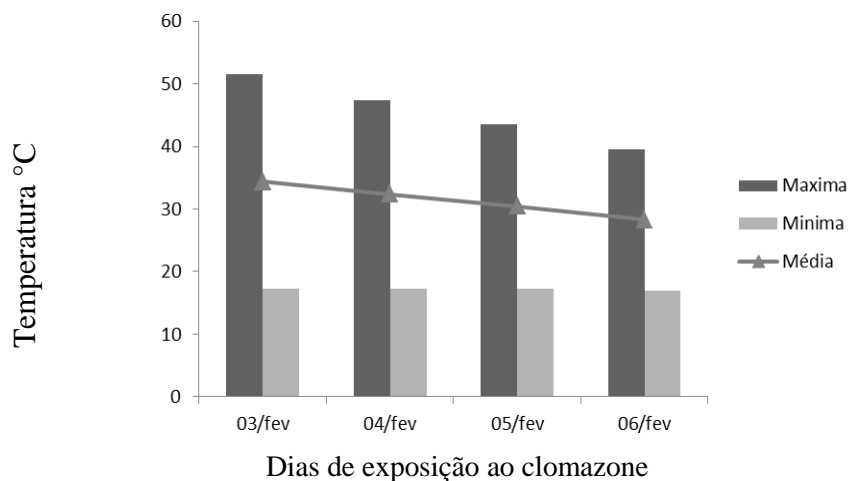


Figura 2. Temperatura máxima, mínima e média no interior das câmaras experimentais durante os quatro dias de exposição ao clomazone.

O herbicida clomazone foi diluído em água desionizada nas doses estabelecidas, considerando-se a superfície da câmara de crescimento ($1,0 \text{ m}^2$). As soluções foram adicionadas em placas de petri que ficaram expostas no interior das câmaras por 96 horas, permitindo a evaporação do produto, juntamente com a água. Foram dispostas duas placas por câmara. As plantas utilizadas como testemunhas também foram inseridas no interior das câmaras, entretanto, usando-se água desionizada somente. Após esse intervalo, as câmaras foram abertas e as bandejas juntamente com as placas foram retiradas, procedendo-se à primeira avaliação de intoxicação visual e clorofila, repetida aos 7 e 14 dias após essa abertura.

A avaliação visual de intoxicação das espécies vegetais pelo clomazone foi feita baseando-se na escala visual com variação de 0 a 100%, em que 0% corresponde à ausência de sintomas e 100% a morte total da planta (SBPCPD, 1995) e também pelo teor de clorofila determinado por meio de clorofilômetro.

Os dados foram submetidos à análise de variância a $p > 0,05$ de probabilidade de erro, sendo as médias do efeito da concentração do clomazone, e do período de avaliação quando significativo, submetidas à regressão. Para a escolha do modelo foi considerada a sua significância e o maior coeficiente de determinação (R^2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se nas concentrações testadas efeito significativo do clomazone sobre praticamente todas as espécies, com interação entre a concentração do herbicida e o tempo de avaliação. Verificou-se aumento nos sintomas de intoxicação para todas as espécies à medida que se aumentou a concentração de clomazone em todos os períodos de avaliação. A maioria das espécies apresentou potencial para indicar a presença de resíduo de clomazone na atmosfera. Os sintomas foram confirmados como sendo provocadas pelo herbicida, sendo observadas folhas com coloração esbranquiçada, ou seja, despigmentadas, característico da ação do clomazone que é responsável por inibir a síntese de carotenoides que é protetor da clorofila (Senseman, 2007).

Foram observados sintomas de intoxicação nas espécies sorgo, triticale, braquiarião, beldroega e capim-braquiária, tais efeitos aumentaram com as épocas de avaliação. Para o triticale, observou-se que a intoxicação mais severa ocorreu no décimo quarto dia após a abertura da câmara, chegando a 30%. Esse mesmo comportamento foi evidenciado também para o sorgo e braquiária. Para o sorgo, a maior intoxicação foi encontrada ao décimo quarto dia, na concentração de $0,20 \text{ mg L}^{-1}$, com sintomas de 31%, enquanto que para a braquiária o acréscimo no sintoma de intoxicação foi crescente somente até o sétimo dia, com intoxicação média de 20% (Figura 3).

Para o braquiarião e a beldroega verificou-se aumento nos sintomas de intoxicação à medida que houve acréscimo na concentração do herbicida, com aumento até o oitavo dia para o braquiarião e décimo segundo para a beldroega (Figura 3).

Raimondi et al. (2010) verificaram que, para o controle da beldroega em pré-emergência na cultura do algodão, o clomazone proporcionou na menor dose (125 g ha^{-1}) controle acima de 95%. Cavero et al. (2001) afirmam que doses de (180 g ha^{-1}) controlaram 100% da beldroega. Estes resultados corroboram com os encontrados nesta pesquisa, percebendo-se a suscetibilidade da beldroega aos resíduos de clomazone.

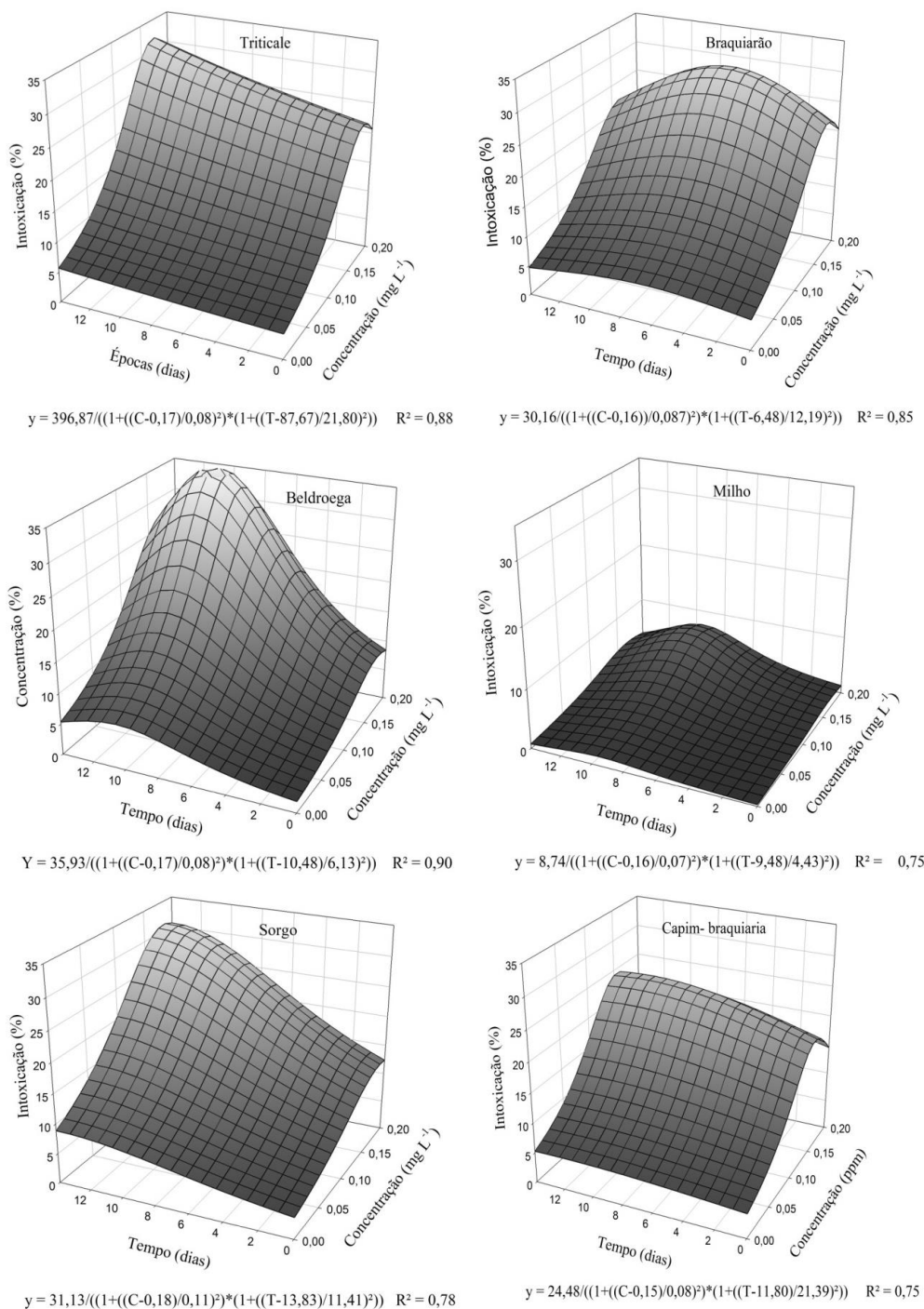


Figura 3. Estimativas dos efeitos de concentrações de clomazone (C) e das épocas de avaliação (T) sobre a intoxicação (%) de plantas daninhas e forrageiras.

O milho foi à espécie que apresentou menor sensibilidade aos resíduos de clomazone na atmosfera, não havendo aumento significativo na intoxicação com aumento da concentração do herbicida em nenhum período de avaliação. De modo geral a

intoxicação não ultrapassou 10%, demonstrando a tolerância da espécie à concentração máxima testada do herbicida (Figura 3).

A suscetibilidade de espécies vegetais ao clomazone na fase vapor foi avaliada por Schreiber et al. (2013), constatando-se aumento gradual na intoxicação do sorgo com o tempo após exposição, enquanto o milho apresentou potencial de recuperação dos sintomas ocasionados pelo herbicida a partir do décimo dia. Esses autores afirmam que o sorgo foi a espécie que apresentou maior intoxicação visual, seguido do milho e arroz.

Mendes et al. (2012) monitorando a mobilidade e persistência de herbicidas aplicados no solo verificaram que doses do clomazone superiores a $0,55 \text{ kg ha}^{-1}$ foram capazes de controlar 100% das plantas de *U. decumbens*, enquanto nessa mesma faixa de aplicação observou-se, para plantas de sorgo, controle de somente 12 %.

Mesmo admitindo-se os valores de intoxicação de 30%, percebe-se sensibilidade das espécies testadas. Essa sensibilidade diferencial sugere certa tolerância para espécies como o milho.

A sensibilidade aos resíduos atmosféricos do clomazone pode ser explicada seguindo a mesma ideia de seletividade aos resíduos no solo, contudo, muito maior na primeira condição, em função do produto ser absorvido diretamente pelas folhas. Quando aplicado via pulverização, o produto é absorvido via raízes e transportado no interior da planta pelo xilema até o sitio de ação nas folhas. Já a exposição somente atmosférica pode permitir maior quantidade de produto para dentro dos tecidos em tempo maior, principalmente porque é nas folhas o local da síntese de carotenoides.

De maneira geral, a tolerância diferenciada entre as plantas pode ser resultado das diferenças morfofisiológicas e anatômicas existentes entre as espécies. Tais diferenças podem gerar obstáculos à entrada, translocação, tempo e intensidade de exposição da molécula na planta, assim como diferenças na metabolização do produto (Deuber, 1992).

Considerado o clomazone como um pré-herbicida, para que este venha causar intoxicação na planta suscetível por meio da metabolização, é necessário que a molécula 2-[(2-chlorophenyl) methyl]-4,4-dimethyl-3-isoxazolidinona) seja transformada em cinco-keto-clomazone, que é o metabólito com atividade herbicídica (Tenbrook et al., 2006).

A transformação da molécula para cinco-keto-clomazone ocorre possivelmente pela ação da enzima citocromo P-450 monooxigenase, presente na maioria das espécies vegetais. Segundo Yun et al. (2005), a enzima está relacionada a seletividade de determinadas plantas ao clomazone. E é responsável pela metabolização de inúmeras

moléculas e tem implicado na resistência a vários herbicidas. Acredita-se que a diferença entre a sensibilidade das espécies testadas neste trabalho esteja correlacionada a presença do complexo enzimáticos P-450.

Os complexos de enzimas P-450s catalisam reações que podem levar a rápida desintoxicação metabólica de herbicidas dos grupos chloroacetanilidas, ariloxifenoxipropionatos, sulfoniluréias, imidazolinonas, isoxazolidinonas e sulfonamidas, protegendo da ação fitotóxica para algumas culturas da classe das Liliopsidas (Mougin et al., 1991; Riechers et al., 2010).

Em muitos casos, a diferença entre a seletividade do clomazone para as diferentes espécies cultivadas pode estar relacionada às características morfológicas e genéticas entre as magnoliopsidas e liliopsidas. Essa diferença pode resultar em diferenciadas proporcionando respostas da enzima citocromo P450 monooxigenase, conferido maior sensibilidade a algumas espécies e tolerância a outras (Schreiber et al., 2013).

A capacidade de um herbicida em intoxicar determinada cultura está relacionada a uma série de fatores, dentre estes se destacam a capacidade da planta em metabolizar o ingrediente ativo desde agroquímico (Cumming et al., 2002). Neste caso, ressalta-se a ação do complexo enzimático citocromo P-450 e também das condições agroclimáticas no momento da aplicação, como altas temperaturas e baixa umidade do ar.

Temperaturas altas além de facilitar a volatilização do clomazone, podem contribuir para o efeito fitotóxico da molécula. Considerando a variação observada na temperatura durante a avaliação do trabalho no interior da unidade experimental, entre 30 e 35°C (Figura 1), o efeito resultante no microclima pode ter contribuído para maior intoxicação destas plantas, mesmo em doses tão reduzidas do produto. Contudo, é nessa faixa de temperatura que se esperam os reais efeitos em campo.

Schreiber et al. (2013) afirmam que temperaturas baixas causam menor ativação do herbicida e conseqüentemente menor atividade das enzimas citocromos P450, causando menor intoxicação. Nesse trabalho o efeito observado pode ser inverso, sendo que temperaturas próximas a 33°C podem ter aumentado a ação da enzima P450, proporcionando maior ativação do clomazone.

Devido à ação do clomazone, exclusivamente inibindo a síntese de isoterpenoides, é provável que como precursores básicos dos carotenoides haja pouca

proteção da clorofila contra a foto-oxidação. Com o aumento da concentração do clomazone espera-se que ocorra diminuição do teor de clorofila para plantas suscetíveis.

Observou-se para todas as plantas redução significativa no teor de clorofila com o aumento da concentração do resíduo de clomazone na atmosfera. Entretanto, durante o período de avaliação cada espécie comportou-se de maneira diferente. Para braquiarião e sorgo observou-se decréscimo no teor de clorofila em decorrência do aumento da concentração de clomazone, com redução média de 45%, com teor de $33,20 \mu\text{g cm}^{-2}$ no tratamento controle e chegando a $17,96 \mu\text{g cm}^{-2}$ nas plantas sob concentração de $0,20 \text{ mg L}^{-1}$. Para essas duas espécies foram descritos os valores médios encontrados para tempo, uma vez que não houve alteração no teor de clorofila ao longo do período de avaliação (Figura 4).

Para plantas de triticales os maiores valores de clorofila foram encontrados também no tratamento com ausência de clomazone e decréscimo proporcional ao aumento da concentração. Porém em relação ao período de avaliação, não houve diferença entre o primeiro dia (zero) e o último dia (14), que apresentaram média de $40,75 \mu\text{g cm}^{-2}$ e $28,85 \mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente. Já no sétimo dia de avaliação foram encontrados os menores valores para o teor de clorofila para todas as concentrações de $32,50 \mu\text{g cm}^{-2}$ para $14,40 \mu\text{g cm}^{-2}$ na concentração de $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 4).

Não houve diferença significativa para teor de clorofila em plantas de beldroega, embora, percebe-se leve diminuição com o aumento da concentração de clomazone. Da mesma forma, não se encontrou diferença entre os períodos de avaliação, sendo observados valores entre 29 e $36 \mu\text{g cm}^{-2}$ (Figura 4).

A resposta do capim braquiária quanto ao teor de clorofila ao aumento da concentração de clomazone e o período de avaliação foi positiva, demonstrando a tolerância da espécie ao herbicida. No primeiro dia de avaliação, à medida que se aumentou a concentração de clomazone diminuiu-se o teor de clorofila, chegando à concentração de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ com teor 53% menor que o teor inicial ($32 \mu\text{g cm}^{-2}$). Contudo, com o aumento do período de avaliação a planta conseguiu recuperar-se apresentando teor de clorofila na concentração máxima de $31 \mu\text{g cm}^{-2}$, no décimo quarto dia (Figura 4).

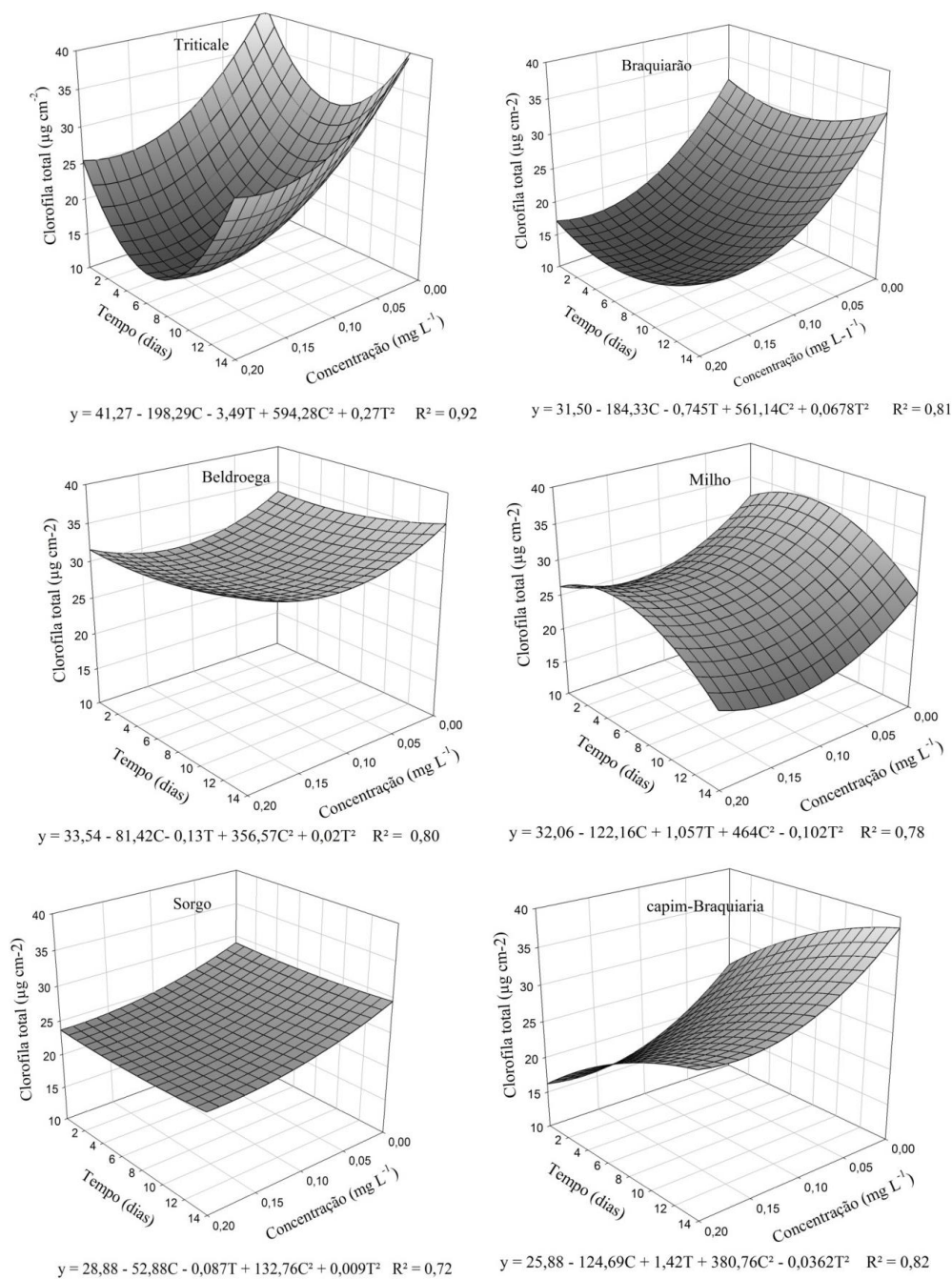


Figura 4. Estimativas dos efeitos de concentrações de clomazone (C) e das épocas de avaliação (T) sobre o teor de total de clorofila ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de plantas daninhas e forrageiras.

O local de exibição nas plantas de sintomas de intoxicação provocadas pelo clomazone é sempre próximo aos meristemas das folhas, onde ocorre a maior síntese de carotenoides e também onde se concentram a maior quantidade de clorofila. Com a contínua exposição das plantas ao herbicida (por 96 horas) observou-se diferenças na intoxicação de cada espécie. Após a exposição, constatou-se sintomas de intoxicação e

também redução no teor de clorofila. Para o milho, a redução no teor de clorofila se deu principalmente depois do sétimo dia, apresentado no décimo quarto com teor entre 20 e 25 $\mu\text{g cm}^{-2}$.

Sob efeito da ação do clomazone o teor de clorofila total é mais prejudicado que a eficiência fotoquímica, possivelmente porque a molécula do herbicida prejudica a formação do pigmento clorofila e não o transporte de elétrons (Zera et al., 2011). Kana et al. (2004) estudaram a capacidade fotossintética das plântulas de cevada (*Hordeum vulgare*), cultivadas em papel filtro contendo 0,25 mM e 0,5 mM de clomazone, sob 12 dias de luz contínua, e verificaram reduções no teor total de clorofila e também nos níveis de caratenoides. Concluem que os processos fotoquímicos nessa espécie não podem funcionar plenamente, devido à perda dos pigmentos provocados pela intoxicação com o herbicida.

Os caratenoides são considerados como verdadeiros protetores da clorofila, quando ocorre a inibição da sua biossíntese a planta fica exposta ao excesso de luz, que pode causar foto-oxidação da clorofila, destruindo-a. As inibições da síntese dos carotenoides vão gerar o sintoma visual nas folhas das plantas sensíveis e jovens, que perdem a coloração verde, tornando-se brancas, gerando um sintoma típico de albinismo ou despigmentação (Oliveira Junior, 2011; Senseman, 2007). A redução do teor de clorofila é justificada segundo esses autores, uma vez que, com o aumento dos sintomas evidenciados pela intoxicação, as diferentes espécies testadas ficarão expostas ao excesso de luz, e a foto oxidação promoverá a diminuição da clorofila total dessas espécies. Com a destruição da clorofila a planta diminui, podendo em casos até cessar a atividade fotossintética, levando à planta a queda drástica no crescimento e chegando a morte de tecidos.

De maneira geral, percebe-se o potencial do clomazone das concentrações testadas, podem causar danos significativos a espécies sensíveis, reduzindo não só o teor de clorofila como também o crescimento vegetal. Essas concentrações não são suficientes para causar a senescência da planta sensível, embora podem causar danos significativos como os observados. Deve, contudo, ser enfatizada a capacidade deste herbicida em diminuir a qualidade visual da parte aérea de inúmeras espécies sensíveis, inclusive espécies destinadas ao consumo humano. Devem-se explorar mais espécies vegetais, visando estabelecer quais culturas são mais sensíveis ao resíduo atmosférico do herbicida.

A presença de concentrações mesmo que mínimas na atmosfera podem causar prejuízos em ordem econômica, justificando a necessidade do conhecimento prévio das condições não somente do solo, mas também da qualidade do ar, para evitar futuros prejuízos. À exceção do milho, as espécies são interessantes como bioindicadoras, pois são capazes de apresentar efeitos, mesmo na concentração estimadas de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de clomazone.

6 CONCLUSÃO

O campim-braquiaria, braquiarão, sorgo, triticale e beldroega são as espécies mais sensíveis às concentrações residuais atmosféricas de clomazone, podendo ser utilizadas no monitoramento da qualidade do ar.

7 AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela estrutura, suporte, à Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e à FAPEMIG pelo suporte financeiro.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E.; MARTINS, D.; SOUZA, F.H.D. Seletividade de herbicidas pré-emergentes para gramíneas forrageiras tropicais. **Planta Daninha**, v.20, p.457-464, 2002.

CUMMING, J.P.; DOYLE, R.B.; BROWN, P.H. Clomazone dissipation in four Tasmanian topsoils. **Weed Science**, v.50, n.3, p.405-409, 2002.

CAVERO, J.; AIBAR, J.; GUTIERREZ, M.; CAVADA, S.F.; SOPENA, J.M.; PARDO, A.; SUSO, M.L.; ZARAGOSA, C. Tolerance of direct-seeded paprika pepper (*Capsicum annuum*) to clomazone applied preemergence. **Weed Technology**, v.15, n.1, p.30-35, 2001.

DEUBER, R. **Herbicidologia**. In: DEUBER, R. Ciência das plantas daninhas: fundamentos. Jaboticabal, FUNEP, 1992.

FERHATOGLU, Y.; AVDIUSHKO, S.; BARRETT, M. The basic for safening of clomazone by phorate insecticide in cotton and inhibitors of cytochrome P450s. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.81, n.1, p.59-70, 2005.

INOUE, M.H.; TSCHOPE, M.C.; MENDES, K.F.; BEN, L.R. Seleção de bioindicadores para herbicida residuais aplicados em pré-emergência. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.10, n.2, p.173-82, 2012.

KANA, R.; SPUNDOVA, M.; LLIK,P.; LAZAR, D.; KLEM, K.; TOMEK, P.; NAUS, J.; PRASIL, O. Effect of herbicide clomazone on photosynthetic processes in primary barley (*Hordeum vulgare L.*) leaves. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.78, n.3, p.161-70, 2004.

KARAM, D.; CARNEIRO, A.A.; ALBERTH, L.H.; CRUZ, M.B.; COSTA, G.T.; MAGALHÃES, P.C. Seletividade da cultura do milho ao herbicida clomazone por meio do uso de dietholate. **Revista Brasileira de Milho Sorgo**, v.2, n.1, p.72-79, 2003.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G. FOMIN, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). **Revista brasileira de Botânica** [online], v.24, n.4, 2001.

MANCUSO, M.A.C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.2, p.151-64, 2011.

MENDES, K.F.; INOUE, M.H.; MATOS, A.K.A.; POSSAMAI, C.S.; TSCHOPE, C.M.; GOULART, B.F.; BEN, R. Seleção de bioindicadores para monitoramento da mobilidade e persistência de herbicidas aplicados no solo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.2, p.213-21, 2012.

MOUGIN, C.; POLGE, N.; SCALLA, R.; CABANNE, F. Interaction of various agrochemicals with cytochrome P-450- dependent monooxygenases of wheat cells. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.40, n.1, p.1-11, 1991.

NUNES, A.L.; VIDAL, R.A. Seleção de Plantas quantificadoras de herbicida residuais. Pesticidas: **Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.19, p.19-28, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, R.S. **Mecanismo de Ação de Herbicidas. Biologia e Manejo de Plantas daninhas**, 2011, 348p.

RAIMONDI, M.A.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; BIFFE, D.F.; FRANCHINI, L.H.M.; SANTOS, G.; GEMELLI, A.; CHENO, E; BUCKER. Otimização de herbicidas utilizados em pré-emergência para o controle de *Portula oleracea*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.9, n.2, p.42-53, 2010.

ROGOLI, R.P.; FONTANA, L.C.; FIGUEREDO, S.S.; NOLDIN, J.A. Response of beetroot (*Beta vulgaris*) and carrot (*Daucus carota*) to simulated glyphosate and clomazone drift. **Revista Brasileira de Plantas Daninhas**, v.26, n.2, p.451-56, 2008.

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas daninhas - SBCPD. **Procedimentos parágrafo Instalação, Avaliação e Análise de Experimentos com herbicidas**. Londrina:. 1995. 42p

SCHEREIBER, F.; AVILA, L.A.; SCHERNER, A.; MOURA, D.S.; HELGUEIRA, D.B. Plants sensitive to clomazone in vapor phase. **Revista Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1817-23, 2013.

SENSEMAN S.A. **Manual de herbicidas** . 9. Ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007.

RIECHERS, D.E.; KREUZ, K.; ZHANG, Q. Detoxification without intoxication: herbicide safeners activate plant defense gene expression. **Plant Physiology**, v.153, n.1, p.3-13, 2010.

TENBROOK, P.L., TJEERDEMA, R.S. Biotransformation of clomazone in Rice (*Oryza sativa*) and early watergrass (*Echinochloa oryzoides*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.85, n.1, p.38-45, 2006.

YUN, M.S.; YOGO, Y.; MIURA, R.; YAMASUE, Y.; FISCHER, A.J. Cytochrome P-450 monooxygenase activity in herbicide-resistant and – susceptible late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.83, n.2-3, p.107-114, 2005.

ZANELLA, R.; PRIMEL, E.G.; GONÇALVES, F.F.; MARTINS, M.L.; ADAIME, M.B.; MARCHESAN, E.; LO, S.M. Study of the degradation of the herbicide clomazone in distilled and in irrigated rice field Waters using HPLC-DAD and GC-MS. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.10, n.5, p.987-95, 2008.

ZERA, F.S.; AZANIA, C.A.M.; SHIAVETTO, A.R.; LORENZATO, C.M.; AZANIA, A.A.P.M. Tolerance of different sugarcane (*Saccharum* spp.) Cultivars to herbicides. **Revista Brasileira de Plantas Daninhas**, v.29, n.3, p.591-99, 2011.

INTOXICAÇÃO E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS FORRAGEIRAS E DANINHAS SUBMETIDAS A RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DE CLOMAZONE

1 RESUMO

A volatilização de herbicidas podem gerar problemas ambientais e agrícolas e resultar em contaminação visual ou fisiologia de espécies vegetais não alvo. Assim, objetivou-se com esta pesquisa, estudar a fluorescência da clorofila *a* de plantas daninhas e forrageiras sob efeito do clomazone na forma de resíduos atmosféricos. O experimento foi conduzido a campo, delineado em blocos causalizados com quatro repetições, em esquema fatorial 6x4, sendo seis espécies vegetais: *Dolichos lablab*, *Sorgum bicolor*, *Urochloa brizantha*, *Macrotyloma axillare*, *Portulaca oleracea* e *Sida rhombifolia*. Em quatro soluções contendo clomazone 0, 360, 720 e 1080 g ha⁻¹ (0; 0,05; 0,10 e 0,15 mg L⁻¹, considerado o volume). Foram construídos canteiros e cobertos com filme de polietileno transparente de 150 µm, apresentando volume de 12m³. As forrageiras foram semeadas em linha, enquanto as plantas daninhas foram selecionadas de acordo com a incidência. No décimo sexto dia após a emergência foi inserida a concentração do herbicida diluído em três placas de petri. Transcorridos 72 horas de exposição, os túneis foram abertos e as placas foram retiradas, constatando-se evaporação do produto. Procedeu-se as seguintes avaliações; intoxicação das plantas, fluorescência inicial, rendimento quântico máximo do PSII, quenching fotoquímico, quenching não-fotoquímico e teor de clorofila. Mesmo em concentrações que não promovem efeito visual, o clomazone é capaz de causar danos significativos na atividade fotossintética das espécies. As variáveis fisiológicas, clorofila total, rendimento quântico máximo do PSII e fluorescência inicial da clorofila podem ser utilizadas de forma eficiente no monitoramento de resíduos do clomazone na atmosfera.

Palavras-chave: *Dolichos lablab* L., *Macrotyloma axillare* E.Mey, *Portulaca oleracea* L., *Sida rhombifolia* L., *Sorgum bicolor* L., *Urochloa brizantha* A. Rich.

2 ABSTRACT

The volatilization of herbicides can generate environment and agricultural problems and result in visual or physiological contamination of non-target plant species. Thus, the objectives of this research were to study the *a* chlorophyll fluorescence of weed and forage plants under effect of Clomazone in the form of atmospheric wastes. The experiment was conducted in the field, was conducted in a randomized block design with four repetitions, in 6x4 factorial scheme, being six plant species: *Dolichos lablab*, *Sorgum bicolor*, *Urochloa brizantha*, *Macrotyloma axillare*, *Portulaca oleracea* e *Sida rhombifolia*. In four solutions containing Clomazone 0, 360, 720 e 1080 g ha⁻¹ (0; 0,05; 0,10 e 0,15 mg L⁻¹, volume considered). Plats were build and covered with 150m of transparent polietilene film, showing volume of 12m³. The forage were sown in line, while the weed plants were selected according to the incidence. On the sixteenth day after the emergency the herbicide concentration was inserted, diluted in three petri dishes. Seventy-two hour after exposure, the tunnels were open and the dishes were removed, where the product evaporation was perceived. Were made the following assessments: plants intoxication, initial fluorescence, PSII maximum quantum yield, photochemical quenching, non-photochemical quenching, and chlorophyll contente. Even in concentrations that don't promote visual effect, the Clomazone is able to cause significative damage in photosynthetic activity of species. The phisyologic variables, total chlorophyll, PSII maximum quantu,m yield and chlorophill initial fluorescence can be used efficiently in monitoring of Clomazone wastes in atmosphere.

Keywords: *Dolichos lablab* L., *Macrotyloma axillare* E.Mey, *Portulaca oleracea* L., *Sida rhombifolia* L., *Sorgum bicolor* L., *Urochloa brizantha* A. Rich.

3 INTRODUÇÃO

Grande parte dos herbicidas aplicados para o controle de plantas daninhas tende a se deslocar para o solo, águas e também para atmosfera, enquanto a outra parte é absorvida pelas plantas. Quando presente na atmosfera, o produto é carregado para diversos ambientes agrícolas e urbanos, podendo gerar problemas à saúde humana e efeitos sobre áreas agrícolas (Gomes e Barizon, 2014).

Se por um lado é fato que o Brasil é o maior produtor de alimentos, fibra e energia no mundo e que o uso de agrotóxicos por unidade de área tende a ser baixo, por outro lado, a superfície continental do país torna o montante final aplicado bastante elevado. Segundo a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) desde 2009 o Brasil é o maior consumidor e produtor de agrotóxicos do mundo. O mercado desses produtos cresceu aproximadamente 176% na última década sendo quatro vezes maior que a média mundial (ANVISA, 2013).

Cada molécula de herbicida apresenta características próprias e quando em contato com o ambiente tende a sofrer reações. As principais reações observadas são decomposição química, fotoquímica ou biológica, volatilização, lixiviação, arrastamento lateral, solubilidade ou ainda retenção pelas plantas e microrganismos. Esses processos indicam a persistência, a degradação, a mobilidade e a bioacumulação dessas moléculas químicas (Guimarães, 1987).

Dentre as principais moléculas disponíveis para o controle de plantas daninhas, e com boa aceitação pelos agricultores, o clomazone 2-(2-clorofenil) metil-4,4-dimetil-3-isoxazolidinona se destaca pelo bom controle de várias espécies de plantas daninhas. É indicado para várias culturas, incluindo algodão, arroz, cana, mandioca e soja (MAPA, 2016).

Apesar de seguro quanto aos resíduos em alimentos e em plantas, sua forma de dissipação, via solubilidade em água e volatilização, tornam seus resíduos passíveis de promoção de efeito tóxico visual. A volatilização representa o resultado global de todos os processos físico-químicos pelo qual um composto é transferido da solução do solo e, ou da superfície das plantas para a atmosfera (Bedos et al., 2002).

O clomazone também pode ser perdido ao ambiente por meio da deriva. A deriva é indesejável em decorrência dos prejuízos diretos em nível econômico, por danos a culturas sensíveis adjacentes; além de causar contaminação de alimentos, do ar e recursos

de água (Ozkan, 2000). Em muitos casos o produto é transportado para outro destino, atingindo plantas não alvo. Neste cenário, espécies vegetais forrageiras ou folhosas comportam-se como suscetíveis, pois muitas áreas de produção estão localizadas nas proximidades de pastagens ou grandes lavouras (Rogoli et al., 2008).

A ação do clomazone se dá principalmente dentro dos sítios enzimáticos responsáveis pela síntese dos pigmentos carotenoides, que vão gerar o sintoma visual nas folhas das plantas sensíveis e jovens, que perdem a coloração verde, tornando-se brancas, gerando um sintoma típico de albinismo ou despigmentação (Oliveira Junior, 2011; Senseman, 2007). Apesar dos efeitos já pesquisados de resíduos no solo sobre plantas não alvo, pouco se sabe do comportamento das diferentes espécies em relação ao resíduo atmosférico do clomazone. Qual concentração atmosférica desse produto é capaz de causar efeito visual tóxico a plantas sensíveis?

Para tanto, torna-se necessário o conhecimento dos níveis de qualquer molécula tóxica ao ambiente, capaz de causar danos fisiológicos e comerciais a culturas de interesse. Em várias situações, os danos causados pela intoxicação com herbicidas não são visíveis e o tempo de avaliação não é suficiente para que se verifiquem efeitos. Deste modo, alguns autores têm proposto avaliar as respostas fisiológicas das culturas como forma de selecionar herbicidas com potencial para a aplicação (Galon et al., 2010; Torres et al., 2012).

Para a determinação do efeito a nível fisiológico do uso de herbicidas, diversos equipamentos têm sido utilizados, e o parâmetro da fluorescência tem sido difundido, principalmente no estudo dos efeitos a níveis fotossintéticos, que permite analisar qualitativa e quantitativamente a absorção e o aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e as possíveis relações com a capacidade fotossintética (Torres Netto et al., 2005; Ferraz et al., 2014).

Nesse sentido, o estudo sob a fisiologia de diferentes plantas quando exposta a baixas concentrações pode ajudar no monitoramento e prevenção de problemas ambientais envolvendo herbicidas. Esta pesquisa foi proposta com objetivo de estudar a fisiologia de plantas daninhas e forrageiras sob efeito do clomazone na forma de resíduos atmosférico.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo experimental, no período de setembro a dezembro de 2015. Foram estimadas diferentes concentrações do clomazone sobre a atividade fisiológica de plantas forrageiras e de plantas daninhas. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizado com quatro repetições em esquema fatorial 6 x 4, sendo o primeiro fator seis espécies vegetais [quatro plantas forrageiras: lab lab (*Dolichos lablab*), sorgo (*Sorghum bicolor*), braquiarião (*Urochloa brizantha*) e java (*Macrotyloma axillare*) e duas plantas daninhas: beldroega (*Portulaca oleracea*) e sida (*Sida rhombifolia*)], e o segundo, quatro soluções de clomazone: 0, 360, 720 e 1.080 g ha⁻¹ (equivalentes às concentrações de 0; 0,05; 0,10 e 0,15 mg L⁻¹, considerado o volume).

Utilizou-se a formulação GAMIT 360[®], com 36% de clomazone. As espécies foram semeadas em canteiros previamente adubados e sem histórico recente da aplicação de herbicida. O solo apresentou em análise química, a seguinte composição: pH água (1:2,5) = 5,0; CTC pH7 = 9,17 cmolc dm⁻³; M.O. = 2,3 dag dm⁻³ Ca = 1,5 cmolc dm⁻³; Mg = 0,5 cmolc dm⁻³; Al trocável = 0,54 cmolc dm⁻³; P disponível = 4,3 mg dm⁻³; K trocável = 29 mg dm⁻³; V = 23%; e textura arenosa.

Para o preparo do solo a área foi submetida a uma aração e gradagem, sendo posteriormente preparados canteiros com dimensão 6,00m comprimento e 1,60m de largura. O solo foi submetido à calagem sendo aplicados 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e posteriormente adubado com 2.220 kg ha⁻¹; 206 kg ha⁻¹ e 363 kg ha⁻¹ de fósforo, potássio e nitrogênio, respectivamente.

Para a construção dos túneis plásticos, foram distribuídos ao longo das laterais dos canteiros, linhas de estacas de 50 cm de comprimento, espaçadas a cada dois metros, onde foram amarrados arcos de 2,50 metros de comprimento, os canteiros foram cobertos com filme de polietileno de baixa densidade transparente de 150 µm, apresentando o interior do túnel volume aproximado de 12 m³ (Figura 1). Os túneis tiveram espaçamento de 2,00 metros entre eles. O filme de polietileno teve suas extremidades amarradas em piquetes na parte superior e inferior dos túneis e cobertos como solo para evitar a perda de gases com o meio externo.

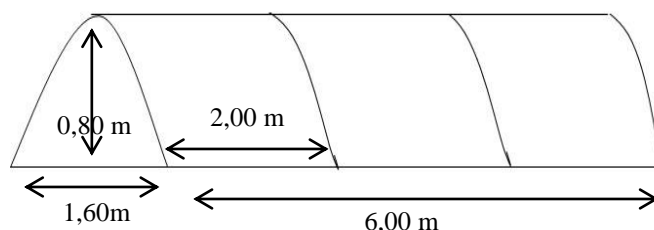


Figura 1. Esquema de montagem e dimensões de cada unidade experimental para o cultivo das forrageiras.

A semeadura das plantas forrageiras foi realizada em linhas sobre os canteiros, utilizando dez sementes de cada espécie por metro e para cada espécie foram selecionados quatro metros, que teve espaçamento de 15 cm entre as linhas. O espaçamento adotado entre plantas foi de 10 cm. Já as plantas daninhas foram selecionadas de acordo com a germinação e incidência na área experimental do cultivo, sendo utilizadas aquelas que incidiram em todos os canteiros. Os tratamentos culturais realizados tiveram o objetivo impedir a competição entre as forrageiras e as plantas daninhas selecionadas para o ensaio. A irrigação foi realizada com objetivo de manter a capacidade de campo. Utilizou-se mangueira micro perfurada para irrigação localizada e o intervalo de irrigação adotado foi de duas vezes por dia. A temperatura no interior dos túneis foi monitorada durante a execução da pesquisa, apresentando média de 35°C ($\pm 7^{\circ}\text{C}$).

Transcorridos 16 dias após a germinação foram colocadas três placas de petri no interior de cada túnel com as doses de clomazone correspondente ao tratamento, diluídas em água desionizada. Os túneis foram imediatamente fechados sem que houvesse troca de gases com o meio exterior, e permaneceram fechados por três dias para permitir adequada difusão do vapor do herbicida. O uso das placas de petri teve por objetivo evitar a absorção radicular e perda direta do produto para o solo. Após 72 horas de exposição, os túneis foram abertos e retiradas as placas, constatando-se completa evaporação da solução. Foram mensuradas:

- eficiência na bioindicação da presença de clomazone na atmosfera: realizada pela escala visual de intoxicação das plantas pelo clomazone, aos 16 dias após a germinação das espécies, com variação de 0 a 100%, em que 0% corresponde à ausência de sintomas e 100% a morte total da planta (SBPCPD, 1995);

- análise da eficiência do fotossistema II das plantas: medições foram realizadas após 30 minutos de adaptação ao escuro, com emissão de um pulso de luz saturante de 0,3 s, sob frequência de 0,6 KHz por fluorômetro. Avaliou-se então a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), a razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima (F_v/F_m), quenching fotoquímico (qP) e quenching não-fotoquímico (qN) e a taxa de transporte de elétrons ($ETR - \mu\text{Mols s}^{-2} \text{ s}^{-1}$);
- teor total de clorofila: por meio do clorofilometro.

Os dados foram interpretados por meio de análise de variância, quando significativos, foram submetidos à regressão a $p > 0,05$ de probabilidade de erro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentrações do herbicida clomazone na atmosfera causaram intoxicação em quase todas as espécies testadas. As exceções foram às leguminosas forrageiras *Dolichos lablab* e *Macrotyloma axillare*. Verificou-se nas demais o amarelecimento e branqueamento das folhas, intoxicação típica causada por clomazone (Figura 2).

Constatou-se que *S. bicolor* (sorgo) foi a mais sensível ao clomazone, com intoxicação superior a 15%, seguida por *U. brizantha*, *P. oleracea* e *S. rhombifolia* que apresentaram, sob efeito da dose mínima testada, intoxicação visual inferior a 10% (Figura 2).

Dentre as espécies que demonstraram intoxicação pelo herbicida, observou-se aumento gradual proporcional ao aumento da concentração do clomazone, chegando aos valores de 37, 30, 12 e 10%, respectivamente, para *S. bicolor*, *U. brizantha*, *S. rhombifolia* e *P. oleracea*, sob efeito da maior dose aplicada (Figura 2).

Para melhor interpretação dos resultados, optou-se pela conversão das doses em mg L^{-1} , cujos valores máximos equivalem a aproximadamente $0,15 \text{ mg L}^{-1}$. Portanto, o estudo é apresentado em nível de concentrações residuais atmosféricas.

A ausência de intoxicação em algumas plantas pode ser justificada, segundo Deuber (1992), pela tolerância que desenvolvem, em decorrência das diferenças morfofisiológicas e anatômicas existentes nessas espécies. Tal diferença criaria obstáculos à entrada, translocação ou metabolização de diversas moléculas no interior da planta.

A seletividade de determinadas plantas ao clomazone também pode se relacionar ao sítio de ação da enzima citocromo P-450 monooxigenase, que está implicada

em metabólicos de resistência de vários herbicidas. Essa enzima normalmente atua com função de destoxificação, podendo ser responsável pela oxidação da molécula de clomazone, tornando-a mais tóxica para plantas (Yun et al., 2005).

A atividade dos citocromos P450 facilita a conversão de produtos químicos em produtos de extrema reatividade, potencializando por meio da oxidação da molécula tornando-o mais reativo. Neste trabalho destaca-se também o efeito potencializado do clomazone quando presente nas concentrações testadas, com danos significativos nas espécies, como o *S. bicolor* e *U. brizantha*. Com esses resultados salienta-se a importância no monitoramento prévio da presença de possíveis moléculas tóxicas no ar, próximas a culturas sensíveis.

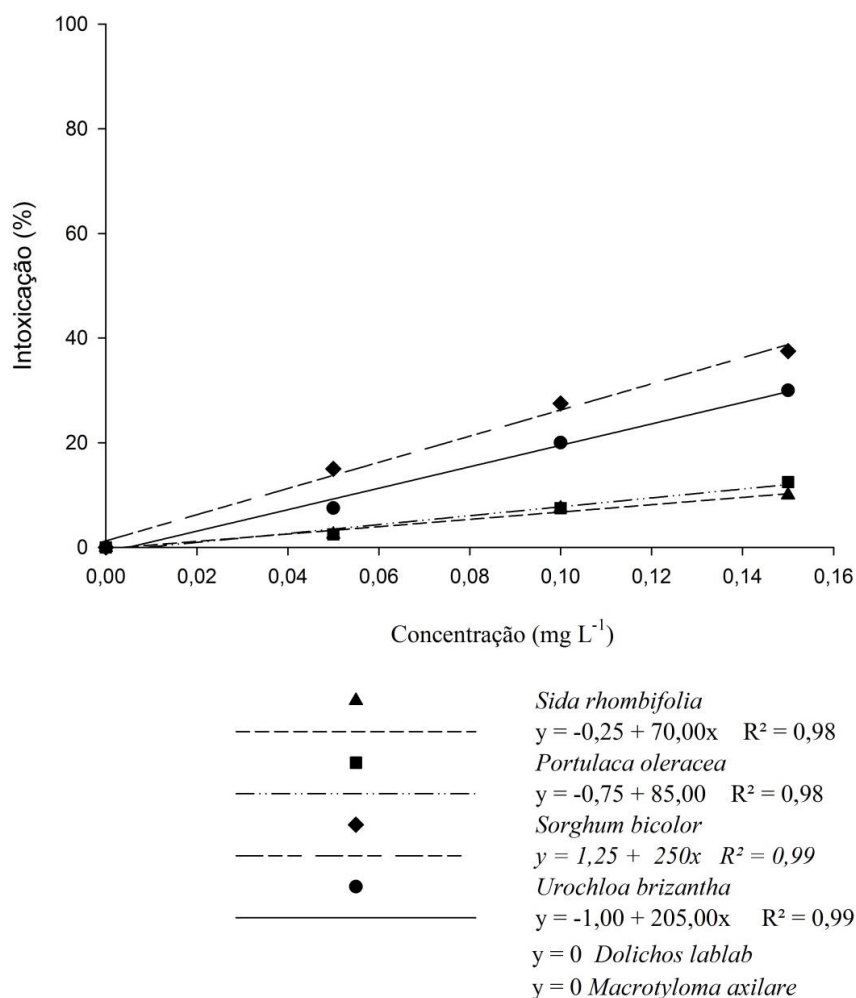


Figura 2. Intoxicação (%) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.

A temperatura durante a condução do experimento manteve-se alta, em função do microclima resultante do formato dos túneis. Esse fato pode ter contribuído para maior intoxicação das plantas, mesmo em pequenas concentrações de clomazone. Schreiber et al. (2013), afirmam que temperaturas baixas causam menor ativação do herbicida e consequentemente menor atividade das enzimas citocromos P450, causando menor intoxicação. Nesse trabalho o efeito foi inverso, em que altas temperaturas possivelmente aumentaram a ação da P450, ocasionando maior ativação do clomazone, que somada à pressão de vapor da molécula, causou o efeito tóxico nas plantas.

O aumento da temperatura pode afetar a integridade dos lipídios, separando-as fases da formação de camada simples nas membranas dos tilacóides, ainda pode ser consequência da reação entre O^{2-} e peróxido de hidrogênio. O dano causado nessa situação ainda pode se agravar, quando as membranas do tilacóide estão danificadas, os aceptores que lá estão localizados também estão sob efeito, não havendo a movimentação de elétrons para o PSII (Pastori e Trippi, 1993). Em outra pesquisa, Havaux e Davaud (1994), afirmam que dentro do sistema fotossintético, o PSII demonstra ser mais sensível ao calor do que o PSI, enzimas do estroma e o envelope cloroplastídicos demonstram comparativamente serem mais termoestáveis. Espera-se por isso redução no rendimento quântico máximo do PSII, justificando os baixos valores encontrados neste trabalho para as espécies testadas.

Considerando que para o rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m) de plantas com ótimo estado fisiológico, a relação F_v/F_m , deve variar entre 0,75 e 0,85, pode-se afirmar que somente *P. oleracea* mante-se dentro da normalidade. Essa espécie apresentou razão de 0,79, sendo o valor diminuído com o aumento da concentração de clomazone. Para as demais espécies, mesmo aquelas que não apresentaram visualmente sintomas de toxidez observou-se efeito na relação F_v/F_m . Destaca-se *D. lablab* com redução de 0,68 a 0,45 com o aumento da concentração (Figura 3).

Para as demais espécies vegetais, observou-se sensível redução com o incremento da concentração de clomazone, contudo, sempre inferior a 0,75 no tratamento controle. Possivelmente esses baixos valores são justificados pelas altas temperaturas registradas no local do experimento.

A eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) para a maioria das culturas é de 0,8, os valores abaixo podem significar menor quantidade de energia utilizada para a fixação do CO_2 devido a redução do fluxo de elétrons para o fotossistema II (Cechin, 1996),

Mesmo com os baixos valores do tratamento controle para Fv/Fm, observou-se efeito do clomazone sobre as espécies, evidenciando que com o aumento da concentração de clomazone há efeito também sobre a fotossíntese a nível fotoquímico. É de se esperar influência sobre a fotossíntese, uma vez que o mecanismo de ação do clomazone afeta diretamente a clorofila, responsável pela absorção da energia luminosa.

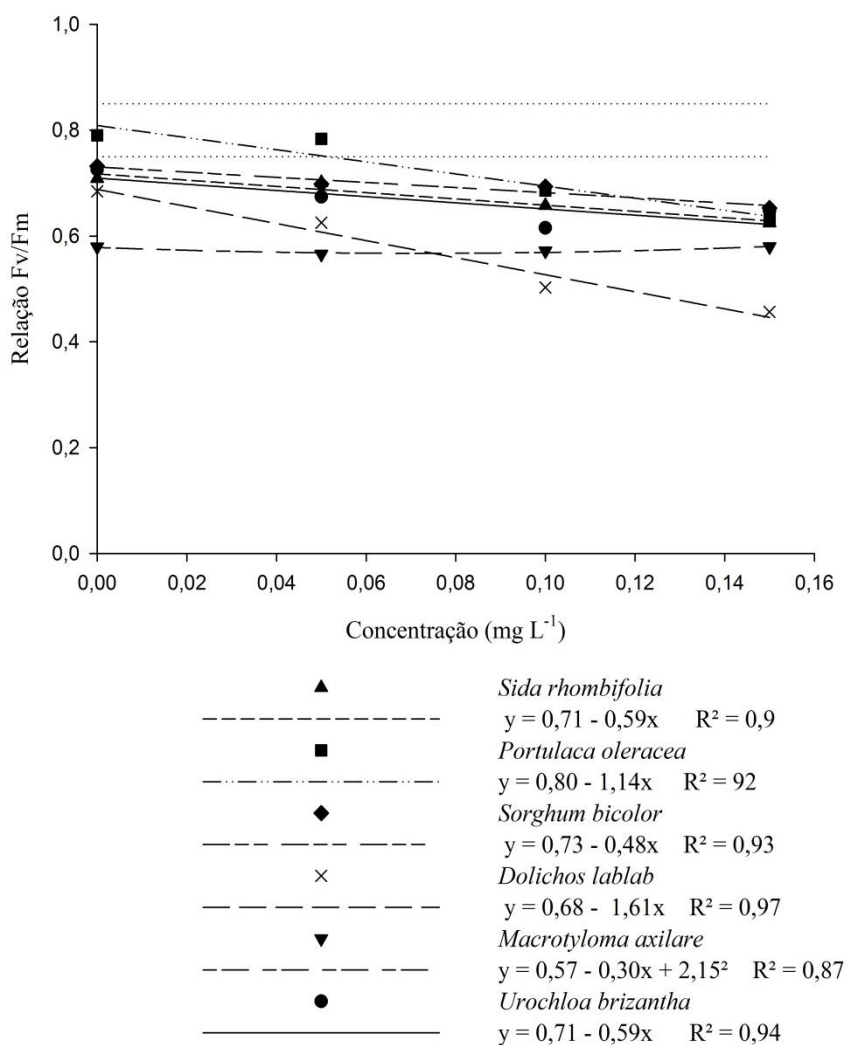


Figura 3. Rendimento quântico máximo do PSII de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.

Houve efeito da concentração de clomazone sobre o teor de clorofila das espécies testadas, com exceção do *D. lablab* e *M. axillare*, que mantiveram valores médios entre 30 e 35 $\mu\text{g cm}^{-2}$. Já para as demais espécies é possível perceber decréscimo acentuado no teor de clorofila com aumento na concentração do herbicida, com destaque para o *S.*

bicolor e *P. oleracea*, chegando à concentração de $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ com $18,43$ e $27,5 \text{ } \mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente (Figura 4).

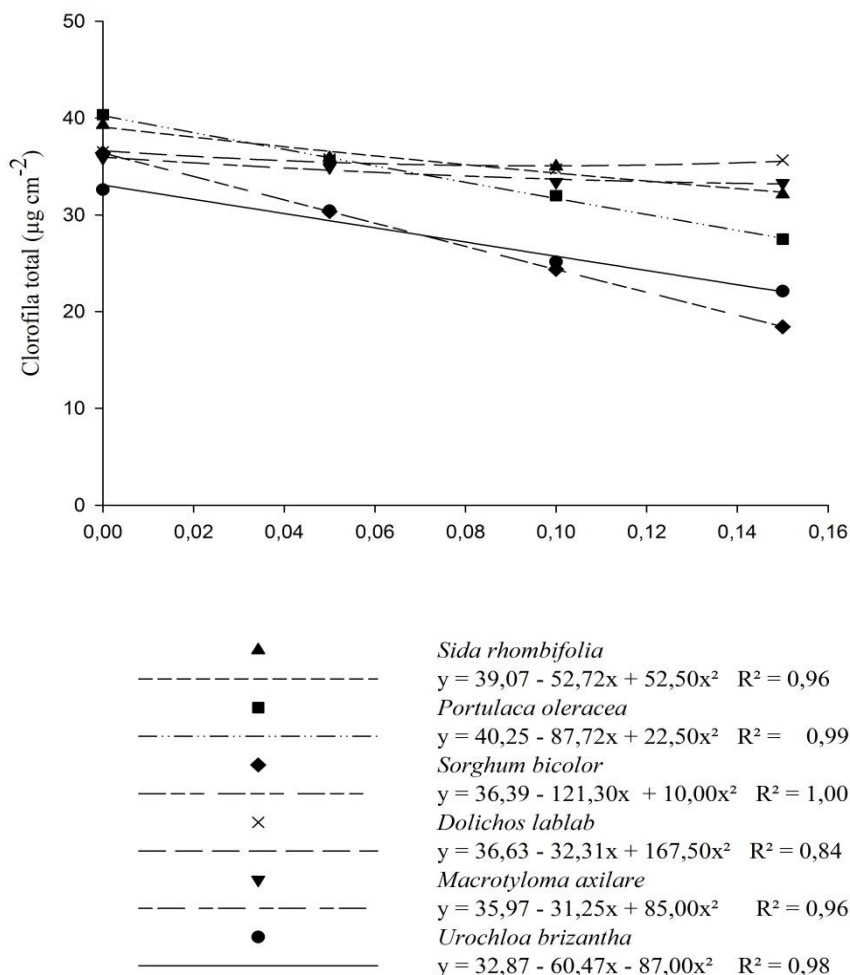


Figura 4. Clorofila total ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.

Como verificado, o teor total de clorofila foi mais prejudicado que a eficiência fotoquímica, que acompanhando o grau de intoxicação das espécies. Segundo Zera et al. (2011), isso se dá possivelmente devido a molécula do herbicida prejudicar a formação do pigmento clorofila e não o transporte de elétrons.

Devido a ação específica do clomazone, ocorrer principalmente pela inibição da enzima deoxixilulose fosfato sintase, que é responsável pela síntese de isoterpenoides, que são precursores básicos dos carotenoides, a ausência dos carotenoides irá afetar diretamente o teor de clorofila. Com a destruição da clorofila com a fotoxidação,

aparecerão os sintomas, e esses, manifestam-se primeiro nas folhas dos ponteiros, uma vez, que o clomazone é absorvido pelo meristema apical. O clomazone não atua nos carotenóides já sintetizados justificando a presença dos sintomas nas folhas mais novas, onde se concentram a síntese de carotenoides (Ferhatoglu et al., 2006; Silva e Silva, 2009).

Karam et al. (2003), avaliando a sensibilidade da cultura de milho ao clomazone por meio do uso de dietholate, demonstrou trabalhando *in vitro* que o teor de clorofila diminuiu significativamente a partir de 4 mg L⁻¹, com reduções de 31,1 e 83,9% para plantas tratadas ou não com dietholate. Esses resultados corroboram com os encontrados neste trabalho, contudo, as plantas apresentaram decréscimo no teor de clorofila a partir de 0,05 mg L⁻¹.

Ao avaliar a fluorescência inicial da clorofila (Fo) das plantas sob efeito do clomazone, constatou-se para a maioria das espécies sensível alteração com aumento nos valores de Fo para a *P. oleracea*, *D. lablab*, *S. bicolor* e *S. rhombifolia* (60, 45, 35 e 18% em relação à testemunha, respectivamente). Essas mesmas plantas apresentaram os seguintes valores de Fo para o tratamento controle: 220, 245, 241 e 293 elétrons quantum⁻¹, respectivamente. Já as demais espécies avaliadas não sofreram alterações significativas no valor de Fo (Figura 5). Observa-se que, mesmo espécies sem sintomas de intoxicação apresentaram pequenas elevações nos valores de Fo, como *D. lablab*.

Maiores valores de Fo podem ser indicativos de danos estruturais nos centros de reação do Fotossistema II ou comprometimento no transporte de energia de excitação dos complexos para os centros de reação (Bolhár-Nordenkampf et al., 1989). Os valores de Fo podem ser alterados por estresses do ambiente que causam alterações estruturais nos pigmentos fotossintéticos do PSII, nesse caso efeito fitotóxico do clomazone, com a inibição da síntese de carotenoides.

A Fo evidencia a fluorescência quando a quinona receptora (QA) primária de elétrons do fotossistema II (PSII) está totalmente oxidada e o centro de reação (P 680) está “ativo”, indicando o início das reações fotoquímicas. Dessa forma o aumento excessivo de Fo revela destruição do centro de reação do PSII ou redução na capacidade de transferência da energia de excitação da antena ao PSII (Baker e Rosenqvist, 2004).

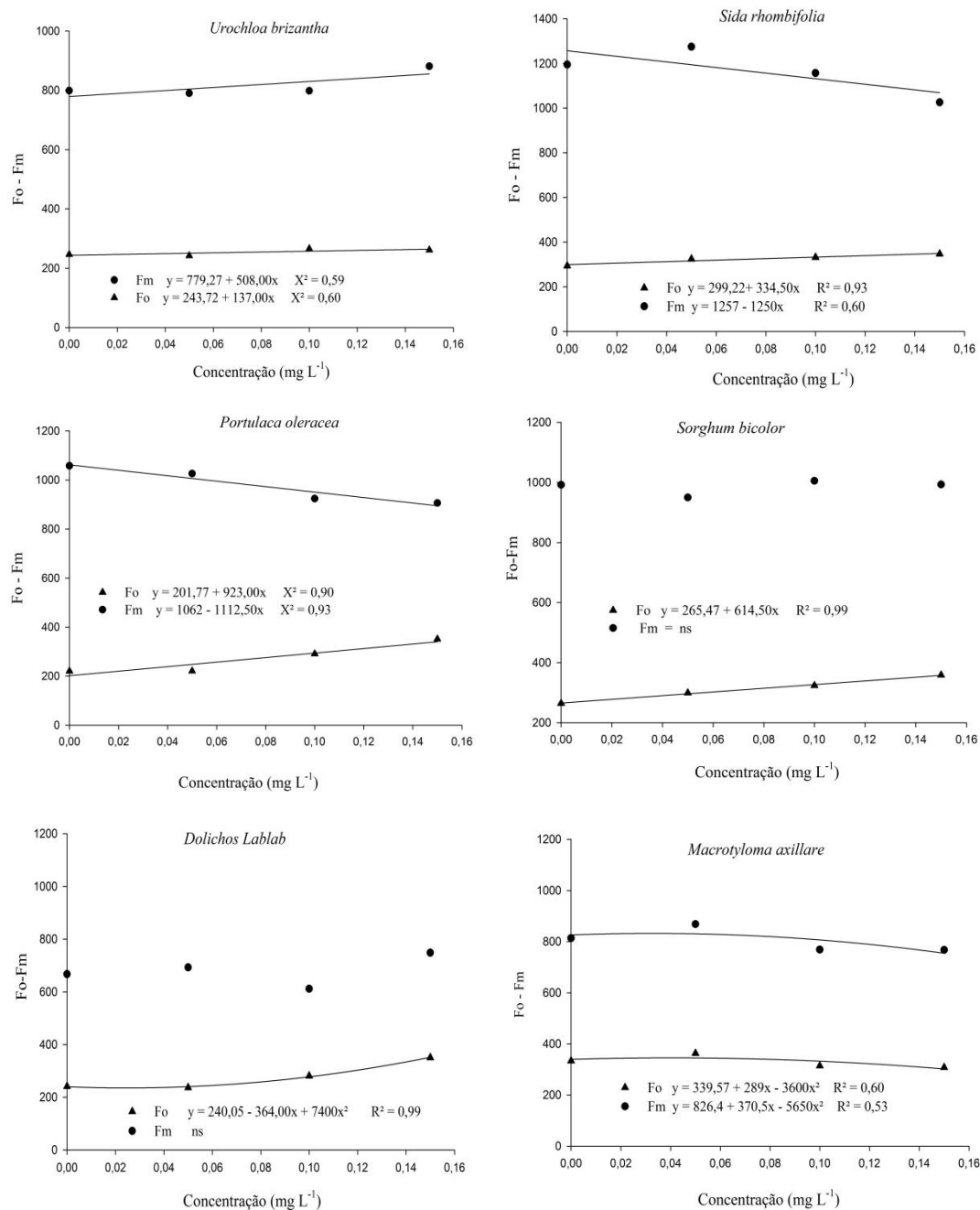


Figura 5. Fluorescência inicial (Fo) e Fluorescência máxima (Fm) da clorofila *a* (elétrons quantum⁻¹) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico

Em relação ao Fm, *U. brizantha* apresentou elevação linear nos valores de Fm, com acréscimo de 10% sob efeito de 0,15 mg L⁻¹ de clomazone. Para *S. rhombifolia*, observou-se efeito contrário, com média de 910 elétrons quantum⁻¹, quando plantas estavam sob a maior concentração do herbicida. Para esta variável os resultados referentes ao *S.*

bicolor e a *P. oleracea* não foram significativos, sendo a média geral, em torno de 830 elétrons quantum⁻¹. É possível afirmar a ineficiência Fm como variável eficiente no monitoramento do efeito tóxicos do clomazone. Mesmo espécies com intoxicação visual apresentaram normalidade nessa variável.

Em relação ao quenching fotoquímico (Qp) as forrageiras e as plantas daninhas apresentaram comportamento diferenciado. *U. brizantha* e *P. oleracea* tiveram Qp aumentado com as concentrações do herbicida. Efeito contrário foi observado para *Dolichos lablab*, *S. bicolor* e *M. axillare* (Figura 6).

O quenching fotoquímico (Qp) é a dissipação da energia causada pelo processo fotoquímico, ou seja, é causado pela utilização da energia para a redução do NADP dentro do processo fotossintético. Este quenching decresce na proporção do fechamento dos centros de reação (redução de QA). Quando ocorrem danos significativos nas estruturas dos fotossistemas que estão diretamente ligadas ao processo fotoquímico, é perceptível a redução dos valores do Qp decorrentes de danos ao centro de reação do PSII (Campostrini, 2001).

Com o aumento na concentração do clomazone e seu respectivo efeito sobre a síntese de carotenoides, as plantas ficaram vulneráveis aos efeitos da foto-oxidação (Oliveira Junior, 2011). Com isso, a dissipação da energia por meio do processo fotoquímico é reduzida e grande parte da energia absorvida é dissipada pelo quenching não-fotoquímico (Qn).

Algumas espécies que apresentaram intoxicação visível não apresentaram alterações no Qn. *U. brizantha*, *S. bicolor* e *P. oleracea*, apresentaram, respectivamente, média de 0,191, 0,136 e 0,039 elétrons quantum⁻¹. Para *M. axillare* pequenas elevações foram observadas, com a taxa de 0,144 elétrons quantum⁻¹ na maior concentração. Para as demais espécies *D. lablab* e *S. rhombifolia* os resultados para Qn não foram significativos, com média de 0,041 e 0,021 elétrons quantum⁻¹ respectivamente (Figura 6). O quenching não-fotoquímico (Qn) representa todas as outras formas de dissipação de energia, principalmente calor. Esperava-se que, com o aumento do efeito negativo do clomazone sobre as espécies susceptíveis, houvesse aumento considerável para o Qn, entretanto aumento mínimo e linear foi observado apenas para o *S. bicolor* e *M. axillare*. Com a destruição da clorofila, a energia absorvida pela luz não é transportada para a fase fotoquímica, sendo dissipada por meios da produção de calor na forma de radiação infravermelha (Campostrini, 2001).

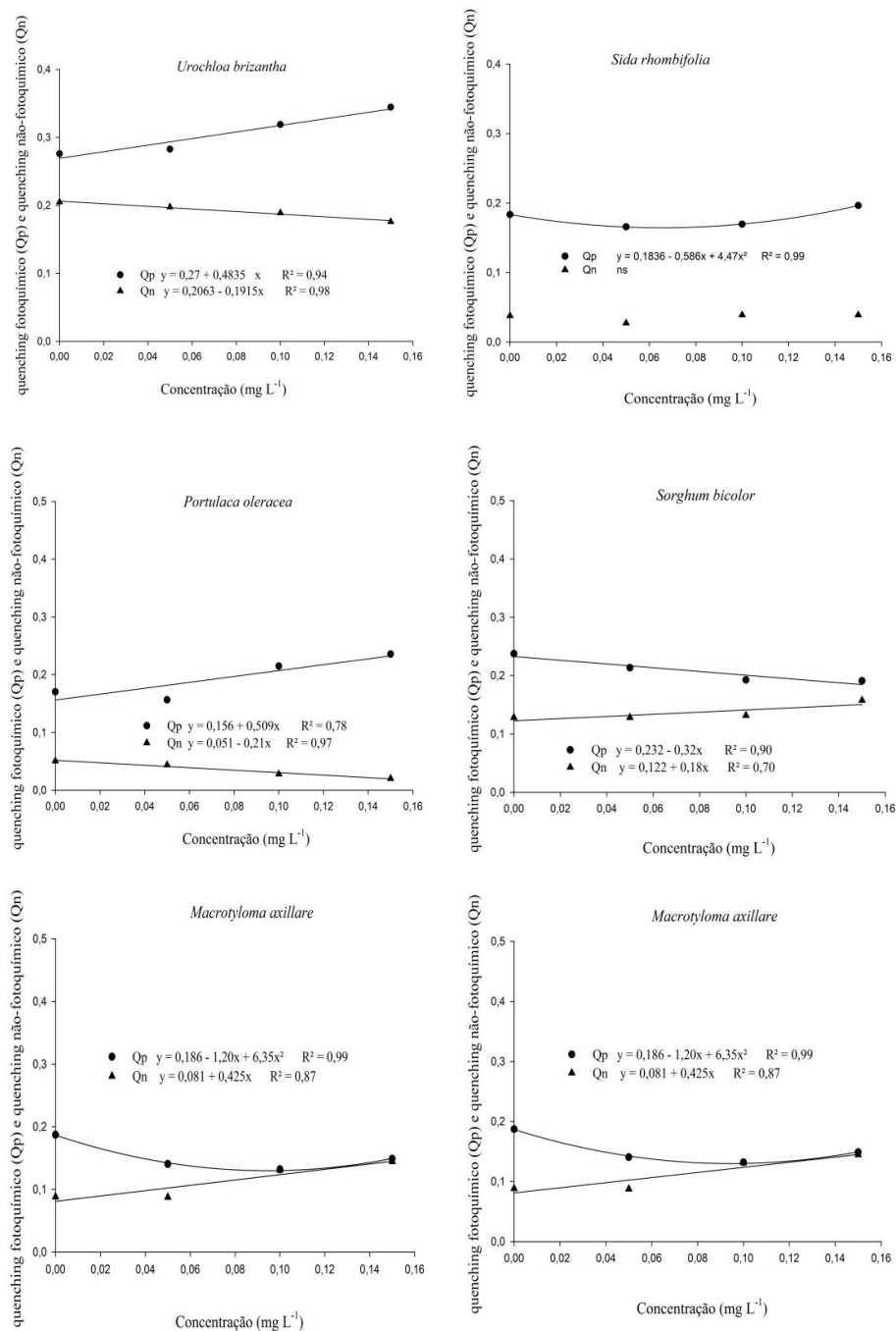


Figura 6. Quenching fotoquímico (Qp) e Quenching não-fotoquímico (Qn) de forrageiras e plantas daninhas sob efeito de clomazone atmosférico

Em relação à taxa de transporte de elétrons (ETR), durante a fotossíntese nas plantas a luz é absorvida pela clorofila e, ao excitarem os elétrons promovem a transferência da energia para os centros de reação dos fotossistemas II e I (Young e Frank,

1996). A ETR pode ser alterada negativamente de acordo com as condições do ambiente, estresses bióticos e abióticos podem influenciar negativamente a taxa de transporte de elétrons, devido principalmente a danos muitas vezes irreversíveis no PSII e PSI, impedindo a transferência de elétrons responsáveis pela fotossíntese (Bown et al., 2002). Contudo, no atual estudo, a ETR não foi influenciada com o aumento da concentração do clomazone, sendo mais uma variável inviável para a indicação da presença do resíduo atmosférico do herbicida (Figura 7).

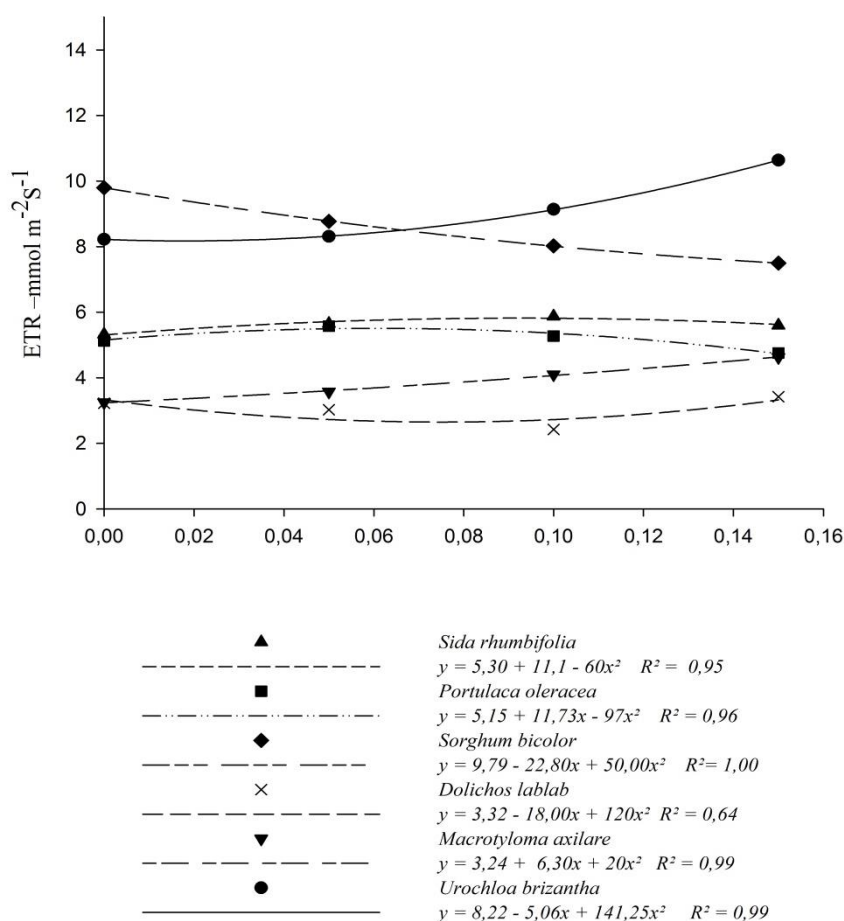


Figura 7. Taxa de transporte de elétrons (ETR - $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de plantas forrageiras e daninhas sob efeito de clomazone atmosférico.

Em análise global dos resultados torna-se importante mencionar que as concentrações utilizadas do clomazone que promoveram efeitos visuais de intoxicação nas plantas, estão estimadas entre 0,05 e 0,15 mg L^{-1} e são consideradas baixas. Há evidencia

que eventual deslocamento aéreo do clomazone pode ser prejudicial a culturas sensíveis, principalmente forrageiras e folhosas olerícolas.

O clomazone influenciou a fisiologia de todas as espécies testadas, e mesmo quando na ausência de sintomas visuais de intoxicação, o feito foi percebido a nível fotoquímico, sendo uma característica importante na seleção de bioindicadoras dessa molécula na atmosfera.

Destaca-se que o clomazone não oferece perigo ao consumo humano nas concentrações testadas, contudo, pode causar danos ao aspecto visual de espécies, como albinismo nas folhas, diminuindo a qualidade e consumo das mesmas. Para tanto é necessário manejo adequado do produto, evitando plantio de espécies sensíveis próximos a locais de grande utilização do clomazone.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados ao analisar variáveis fisiológicas pode-se inferir que o *Sorghum bicolor* é a espécie mais sensível a resíduos atmosféricos do clomazone, podendo ser bioindicadora da presença desse composto no ar. Mesmo em concentrações que não promovem efeito visual, o clomazone é capaz de causar danos significativos na atividade fotossintética das espécies.

As variáveis fisiológicas, clorofila total, rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) e fluorescência inicial da clorofila (Fo) podem ser utilizadas de forma eficiente no monitoramento de resíduos do clomazone na atmosfera.

7 AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela estrutura e suporte, e a Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home>. 20 Agosto 2015.

BAKER, N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.403, p.1607–21, 2004.

BEDOS, C.; CELLIER, P.; CALVET, R.; GABRIELLE, B. Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview. **Agronomie**, v.22, n.1, p.21-33, 2002.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; LONGO, S.P; BAKER, N.R.; OQUIST, G.; SCHEREIBER, U.; LECHNER, E.G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v.3, n.4, p.497-514, 1989.

BOWN, A.W.; MUNINCIPAL, A.E.; MACGREGOR, K.B. Insect footsteps on leaves stimulate the accumulation of 4aminobutyrate and can be visualized through increased chlorophyll fluorescence and superoxide production. **Plant Physiology**, v.129, n.4, p.430-34, 2002.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas.** UFNF, Rio de Janeiro, 2001, 34p.

CECHIN, I. Uso de sistemas portáteis de fluorescência na avaliação do estresse. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 20., 1996, São Carlos, SP, **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1996, p.1-28.

DEUBER, R. Herbicidologia. In: Deuber R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos.** Jaboticabal, FUNEP, 1992, 431p.

FERHATOGLU, Y.; AVDIUSHKO, S.; BARRETT, M. The basic for safening of clomazone by phorate insecticide in cotton and inhibitors of cytochrome P450s. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.81, n.1, p.59-70, 2005.

FERRAZ, R.L.S.; BELTRÃO, N.E.M.; MELO, A.L.; MAGALHÃES, I.D.; FERNANDES, P.D.; ROCHA, M.S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.2, p.735- 748, 2014.

GALON, L.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; CONCENÇA, G.; SILVA, A.F.; REIS, M.R.; ASPIAZÚ, I.; FIALHO, C.M.T.; BARBOSA, M.H.P.; TIRONI, S.P. Tolerância de novos genótipos de canade-açúcar a herbicidas. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.329-38, 2010.

GOMES, M.A.F., BARIZON, R.R.M. Panomara da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil; cenário 1992/2011. Documentos 98, EMBRAPA, 2014. 34 p.

GUIMARÃES, G.L. Impactos Ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, n.412, p.159–80, 1987.

HAVAUX, M.; DAVAUD, A. Photoinhibition of photosynthesis in chilled potato leaves is not correlated with a loss of photosystem-II activity. Preferential inactivation of photosystem I. **Photosynthetic Research**, v.40, p.75-92, 1994.

KARAM, D.; CARNEIRO, A.A.; ALBERTH, L.H.; CRUZ, M.B.; COSTA, G.T.; MAGALHÃES, P.C. Seletividade da cultura do milho ao herbicida clomazone por meio do uso de dietholate. **Revista Brasileira de Milho Sorgo**, v.2, n.1, p.72-79, 2003.

Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **AGROFIT (Sistema de Agrotóxicos fitossanitários (Consulta Aberta))**. Disponível em <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acessado em março de 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, R.S. **Mecanismo de Ação de Herbicidas. Biologia e Manejo de Plantas daninhas**, Curitiba, 2011, 348p.

OZKAN, H.E. Reducing spray drift, 2000. Disponível em: <<http://ohioline.osu.edu/b816/index.html>> Acesso em: agosto de 2015.

PASTORI, G.M.; TRIPPI, V.S. Cross resistance between water and oxidative stresses in wheat leaves. **Journal Agriculture Science**, v.120, p.289-94, 1993.

ROGOLI, R.P.; FONTANA, L.C.; FIGUEREDO, S.S.; NOLDIN, J.A. Response of beetroot (*Beta vulgaris*) and carrot (*Daucus carota*) to simulated glyphosate and clomazone drift. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.451-56, 2008.

SCHEREIBER, F.; AVILA, L.A.; SCHERNER, A.; MOURA, D.S.; HELGUEIRA, D.B. Plants sensitive to clomazone in vapor phase. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1817-23, 2013.

SENSEMAN, A.S. **Manual de Herbicidas**. 9º Ed. Champaign: Weed Science Society of America, 2007.

SILVA, A.A.; SILVA, J.F. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Editora UFV. 2007. 318p.

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas daninhas - SBCPD. **Procedimentos parágrafo Instalação, Avaliação e Análise de Experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. 42p

TORRES, L.G. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v.30, n.3, p.581-87, 2012.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G.; BRESSAN-SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v.104, n.2, p.199-209, 2005.

YOUNG, A.L.; FRANK, H.A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.36, n.1, p.3-15, 1996.

YUN, M.S.; YOGO, Y.; MIURA, R.; YAMASUE, Y.; FISCHER, A.J. Cytochrome P-450 monooxygenase activity in herbicide-resistant and – susceptible late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.83, n.2-3, p.107-114, 2005.

ZERA, F.S.; AZANIA, C.A.M.; SHIAVETTO, A.R.; LORENZATO, C.M.; AZANIA, A.A.P.M. Tolerance of different sugarcane (*Saccharum* spp.) Cultivars to herbicides. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.591-99, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maioria das espécies apresentou potencial para indicar a presença de resíduo de clomazone na atmosfera. Com exceção do milho, que apresentou menor sensibilidade aos resíduos de clomazone, não houve aumento significativo na intoxicação, nem com aumento da concentração do herbicida em nenhum período de avaliação.

Após 96 horas na presença de resíduos do clomazone, os efeitos visuais e sobre a síntese de clorofila nas plantas testadas são persistentes, pelo menos até 14 dias após retirada do herbicida na atmosfera.

A presença de concentrações testadas na atmosfera podem causar prejuízos em ordem econômica, justificando a necessidade do conhecimento prévio das perdas não somente do solo, mais também para a atmosfera, para evitar futuros prejuízos. À exceção do milho, todas as espécies são interessantes como bioindicadoras, pois são capazes de apresentar efeitos, mesmo na menor concentração testada estimada de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de clomazone. Adiciona-se o fato de que as concentrações reais que afetaram as plantas estão aquém daquelas apresentadas uma vez que não se pode afirmar que a totalidade do produto adicionado às placas de petri tenham esteja totalmente disponível para as plantas. Assim, as concentrações que causam efeito tóxicos podem ser até menores que aquelas testadas, tornando a pesquisa ainda mais relevante quanto aos potenciais riscos para efeito visual.

A campo, o *Sorghum bicolor* é a espécie mais sensível a resíduos atmosféricos do clomazone, podendo ser bioindicadora da presença desse composto no ar. Mesmo em concentrações que não promovem efeito visual, o clomazone é capaz de causar danos significativos na atividade fotossintética das espécies. Uma proposta para novos trabalhos inclui o *S. bicolor* como tratamento teste e olerícolas folhosas visando apresentar aos produtores informações confiáveis quanto aos resíduos atmosféricos do clomazone próximo a esses plantios.

O clomazone influenciou a fisiologias de todas as espécies testadas, e mesmo quando na ausência de sintomas visuais de intoxicação, o efeito foi percebido a nível fotoquímico.

As variáveis fisiológicas, clorofila total, rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m) e fluorescência inicial da clorofila (F_o) podem ser utilizadas de forma eficiente no monitoramento de resíduos do clomazone na atmosfera.

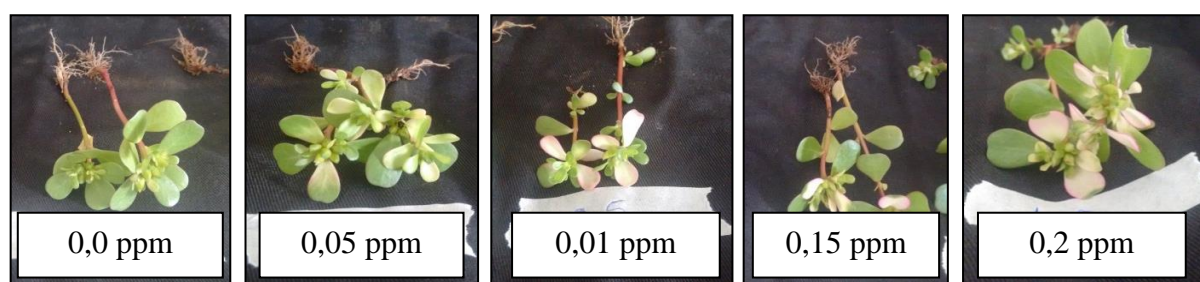
ANEXO

Artigo I

INTOXICAÇÃO E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS FORRAGEIRAS E DANINHAS SUBMETIDAS A RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DE CLOMAZONE



Câmaras experimentais para a introdução da concentração de clomazone.



Intoxicação de beldroega a diferentes concentrações residuais de clomazone.

Artigo II

INTOXICAÇÃO E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS FORRAGEIRAS E DANINHAS SUBMETIDAS A RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS DE CLOMAZONE



Etapas de montagem dos túneis de alocação de clomazone