

ANTÔNIO JÚLIO MEDINA DA SILVA

**SELEÇÃO DE ESPÉCIE INDICADORA, SORÇÃO E PERSISTÊNCIA DO
TRICLOPYR EM SOLOS COM DIFERENTES ATRIBUTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Antonio Alberto da Silva

Coorientador: Leonardo D'antonino

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586s
2021

Silva, Antônio Júlio Medina da, 1992-
Seleção de espécie indicadora, sorção e persistência do
Triclopyr em solos com diferentes atributos / Antônio Júlio
Medina da Silva. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (61 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Antonio Alberto da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2021.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.261>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Herbicidas. 2. Ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético.
3. Impacto ambiental. 4. Plantas daninhas - Controle biológico.
I. Silva, Antonio Alberto da, 1950-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 632.954

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523

ANTÔNIO JÚLIO MEDINA DA SILVA

**SELEÇÃO DE ESPÉCIE INDICADORA, SORÇÃO E PERSISTÊNCIA DO
TRICLOPYR EM SOLOS COM DIFERENTES ATRIBUTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de setembro de 2021.

Assentimento:



Antônio Júlio Medina da Silva
Autor



Antonio Alberto da Silva
Orientador

*A minha querida mãe Izabel (in memoriam),
exemplo de força e sabedoria.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e bênçãos proporcionadas em minha vida.

À minha família por ser o meu pilar e sempre apoiar minhas escolhas.

À minha namorada Letícia, pelo companheirismo, amizade, pela força e ensinamentos. Aos seus pais, Ângelo e Melide por todo carinho e por fazerem parte da minha família.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realizar o Mestrado e por todo apoio que sempre tive dentro da instituição.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq.

Ao professor Antonio Alberto da Silva pela orientação, pela confiança, amizade, paciência, apoio e todos os ensinamentos transmitidos, que certamente levarei por toda a vida. Ao meu coorientador Leonardo D'Antonino pela grande contribuição neste trabalho, pela sua presteza, dedicação e paciência em compartilhar seus conhecimentos, muito obrigado.

Aos amigos da equipe Manejo Integrado de Plantas Daninhas, em especial ao Adalin, sem vocês jamais teria conseguido realizar este trabalho, agradeço a todos pela dedicação e amizade.

Por fim agradeço a todos os meus amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho e que foram muitos e não quero ser injusto em esquecer de citar, obrigado por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado.

RESUMO

SILVA, Antônio Júlio Medina da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2021. **Espécie indicadora, sorção e persistência do triclopyr em solos com diferentes atributos.** Orientador: Antonio Alberto da Silva. Coorientador: Leonardo D'Antonino

O manejo inadequado de plantas daninhas têm promovido a seleção de biótipos resistentes a diferentes herbicidas. A rotação de mecanismos de ação tem sido uma das principais alternativas para reduzir esse problema. O uso de herbicidas residuais tem sido opção ao controle de banco de sementes de várias espécies, além da ação pós-emergente. Entre os produtos para controle eficiente de plantas daninhas eudicotiledôneas, tolerantes ou que já adquiriram resistência a outros herbicidas, destaca-se o triclopyr. Contudo, o conhecimento das interações entre solo e herbicida é necessário para a eficiência de uso do triclopyr, visando a diminuição dos problemas de *carryover* e contaminação ambiental. Nesta pesquisa, ensaios biológicos foram realizados para compreender o comportamento deste herbicida ao longo do perfil de diferentes solos com atributos distintos. Além disso, foi feita a seleção de uma espécie bioindicadora que melhor representasse a presença do triclopyr no solo se destacando feijão (*Phaseolus vulgaris*), pepino (*Cucumis sativus*) e soja (*Glycine max*). Para estimar a sorção, foram utilizadas amostras dos horizontes A, B e C de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo o pepino a espécie indicadora usada para detectar a presença do herbicida no solo. Utilizando este mesmo solo e espécie indicadora, foi realizado o estudo de persistência nos horizontes com fins de entender possíveis riscos de contaminação ambiental. Do ponto de vista agrônomo, outro ensaio de persistência foi conduzido utilizando amostras do horizonte A de dois Latossolos Vermelho-Amarelos e um Argissolo Vermelho-Amarelo com diferentes atributos, sendo também utilizadas a soja (*Glycine max*) e o algodão (*Gossypium hirsutum*) como espécies indicadoras. Constatou-se valores distintos da sorção e persistência do triclopyr nas amostras dos diferentes horizontes. Concluiu-se que a disponibilidade do herbicida na solução do solo e a sua persistência foram maiores nos horizontes B e C nestes solos. Isto indica maior risco de contaminação ambiental e *carryover* nas culturas quando aplicado em solos que têm baixa capacidade de reter este herbicida na camada superficial, pois nos horizontes mais profundos o triclopyr é mais persistente e menos retido pelos colóides do solo.

Palavras-chave: Herbicida. Ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético. Impacto ambiental. Método biológico. *Carryover*.

ABSTRACT

SILVA, Antônio Júlio Medina da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2021.
Indicator species, sorption and persistence of triclopyr in soils with different attributes.
Adviser: Antonio Alberto da Silva. Co-adviser: Leonardo D' Antonino

Inadequate weed management has promoted the selection of biotypes resistant to different herbicides. The rotation of mechanisms of action has been one of the main alternatives. The use of residual herbicides has been an option to control seed banks of several species, in addition to post-emergence action. Among the products for efficient control of weeds that are eudicotyledonous, tolerant or that have already acquired resistance to other herbicides, triclopyr stands out. However, knowledge of the interactions between soil and herbicide is necessary for the efficiency of the use of triclopyr, aiming to reduce *carryover* problems and environmental contamination. In this research, biological tests were carried out to understand the behavior of triclopyr along the profile of different soils with different attributes. In addition, a bioindicator species that best represented the presence of triclopyr in the soil was selected, especially beans (*Phaseolus vulgaris*), cucumber (*Cucumis sativus*) and soybean (*Glycine max*). To estimate sorption, samples from horizons A, B and C of a Red-Yellow Latosol were used, with cucumber being the indicator species used to detect the presence of the herbicide in the soil. Using this same soil and indicator species, a study of persistence in the horizons was carried out in order to understand possible risks of environmental contamination. From the agronomic point of view, another persistence test was carried out using samples from the A horizon of two Red-Yellow Latosols and a Red-Yellow Ultisol with different attributes, being also used soybean (*Glycine max*) and cotton (*Gossypium hirsutum*) as indicator species. Distinct values of triclopyr sorption and persistence were found in samples from different horizons. It was concluded that the availability of the herbicide in the soil solution and its persistence were greater in the B and C horizons in these soils. This indicates a greater risk of environmental contamination and *carryover* in crops when applied to soils that have a low capacity to retain this herbicide in the surface layer, as in deeper horizons, triclopyr is more persistent and less retained by soil colloids.

Keywords: Herbicide. 3,5,6-trichloro-2-pyridyloxyacetic acid. Environmental impact. Biological method. *Carryover*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	8
REFERÊNCIAS	12
2 BIOINDICADORAS DE RESÍDUOS DE TRICLOPYR NO SOLO	16
2.1 INTRODUÇÃO.....	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
2.4 CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS	25
3 SORÇÃO DO TRICLOPYR EM AMOSTRAS DE HORIZONTES DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	28
3.1 INTRODUÇÃO.....	29
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.2.1 Coleta e preparo das amostras	30
3.2.2 Sorção por meio de ensaio biológico.....	31
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.4 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	40
4 ESTIMATIVA DA PERSISTÊNCIA DO TRICLOPYR EM SOLOS COM DIFERENTES ATRIBUTOS	43
4.1 INTRODUÇÃO.....	44
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.4 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61

1 INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento nas pesquisas relacionadas às ciências rurais permitiu o avanço da agricultura moderna, onde o cultivo de extensas áreas, associada a baixa demanda de mão-de-obra reduziu perdas na produtividade das culturas por meio do uso dos defensivos agrícolas. Dentre estes, os herbicidas representam 48% do volume total de produtos fitossanitários aplicados no Brasil (Sindiveg, 2020). A utilização de herbicidas de maneira correta, considerando o comportamento das moléculas no solo, diminuem riscos de contaminação ambiental e culturas não alvo (Pereira et al., 2009; Matozzo et al, 2018).

Em sistemas agrícolas, o controle de plantas daninhas é prática indispensável, pois a presença destas pode interferir no crescimento e desenvolvimento das culturas devido à competição por água, luz e nutrientes (Agostinetto et al., 2015). Dentre os métodos de controle, o químico é o mais utilizado por ser prático, econômico e eficiente comparado a outros métodos (Shaner; Beckie, 2014).

A introdução de culturas transgênicas, como a soja, milho e algodão revolucionou a agricultura mundial. Com isso, alguns herbicidas passaram a ser utilizados de maneira intensiva, possibilitando o controle com elevada eficiência, redução de custos e possibilidade de uso na pós-emergência das culturas. Todavia, a aplicação destas moléculas em grande escala repetidas vezes dentro de uma mesma área aumentou a pressão de seleção, permitindo o surgimento de biótipos resistentes. Segundo Giraldeli et al. (2018), até 2018 existiam 48 casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas registrados no Brasil. Na grande maioria destes casos de resistência estavam relacionados a espécies eudicotiledôneas como a buva (*Conyza sumatrensis*, *C. bonariensis*), o picão-preto (*Bidens pilosa*, *B. subalternans*), o caruru-roxo (*Amaranthus palmeri*, *A. retroflexus*) e o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) (HEAP, 2018). Além da preocupação relacionada à resistência de biótipos de plantas daninhas, a utilização de herbicidas fora das recomendações técnicas aumentou os riscos de intoxicação de culturas sensíveis implantadas em sucessão (*carryover*), além da contaminação do solo e dos corpos de água (Melo et al., 2010).

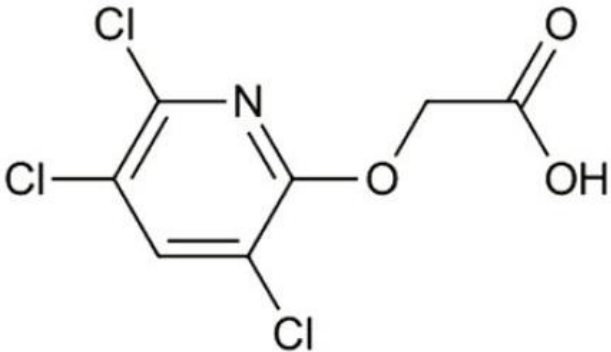
Dentre os herbicidas que apresentaram aumento expressivo de utilização em virtude da inserção das culturas transgênicas tem-se o glyphosate. Por possuir baixa toxicidade para animais, amplo espectro de controle, ser não-seletivo, sistêmico e possuir baixo efeito residual no solo se tornou o herbicida mais utilizado no mundo (Annett et al., 2014; Cattani et al., 2014; Myers et al., 2016). O uso inadequado deste herbicida já selecionou diversos biótipos resistentes, tornando o controle ineficaz pelo mesmo (Santos et al., 2023). Entre as plantas

daninhas eudicotiledôneas com biótipos resistentes ao glyphosate no Brasil destacam-se a *Conyza bonariensis*, *C. canadensis* (Lamego e Vidal, 2008), *C. sumatrensis* (Santos et al., 2014), *Euphorbia heterophylla* (Vidal et al., 2007) e, reportado recentemente, *Amaranthus palmeri* (Carvalho et al., 2015; Gonçalves Netto et al., 2016).

Neste cenário preocupante envolvendo biótipos resistentes, o herbicida triclopyr (ácido-3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético) (Tabela 1), apresenta-se como alternativa de controle, sendo indicado para controle em pós-emergência de plantas daninhas eudicotiledôneas em arroz irrigado e pastagem, assim como para aplicação em pré semeadura em milho, soja e trigo (AGROFIT, 2021). O triclopyr é um herbicida auxínico, seletivo e sistêmico, causando pouco ou nenhum dano às gramíneas. Este herbicida age da mesma forma que as auxinas naturais produzidas pelas plantas, porém, são aplicados em doses maiores, causando ação herbicida nas plantas eudicotiledôneas (Mithila et al., 2011). O triclopyr causa, em plantas sensíveis, intensa divisão celular, formando tumores, desenvolvimento de raízes aéreas, multiplicação e engrossamento de raízes e caules. A ocorrência de epinastia, hipertrofia das raízes laterais e o encurtamento do tecido internerval são os sintomas mais característicos (Oliveira Jr. et al., 2011).

O triclopyr apresenta alta periculosidade ao meio ambiente e moderada toxicidade aos animais em geral (Lewis et al., 2016). A solubilidade do triclopyr em água é de 430 mg/L (25°C); pKa = 2,68; Kow = 2,64 a pH 5 e 0,36 a pH 7; Koc = 27 e pressão de vapor de $1,6 \times 10^{-4}$ Pa (25°C) (pouco volátil) (Rodrigues & Almeida, 2018). Essas propriedades estão associadas ao comportamento dessa molécula no solo. Em solos em que o valor do pH é maior que o pKa do herbicida, o triclopyr tende a permanecer na solução, estando mais propenso a lixiviação. Isto ocorre devido ao triclopyr ser derivado de um ácido fraco, o que nessa situação de pH, apresenta cargas negativas ocorrendo repulsão dos colóides do solo em razão das cargas também negativas dos componentes da matriz do substrato (Maciel et al., 2013; Passos et al., 2013).

Tabela 1 - Fórmula estrutural e características físicas e químicas do triclopyr

Fórmula estrutural	Características
	<p>Fórmula Química: $C_7H_4Cl_3NO_3$</p> <p>Massa Molecular ($g\ mol^{-1}$): 256,47</p> <p>Ácido fraco</p>

Fonte: Adaptado de Lewis et al. (2016)

Nos últimos anos tem-se verificado o aumento do volume aplicado do triclopyr no Brasil, principalmente em mistura na dessecação de áreas no controle de espécies eudicotiledôneas tolerantes ou que já adquiriram resistência a outros herbicidas, visando a implantação de culturas de alto interesse econômico, como a soja e o algodão (Ferraz et al., 2020). Todavia, os herbicidas mimetizadores de auxinas, como o triclopyr, podem causar sérios problemas ambientais (Inoue et al., 2003). Portanto, estudos relacionados à dinâmica deste herbicida no solo pode prever os riscos de contaminação do meio ambiente e intoxicação de culturas sensíveis. Uma das formas de identificar resíduos de herbicidas é por meio de plantas indicadoras - bioensaios. Os sintomas de intoxicação causados por herbicidas auxínicos em espécies eudicotiledôneas são facilmente visualizados em toda a planta e, por isso, estas são utilizadas para detectar resíduos no solo (Thill, 2003).

Quando um herbicida é aplicado, mesmo em pós emergência das plantas daninhas, parte dessa quantidade aplicada atinge o solo (Law, 2001). Em razão disso, é indispensável conhecer a dinâmica da molécula no ambiente para recomendá-la de maneira correta. Segundo De Gerónimo et al. (2018); Islam et al. (2018); Jiang et al. (2018), o comportamento de um herbicida é influenciado pelas suas próprias características, das propriedades do solo, condições climáticas, além da influência de plantas e microrganismos.. No ambiente, o herbicida pode sofrer sorção, dessorção, lixiviação, escoamento superficial, volatilização, degradação ou ser absorvido pelas plantas. Dentre esses, o processo de sorção tem papel fundamental na disponibilidade, controlando a lixiviação e a persistência do herbicida no solo (Aleksseva et al., 2014, Khorram et al., 2017; Guijarro et al., 2018; Szmigielski et al., 2018). Quanto menor a sorção do produto, maior é o risco do herbicida se mover verticalmente no solo, aumentando

assim os riscos de contaminação ambiental (Jones et al., 2011; Srinivasan & Sarmah, 2014).

Outro processo importante que influencia a dinâmica dos herbicidas no solo é a persistência, ou seja, a manutenção da integridade de sua molécula e, conseqüentemente, suas características físicas, químicas e funcionais no ambiente (Curran, 2001). A persistência é influenciada principalmente pelas características físicas e químicas do solo, do ambiente, das práticas culturais e da microbiota presente, além das características da própria molécula. Estimar a persistência de um herbicida no solo é fundamental para compreender os riscos de contaminação ambiental, pois quando mais tempo esse composto permanece no ambiente maior o risco de lixiviar e atingir corpos d'água (Silva et al., 2007a).

Grande parte dos estudos relacionados à dinâmica de herbicidas no solo utilizam amostras das camadas superficiais, sem considerar que as moléculas podem percolar no perfil do substrato e atingir horizontes mais profundos. Em razão disso, é necessário estudar o comportamento dos herbicidas ao longo do perfil do solo, tendo em vista que as características químicas, físicas e biológicas dos horizontes são distintas. Desse modo, utilizar produtos sem conhecer suas propriedades e as interações que podem ocorrer se torna uma prática errônea, podendo resultar em contaminação do solo e da água, além da intoxicação das culturas sensíveis implantadas em sucessão (Silva et al., 2007b).

Objetivou-se com esta pesquisa estimar a capacidade sortiva e a persistência do triclopyr ao longo do perfil de solos com diferentes atributos, por meio de ensaios biológicos, buscando compreender a dinâmica agrônômica e ambiental da molécula.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: < https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons!/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=9166&p_tipo_janela=NEW >. Acesso em 29 de novembro de 2021.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D.L.P.; SILVA, A.A. Manejo de plantas daninhas. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do Plantio à Colheita**. Viçosa: Ed. UFV, v.1, Cap.11. p.234. 2015.
- ALEKSEEVA, T.; KOLYAGIN, Y.; SANCELME, M.; BESSE-HOGGAN, P. Effect of soil properties on pure and formulated mesotrione adsorption onto vertisol (Limagne plane, Puy-de-Dome, France). **Chemosphere**, v. 111, p. 177-183, 2014.
- ANNETT, R.; HABIBI, H.R.; HONTELA, A. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment. **Journal Applied Toxicology**, v. 34, p. 458-479, 2014.
- CARVALHO, S.J.P.; GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CAVENAGHI, A.L.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Detection of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 579-586, 2015.
- CATTANI, D.; DE LIZ OLIVEIRA CAVALLI, V.L.; HEINZ RIEG, C.E.; DOMINGUES, J.T.; DAL-CIM, T.; TASCIA, C.I.; MENA BARRETO SILVA, F.R.; ZAMONER, A. Mechanisms underlying the neurotoxicity induced by glyphosate-based herbicide in immature rat hippocampus: involvement of glutamate excitotoxicity. **Toxicology**, v. 320, p. 34-45, 2014.
- CURRAN, W.S. Persistence of herbicides in soil. **Agronomy Facts** 36. Published by Penn State College of Agricultural Sciences research and extension programs, 2001.
- DE GERÓNIMO, E.; APARICIO, V. C.; COSTA, J. L. Glyphosate sorption to soils of Argentina. Estimation of affinity coefficient by pedotransfer function. **Geoderma**, v. 322, p. 140-148, 2018.
- FERRAZ, J.W. et al. Aplicação de diferentes herbicidas para o controle de *Conyza spp.* resistentes ao glifosato. **Cultivando o Saber**, v. 13 - n° 2, p. 86 a 93, 2020.
- GIRALDELI, A. L.; SILVA, A. F. M.; BRITO, F. C.; PAGENOTTO, A. C. V.; ARAÚJO, L. S.; VICTORIA FILHO, R. Manejo de plantas daninhas eudicotiledôneas na entressafra. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 7, n. 1, p. 205-212, 2018.
- GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; BORGATO, E.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Multiple resistance of *Amaranthus palmeri* to ALS and EPSPS inhibiting herbicides in the state of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, v. 34, n. 3, p. 581-587, 2016.

GUIJARRO, K. H.; APARICIO, V.; DEGERÓNIMO, E.; CASTELLOTE, M.; FIGUEROLA, E. L.; COSTA, J. L.; ERIJMAN, L. Soil microbial communities and glyphosate decay in soils with different herbicide application history. **Science of The Total Environment**, v. 634, p. 974-982, 2018.

HEAP, I. International survey of herbicide resistant weeds. Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: 07.11.2021.

INOUE, M.H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.312-323, 2003.

ISLAM, F.; WANG, J.; FAROOQ, M. A.; KHAN, M. S. S.; XU, L.; ZHU, J.; ZHAO, M.; MUÑOS, S.; LI, Q. X.; ZHOU, W. Potential impact of the herbicide 2,4 dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. **Environment International**, v. 111, p. 332-351, 2018.

JIANG, R.; WANG, M.; CHEN, W. Characterization of adsorption and desorption of lawn herbicide siduron in heavy metal contaminated soils. **Chemosphere**, v. 204, p. 483- 491, 2018.

JONES D. L, EDWARDS-JONES G., MURPHY D. V. Biochar mediated alterations in herbicide breakdown and leaching in soil. **Soil Biology and Biochemistry**. 43 (4): 804-13, 2011.

KHORRAM, M. S.; LIN, D.; ZHANG, Q.; ZHENG, Y.; FANG, H.; YU, Y. Effects of aging process on adsorption–desorption and bioavailability of fomesafen in an agricultural soil amended with rice hull biochar. **Journal of Environmental Sciences**, v. 56, p. 180-191, 2017.

LAMEGO, F. P. e VIDAL, R. A. Resistência ao glyphosate em biótipos de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 467-471, 2008.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **Journal Electrostatic**, v. 51-52, p. 25-42, 2001.

LEWIS, K.A., TZILIVAKIS, J., WARNER, D. AND GREEN, A. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, 22(4), 1050-1064. DOI: 10.1080/10807039.2015.1133242. 2016.

MACIEL G. M, INÁCIO F. D, SÁ-NAKANISHI A. B, HAMINIUK C. W. I, CASTOLD R., COMAR J. F., BRACHT A., PERALTA R. M. Response of *Ganoderma lucidum* and *Trametes sp.* to the herbicide picloram: Tolerance, antioxidants and production of ligninolytic enzymes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**; 105:84-92, 2013.

MATOZZO, V., FABRELLO, J., MASIERO, L., FERRACCIOLI, F., FINOS, L., PASTORE, P., GANGI, I. M. D., BOGIALLI, S. Ecotoxicological risk assessment for the herbicide glyphosate to non-target aquatic species: A case study with the mussel *Mytilus galloprovincialis*. **Environmental Pollution**, 233 (2): 623-632, 2018.

MYERS, J. P.; ANTONIOU, M.N.; BLUMBERG, B.; CARROLL, L.; COLBORN, T.;

EVERETT, L.G.; HANSEN, M.; LANDRIGAN, P.J.; LANPHEAR, B.P.; MESNAGE, R.; VANDENBERG, L.N.; VOM SAAL, F.S.; WELSHONS, W.V.; BENBROOK, C.M. Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. **Environmental Health**, v. 15, p. 1-13, 2016.

MELO, C. A. D. MEDEIROS, et al. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

MITHILA J., HALL J., JOHNSON W., KELLEY K., RIECHERS D. Evolution of Resistance to Auxinic Herbicides: Historical Perspectives, Mechanism of Resistance, and Implications for Broadleaf Weed Management in Agronomic Crops. **Weed Science**. 59 (4), 445-57, 2011.

NEWTON, M., F. ROBERTS, A. ALLEN, B. KELPSAS, D. WHITE, AND P. BOYD. Deposition and dissipation of three herbicides in foliage, litter, and soil of brushfields of southwest Oregon. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.38, p.574-583, 1990.

OLIVEIRA, J. R. R. S., CONSTANTIN, J., INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba – PR: Omnipax 348 p., 2011.

PASSOS A. B. R. J., FREITAS M.A. M., TORRES L. G., SILVA A. A., QUEIROZ M. E. L. R., LIMA C. F. Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**; 48:646-50, 2013.

PEREIRA, J. L., ANTUNES, S. C., CASTRO, B. B., MARQUES, C. R., GONÇALVES, A. M., GONÇALVES, F., & PEREIRA, R. Toxicity evaluation of three pesticides on non-target aquatic and soil organisms: commercial formulation versus active ingredient. **Ecotoxicology**, 18 (4): 455-463, 2009.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 7. Ed. Londrina: Edição dos Autores, 672 p., 2018.

SANTOS G., OLIVEIRA J., CONSTANTIN, J., FRANSCISCHINI, A. C.; OSIPE, J. B. Multiple resistance of *Conyza sumatrensis* to chlorimuron ethyl and to glyphosate. **Planta Daninha**, v. 32, p. 409-416, 2014.

SANTOS, J. B., SANTOS, E. A. DOS AND SANTOS, E. A. Only “glyphosate” can stop glyphosate. **Brazilian Journal of Biology [online]**. v. 83 [Accessed 30 September 2021], e246450. Available from: <<https://doi.org/10.1590/1519-6984.246450>>. Epub 21 June 2021. ISSN 1678-4375. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.246450>. 2023.

SHANER, D.L.; BECKIE, H.J. The future for weed control and technology. **Pest Management Science**, v.70, p. 1329-1339, 2014.

SILVA, A. A., SANTOS, J. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, Cap.3, p. 83-148, 2007 (a).

SILVA A. A., VIVIAN R., JR RUBEM S. O. Herbicidas: Comportamento no solo. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 190-248, 2007 (b).

SINDIVEG. **Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para a Defesa Vegetal**. (2020). Disponível em: <https://sindiveg.org.br/mercado-total/> Acesso em 14 de julho de 2021.

SRINIVASAN P., SARMAH A. K. Assessing the sorption and leaching behaviour of three sulfonamides in pasture soils through batch and column studies. **Science of The Total Environment**. 493:535-43, 2014.

SZMIGIELSKI, A. M.; HANGS, R. D.; SCHOENAU, J. J. Bioavailability of Metsulfuron and Sulfentrazone Herbicides in Soil as Affected by Amendment with Two Contrasting Willow Biochars. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 100, p. 298-302, 2018.

THILL, D. Growth regulator herbicides. In: WELLER, S. C. et al. Herbicide action course. **West Lafayette: Purdue University**, p. 267-275, 2003.

VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M.; DE PRADO, R; RUIZ-SANTAELLA, J. P.; VILA-AIUB, M. Glyphosate resistant biotypes of wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla* L.) and its risk analysis on glyphosate-tolerant soybeans. **Journal Food Agricultural Environment**, v. 5, n. 2, p. 265-269, 2007.

2 BIOINDICADORAS DE RESÍDUOS DE TRICLOPYR NO SOLO

Resumo – Espécies vegetais podem ser usadas como indicadoras de resíduos de herbicidas, caso possuam elevada sensibilidade ao mecanismo de ação alvo. Nesta pesquisa procurou-se identificar plantas sensíveis ao herbicida triclopyr visando detectar a presença de seus resíduos no solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação. As espécies de plantas avaliadas com suposta sensibilidade ao herbicida foram o feijão (*Phaseolus vulgaris*), pepino (*Cucumis sativus*) e a soja (*Glycine max*). Aos 7 e 14 dias após a emergência das plantas de feijão, de pepino e de soja foram atribuídas notas de intoxicação da parte aérea e coleta das raízes e parte aérea para quantificação do acúmulo de matéria seca. Os maiores sintomas de intoxicação visual foram observados nas culturas do feijão e do pepino. A soja também se comportou de forma sensível, todavia, com valores de C_{50} mais altos. Os sintomas visuais de intoxicação e redução da matéria seca da parte aérea e raiz indicam o pepino como a espécie mais adequada para a avaliação da presença de resíduos do triclopyr no solo.

Palavras-chave: Ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético. Bioensaio. Sensibilidade. Intoxicação de planta.

SOIL TRICLOPYR RESIDUE BIOINDICATORS

Abstract - Plant species can be used as indicators of herbicide residues, if they have high sensitivity to the target mechanism of action. In this research, we tried to identify plants sensitive to the triclopyr herbicide in order to detect the presence of its residues in the soil. The experiment was conducted in a greenhouse. The plant species evaluated with supposed sensitivity to the herbicide were common bean (*Phaseolus vulgaris*), cucumber (*Cucumis sativus*) and soybean (*Glycine max*). At 7 and 14 days after emergence of the bean, cucumber and soybean plants were assigned notes of aerial part intoxication and collection of roots and aerial part to quantify dry matter accumulation. The greatest symptoms of visual intoxication were observed in bean and cucumber cultures. Soybeans also behaved sensitively, however, with higher C_{50} values. Visual symptoms of intoxication and reduction of shoot and root dry matter indicate cucumber as the most suitable species for evaluating the presence of triclopyr residues in the soil.

Keywords: 3,5,6-trichloro-2-pyridyloxyacetic acid. Bioassay. Sensitivity. Plant intoxication

2.1 INTRODUÇÃO

O uso de herbicidas na produção agrícola mundial aumenta expressivamente a cada ano devido à forte demanda por alimentos, sendo utilizados com o objetivo de controlar plantas daninhas que competem com as culturas por água, luz e nutrientes. Esta classe de pesticidas representa 48% do total de agroquímicos utilizados no Brasil (Sindiveg, 2020).

Pertencente ao grupo dos auxínicos ou mimetizadores de auxinas, o triclopyr (ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético) é um herbicida seletivo de ação sistêmica. É utilizado no controle de plantas daninhas herbáceas e lenhosas de folhas largas em pastagens, arroz irrigado, assim como para aplicação em pré semeadura em milho, soja e trigo (AGROFIT, 2021). Nos últimos anos tem-se verificado o aumento na utilização deste herbicida no Brasil, principalmente em mistura na dessecação de áreas para o controle de espécies eudicotiledôneas que adquiriram resistência ou que são tolerantes a outros produtos, visando a implantação de culturas de alto interesse econômico, como a soja e o algodão.

Após a aplicação de um herbicida parte da quantidade aplicada atinge o solo (Law, 2001). Desse modo, sua persistência pode variar de acordo com a molécula, assim como sua toxicidade à cultura sucessora. Em razão disso, a persistência de um herbicida no solo aumenta os riscos de interferência em culturas sucessoras devido à complexibilidade das moléculas quanto ao seu efeito residual, denominado *carryover* (Alonso et al., 2013). Desta forma, estudos relacionados à atividade residual dos herbicidas no solo são de extrema importância para determinar um intervalo seguro entre a aplicação de um produto e a instalação de uma cultura. Dentre estes, os bioensaios constituem uma técnica valiosa para detectar a presença de um herbicida no solo ou na água por meio de plantas sensíveis aos compostos analisados (Melo et al., 2010; Mancuso et al., 2011). Para ser considerada uma boa espécie indicadora, ela deve apresentar fácil cultivo em diferentes substratos, rápido desenvolvimento e alta sensibilidade aos herbicidas avaliados (Silva et al., 2007b; Nunes & Vidal, 2009).

Visando selecionar indicadores vegetais de resíduos de indaziflam no solo, Braga et al. (2020) utilizaram quatro espécies (milho, sorgo, trigo e aveia) e constataram que, todas foram sensíveis. Contudo, o sorgo apresentou maior facilidade de cultivo aliado à alta sensibilidade ao herbicida, tornando a espécie mais indicada no estudo. Santos et al. (2006) utilizaram o pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora na avaliação da eficácia e persistência no solo de 2,4-D + picloram, fluroxypyr + picloram e triclopyr utilizados em pastagens. Peres-Oliveira et al. (2017) utilizaram a cultura da soja como bioindicadora do herbicida 2,4-D em um Latossolo Vermelho do Cerrado brasileiro. Plantas de mostarda apresentarem maiores sintomas

de intoxicação pelo triclopyr quando comparadas a plantas de alface, nabo e rabanete em solos do Alaska (Ranft et al.,2010).

Todavia, há uma escassez de pesquisas relacionadas a seleção de uma espécie indicadora de resíduos de triclopyr no Brasil. Além disso, a experimentação visando a seleção de plantas feita diretamente nos solos pode induzir a erros, uma vez que suas características químicas e físicas podem tornar o herbicida mais ou menos disponível na solução, podendo interferir na absorção pelas mesmas. Portanto, num primeiro teste, a utilização da areia, como substrato inerte ou a mistura areia + solo como substrato se torna fundamental na escolha da melhor espécie. Após a seleção, a prática no campo poderá ser realizada em diferentes solos. Desta forma, esta pesquisa teve por objetivo selecionar plantas indicadoras de resíduos de triclopyr pelo método biológico.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 10, com três repetições. O primeiro fator foi composto pelas espécies de plantas com suposta sensibilidade ao herbicida, sendo estas o feijão (*Phaseolus vulgaris*), pepino (*Cucumis sativus*) e a soja (*Glycine max*), e o segundo fator, as doses do herbicida triclopyr. Além da utilização da areia inerte como substrato para compor um tratamento, também foi usado a mistura areia comum + solo na proporção de 1:1 (Tabela 1).

Para isso, utilizou-se como material inerte areia lavada, que foi peneirada com malha de 4 mm. Para a areia se tornar um substrato inerte, a mesma foi lavada em água corrente para retirar o excesso de impurezas. Posteriormente, foi submetida ao repouso em solução contendo 10% de HCl - 10% por 36 horas para eliminação da matéria orgânica. Em seguida, a areia foi lavada com água corrente para remover o excesso de ácido, até que a mesma atingisse pH próximo de 7,0.

Tabela 1. Doses do triclopyr (g/ha^{-1}) aplicadas em Areia e em mistura Areia + Solo.

Areia	Dose (g/ha^{-1})	Areia + Solo
0		0
2,5		5,0
5,0		10,0
10,0		20,0
20,0		40,0
40,0		80,0
80,0		120,0
120,0		240,0
240,0		360,0
360,0		480,0

O solo utilizado na mistura com areia comum foi coletado no município de Viçosa - MG, Brasil, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabela 2), não tendo o mesmo histórico de aplicação de herbicidas. As amostras foram coletadas no horizonte A (HA), sendo posteriormente secas à sombra e passadas em peneira com malha de 4 mm com a finalidade de homogeneização das mesmas. A seleção do Horizonte A se deu em virtude ao paradigma na mudança do plantio convencional para o plantio direto, fato que permitiu o aumento da matéria orgânica neste horizonte. Desta forma, há uma tendência que as plantas tolerem mais os herbicidas que permanecem no solo por um período maior.

Tabela 2: Análise química da amostra do horizonte A (HA) do Latossolo Vermelho-Amarelo.

Solo	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	T	V	m	MO
	H ₂ O	Cmol/dm ³		-----	Cmol _c dm ³	-----			-----	%	-----
HA	5,39	2,6	104	1,81	0,60	0,00	2,9	5,58	48,0	0,0	3,72

Análises realizadas no Laboratório de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizantes da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos vedados, preenchidos com 0,3 dm³ de areia lavada (substrato inerte) e da mistura de areia comum + solo. Em seguida, foi efetuada a semeadura das espécies indicadoras, utilizando-se cinco sementes introduzidas a 1,5 cm da superfície do substrato. Posteriormente, o herbicida triclopyr na formulação GARLON 480 BR foi aplicado na superfície do substrato com pulverizador pressurizado a CO₂ equipado com duas pontas TT 11002, espaçados em 0,50 m, com volume de calda de 170 L ha⁻¹. Após a emergência, foi feito o desbaste da população, deixando três plântulas por vaso. Para evitar que as plantas sofressem deficiência nutricional, foi aplicada uma solução nutritiva (Hoagland & Arnon, 1950) composta de macro e micronutrientes nos vasos contendo areia

inerte afim de permitir o bom desenvolvimento das mesmas. Considerou-se desnecessária a aplicação dessa solução nos vasos contendo areia + solo em virtude de o solo apresentar uma fertilidade considerada capaz de permitir o desenvolvimento adequado das plantas.

Aos 7 e 14 dias após a emergência (DAE) das plantas, foi avaliado o índice de intoxicação, atribuindo notas que variaram de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte das mesmas). Aos 14 DAE a parte aérea e raiz das plantas foram coletadas e o material acondicionado em sacos de papel devidamente identificados, e depositados em estufa com temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$, até atingir massa constante. Posteriormente, determinou-se a matéria seca da parte aérea e raiz em balança de precisão analítica (0,0001 g).

Para interpretação dos resultados as variáveis foram submetidas à análise estatística, utilizando o modelo log-logístico não-linear proposto por Seefeldt et al. (1995):

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + \left(\frac{X}{C_{50}}\right)^b}$$

Em que, D e C correspondem ao nível máximo e mínimo da curva de dose resposta, respectivamente. O b, indica o declive da curva em torno do C_{50} , e a C_{50} , a dose-resposta, referente a 50% de resposta da planta indicadora.

Para interpretação dos resultados referentes ao ensaio contendo areia + solo as variáveis foram submetidas à análise estatística utilizando modelos que melhor se ajustaram através do programa SigmaPlot.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferentes condições de intoxicação e redução no acúmulo de matéria seca da parte aérea e raiz (MSPA e MSRA) das espécies utilizadas no ensaio (Figura 1). O feijão e o pepino apresentaram maiores valores de intoxicação visual, com valores de C_{50} de 17,10 e 28,19 g e.a ha^{-1} , respectivamente, aos 7 DAE. A soja também se comportou de forma sensível a aplicação do triclopyr, no entanto, com valor de C_{50} mais alto (42,90 g e.a ha^{-1}) com vistas a causar injúrias nas plantas, aos 7 DAE (Tabela 3).

Os valores de intoxicação aos 14 DAE seguiram a mesma tendência dos resultados anteriores, visto que as plantas de feijão e pepino apresentaram maior sensibilidade em relação a soja, com valores de C_{50} de 5,87 e 9,70 g e.a ha^{-1} , respectivamente. Já na soja as plantas apresentaram maior capacidade de recuperação, passando de 42,90 aos 7 DAE para 86,63 g e.a

ha⁻¹ aos 14 DAE, sendo essa espécie menos sensível quando comparada as demais (Tabela 3).

Tabela 3. Dose do triclopyr responsável por causar 50% de sintomas de intoxicação (C₅₀) e redução da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e Raiz (MSRA) das plantas indicadoras utilizando areia como substrato.

Dias após a aplicação	Planta Indicadora	Equação	C ₅₀ (g ha ⁻¹)	R ²
7 Dias	Feijão	$Y = 1,07 + \frac{105,04 - 1,07}{1 + \left(\frac{X}{17,10}\right)^{0,95}}$	17,10	0,98
	Pepino	$Y = 3,76 + \frac{103,61 - 3,76}{1 + \left(\frac{X}{28,19}\right)^{1,38}}$	28,19	0,98
	Soja	$Y = -2,40 + \frac{111,83 - (-2,40)}{1 + \left(\frac{X}{32,20}\right)^{0,68}}$	42,90	0,92
14 Dias	Feijão	$Y = 0,59 + \frac{103,65 - 0,59}{1 + \left(\frac{X}{5,87}\right)^{0,85}}$	5,87	0,95
	Pepino	$Y = 4,46 + \frac{101,03 - 9,70}{1 + \left(\frac{X}{9,70}\right)^{2,30}}$	9,70	0,98
	Soja	$Y = 10,33 + \frac{100,30 - 10,33}{1 + \left(\frac{X}{76,28}\right)^{1,71}}$	86,63	0,95
MSPA	Feijão	$Y = 16,96 + \frac{99,98 - 16,96}{1 + \left(\frac{X}{3,88}\right)^{0,51}}$	3,88	0,91
	Pepino	$Y = 1,70 + \frac{100,94 - 1,70}{1 + \left(\frac{X}{5,31}\right)^{1,34}}$	5,31	0,96
	Feijão	$Y = 12,91 + \frac{99,62 - 12,91}{1 + \left(\frac{X}{6,78}\right)^{1,55}}$	6,78	0,98
MSRA	Pepino	$Y = 3,18 + \frac{90,93 - 3,18}{1 + \left(\frac{X}{12,50}\right)^{5,87}}$	12,50	0,98
	Soja	$Y = 30,74 + \frac{112,35 - 30,74}{1 + \left(\frac{X}{70,76}\right)^{3,86}}$	70,76	0,96

Quanto ao acúmulo de MSPA observou-se que a redução dessa variável foi maior em plantas de feijão e pepino, com valores de C₅₀ de 3,88 e 5,31 g e.a ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Nas plantas de soja não houve ajuste do modelo log-logístico não-linear proposto por Seefeldt et al. (1995), possivelmente pela menor sensibilidade da espécie à aplicação do herbicida. Além disso, houve irregularidade na redução da variável analisada devido à baixa relação entre o aumento das doses e a redução da MSPA (Figura 1C). Testando sub-doses de 2,4-D em plantas de soja, Pinheiro (2020) verificou que houve incremento nas variáveis matéria seca da parte aérea e raiz em algumas doses e falta de ajuste aos modelos utilizados.

Quando aplicados em doses não tóxicas, os herbicidas auxínicos podem aumentar o crescimento das plantas como a auxina, hormônio de crescimento, produzida naturalmente por elas (Allender, 1997). No entanto, estes hormônios são letais em doses elevadas (Belz et al., 2018). Desta forma, as respostas de estímulo (hormesis) podem ser vistas em algumas características das plantas através do aumento da produção e atividade de auxinas (Cedergreen et al., 2007). Todavia, o feijão e pepino não foram estimulados em nenhuma dose do herbicida aplicado, fato que pode estar relacionado à alta sensibilidade dessas culturas (Figura 1C).

Plantas de feijão e pepino apresentaram, também, menor acúmulo MSRA, com valores de C_{50} de 6,78 e 12,50 g e.a ha⁻¹, respectivamente. A soja se comportou de maneira menos sensível, necessitando de 70,76 g e.a ha⁻¹ do triclopyr para causar 50 % de redução na variável estudada (Tabela 3 e Figura 1D)

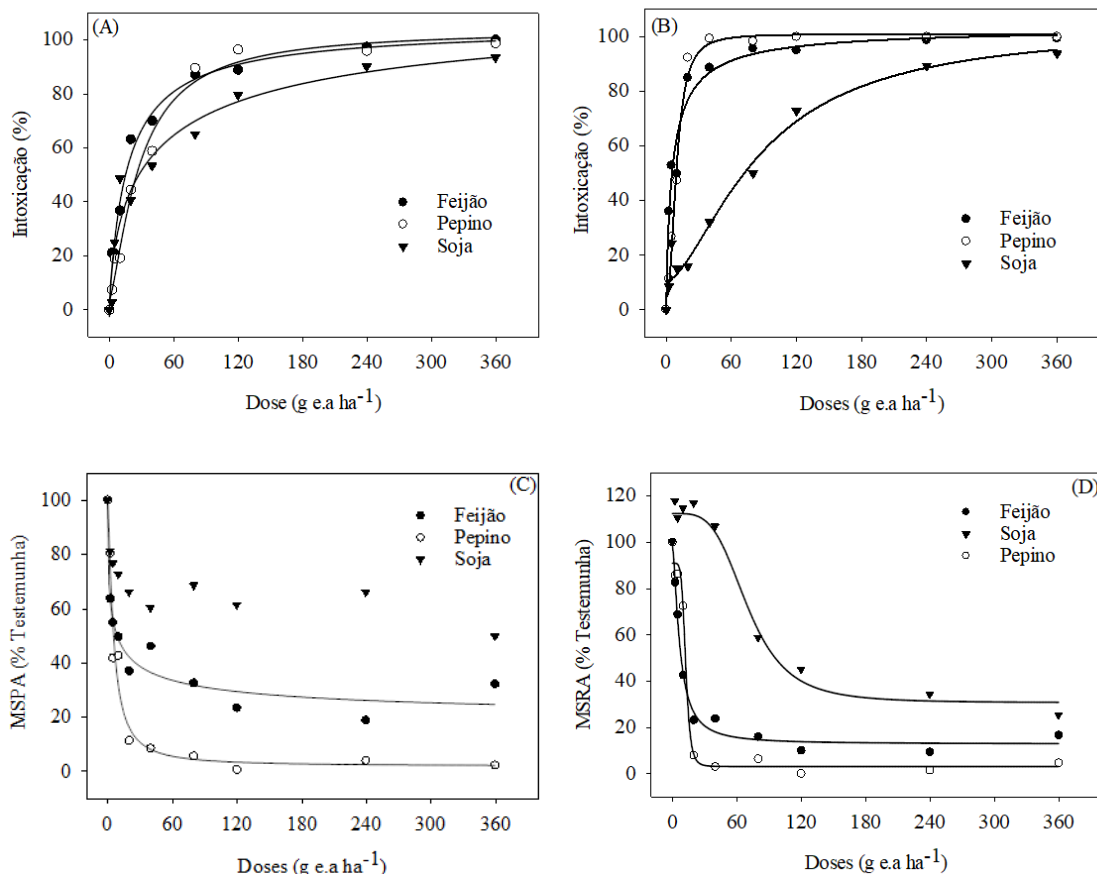


Figura 1. Índice de intoxicação (%) das plantas indicadoras aos 7 DAE (A), 14 DAE (B) e matéria seca da parte aérea (MSPA) (C) e raiz (MSRA) (D), submetidos a doses crescentes do triclopyr aplicado em areia.

No ensaio biológico utilizando-se apenas areia lavada como substrato foi possível observar que as plantas de feijão e pepino se comportaram de maneira semelhante quanto à sensibilidade ao triclopyr, apresentando sintomas de encarquilhamento, dobramento das bordas

das folhas e retorcimento do caule, fato que dificultou a seleção da espécie mais sensível. A soja foi a espécie menos sensível nesse substrato comparada as demais (Figura 2). Portanto, outro ensaio foi realizado utilizando a mistura areia + solo visando verificar a sensibilidade das culturas novamente com fins de selecionar a espécie mais sensível (Figura 3).

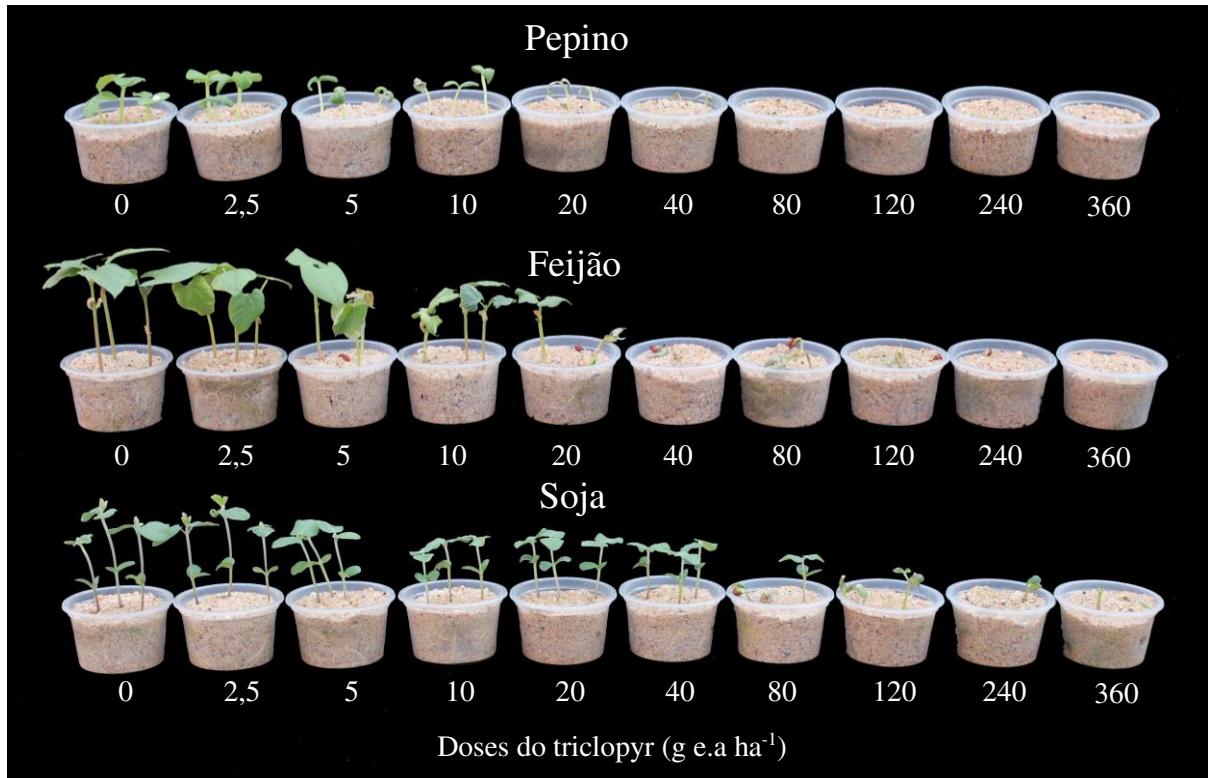


Figura 2. Sintomas de intoxicação de plantas de pepino, feijão e soja aos 14 dias após a emergência cultivadas em areia lavada, submetidas a doses crescentes do triclopyr.

No ensaio utilizando a mistura areia + solo como substrato, é possível observar que as espécies apresentaram comportamento distinto em resposta à presença do herbicida. No entanto, as plantas de pepino se comportaram de maneira mais sensível, apresentando sintomas mais pronunciados, como encarquilhamento, dobramento das bordas das folhas, retorcimento do caule e redução da parte aérea (Figura 3).

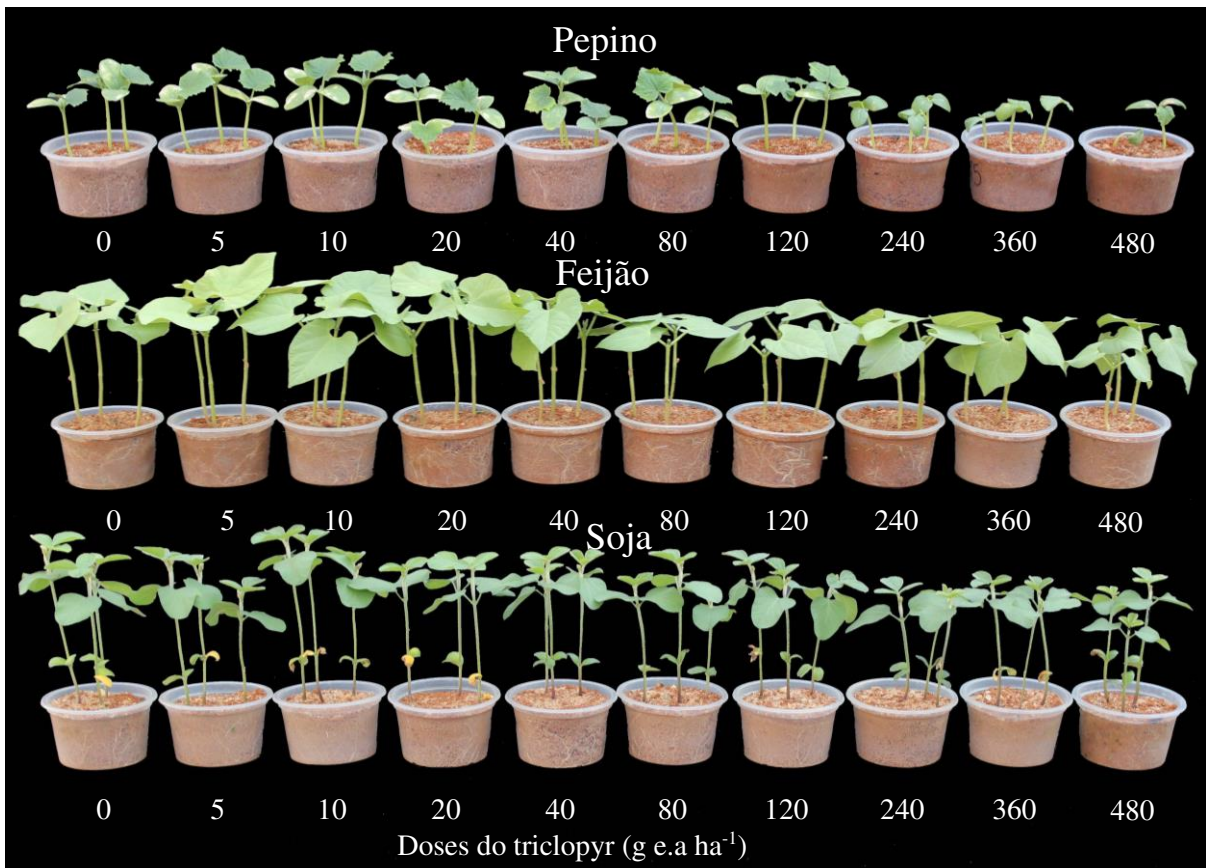


Figura 3. Sintomas de intoxicação de plantas de pepino, feijão e soja aos 14 dias após a emergência, cultivadas em mistura de areia + solo submetidas a doses crescentes do triclopyr.

No substrato areia + solo, o índice de intoxicação em plantas de pepino foi mais elevado quando comparado à soja e ao feijão, justificando a utilização desse ensaio para determinar a espécie mais sensível. Quanto à MSPA, observa-se novamente que o pepino foi a espécie mais sensível à presença do triclopyr, visto que a dose de 240 g e.a ha⁻¹ foi capaz de reduzir essa variável em torno de 60 % (Figura 4B). A adição de solo à areia lavada deixou o herbicida menos disponível na solução. Todavia, mesmo em baixas concentrações, o triclopyr causou nas plantas de pepino maiores índices de intoxicação em relação às plantas de feijão e soja. Nos resultados referentes à MSRA das plantas, não houve ajuste dos modelos, visto que, mesmo havendo redução do sistema radicular das plantas tratadas com o triclopyr houve semelhança desta variável em relação à testemunha.. Este fato pode ser explicado possivelmente pelo engrossamento das raízes afetadas pelo herbicida, fazendo com que o seu peso se assemelhasse ao tratamento controle.

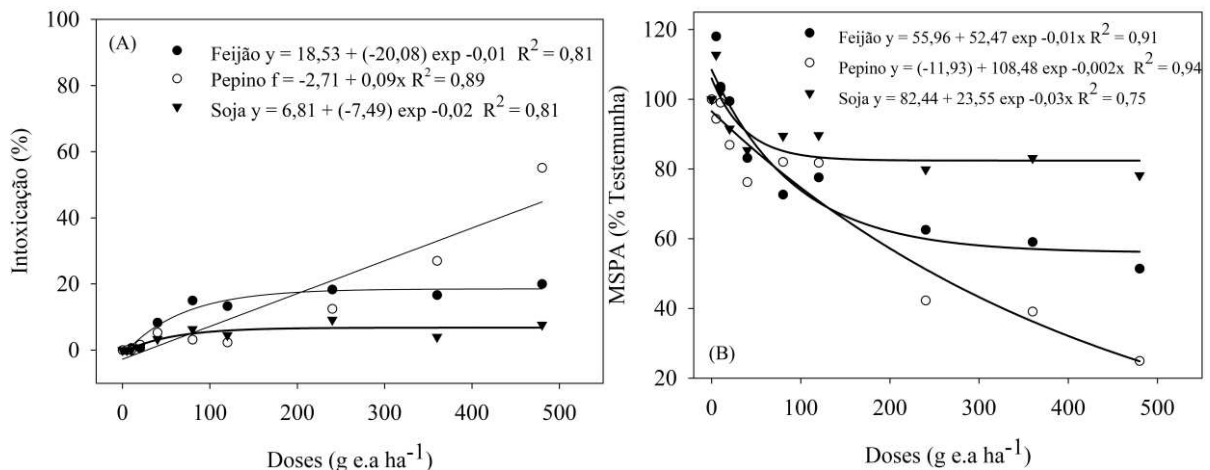


Figura 4. Índice de intoxicação (%) das plantas indicadoras aos 14 DAE (A) e matéria seca da parte aérea (MSPA) (B), submetidos a doses crescentes do triclopyr aplicado na mistura areia + solo.

2.4 CONCLUSÕES

O feijão e o pepino foram as espécies que apresentaram maior sensibilidade ao triclopyr. A soja também se comportou de forma sensível, contudo, com valores de C_{50} mais altos. Desta forma, essa espécie tolera níveis mais elevados do triclopyr em relação ao feijão e pepino.

Os sintomas visuais de intoxicação e redução da matéria seca da parte aérea e raiz indicam o pepino como a espécie mais adequada para avaliar a presença de resíduos deste herbicida no solo.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=9166&p_tipo_janela=NEW. Acesso em 29 de novembro de 2021.
- ALLENDER, W. J. Effect of trifluoperazine and verapamil on herbicide stimulated growth of cotton. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n.1, p. 69-80, 1997.
- ALONSO, D. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. Potencial de *carryover* de herbicidas com atividade residual usados em manejo outonal. **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax, p. 91- 104, 2013.
- BELZ, R. G.; FAROOQ, M. B.; WAGNER, J. Does selective hormesis impact herbicide resistance evolution in weeds? ACCase-resistant populations of *Alopecurus myosuroides* Huds. as a case study. **Pest Management Science**, 2018.
- BRAGA, Renan Rodrigues et al. Selection of vegetable indicators of indaziflam residues in soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, p. 1-6, 2020.

CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J. C.; KUDSK, P.; MATHIASSEN, S. K.; DUKE, S. O. The occurrence of hormesis in plants and algae. **Doserresponse**, v. 5, n.2, p. 150-162, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: 212 p., 1997.

HOAGLAND, D. R. & ARNON, D. L. The water culture methods for growing plants without soil. **Berkeley, California Agriculture Experiment Station**, 32p. (Bulletin, 347), 1950.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **J. Electrost**, v. 51/52, p. 25-42, 2001.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“*Carryover*”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, p. 151-164, 2011.

MELO, C. A. D. MEDEIROS, et al. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

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

OLIVEIRA, J. R. R. S., CONSTANTIN, J., INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba – PR: Omnipax 348 p., 2011.

PERES-OLIVEIRA, Maria Aparecida et al. Soybean as bioindicador of residual effect of 2, 4-D herbicide in an oxisol from the Brazilian cerrado. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p. 35-41, 2017.

PINHEIRO, G. H. R. Hormesis na cultura da soja em resposta à aplicação de 2, 4-D sal colina. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás. Goiás. 2020.

RANFT, R., SEEFELDT, S., ZHANG, M., & BARNES, D. Development of a Soil Bioassay for Triclopyr Residues and Comparison with a Laboratory Extraction. **Weed Technology**, 24(4), 538-543. doi:10.1614/WT-D-09-00055.1, 2010.

SANTOS, M. V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta daninha** [online]. vol.24, n.2, pp.391-398, 2006.

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, S. E.; FUERST, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, v.9, n.1, p.218-227, 1995.

SILVA A. A., VIVIAN R., JR RUBEM S. O. Herbicidas: Comportamento no solo. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 190-248 2007 (a).

SILVA A. A., FERREIRA F. A., FERREIRA L. R. Herbicidas: Classificação e Mecanismos de Ação. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 2007. p. 83-148, 2007 (b).

SINDIVEG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para a Defesa Vegetal. (2020). Disponível em: <https://sindiveg.org.br/mercado-total/> Acesso em 21 de abril de 2021.

3 SORÇÃO DO TRICLOPYR EM AMOSTRAS DE HORIZONTES DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Resumo - O emprego de novas tecnologias permitiu ao Brasil a implementação de uma agricultura moderna e de alta eficiência. Entretanto, existem desafios, como o uso adequado de herbicidas para se manter essa agricultura sustentável do ponto de vista econômico e ambiental. Atualmente um dos grandes desafios se refere ao controle das plantas daninhas tolerantes ou resistentes aos herbicidas de maior uso no mundo. Na busca de soluções para este problema tem sido avaliado diversos herbicidas, sendo um deles o triclopyr. Este herbicida é utilizado no Brasil para o controle em pós-emergência de plantas daninhas eudicotiledôneas em arroz irrigado e pastagem, assim como para aplicação em pré-plantio em milho, soja e trigo. Na literatura mundial existem poucos resultados de pesquisa referentes a dinâmica do triclopyr em solos tropicais. Este fato associado ao seu crescente uso na dessecação em pré-plantio para o controle de plantas daninhas tolerantes ou que já que adquiriram resistência a outros herbicidas de grande uso no país evidencia a necessidade de estudos sobre o comportamento desse herbicida em diferentes solos do Brasil. Nesta pesquisa, utilizando método biológico, foi estimada a sorção do triclopyr em horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). Para isso, foram coletadas amostras dos horizontes A (HA), B (HB) e C (HC) deste solo. A disponibilidade do herbicida na solução dos diferentes substratos (amostras dos horizontes HA, HB e HC e substrato inerte) foi avaliada pelo método do bioensaio. Para isso nos substratos tratados com diferentes doses do triclopyr foi cultivado o pepino (*Cucumis sativus*) como espécie indicadora. O substrato inerte utilizado para interpretação dos resultados foi areia lavada. A razão de sorção (RS) foi diferenciada nos horizontes do LVA (92,15 para o HA, 0,32 para o HB e 0,28 para o HC), respectivamente, visto que, quanto maior os valores da RS, maior é capacidade de sorção do herbicida em relação à areia lavada. Concluiu-se que para o solo avaliado o atributo que mais influenciou a sorção do triclopyr pelos colóides foi a matéria orgânica. Em razão disso, aplicações do triclopyr em solos com baixo teor de matéria orgânica indica alto risco de contaminação do perfil do solo e de águas subterrâneas por este herbicida, quando após sua aplicação ocorrer elevada precipitação pluvial por meio de chuvas ou irrigação.

Palavras-chave: Herbicida. Ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético. Impacto ambiental. Lixiviação. Método biológico.

TRICLOPYR SORPTION IN SAMPLES FROM THE HORIZONS OF A RED-YELLOW LATOSOL

Abstract - The use of new technologies allowed Brazil to implement modern and highly efficient agriculture. However, there are challenges, such as the proper use of herbicides to keep this agriculture sustainable from an economic and environmental point of view. Currently, one of the greatest challenges concerns the control of weeds tolerant or resistant to the most widely used herbicides in the world. In the search for solutions to this problem, several herbicides have been evaluated, one of them being triclopyr. This herbicide is used in Brazil for post-emergence control of eudicot weeds in irrigated rice and pasture, as well as for pre-sowing application in corn, soybean and wheat. In the world literature there are few research results referring to triclopyr dynamics in tropical soils. This fact, associated with its growing use in pre-planting desiccation to control weeds that are tolerant or that have already acquired resistance to other herbicides of great use in the country, highlights the need for studies on the behavior of this herbicide in different soils in Brazil. In this research, using a biological method, the sorption of triclopyr in horizons of a Red-Yellow Latosol (LVA) was estimated. For this, samples were collected from the A (HA), B (HB) and C (HC) horizons of this soil. The availability of the herbicide in the

solution of different substrates (samples from the HA, HB and HC horizons and inert substrate) was evaluated by the bioassay method. For this, in substrates treated with different doses of triclopyr, cucumber (*Cucumis sativus*) was cultivated as an indicator species. The inert substrate used for interpretation of results was washed sand. The sorption ratio (RS) was differentiated in the LVA horizons (92.15 for HA, 0.32 for HB and 0.28 for HC), respectively, since the higher the RS values, the higher the sorption capacity of the herbicide in relation to washed sand. It was concluded that, for the evaluated soil, the attribute that most influenced triclopyr sorption by colloids was organic matter. For this reason, applications of triclopyr in soils with low organic matter content indicate a high risk of contamination of the soil profile and groundwater by this herbicide, when after its application there is high rainfall through rainfall or irrigation.

Keywords: Herbicide. 3,5,6-trichloro-2-pyridyloxyacetic acid. Environmental impact. Leaching. Biological method.

3.1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a utilização de herbicidas na agricultura é fundamental para aumentar a produção de alimentos sem que ocorram reduções significativas provocadas pela interferência das plantas daninhas. Todavia, a utilização desses produtos fora das recomendações técnicas pode culminar em sérios problemas no que se refere à contaminação do solo e da água (Lavorentti et al., 2003, Camargo 2007, Steffen et al., 2011). Portanto, o estudo da dinâmica de herbicidas no ambiente é de fundamental importância para elucidar as diversas interações que podem ocorrer, possibilitando estimar os riscos de contaminação do meio ambiente e contribuir para que as recomendações sejam feitas de maneira segura em relação a eficiência agrônômica (Melo et al., 2010).

A sorção de um herbicida refere-se à retenção das moléculas à superfície dos colóides do solo, constituindo um processo de grande relevância quanto à dinâmica dos produtos no ambiente. A complexidade do comportamento das moléculas nas frações do solo é grande, uma vez que as interações as quais podem ocorrer são numerosas em virtude das diferentes características existentes em cada condição. Dentre essas, as frações orgânicas, tipos de argila e o pH são os fatores que mais influenciam o processo de sorção e, conseqüentemente, a movimentação desses compostos no solo (Inoue et al., 2003). A utilização de espécies vegetais por meio dos bioensaios e técnicas cromatográficas tem sido largamente empregada em diversos estudos afim de monitorar o comportamento de herbicidas no ambiente. É fato que a associação desses métodos permite a detecção da molécula ativa do herbicida nos perfis do solo, mesmo que em baixas concentrações (Pessala et al., 2004).

Nos últimos anos tem-se verificado o aumento do volume aplicado do triclopyr no Brasil, principalmente em mistura na dessecação de áreas no controle de espécies

eudicotiledôneas tolerantes ou que já adquiriram resistência a outros herbicidas, visando a implantação de culturas de alto interesse econômico, como a soja e o algodão (Ferraz et al., 2020). Estudos relacionam a dinâmica do triclopyr no solo com suas propriedades e características, sendo que esse composto apresenta degradação rápida no solo, variando com o tipo de substrato e com o clima, visto que umidade e temperatura facilitam a rápida degradação. O pH do solo, teor de argila e matéria orgânica estão diretamente ligados ao seu grau de adsorção. Em solos arenosos, com pluviosidade elevada, há riscos de ocorrência de lixiviação devido à solubilidade do herbicida em água (Rodrigues; Almeida, 2018).

A meia-vida do triclopyr em solos pode variar de 3,7 a 314 dias, mas as médias são de 30 dias, fatores estes que irão depender do tipo de solo e das condições ambientais. Se as condições do solo são quentes e úmidas, o metabolismo microbiano pode ser o principal meio de degradação (Newton et al., 1990), acelerando o processo. A capacidade do triclopyr em adsorver-se às partículas do solo é considerada intermediária. Deste modo, o movimento de pequenas quantidades de resíduos do herbicida após as primeiras chuvas é significativo (Mccall; Gavit, 1986).

Grande parte dos estudos referentes ao comportamento do triclopyr no solo utilizam amostras das camadas superficiais, impossibilitando a compreensão da dinâmica do produto ao longo do perfil do solo, visto que os horizontes possuem diferentes características físicas e químicas. Desta forma, determinar a capacidade sorçiva e, conseqüentemente, o potencial de lixiviação do triclopyr considerando apenas a camada superficial do solo se torna uma prática errônea. Desta forma, esta pesquisa buscou compreender a sorção do triclopyr ao longo do perfil de um Latossolo Vermelho-Amarelo, por meio de ensaio biológico.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coleta e preparo das amostras

O solo utilizado no experimento foi coletado no município de Viçosa-MG, sendo o mesmo sem histórico de utilização de herbicidas, e classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 1). Foram coletadas amostras nos horizontes A (HA), B (HB) e C (HC), sendo que a distinção entre os horizontes foi realizada por meio da observação das características que separam os mesmos ao longo do perfil do solo. Após a coleta, as amostras foram secas à sombra e passadas em peneira com malha de 4 mm.

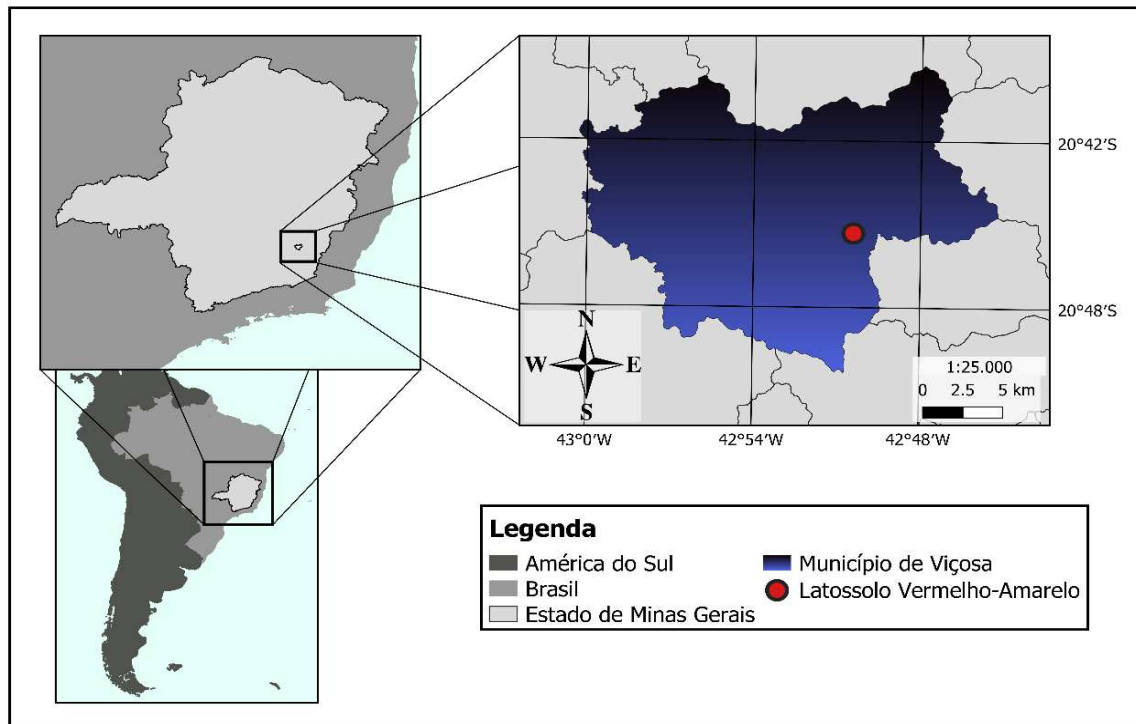


Figura 1. Localização do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado no Município de Viçosa-MG.

3.2.2 Sorção por meio de ensaio biológico

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. Para determinação da sorção do herbicida triclopyr foram utilizados como substrato, areia lavada e amostras dos horizontes do solo coletado (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química e física de amostras dos horizontes A (HA), B (HB), C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Solos	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	V	m	MO
	H ₂ O	cmol/dm ³				cmol _c dm ³				%	
HA	4,89	1,6	85	1,62	0,95	0,28	4,8	7,59	36,8	9,81	3,72
HB	4,84	1,9	5	0,58	0,18	0	1,7	2,47	31,12	0	0,13
HC	4,84	2,7	4	0,27	0,03	0,95	3,3	3,61	8,6	75,4	0
		A. grossa	A. fina	Silte	Argila	Classe textural					
HA		0,200	0,173	0,082	0,545	Argila					
HB		0,030	0,126	0,085	0,759	Muito Argilosa					
HC		0,017	0,109	0,772	0,102	Franco-Siltosa					

Análises realizadas no Laboratório de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizantes da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

Para que a areia se tornasse um substrato inerte, a mesma foi passada em peneira com malha de 4 mm e lavada em água corrente para retirar impurezas. Posteriormente, foi submetida ao repouso com HCl - 10% por 36 horas para eliminação da matéria orgânica. Em seguida, a

areia foi lavada com água corrente para remover o excesso de ácido, até que a mesma atingisse pH próximo de 7,0.

As unidades experimentais foram compostas por vasos vedados com capacidade de 0,3 dm³, preenchidos com os respectivos substratos com massa uniformizada para cada vaso, atentando-se para que a umidade permanecesse próxima a capacidade de campo.

Adotou-se o esquema fatorial 4 x 10, com cinco repetições, onde o fator A correspondeu aos quatro substratos avaliados (areia lavada e os horizontes do solo) e o fator B as dez doses do triclopyr (produto comercial GARLON[®] 480 BR). As doses do triclopyr foram definidas em ensaios preliminares para cada um dos horizontes em estudo e a areia (Tabela 2).

O critério utilizado na escolha das doses foi feito por meio do estabelecimento da curva de dose-resposta nos ensaios preliminares, permitindo o ajuste do modelo matemático por meio do fracionamento das doses e adequação dos pontos. Foi feita a aplicação das doses do herbicida triclopyr em pré-emergência após a semeadura da espécie indicadora, utilizando um pulverizador costal pressurizado com CO₂, com duas pontas de pulverização TTI 11002, espaçadas em 0,5 metros, mantido à pressão de 25 lb pol⁻², com volume de calda de 170 L ha⁻¹.

Tabela 2. Doses do triclopyr aplicadas em areia lavada e em amostras de horizontes A (HA), B (HB) e C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Areia	HA	HB	HC
Dose (g/ha ⁻¹)			
0	0	0	0
1	80	2,5	2,5
2,5	120	5,0	5,0
5,0	240	10,0	10,0
10,0	360	20,0	20,0
20,0	480	40	40
40	960	80	80
80	1920	120	120
120	2880	240	240
240	3840	360	360

As avaliações visuais de intoxicação das plantas foram realizadas aos 7 e 14 dias após a emergência das mesmas (DAE), atribuindo-se notas que variaram de 0 (ausência de toxicidade) e 100 (morte das plantas). Para evitar que as plantas sofressem deficiência nutricional, foi aplicada uma solução nutritiva composta de macro e micronutrientes nos vasos contendo os horizontes HB, HC e areia (Hoagland & Arnon, 1950). Não houve a necessidade de aplicar a solução no horizonte A (HA) devido à maior fertilidade encontrada no mesmo. É importante

ressaltar que o efeito tóxico do resíduo de triclopyr não foi mascarado após a aplicação da solução nutritiva em parte dos tratamentos. Ao longo da condução do ensaio foram feitas irrigações com vistas a manter os substratos próximos a capacidade de campo. Aos 14 DAE a parte aérea e raiz das plantas foram coletadas, acondicionando-as em sacos de papel e levadas a estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C), até atingir massa constante para determinação da matéria seca.

Os resultados obtidos à partir da porcentagem de matéria seca em relação à testemunha, para cada substrato, foram submetidos à análise de variância e submetidos à análise de regressão, pelo modelo loglogístico não-linear (Equação 1) (Seefeldt et al. 1995):

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + \left(\frac{X}{C_{50}}\right)^b}$$

Equação 1: modelo log-logístico não linear

Nesse modelo, C representa o valor inferior da curva, sendo a resposta das plantas que receberam o herbicida, D o limite superior da curva, referindo-se a resposta da testemunha, e o C_{50} , à dose-resposta referente à redução de 50% da matéria seca da parte aérea da espécie indicadora. O b refere-se à declividade da curva em torno do C_{50} , e X e Y, as variáveis independente e dependente da equação, respectivamente.

A razão de sorção (RS) dos herbicidas foi calculada com os valores oriundos da C_{50} do solo e da areia utilizando-se a Equação 2.

$$RS = \frac{C_{50\text{ solo}} - C_{50\text{ areia}}}{C_{50\text{ areia}}}$$

Equação 2: equação da relação de sorção entre solo e areia

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis analisadas no estudo de sorção por meio do ensaio biológico foram notas de intoxicação aos 7 e 14 dias após a emergência da espécie bioindicadora e matéria seca da parte aérea e raiz. Observou-se que com o aumento das doses, aumentou-se também a porcentagem de intoxicação das plantas nos substratos inerte (areia), horizonte A (HA), horizonte B (HB) e horizonte C (HC), sendo que no HA foram necessárias doses maiores para causar intoxicação das plantas quando comparado aos outros tratamentos (Figura 2). Isto

demonstra a grande influência desse horizonte na redução da disponibilidade do herbicida na absorção pelas plantas, sendo necessárias um aumento das doses do triclopyr para causar intoxicação. Os horizontes HB e HC necessitaram de menores doses do herbicida para causarem sintomas nas plantas de pepino, indicando a baixa capacidade de sorção do triclopyr nesses substratos.

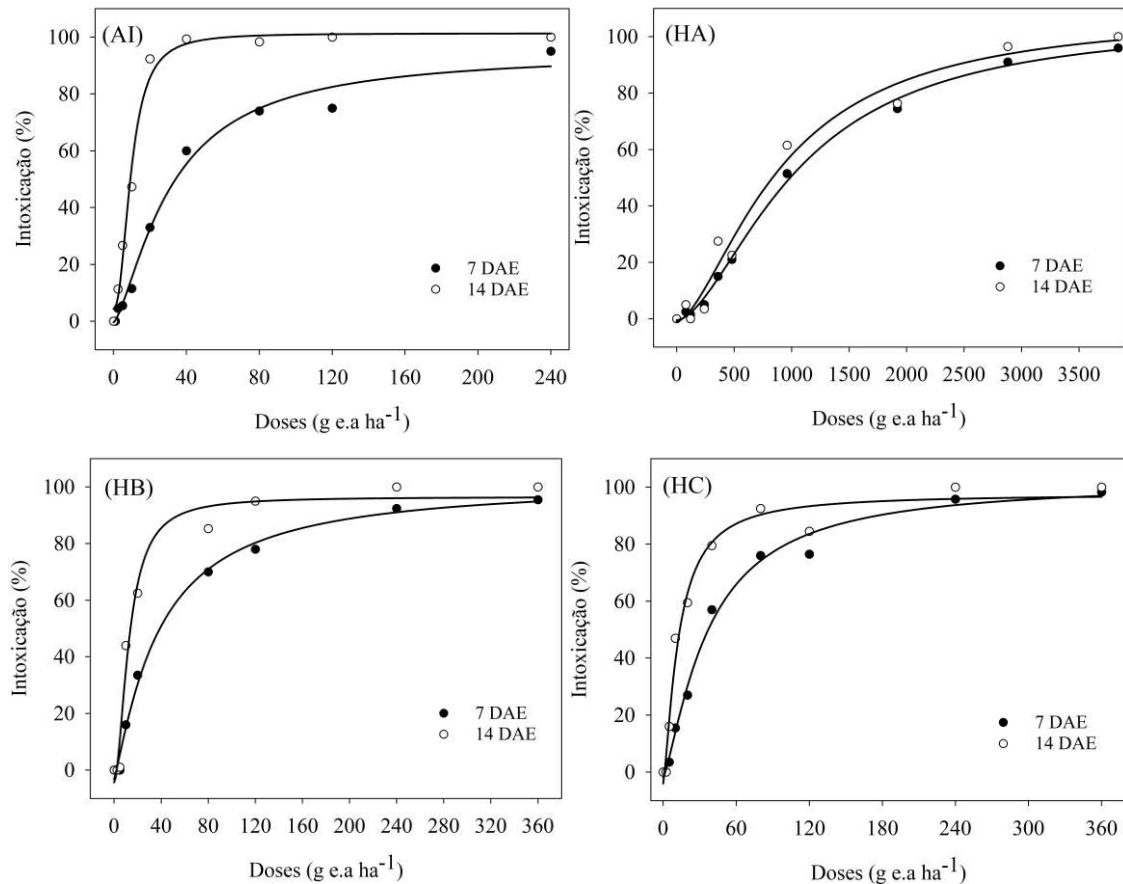


Figura 2. Notas de intoxicação em plantas de pepino (*Cucumis sativus*), cultivadas em substratos: Areia Inerte (AI), Horizonte A (HA), Horizonte B (HB) e Horizonte C (HC), de um Latossolo Vermelho-Amarelo, tratados com doses crescentes do triclopyr. Avaliações realizadas aos 7 e 14 dias após emergência das plantas.

Em relação a matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSRA), o aumento das doses fez com que houvesse a redução dessas variáveis em todos os tratamentos, visto que no horizonte HA necessitou-se de doses maiores novamente (Figura 3). Corroborando com esses resultados, Tuffi Santos et al. (2006) observaram que a intoxicação de plantas de *Eucalyptus* variou de acordo com as subdoses de triclopyr, sendo tanto maior quanto maiores as subdoses. Avaliando a sensibilidade de plantas de pepino, nabo e rabanete ao triclopyr, Bastos et al. (2015) concluíram que os efeitos nas variáveis estudadas foram evoluindo de acordo com o aumento

das doses, agravando os sintomas de intoxicação, redução da matéria seca e altura das plantas avaliadas.

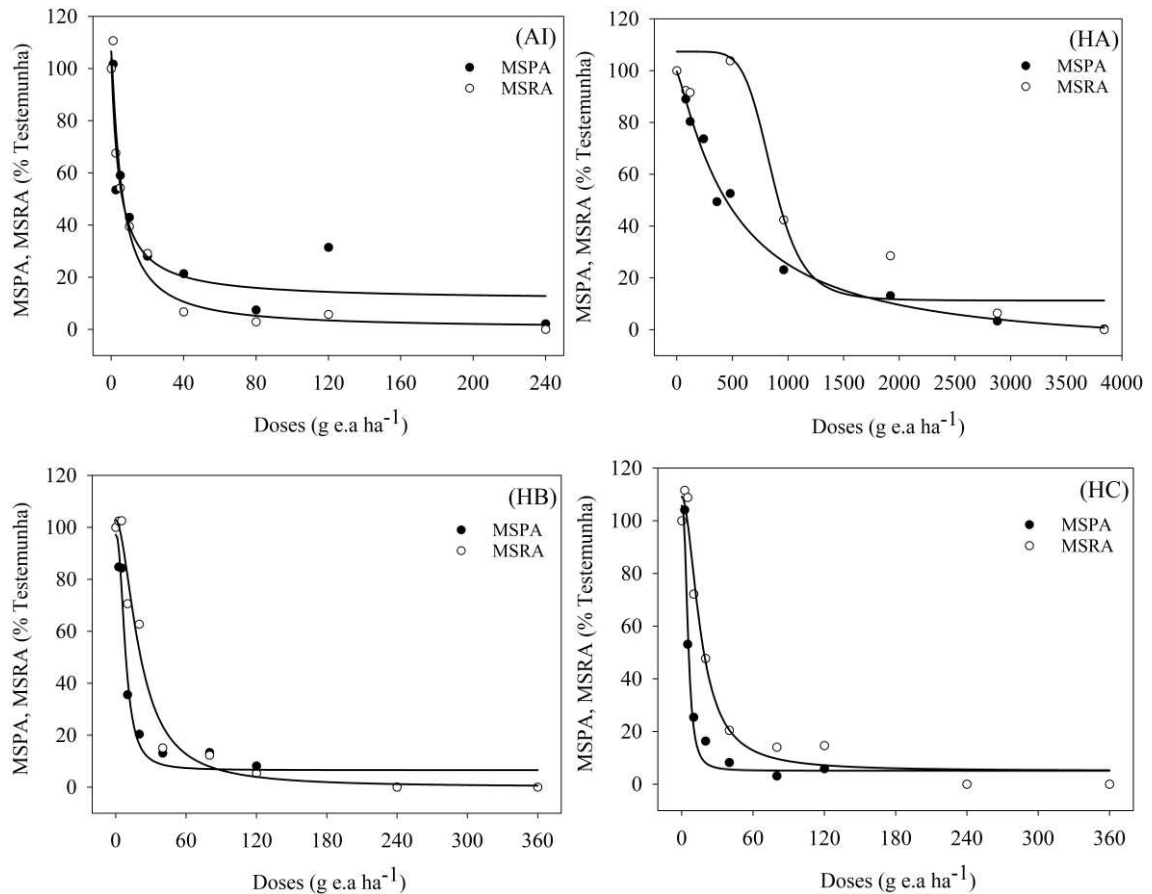


Figura 3. Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e de raiz (MSRA) de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) cultivadas em substratos: Areia Inerte (AI), Horizonte A (HA), Horizonte B (HB) e Horizonte C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo, tratados com doses crescentes do triclopyr.

Ao analisar os dados referentes à C₅₀, dose responsável por causar 50% de intoxicação nas plantas, foi possível observar que aos 7 DAE, essa dose foi maior no horizonte HA, sendo necessário 1046,47 g ha⁻¹ de triclopyr, seguido pelo horizonte HB (37,98 g ha⁻¹) e HC (37,06 g ha⁻¹), respectivamente (Tabela 3). A relação dos valores de C₅₀ seguiu da mesma forma quando as plantas foram avaliadas aos 14 DAE, na ordem de maior valor para o de menor nos horizontes HA (905,42 g ha⁻¹), HB (12,80 g ha⁻¹) e HC (12,48 g ha⁻¹). O menor valor de C₅₀ foi obtido na areia tanto aos 7 DAE (31,28 g ha⁻¹), quanto aos 14 DAE (9,72 g ha⁻¹). Tal fato é justificado pela ausência de cargas e a neutralidade do pH nesse substrato, visto que esses fatores permitem que o herbicida fique totalmente disponível na solução e seja absorvido em grandes quantidades pelas plantas.

Tabela 3. Dose do triclopyr responsável por causar 50% de sintomas de intoxicação (C₅₀) e redução da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e Raíz (MSRA) de plantas de pepino em areia e em três horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Dias após a aplicação	Substratos	Equação	C ₅₀ (g ha ⁻¹)	RS	R ²
7 Dias	Areia	$Y = -0,39 + \frac{94,69 - (-0,39)}{1 + \left(\frac{X}{31,28}\right)^{1,42}}$	31,28	-	0,98
	HA	$Y = -0,47 + \frac{105,82 - (-0,47)}{1 + \left(\frac{X}{1046,47}\right)^{1,71}}$	1046,47	32,45	0,99
	HB	$Y = -3,08 + \frac{92,69 - (-3,08)}{1 + \left(\frac{X}{25,67}\right)^{1,51}}$	37,98	0,2	0,97
	HC	$Y = -1,93 + \frac{102,05 - (-1,93)}{1 + \left(\frac{X}{37,06}\right)^{1,31}}$	37,06	0,18	0,99
	Areia	$Y = 3,67 + \frac{101,36 - 3,67}{1 + \left(\frac{X}{9,72}\right)^{1,76}}$	9,72	-	0,99
14 Dias	HA	$Y = -0,97 + \frac{108,38 - (-0,97)}{1 + \left(\frac{X}{905,42}\right)^{1,62}}$	905,42	92,15	0,97
	HB	$Y = -3,98 + \frac{96,50 - (-3,98)}{1 + \left(\frac{X}{12,59}\right)^{1,95}}$	12,80	0,32	0,97
	HC	$Y = -4,02 + \frac{97,60 - (-4,02)}{1 + \left(\frac{X}{12,48}\right)^{1,38}}$	12,48	0,28	0,97
	Areia	$Y = 11,19 + \frac{103,84 - 11,19}{1 + \left(\frac{X}{4,48}\right)^{-1,01}}$	4,48	-	0,86
MSPA	HA	$Y = -8,33 + \frac{99,67 - (-8,33)}{1 + \left(\frac{X}{508,59}\right)^{-1,18}}$	508,59	112,52	0,98
	HB	$Y = 6,56 + \frac{97,18 - 6,56}{1 + \left(\frac{X}{8,31}\right)^{-2,37}}$	8,31	0,85	0,96
	HC	$Y = 5,11 + \frac{105,76 - 5,11}{1 + \left(\frac{X}{5,39}\right)^{-2,64}}$	5,39	0,2	0,97
	Areia	$Y = 0,39 + \frac{106,64 - 0,39}{1 + \left(\frac{X}{5,82}\right)^{-1,16}}$	5,82	-	0,95
MSRA	HA	$Y = 11,25 + \frac{107,35 - 11,25}{1 + \left(\frac{X}{859,56}\right)^{-6,37}}$	859,56	146,56	0,87
	HB	$Y = 0,08 + \frac{102,89 - 0,08}{1 + \left(\frac{X}{20,60}\right)^{-1,84}}$	20,60	2,54	0,97
	HC	$Y = 5,03 + \frac{109,18 - 5,03}{1 + \left(\frac{X}{16,17}\right)^{-1,92}}$	16,17	1,78	0,97

Em relação à dose necessária para causar 50% de redução no acúmulo da MSPA e

MSRA, o horizonte HA apresentou novamente o valor de C_{50} superior aos HB e HC, necessitando de maiores doses para causar injúrias nas plantas de pepino (Tabela 3). Novamente a areia necessitou das menores doses para que houvesse a redução de 50% dessas variáveis em virtude das características desse substrato.

Quanto à razão de sorção (RS) do triclopyr nos horizontes estudados, o HA se diferiu dos demais, obtendo um valor elevado (92,15) quando se avaliou as plantas aos 14 DAE. Analisando os demais horizontes, o HB apresentou uma razão de sorção (0,32) maior do que o HC (0,28), visto que na areia, a RS é nula pelo fato do herbicida não ficar aderido às partículas desse substrato, permanecendo totalmente disponível em solução (Tabela 3). Dessa maneira, quanto maiores os valores da RS, maior é a capacidade de sorção do herbicida estudado e, provavelmente, menor será o seu potencial de lixiviação no perfil do solo.

Na análise química do solo (Tabela 1), é possível observar que a porcentagem de matéria orgânica é significativamente maior no horizonte HA (3,72%) em relação ao HB (0,13%). Já o HC não possui quantidade significativa desse atributo. Todavia, os valores de pH dos perfis estudados são semelhantes entre si (4,89 para o HA e 4,84 para os horizontes HB e HC).

Caso houvesse uma correção no pH dessas amostras, a fim de aumentar seus valores, possivelmente a sorção seria alterada em consequência da desprotonação das moléculas do herbicida tornando-as carregadas negativamente (Maciel et al., 2013). Associada ao tipo de argila 1:1 presente na maioria do Latossolos brasileiros tendo cargas dependentes de pH, o aumento deste faz com que essas argilas também apresentem cargas negativas e, conseqüentemente, ocorra a repulsão de herbicidas de caráter ácido (Passos et al., 2013). Dessa forma, é importante ressaltar que, o pH do solo está diretamente ligado a capacidade sorçiva do herbicida, visto que alterações nos valores desse atributo também alteram o comportamento destes compostos, influenciando a sorção das mesmas aos colóides orgânicos e minerais (Silva et al., 2007).

Apesar do pH ser o fator de maior interferência na sorção de herbicidas ácidos fracos no solo, a matéria orgânica tem relação positiva na retenção dos mesmos quando o pH não apresenta variação significativa (Hang, 1996). Dessa forma, o horizonte HA apresentou alta capacidade sorçiva do triclopyr quando comparado aos demais, visto que o pH provavelmente não exerceu forte influência devido à similaridade entre os valores, sendo os níveis de matéria orgânica os principais precursores na sorção. Corroborando com esses resultados, D'antonino L. et al. (2009) verificaram que o índice de lixiviação do picloram e, conseqüentemente, sua sorção em três tipos de solo foi menos influenciado pelo pH quando os níveis de matéria orgânica dos mesmos estavam mais elevados. Dados compilados por Assis E. C. et al. (2011)

mostraram que o processo de sorção do picloram foi maior em um Argissolo Vermelho-Amarelo comparado a um Latossolo Vermelho-Amarelo em virtude ao maior teor de matéria orgânica e menor valor de pH encontrado nesse primeiro.

Esse fato pode justificar a influência da matéria orgânica na sorção do herbicida no horizonte HA, uma vez que a diversidade das substâncias presentes naquele ambiente favorece a formação de ligações da molécula do herbicida com os colóides do solo, principalmente pela porção denominada de substâncias húmicas. Esta porção é definida por inúmeros agregados de substâncias orgânicas, unidos entre si por ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas fracas, gerando um arranjo supramolecular (Baldotto et al., 2014).

Além disso, solos argilosos permitem que as trocas catiônicas exerçam forte influência nos processos de sorção, somada a alta superfície específica das argilas que facilita a ligação da molécula herbicida com o material coloidal, diferentemente do que ocorre na areia, que não possui cargas (Baldotto et al., 2014). Avaliando dois solos argilosos e um solo arenoso, Boivin et al., (2005) concluíram que a sorção era superior nos argilosos em relação ao solo arenoso, justificado pelo baixo teor de matéria orgânica e argila encontrado nesse último. A argila influencia positivamente a capacidade sortiva dos herbicidas ácidos fracos devido a presença de óxidos de ferro e Alumínio nesses solos (Clausen & Fabricius, 2001; Werner et al., 2013). Estudando a sorção do triclopyr e 2,4-D em quatro solos de Oregon (EUA) com diferentes características físicas e químicas, Johnson et al. (1995) observaram que, para ambos os herbicidas, a capacidade sortiva está diretamente relacionada ao conteúdo de matéria orgânica, teor de argila e pH. Dessa forma, é importante entender que, o comportamento dos herbicidas de caráter ácido será alterado de acordo com os tipos de solos, atribuído às suas características já citadas.

A razão de sorção é um parâmetro importante na indicação da capacidade de um herbicida ficar sorvido ao solo, pois quanto maior o seu valor maior será a capacidade de sorção ao substrato. Portanto, determinar a C_{50} e a RS é imprescindível para que a compreensão da retenção de um herbicida ao solo seja vista com clareza. O conhecimento da movimentação dos herbicidas no solo, sua taxa de degradação e a eficiência de controle das plantas daninhas precisa ser bem elucidado afim de se realizar o manejo de forma eficiente (Silva et al., 2007).

Com o aumento da dose do triclopyr elevou-se a intoxicação das plantas de pepino. Assim, foi possível visualizar os sintomas externos provocados pelo modo de ação desse herbicida, incluindo curvatura do caule e encarquilhamento das folhas e, em doses maiores, provocam a redução da matéria seca da parte aérea e da raiz, seguido de senescência e morte das plantas (Figura 4).

Todavia o triclopyr provocou nas plantas tratadas sintomatologia moderadamente distinta dos sintomas causados por outros herbicidas auxínicos, visto que as injúrias citadas acima, como as alterações de crescimento e curvatura do caule ocorreram de maneira menos pronunciada. Nas avaliações observou-se um menor porte das plantas tanto da parte aérea como do sistema radicular, quando comparados à testemunha.



Figura 4. Sintomas de intoxicação de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), aos 14 dias após a emergência, cultivadas em substratos: Areia Inerte (AI), Horizonte A (HA), Horizonte B (HB) e Horizonte C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo, tratados com doses crescentes do triclopyr.

3.4 CONCLUSÕES

O método biológico foi eficiente para avaliar a disponibilidade do triclopyr na solução do solo.

Para o solo avaliado o atributo que mais influenciou a sorção deste herbicida pelos colóides foi a matéria orgânica.

Aplicações do triclopyr em solos com baixo teor de matéria orgânica indica alto risco de contaminação do perfil do solo e de águas subterrâneas, quando após sua aplicação ocorrer elevada precipitação pluvial.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, E. C et al. Sorption and desorption of picloram in soils under pastures in Brazil. **Planta daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 893-899, Dec. 2011.
- BALDOTTO M. A., ESTRELA L., BALDOTTO B. Ácidos húmicos Humic acids. **Revista Ceres**. 61: 856–81, 2014.
- BASTOS, J. C. H. A. G. Avaliação da sensibilidade de organismos aquáticos e terrestres ao triclopyr. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.
- BITTENCOURT, E. Embrapa comprova prejuízos aos recursos hídricos por defensivos e pesquisa opções de menor impacto no meio ambiente, 2004. Disponível em: agrotoxicos.htm>. Acesso em janeiro, 2021.
- BOIVIN A., AMELLAL S., SCHIAVON M., VAN GENUCHTEN MTh. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. **Environmental Pollution**. 138(1): 92-9, 2005.
- CAMARGO, O. A. Uma visão política sobre contaminação de solos com metais pesados. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: Acesso em: 23 de abril de 2021.
- CLAUSEN L e FABRICIUS I. Atrazine, Isoproturon, Mecoprop, 2,4-D, and Bentazone Adsorption onto Iron Oxides. **J. Environ. Qual.** 30: 858-869, 2001.
- D'ANTONINO, L. et al. Lixiviação do picloram em Argissolo-VermelhoAmarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 589-600, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: 212 p., 1997.
- FERRAZ, J.W. et al. Aplicação de diferentes herbicidas para o controle de *Conyza spp.*

resistentes ao glifosato. **Cultivando o Saber**, v. 13 - n° 2, p. 86 a 93, 2020.

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.L. The water culture methods for growing plants without soil. **Berkeley, California Agriculture Experiment Station**, 32p. (Bulletin, 347), 1950.

HANG, S. B.; FERREIRO, E. A.; BUSSETTI, S. G. Movilidad y adsorción-desorción de picloram, dicamba e imazaquin. Invest. Agr. Prod. Protec. **Vegetales**, v. 11, n. 2, p. 345-361, 1996.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação de herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B. Comportamento de pesticidas em solos – Fundamentos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, v.III, Viçosa: SBCS, p.335-400, 2003.

MACIEL G. M., INÁCIO F. D., SÁ-NAKANISHI A. B., HAMINIUK C. W. I., CASTOLD R., COMAR J. F., BRACHT A., PERALTA R.M. Response of *Ganoderma lucidum* and *Trametes sp.* to the herbicide picloram: Tolerance, antioxidants and production of ligninolytic enzymes. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 105:84-92, 2013.

MCCALL, P. J e P. D. GAVIT. Aqueous photolysis of triclopyr and its butoxyethyl ester and calculated environmental photodecomposition rates. **Environmental Toxicity Chemistry**, v. 5, p. 879-885, 1986.

MELO, C.A.D. MEDEIROS, et al. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

NEWTON, M., F. ROBERTS, A. ALLEN, B. KELPSAS, D. WHITE, AND P. BOYD. Deposition and dissipation of three herbicides in foliage, litter, and soil of brushfields of southwest Oregon. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.38, p.574-583, 1990.

PASSOS A.B. R. J., FREITAS M. A. M., TORRES L. G., SILVA A. A., QUEIROZ M. E. L. R., LIMA C. F. Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health**, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 48:646-50, 2013.

PESSALA, P.; SCHULTZ, E.; NAKARI, T.; JOUTTI, A. E HERVE, S. Evaluation of wastewater effluents by small-scale biotests and a fractionation procedure. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 59, p. 263-272, 2004.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 7. Ed. Londrina: Edição dos Autores, 672 p., 2018.

SILVA A. A., VIVIAN R., JR RUBEM S. O. Herbicidas: Comportamento no solo. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 190-248, 2007.

STEFFEN G. P. K., STEFFEN R. B., ANTONIOLLI Z. I. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul**, v. 15, n. 1, p. 15-21, jan./jun. 2011.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta daninha**, v. 24, n. 3, p. 521-526, 2006.

WERNER D., GARRATT J. A e PIGOTT G. Sorption of 2,4-D and other phenoxy herbicides to soil, organic matter, and minerals. **J Soils Sediments**. 13: 129–139, 2013.

4 ESTIMATIVA DA PERSISTÊNCIA DO TRICLOPYR EM SOLOS COM DIFERENTES ATRIBUTOS

Resumo - Tem-se observado uso crescente do herbicida triclopyr na dessecação de áreas em pré-semeadura da soja e algodão, sendo recomendado no controle de plantas daninhas eudicotiledôneas em pastagens, arroz e na dessecação de áreas para novos cultivos. Pequenas concentrações do triclopyr na solução do solo promovem intoxicação de culturas sensíveis, além de aumentar os riscos de contaminação ambiental. Em razão disso, é muito importante conhecer a sua velocidade de degradação em solos de diferentes atributos e a possibilidade do composto em lixiviar a camadas mais profundas afim de prevenir o efeito *carryover* e a contaminação de corpos subterrâneos d'água, respectivamente. Nesta pesquisa foi estimada a persistência do triclopyr ao longo do perfil de um Latossolo Vermelho-Amarelo, utilizando plantas de pepino como espécie indicadora. Também foi feito o mesmo estudo em amostras do horizonte A de dois Latossolos Vermelho-Amarelos com diferentes atributos e num Argissolo Vermelho-Amarelo. Complementarmente, avaliou-se nos solos citados o efeito *carryover* do triclopyr nas culturas da soja e do algodão. Foram realizadas 10 coletas de amostras dos solos tratadas com o triclopyr em intervalos variando de 0 a 200 dias após a aplicação do herbicida. As amostras coletadas foram então cultivadas com plantas de pepino, soja e algodão, para estimar o efeito residual do herbicida. Nos horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo, a partir dos 150 DAA não foi observado redução da MSPA e MSRA em plantas de pepino no HA, já nos horizontes HB e HC, ocorreu redução entre 80 e 90%, em todas as épocas de coleta avaliadas. No latossolo 1, a semeadura do algodão pode ser feita de maneira segura com aproximadamente 20 dias após a aplicação deste herbicida. No latossolo 2 e argissolo, recomenda-se semear o algodão com aproximadamente 30 dias após a aplicação. A semeadura da soja pode ser feita de maneira segura com aproximadamente 30 e 100 dias após a aplicação do herbicida, nos latossolos 1 e 2, respectivamente. Quanto ao Argissolo, necessita-se de um tempo maior que 100 dias para que a soja seja cultivada com segurança, nas condições estudadas.

Palavras-chave: Contaminação ambiental. *Carryover*. Atributos do solo. Plantas bioindicadoras. Bioensaio.

ESTIMATION OF TRICLOPYR PERSISTENCE IN SOILS WITH DIFFERENT ATTRIBUTES

Abstract - The increasing use of the herbicide triclopyr has been observed in the desiccation of pre-sowing areas of soybean and cotton, being recommended for the control of eudicot weeds in pastures, rice and for the desiccation of areas for new crops. Small concentrations of triclopyr in the soil solution promote intoxication of sensitive crops, in addition to increasing the risk of environmental contamination. For this reason, it is very important to know its degradation speed in soils of different attributes and the possibility of the compost to leach into deeper layers in order to prevent the *carryover* effect and the contamination of underground water bodies, respectively. In this research, the persistence of triclopyr along the profile of a Red-Yellow Latosol was estimated, using cucumber plants as an indicator species. The same study was also carried out in samples from the A horizon of two Red-Yellow Latosols with different attributes and in a Red-Yellow Ultisol. In addition, the *carryover* effect of triclopyr on soybean and cotton crops was evaluated in the aforementioned soils. Ten collections of soil samples treated with triclopyr were carried out at intervals varying from 0 to 200 days after the application of the herbicide. The collected samples were then cultivated with cucumber, soybean and cotton

plants, to estimate the residual effect of the herbicide. In the Red-Yellow Latosol horizons, from 150 DAA, there was no reduction of MSPA and MSRA in cucumber plants in the HA, whereas in the HB and HC horizons, there was a reduction between 80 and 90%, in all evaluated collection times. In Oxisol 1, cotton seeding can be done safely approximately 20 days after the application of this herbicide. In latosol 2 and argisol, it is recommended to sow cotton approximately 30 days after application. Soybean sowing can be done safely approximately 30 and 100 days after herbicide application, in oxisols 1 and 2, respectively. As for the Argisol, a time greater than 100 days is needed for the soybean to be safely cultivated under the conditions studied.

Keywords: Environmental contamination. *Carryover*. Attributes of the soil. Bioindicator plants. Bioassay.

4.1 INTRODUÇÃO

O aumento na utilização de herbicidas altamente eficientes no controle de diferentes espécies de plantas infestantes reduziu as perdas de produtividade em diversas culturas, além de reduzir os custos de produção. Todavia, o uso constante desses produtos associado a falta de conhecimento ocasionou o surgimento de biótipos de plantas daninhas resistentes, aumento nos riscos de contaminação ambiental e possível intoxicação em espécies de interesse cultivadas em sucessão.

O comportamento de herbicidas no solo determina sua atividade residual, lixiviação e persistência (Gonçalves et al., 2018). Moléculas com alta capacidade de adsorção no solo têm menor probabilidade de lixiviar verticalmente, contudo, podem apresentar maior persistência (Patel, 2018). Portanto, esses fatores podem se tornar indesejáveis, podendo causar sérios problemas ambientais (Braga et al., 2016).

Na maioria das vezes, os produtores e até mesmos os técnicos se preocupam apenas com a eficiência do herbicida no controle de plantas daninhas, dando pouca importância ao comportamento dos compostos no ambiente (Oliveira Jr. et al., 2011). Todavia, ao longo do perfil, as características do solo como teor de matéria orgânica, textura, fertilidade e aeração são distintas. Esses fatores interferem na diversidade e na quantidade de microrganismos, importantes na degradação de produtos químicos. Desta forma, a persistência de um herbicida pode ser alterada quando lixiviado, aumentando a possibilidade de este atingir corpos d'água subterrâneos (Bhattarai et al., 2015).

Determinar a persistência de um herbicida é muito importante do ponto de vista agrônomo para que se possa reduzir problemas de *carryover*. Desta forma, evita-se a utilização de produtos de longo período residual em culturas anuais e de ciclo curto, quando se cultiva espécies sensíveis em sucessão (Cobucci et al., 1998; Rector et al., 2020).

Ambientalmente, estudos relacionados à persistência de um composto permitem avaliar o risco de contaminação ambiental, pois quanto mais tempo um herbicida permanece disponível no ambiente maior o risco desse produto lixiviar e atingir camadas inferiores do solo (Cerdeira et al., 2007; Qian et al., 2017).

É importante destacar que o uso incorreto de herbicidas sem a devida adoção do manejo integrado de plantas daninhas desencadeou sérios problemas relacionados ao controle de biótipos que adquiriram resistência à alguns grupos químicos. Nesse cenário, o triclopyr é tido como uma alternativa de controle. Pertencente ao grupo dos auxínicos ou mimetizadores de auxinas, o triclopyr (ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxicético) é um herbicida seletivo de ação sistêmica. É utilizado no controle de plantas daninhas herbáceas e lenhosas de folhas largas em pastagens, arroz irrigado, assim como para aplicação em pré semeadura em milho, soja e trigo (AGROFIT, 2021).

Nos últimos anos tem-se verificado o aumento do volume aplicado do triclopyr no Brasil. Tal fato decorre da mistura com outros herbicidas na dessecação de áreas no controle de espécies eudicotiledôneas tolerantes ou que já adquiriram resistência a outros herbicidas, visando a implantação de culturas de alto interesse econômico, como a soja e o algodão (Ferraz et al., 2020). No entanto, a literatura é carente de informações sobre a persistência deste herbicida em solos tropicais. Este fato associado ao seu crescente uso evidencia a necessidade de estudos sobre o seu comportamento em solos do Brasil. A partir disso, objetivou-se com este estudo estimar a persistência do triclopyr no perfil de solos com diferentes atributos e o efeito residual (*carryover*) em culturas, por meio de ensaios biológicos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Estudo 1 – Persistência do triclopyr ao longo do perfil de um Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliada por ensaio biológico.

Coleta das amostras de solo

O experimento foi realizado utilizando amostras de solo dos horizontes A (HA), B (HB) e C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo coletado no município de Viçosa-MG, sendo o mesmo sem histórico de utilização de herbicidas (Figura 1). A distinção foi realizada de forma visual e analisando as características de cada perfil. As amostras dos horizontes coletados foram secos à sombra e passadas em peneira com malha de 4 mm para retirar resíduos vegetais.

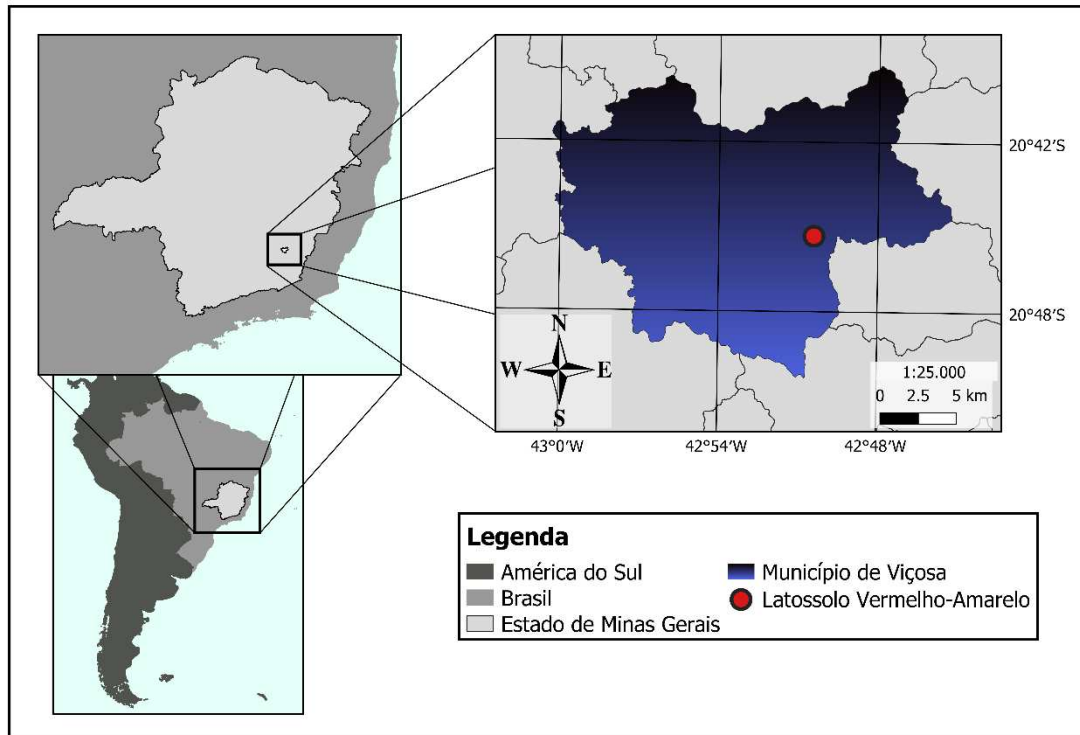


Figura 1. Localização do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado no Município de Viçosa-MG.

A pesquisa foi conduzida, em um primeiro momento a campo e, em seguida, em casa de vegetação do departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas no tempo, sendo o fator A composto pelas amostras de solo e o fator B pelas épocas de coleta, realizadas no tempo, após a aplicação do herbicida. Cada horizonte foi submetido a análise química e física do solo (Tabela 1).

Tabela 2. Análise química e física de amostras dos horizontes A (HA), B (HB), C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Solos	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	V	M	MO
	H ₂ O	cmol/dm ³			----- Cmol _c dm ³ -----			----- % -----			
HA	4,89	1,6	85	1,62	0,95	0,28	4,8	7,59	36,8	9,81	3,72
HB	4,84	1,9	5	0,58	0,18	0	1,7	2,47	31,12	0	0,13
HC	4,84	2,7	4	0,27	0,03	0,95	3,3	3,61	8,6	75,4	0
	A. grossa		A. fina		Silte		Argila		Classe textural		
HA	0,200		0,173		0,082		0,545		Argila		
HB	0,030		0,126		0,085		0,759		Muito Argilosa		
HC	0,017		0,109		0,772		0,102		Franco-Siltosa		

Análises realizadas no Laboratório de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizantes da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

Para estimar a persistência do triclopyr, foram utilizados vasos vedados de polietileno com capacidade de 0,5 L preenchidos com 3 dm³ de solo. Em seguida foi realizada a aplicação de 720 g de e.a. ha⁻¹, valor correspondente a 1,5 L ha⁻¹ da formulação comercial GARLON® 480 BR na superfície do solo, com auxílio de um pulverizador pressurizado a CO₂ equipado com duas pontas de pulverização TT 11002, espaçadas de 0,50 m, mantido à pressão de 25 lb pol⁻² e volume de calda de 170L ha⁻¹. Após essa etapa os vasos foram mantidos em ambiente aberto sujeitos as condições climáticas (Figura 2), onde foram realizadas 10 coletas, nos dias 0, 5, 10, 15, 25, 40, 60, 100, 150 e 200 dias após a aplicação do herbicida (DAA).

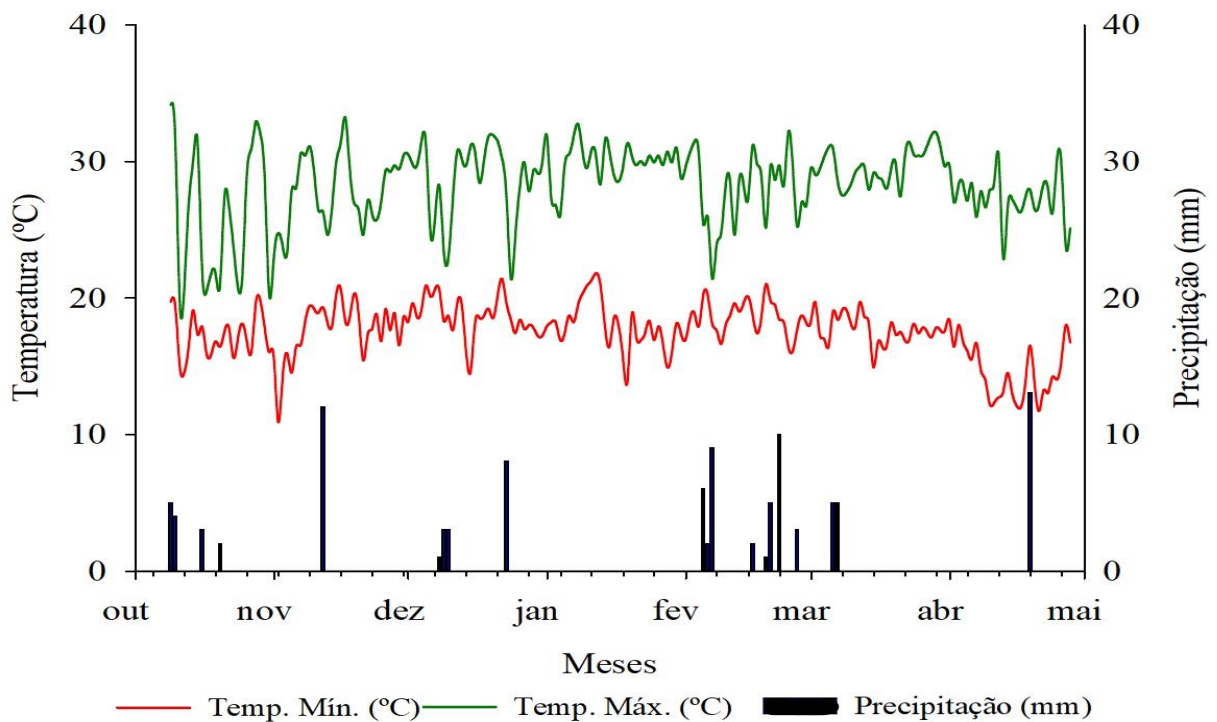


Figura 2. Distribuição de precipitações pluviais, temperaturas máximas e mínimas diárias registradas no local e período do experimento de persistência do triclopyr.

Em cada época de coleta no tempo, as amostras dos horizontes do solo eram transferidas para vasos vedados com capacidade de 0,3 dm³, sendo realocados para casa de vegetação com vistas a implementar os ensaios biológicos. Em seguida, foi realizada a semeadura do pepino nos potes utilizando-se cinco sementes introduzidas a 1,5 cm da superfície do substrato, assim como nas amostras de solo sem herbicida, constituindo o tratamento controle.

Para evitar que as plantas sofressem deficiência nutricional, foi aplicada uma solução nutritiva composta de macro e micronutrientes nos vasos contendo os horizontes B (HB) e C (HC) afim de permitir o bom desenvolvimento das mesmas (Hoagland & Arnon, 1950). Não

houve a necessidade de aplicar a solução no horizonte A (HA) devido à maior fertilidade encontrada no mesmo. Durante a condução dos ensaios foram realizadas irrigações diárias para manter o solo dos vasos próximos à capacidade de campo. A toxicidade da planta indicadora ao herbicida foi avaliada atribuindo-se notas entre zero (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta) aos 7 e aos 14 dias após a emergência (DAE).

Aos 14 DAE avaliou-se os efeitos sobre o acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas. Para isto, a parte aérea foi cortada rente ao solo e colocada em sacos de papel, e as raízes devidamente lavadas para eliminar o substrato, sendo também colocadas em sacos de papel. Para determinar a matéria seca das plantas o material foi levado a estufa de circulação forçada de ar com temperatura de $70 (\pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$, até a obtenção de peso constante. Posteriormente, utilizou-se uma balança de precisão para determinar a massa da matéria seca (MS) das plantas. Os valores de MS das plantas indicadoras foram transformados em porcentagem em relação à MS das plantas dos vasos testemunha (o valor de 100% foi adotado para a MS da testemunha).

Para a interpretação dos dados foram geradas curvas por análises de regressão do comportamento da persistência no tempo por meio do programa SigmaPlot 14.0[®]. Na escolha do modelo levou-se em consideração a explicação biológica do fenômeno, a significância dos parâmetros e o coeficiente de determinação (R^2).

Estudo 2 – Efeito residual (*carryover*) do triclopyr em plantas de soja e algodão cultivadas em dois Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA 1 e 2) e um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), avaliado por ensaio biológico.

Coleta das amostras de solo

Os três solos utilizados no experimento foram coletados no município de Viçosa-MG, sendo os mesmos sem histórico de aplicação de herbicidas, e classificados como dois Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA 1 e 2) e um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) (Figura 3). Foram coletadas amostras no horizonte A (HA) de cada solo. Após a coleta, as amostras foram secas à sombra e passadas em peneira com malha de 4 mm.

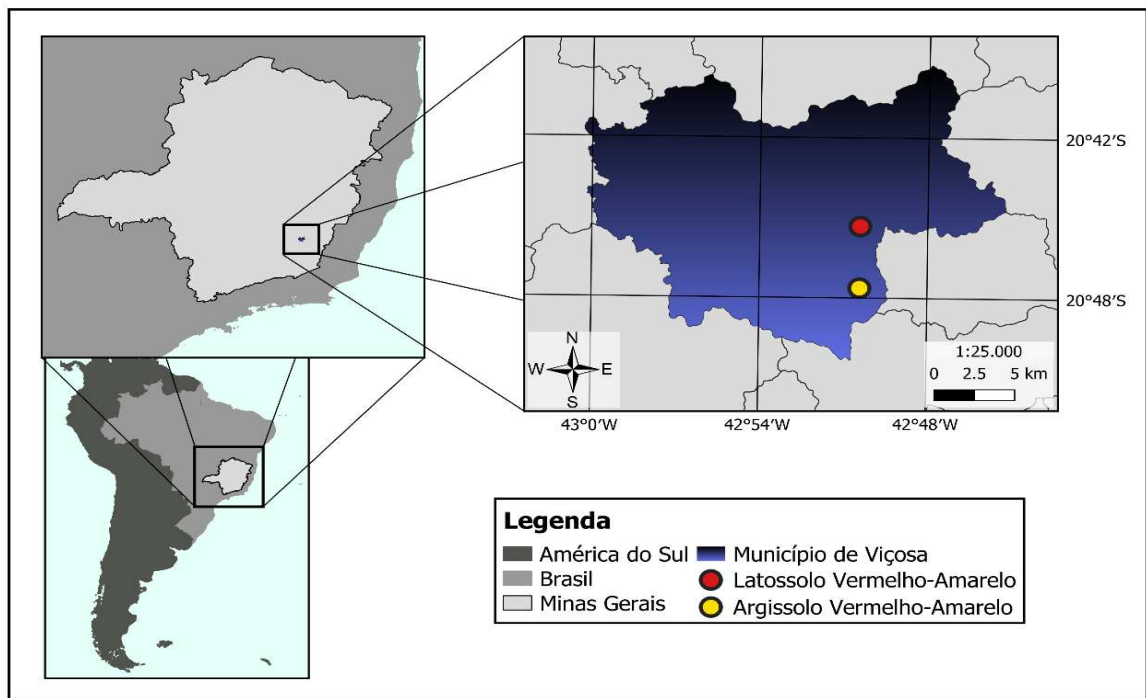


Figura 3. Localização dos Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA 1 e 2) e Argissolo Vermelho-Amarelo coletados no Município de Viçosa-MG.

A pesquisa foi conduzida, em um primeiro momento a campo e, em seguida, em casa de vegetação do departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas no tempo, sendo o fator A composto pelas amostras de solo e o fator B pelas épocas de coleta, realizadas no tempo, após a aplicação do herbicida. Para avaliar a persistência do herbicida triclopyr foram utilizados como substrato, amostras desses dois Latossolos Vermelho-Amarelo e do Argissolo Vermelho-Amarelo (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química e física de amostras do horizonte A (HA) de dois Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA 1 e 2) e um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Solos	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	T	V	M	MO
	H ₂ O	cmol/dm ³				----- Cmol _c dm ³ -----			----- % -----				
LVA 1	5,64	5,3	203	2,50	0,82	0,0 0	4,8	3,84	3,84	8,64	44,4	0,00	3,36
LVA 2	5,51	1,7	103	1,95	0,59	0,0 0	2,9	2,80	2,80	5,70	49,1	0,00	1,71
PVA	4,88	1,0	4	0,27	0,06	0,0 0	2,3	0,34	0,34	2,64	12,9	0,00	0,66
		A. grossa		A. fina		Silte		Argila		Classe textural			
LVA 1		0,206		0,153		0,104		0,537		Argila			
LVA 2		0,280		0,171		0,064		0,485		Argilo-arenosa			
PVA		0,109		0,148		0,032		0,710		Muito argilosa			

Análises realizadas no Laboratório de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizantes da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos vedados com capacidade de 0,5 L preenchidos com 3 dm³ de solo. Em seguida, o triclopyr foi aplicado na superfície dos vasos contendo as amostras de solo na dose de 720 g de e.a. ha⁻¹, valor correspondente a 1,5 L ha⁻¹ da formulação comercial GARLON[®] 480 BR. Para isto, utilizou-se um pulverizador pressurizado a CO₂, equipado com duas pontas de pulverização TT 11002, espaçadas de 0,50 m, mantidos à pressão de 25 lb pol⁻² e volume de calda de 170L ha⁻¹.

Os vasos permaneceram a campo, sujeitos às condições climáticas (Figura 4), onde foram coletadas amostras de solo em diferentes épocas: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80 e 100 DAA. Após a realização das coletas no tempo, as amostras dos solos foram transferidas para vasos vedados com capacidade de 0,3 dm³, sendo realocados em casa de vegetação para implementar os ensaios biológicos. Em cada época de coleta, foi realizada a semeadura da soja e algodão nos potes utilizando-se cinco sementes introduzidas a 1,5 cm da superfície do substrato, assim como nas amostras de solo sem herbicida, constituindo o tratamento controle. Durante a condução dos ensaios foram realizadas irrigações diárias com vistas a manter o solo dos vasos próximos à capacidade de campo. A toxicidade das plantas indicadoras ao herbicida foi avaliada atribuindo-se notas entre zero (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta) aos 7 e aos 14 dias após a emergência (DAE).

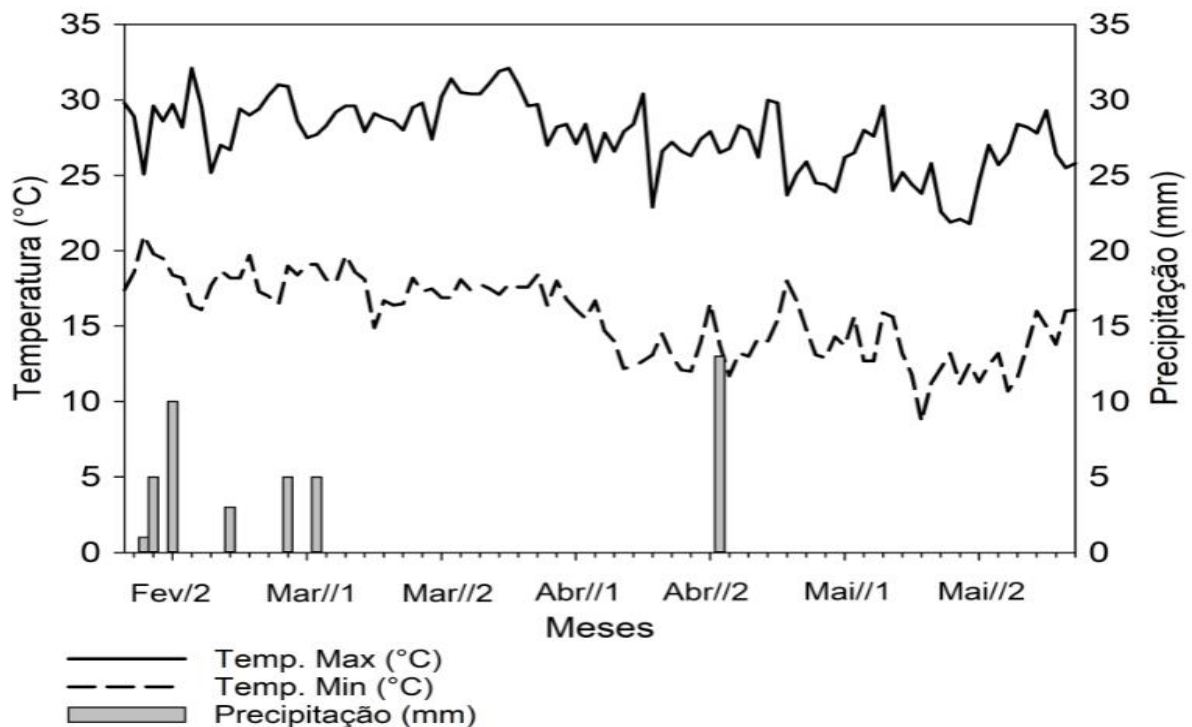


Figura 4. Distribuição de precipitações pluviárias, temperaturas máximas e mínimas diárias registradas no local e período em meses separados em quinzenas (1 e 2) do experimento de persistência do triclopyr.

Aos 14 DAE avaliou-se os efeitos sobre o acúmulo de matéria seca da parte aérea e da raiz das plantas. Para isto, a parte aérea foi cortada rente ao solo e colocada em sacos de papel, e as raízes devidamente lavadas para eliminar o substrato, sendo também colocadas em sacos de papel. O material foi levado a estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 70 (\pm 2 °C) até a obtenção de peso constante. Posteriormente, utilizou-se uma balança de precisão para determinar a matéria seca (MS) das plantas. Os valores de MS das plantas indicadoras foram transformados em porcentagem em relação à MS das plantas da testemunha (o valor de 100% foi adotado para a MS da testemunha).

Para a interpretação dos dados, foram geradas curvas por análises de regressão do comportamento da persistência no tempo por meio do programa SigmaPlot 14.0[®]. Na escolha do modelo levou-se em consideração a explicação biológica do fenômeno, a significância dos parâmetros e o coeficiente de determinação (R^2).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 5 está representado o efeito residual do triclopyr no acúmulo de matéria seca em plantas de pepino. Observa-se que a redução da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSRA) das mesmas foi distinta entre os perfis estudados. No horizonte A (HA), aos 0 DAA houve um decréscimo de aproximadamente 45% da MSPA e 30% da MSRA das plantas em relação à testemunha. Conseqüentemente, toda a planta foi afetada devido ao bloqueio do transporte de parte da corrente de fotoassimilados. À medida que as funções metabólicas são afetadas, o metabolismo geral e as funções celulares normais são interrompidas, ocasionando tumores ao longo do caule da planta e a obstrução do fluxo de nutrientes (Oliveira Jr. et al., 2011). A partir dos 150 DAA, as variáveis analisadas não sofreram interferência. Este fato possivelmente é justificado pela alta porcentagem de matéria orgânica presente nesse horizonte, potencializando a degradação da molécula por meio dos microrganismos presentes no solo.

Newton et al. (1990) afirmam que, em condições tropicais, como o Brasil, a microbiota presente nos solos é a principal responsável pela degradação do triclopyr devido às condições quentes e úmidas as quais ocorrem nas camadas superficiais. Esses microrganismos têm grande influência na dissipação de herbicidas no ambiente por utilizarem esses compostos como fonte de energia (Boivin et al., 2005; Huang et al., 2017). Além disso, as condições climáticas também influenciam na degradação do herbicida, visto que temperaturas mais altas podem favorecer o processo (Conklin & Lym, 2013). Por outro lado, solos ricos em matéria orgânica apresentam maior capacidade de retenção, reduzindo o potencial de lixiviação e a biodisponibilidade dos

herbicidas às plantas e aos microrganismos (Green e Karickhoff 1990).

Além da influência direta do teor de matéria orgânica na degradação ou retenção de herbicidas, o teor de argila também pode influenciar nestes processos, uma vez que há maior retenção dos compostos orgânicos aos colóides do solo, reduzindo sua disponibilidade ao ataque microbiano. Todavia, em solos muito intemperizados, como os latossolos, a capacidade sorviva das argilas é muito baixa. Desta forma, a biodegradação por meio de microrganismos é comumente reconhecida como a rota mais importante de degradação de herbicidas no solo, principalmente pela atividade de bactérias e fungos, responsáveis pela diversidade microbiana e biomassa (Imfeld e Vuilleumier, 2012 ; Fenner et al., 2013; Jacobsen e Hjelmsø, 2014). Em geral, como resultado do aumento da atividade biológica, as taxas de degradação de herbicidas aumentam com o crescimento do conteúdo de matéria orgânica do solo (Picton e Farenhorst, 2004). Portanto, o teor de matéria orgânica apresenta-se como um dos principais fatores a serem considerados quando objetiva-se estudar a adsorção e persistência de herbicidas em solos tropicais (Wauchope et al., 2002).

Nos horizontes B e C (HB, HC) não houve ajuste do modelo, visto que a MSPA e MSRA das plantas cultivadas nestes substratos contendo o herbicida apresentaram redução entre 80 e 90% em relação à testemunha, em todas as épocas de coleta avaliadas (Figura 5). Na análise química desses perfis (Tabela 1), é possível observar que o teor de matéria orgânica é praticamente inexpressivo (0,13 para o HB e 0 para o HC). A baixa quantidade do atributo nesses horizontes faz com que o triclopyr persista por longos períodos. A baixa quantidade do atributo nesses horizontes faz com que o triclopyr persista por longos períodos devido a menor atividade microbiológica em relação às camadas superficiais do solo, além de não haver retenção pela matéria orgânica e pelas argilas. Corroborando esses resultados, Huang et al. (2017) relataram que diversas espécies e consórcios microbianos tem capacidade para degradar herbicidas após exposição a um período de tempo, desempenhando papéis-chave na biodegradação, fato que não ocorre nos horizontes HB e HC. Desse modo, o herbicida fica disponível na solução do solo, sendo absorvido pelo sistema radicular das plantas, causando a intoxicação das mesmas.

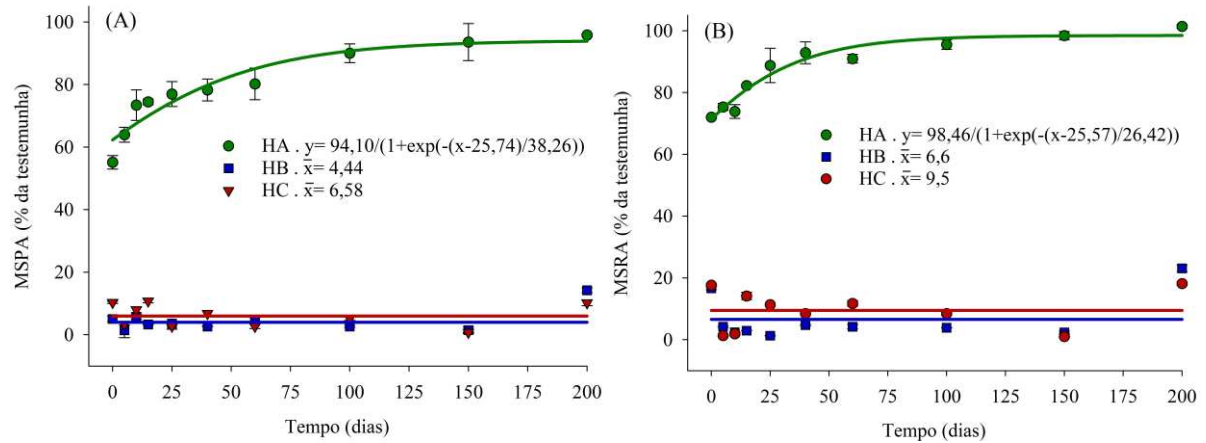


Figura 5. Efeito residual do herbicida triclopyr no acúmulo de matéria seca da parte aérea (MSPA) (A) e raiz (MSRA) (B) de plantas de pepino cultivadas nos horizontes A (HA), B (HB) e C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Plantas de pepino cultivadas em todos os perfis contendo o composto foram severamente afetadas, principalmente nos horizontes HB e HC (Figura 6). Foram identificados sintomas de distorções de crescimento, curvatura do caule e redução da matéria seca, levando as plantas à morte, sintomas característicos da ação de herbicidas auxínicos (Pazimoño et al. 2012).

Aos 200 DAA, não foram mais observados sintomas de intoxicação nas plantas cultivadas no horizonte A (HA) contendo o herbicida. Todavia, nos horizontes HB e HC ainda havia na solução dos solos concentrações suficientes de triclopyr capazes de causar injúrias nas plantas de maneira severa, afetando todo o seu desenvolvimento. Foi observada a redução do sistema radicular e parte aérea das plantas, além do crescimento epinástico e inchaço dos tecidos (Figura 6). Estes sintomas são causados pela estimulação do metabolismo de ácidos nucleicos e proteínas por meio da enzima RNA polimerase. Acredita-se que os herbicidas mimetizadores de auxinas possam causar a acidificação da parede celular por meio do estímulo da atividade da bomba de prótons da ATPase. A redução no pH apoplástico induz a alongação celular devido ao aumento na atividade de algumas enzimas responsáveis pelo afrouxamento celular. Em razão disso, aumenta-se a síntese de auxinas e giberelinas de maneira desordenada. Esse aumento no interior das células provoca a queda do seu potencial osmótico, facilitando a entrada de água no interior das mesmas. Conseqüentemente, haverá a inibição da divisão celular e crescimento da planta, geralmente nas regiões meristemáticas, ocasionando o acúmulo de fotoassimilados, podendo levá-la à morte (Oliveira Jr. et al., 2011).

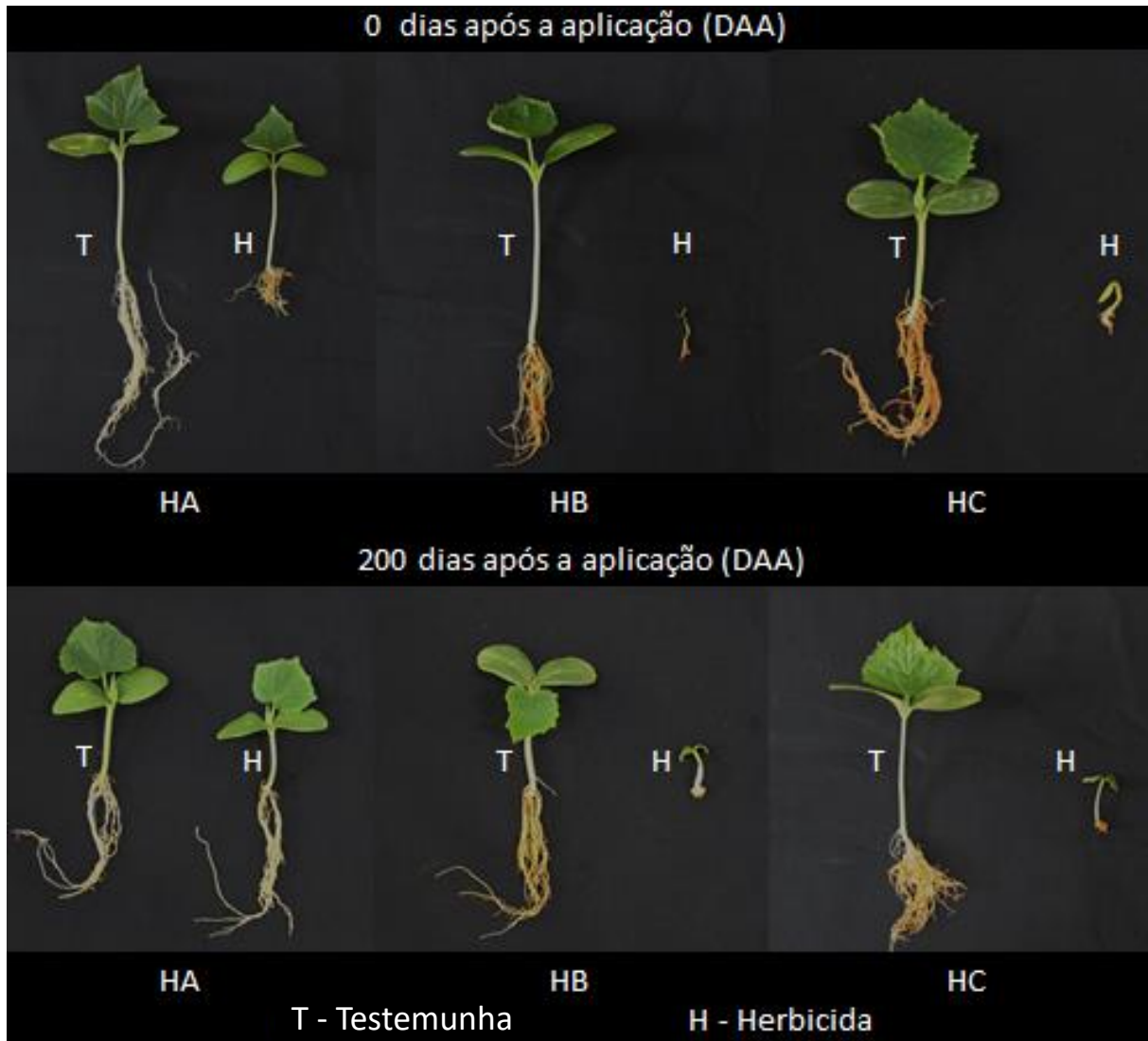


Figura 6. Sintomas de intoxicação de plantas de pepino cultivadas nos horizontes A (HA), B (HB) e C (HC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), aos 0 e 200 dias após a aplicação do triclopyr.

Observou-se redução no acúmulo de matéria seca das plantas de algodão e de soja sob efeito de resíduos do triclopyr (Figura 7). Em plantas de algodão cultivadas no Latossolo Vermelho-Amarelo 1 (LVA 1) contendo o herbicida, a redução da MSPA não foi mais observada a partir dos 20 dias após aplicação (DAA). No Latossolo Vermelho-Amarelo 2 (LVA 2), ainda havia redução desta variável em aproximadamente 5% na última época de coleta, aos 100 DAA. Quando se avaliou a MSPA das plantas cultivadas no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), observou-se que esta variável não era mais afetada a partir dos 30 DAA (Figura 7A). Este fato possivelmente pode ser justificado pelo maior teor de argila presente no argissolo. Segundo Baldotto et al., (2014), mesmo que nos latossolos o teor de argila influencie pouco a retenção dos herbicidas, solos com maiores teores de argila permitem que as trocas catiônicas exerçam influência nos processos de sorção, o que facilita a ligação da molécula herbicida com

o material coloidal por meio da alta superfície específica das argilas. Além disso, a argila influencia positivamente a capacidade sortiva dos herbicidas ácidos fracos devido a presença de óxidos de Ferro e Alumínio, tornando a molécula menos disponível na solução do solo e, conseqüentemente, menos suscetível à degradação microbiana (Clausen & Fabricius, 2001; Werner et al., 2013).

Quanto aos resultados da MSPA obtidos em plantas de soja verifica-se que naquelas cultivadas no Latossolo Vermelho-Amarelo 1 (LVA 1), aos 30 dias após a aplicação (DAA) não se observa mais redução desta variável. Em experimento utilizando um solo com características semelhantes ao LVA 1, Santos et al. (2006) relataram que resíduo de triclopyr foi observado somente nas amostras coletadas aos 10 DAA, não sendo observada intoxicação na planta indicadora nos tratamentos a partir de 40 DAA. Em plantas que foram cultivadas no Latossolo Vermelho-Amarelo 2 (LVA 2), mesmo aos 100 DAA nota-se a redução de 10% desta variável. O efeito residual foi maior nas plantas de soja cultivadas no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), visto que aos 100 DAA ainda havia redução de aproximadamente 35 % da MSPA das mesmas (Figura 7B). É importante destacar que o efeito do triclopyr no acúmulo de matéria destas culturas foi distinto, visto que as plantas de soja comportaram-se de maneira mais sensível em relação às plantas de algodão, nas condições estudadas.

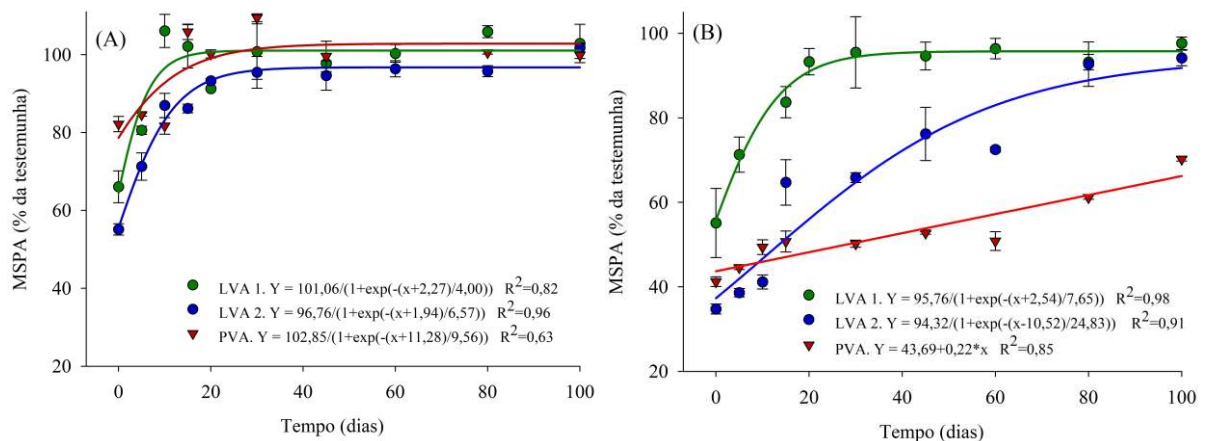


Figura 7. Efeito residual do herbicida triclopyr na matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de algodão (A) e soja (B) cultivadas nos Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA 1 e 2) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

A variação da persistência do triclopyr nos solos estudados e, conseqüentemente, o efeito residual nas plantas pode estar relacionado aos teores de argila, pH e, principalmente, matéria orgânica (MO) de cada solo, visto que o LVA 1 apresenta 3,36 de MO, o LVA 2, 1,71 e o PVA 0,66 (Tabela 3). Corroborando esse resultado, Direito et al. (2015) afirmaram que a matéria orgânica está diretamente ligada a quantidade de microrganismos presentes no solo, sendo

capaz de maximizar a atividade microbiana e potencializar a biodegradação de herbicidas mimetizadores de auxina. Portanto, a microbiota presente nos solos é a principal responsável pela degradação do triclopyr (Newton et al., 1990).

Analisando-se as amostras dos solos estudados (Tabela 2), observa-se que os horizontes A dos latossolos 1 e 2 apresentam maiores valores de pH em relação ao argissolo. Logo, este atributo também pode ter influenciado na degradação do triclopyr devido a maior disponibilidade deste na solução do solo, ficando suscetível ao ataque de microrganismos e, conseqüentemente, apresentando degradação mais rápida. Desta forma, valores mais elevados de pH podem diminuir a capacidade sortiva do herbicida, permitindo que moléculas derivadas de ácidos fracos permaneçam mais disponíveis na solução do solo, ficando mais suscetível aos processos de degradação e mobilidade (Palma et al., 2015).

Nos resultados referentes à MSRA das plantas de algodão e soja, não houve ajuste dos modelos, visto que, mesmo havendo redução do sistema radicular das plantas tratadas com o triclopyr houve semelhança desta variável em relação à testemunha.. Este fato pode ser explicado possivelmente pelo engrossamento das raízes afetadas pelo herbicida, fazendo com que o seu peso se assemelhasse ao tratamento controle.

Representando as épocas de coleta 0 e 100 DAA (Figura 8), observa-se o efeito residual (*carryover*) no sistema radicular e parte aérea das plantas de algodão e soja cultivadas nos solos contendo o triclopyr em relação à testemunha. Na coleta 1 aos 0 DAA, nota-se que houve redução principalmente do sistema radicular das plantas de algodão nos três solos em estudo. Aos 100 DAA observa-se que as plantas de algodão cultivadas nestes substratos contendo o herbicida não apresentaram sintomas de intoxicação. Quando se avaliou as injúrias nas plantas de soja aos 0 DAA, é possível visualizar que tanto o sistema radicular quanto a parte aérea das mesmas foram severamente afetados pela ação do triclopyr em todos os solos avaliados. Em contrapartida, na décima coleta (100 DAA) estes sintomas não eram mais visualizados nas plantas cultivadas nos Latossolos 1 e 2. Desta forma, a parte aérea também não foi afetada. Todavia, no Argissolo, mesmo aos 100 DAA o sistema radicular das plantas apresentava uma leve redução, o que pode ter reduzido o transporte de água e nutrientes para a planta, afetando todo o seu desenvolvimento (Figura 8).

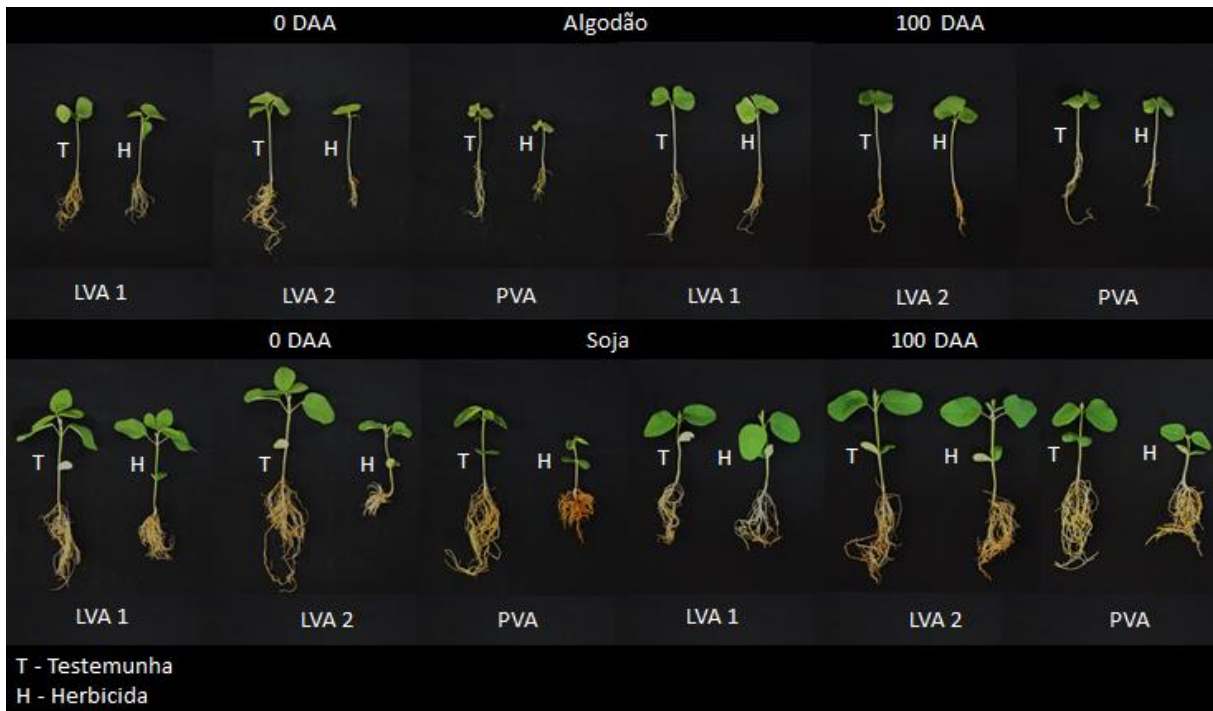


Figura 8. Sintomas de intoxicação de plantas de algodão e soja cultivadas em dois Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA 1 e LVA 2) e num Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), aos 0 e 100 dias após a aplicação do triclopyr.

4.4 CONCLUSÕES

A matéria orgânica foi o atributo mais importante na degradação ou retenção deste herbicida. O teor de argila e pH também podem ter influenciado a sua dinâmica, porém, de maneira menos significativa.

Nos horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo, a partir dos 150 DAA não foi observado redução da MSPA e MSRA em plantas de pepino no HA, já nos horizontes HB e HC, ocorreu redução entre 80 e 90%, em todas as épocas de coleta avaliadas.

No latossolo 1, a semeadura do algodão pode ser feita de maneira segura com aproximadamente 20 dias após a aplicação deste herbicida. No latossolo 2 e argissolo, recomenda-se semear o algodão com aproximadamente 30 dias após a aplicação.

A semeadura da soja pode ser feita de maneira segura com aproximadamente 30 e 100 dias após a aplicação do herbicida, nos latossolos 1 e 2, respectivamente. Quanto ao Argissolo, necessita-se de um tempo maior que 100 dias para que a soja seja cultivada com segurança, nas condições estudadas.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: < https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=9166&p_tipo_janela=NEW >. Acesso em 29 de novembro de 2021.
- BALDOTTO M. A., ESTRELA L., BALDOTTO B. Ácidos húmicos Humic acids. **Revista Ceres**. 61: 856–81, 2014.
- BHATTARAI A., BHATTARAI B., PANDEY S. Variation of soil microbial population in different soil horizons. **J Microbiol Exp**. 2(2): 75-78, 2015.
- BRAGA, R. R.; SANTOS, J. B.; ZANUNCIO, J. C.; BIBIANO, C. S.; FERREIRA, E. A.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, D. V.; SERRÃO, J. E.; Effect of growing *Brachiria brizantha* on phytoremediation of picloram under different pH environments. **Ecol Eng**, p.102- 106, 2016.
- BOIVIN A., AMELLAL S., SCHIAVON M., VAN GENUCHTEN MTh. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4- D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. **Environmental Pollution**. 138(1): 92-9, 2005.
- CERDEIRA A. L., DESOUZA M. D., QUEIROZ S. C. N., FERRACINI V. L., BOLONHEZI D., GOMES M. A. F, et al. Leaching and half-life of the herbicide tebuthiuron on a recharge area of Guarany aquifer in sugarcane fields in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health B**. 42 (6): 635- 39, 2007.
- CLAUSEN L e FABRICIUS I. Atrazine, Isoproturon, Mecoprop, 2,4-D, and Bentazone Adsorption onto Iron Oxides. **J. Environ. Qual**. 30: 858-869, 2001.
- COBUCCI T., PRATES H. T., FALCÃO C. L. M., REZENDE M. M. V. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. **Weed Science**. 46 (2): 258-63, 1998.
- CONKLIN K. L. e LYM R. G. Effect of temperature and moisture on aminocyclopyrachlor soil half-life. **Weed Technology**. 27(3): 552-556, 2013.
- DE OLIVEIRA, Maurílio Fernandes; BRIGHENTI, Alexandre Magno. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.
- DIREITO, I. C. N.; PECKLE, B. A.; HAGLER, L. C. S. M.; MACRAE, A. Influência da matéria orgânica na biodegradação do ácido 2,4- Diclorofenoxiacético (2,4-D). **Acta scientia & Technicae**, v. 3, n.1, p. 25-41, 2015.
- FENNER, Kathrin et al. Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. **science**, v. 341, n. 6147, p. 752-758, 2013.
- FERRAZ, J.W. et al. Aplicação de diferentes herbicidas para o controle de *Conyza spp.* resistentes ao glifosato. **Cultivando o Saber**, v. 13 - n° 2, p. 86 a 93, 2020.

GONÇALVES, F. A. R., MELO, C. A. D., DE QUEIROZ, P. C., ENDO, R. T., DA SILVA, D. V., & DOS REIS, M. R. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 61, 2018.

GREEN, R.E.; KARICKHOFF, S.W. Sorption estimates for modeling. In: CHENG, H.H. (Ed.). *Pesticides in the soil environment: processes, impacts, and modeling*. **Madison: Soil Science Society of America**. p. 79-101, 1990.

GWENAEL IMFELD, STÉPHANE VUILLEUMIER. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: **A critical review, European Journal of Soil Biology**, Volume 49, Pages 22-30. 2012.

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.L. The water culture methods for growing plants without soil. **Berkeley, California Agriculture Experiment Station**, 32p. (Bulletin, 347), 1950.

HUANG X., HE J., YAN X., CHEN K., ZHANG L., LIU X, et al. Microbial catabolism of chemical herbicides: Microbial resources, metabolic pathways and catabolic genes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. 143:272-97, 2017.

INOUE, M.H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.312-323, 2003.

JACOBSEN, Carsten Suhr; HJELMSØ, Mathis Hjort. Agricultural soils, pesticides and microbial diversity. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 27, p. 15-20, 2014.

LEI GUO, WILHAM A JURY, ROBERT J WAGENET, MARKUS FLURY. Dependence of pesticide degradation on sorption: nonequilibrium model and application to soil reactors, **Journal of Contaminant Hydrology**. 43 (1): 45-62, 2000.

NEWTON, M., F. ROBERTS, A. ALLEN, B. KELPSAS, D. WHITE, AND P. BOYD. Deposition and dissipation of three herbicides in foliage, litter, and soil of brushfields of southwest Oregon. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.38, p.574-583, 1990.

OLIVEIRA, J. R. R. S., CONSTANTIN, J., INOUE, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba – PR: **Omnipax** 348 p., 2011.

PALMA, G et al. Effect of pH on sorption kinetic process of acidic herbicides in a volcanic soil. **J. Soil Sci. Plant Nutr.**, Temuco, v. 15, n. 3, p. 549-560, sept. 2015.

PATEL, F. *Eficiência agrônômica e persistência de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja* (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná). 2018.

PAZIMOÑO D. M., ROMERO M. C., SANDALIO L. M. Insights into the toxicity mechanism of and cell response to the herbicide 2,4-D in plants. **Plant Signaling & Behavior**. 7(3): 1- 3, 2012.

PICTON, Paula; FARENHORST, Annemieke. Factors influencing 2, 4-D sorption and mineralization in soil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 39, n. 3, p.

367-379, 2004.

QIAN Y., MATSUMOTO H., LIU X., LI S., LIANG X., LIU Y., ZHU G., WANG M. Dissipation, occurrence and risk assessment of a phenylurea herbicide tebuthiuron in sugarcane and aquatic ecosystems in South China. **Environ Pollut.** 227: 389-396, 2017.

RECTOR L., PITTMAM K., BEAM S., BAMBER K., CAHOON C., FRAME W, et al. Herbicide *carryover* to various fall-planted cover crop species. **Weed Technology**; 34 (1): 25-34, 2020.

SANTOS, M. V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha** [online]. 2006, v. 24, n. 2 [Acessado 2 julho 2021], pp. 391-398, 2006.

SILVA, A. A. et al. **Biologia e controle de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, CD-Rom, 2005.

SILVA A. A., VIVIAN R., JR RUBEM S. O. Herbicidas: Comportamento no solo. In: SILVA A. A, SILVA J. F. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 190-248. 2007.

TU, R. HURD, C. ROBINSON, R E RANDALL, J.M. Triclopyr. Weed Control Methods Handbook, The Nature Conservancy, 2001.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Prevention, Pesticide and Toxic Substances (EPA-738-F-98-007), 1998.

WAUCHOPE, R. D. et al. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. *Pest Manag. Sci.*, v. 58, n. 5, p. 419-445, 2002.

WERNER D., GARRATT J. A e PIGOTT G. Sorption of 2,4-D and other phenoxy herbicides to soil, organic matter, and minerals. **J Soils Sediments**. 13: 129–139, 2013.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa comprovou a importância de se conhecer as interações do triclopyr com os atributos do solo para que os profissionais possam fazer recomendações seguras deste herbicida. Desta forma, foram realizados estudos referentes a sorção e a persistência do triclopyr por meio de ensaios biológicos. Este método foi sensível e eficiente em estimar a presença do composto nos solos avaliados. Constatou-se que a sorção do triclopyr variou entre os horizontes, sendo menor nas camadas subsuperficiais em virtude ao baixo teor de matéria orgânica e, em razão disso, ficando propenso à lixiviação. Isto implica em alto risco de contaminação ambiental quando utilizado em solos com baixos teores de matéria orgânica.

Quanto a persistência do triclopyr, esta foi menor nas amostras de solo com maior teor de matéria orgânica. Este fato pode ser justificado pela maior quantidade e diversidade de microrganismos presentes, atributo fundamental na degradação de herbicidas. Considerando que o triclopyr será aplicado em extensas áreas em solos com diferentes atributos, é muito importante que antes das aplicações é necessário ter conhecimento da sorção e da persistência deste herbicida nos solos a serem cultivados. Em razão disso, os resultados dessa pesquisa trazem contribuição ao avanço da ciência das Plantas Daninhas. Todavia, não deve ser omitida a continuidade dessa pesquisa devido ao uso do triclopyr em solos tropicais, carentes de informação do comportamento no ambiente desse herbicida.