

DILMA FRANCISCA DE PAULA

EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NA PRÉ-EMERGÊNCIA EM TRÊS SOLOS E CONTROLE DA *Galinsoga parviflora* COM OXYFLUORFEN, FLUMIOXAZIN E LINURON

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: Kassio Ferreira Mendes

Coorientador: Marcelo Rodrigues dos Reis

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

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

T

P324e
2022
Paula, Dilma Francisca de, 1994-
Efeito residual de herbicidas aplicados na pré-emergência em três solos e controle da *Galinsoga parviflora* com oxyfluorfen, flumioxazin e linuron / Dilma Francisca de Paula. – Viçosa, MG, 2022.

1 dissertação eletrônica (71 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Kassio Ferreira Mendes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.744>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Herbicidas. 2. Ervas daninhas - Controle. 3. Solos - Teor de herbicidas. 4. Argila. I. Mendes, Kassio Ferreira, 1990-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 632.954

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552


DILMA FRANCISCA DE PAULA

EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NA PRÉ-EMERGÊNCIA EM TRÊS SOLOS E CONTROLE DA *Galinsoga parviflora* COM OXYFLUORFEN, FLUMIOXAZIN E LINURON

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: 15 de setembro de 2022.

Assentimento:


Dilma Francisca de Paula
Autora


Kassio Ferreira Mendes
Orientador

Aos meus pais e irmãs.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar a conquista de mais uma etapa.

Aos meus pais por estarem sempre comigo. Às minhas irmãs Deyse e Darlene, por me mostrar a importância dos estudos e pela força e incentivo na minha caminhada acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao meu orientador Kassio Ferreira Mendes, por ser presente, pela confiança, experiência e ensinamentos transmitidos. Também por todo apoio e paciência.

À Lídia e ao Carlos Eduardo, pela disponibilidade, atenção e receptividade aos pós-graduandos.

Em especial aos meus amigos: Elisa, Alessandro, Laryssa, Guilherme, Tiago, Anderson, Maria Carolina, Maura, Paulo, Vicente, Lucas, Adalin, Vanessa e Bruna. Todos pertencentes ao grupo de pesquisa Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), pela convivência agradável, parceria e mostrar a importância do trabalho em equipe.

À minha melhor amiga Jhersyka, por ser minha família em Viçosa, pelo carinho, e estar sempre presente na minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“A menor distância entre dois pontos é a ciência”.
(Adan Fernandes da Silva)

RESUMO

PAULA, Dilma Francisca de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2022. **Efeito residual de herbicidas aplicados na pré-emergência em três solos e controle da *Galinsoga parviflora* com oxyfluorfen, flumioxazin e linuron.** Orientador: Kassio Ferreira Mendes. Coorientador: Marcelo Rodrigues dos Reis.

A utilização de herbicidas posicionados em pré-emergência das plantas daninhas é importante, contudo, existem poucos estudos relacionados ao efeito residual do oxyfluorfen e linuron, herbicidas utilizados na cultura do alho. Além disso, faltam informações referentes ao controle da *Galinsoga parviflora*. O objetivo com este estudo foi avaliar o efeito residual do oxyfluorfen e linuron em três solos com diferentes atributos físico-químicos e a eficiência de controle sobre diferentes doses dos herbicidas linuron, oxyfluorfen e flumioxazin na *Galinsoga parviflora*. A eficiência dos herbicidas foi avaliada sobre as doses: linuron (0, 30, 40, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 e 2430 g i.a. ha⁻¹), flumioxazin (0, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 40, 60 e 120 g i.a. ha⁻¹) e oxyfluorfen (0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384 e 768 g i.a. ha⁻¹) afim de determinar a dose dos herbicidas que causam 80% de injúria (C₈₀) aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE). Além disso, foi determinada a dose que causa 80% de redução do acúmulo da biomassa seca (GR₈₀). O efeito residual do linuron e oxyfluorfen, foi avaliado em Latossolos, Argissolos e Cambissolos. Vasos de 0,35 dm³ foram preenchidos e em seguida, os herbicidas foram aplicados nas doses: linuron 810 g i.a. ha⁻¹ e oxyfluorfen 180 g i.a. ha⁻¹ em diferentes épocas: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 dias e as espécies bioindicadoras foram semeadas. As avaliações por meio da nota de nível de injúria dos herbicidas aos 7, 14 e 21 DAE foram realizadas, e determinado o tempo de meia-vida do residual do herbicida (RL₅₀). Após a última avaliação, foi avaliada também a dose do herbicida que proporciona redução de 50% da produção de matéria seca da parte aérea (GR₅₀). Os três herbicidas foram eficientes no controle de *G. parviflora*, com C₈₀ a 21 DAE em Argissolo de 81,82, 4,59 e 141,26 g i.a. ha⁻¹, e GR₈₀ de 61, 8,3 e 151,3 g i.a. ha⁻¹ de oxyfluorfen, flumioxazin e linuron, respectivamente. No Latossolo (menor teor de argila e matéria orgânica), as doses foram menores, com C₈₀ aos 21 DAE de 20,85, 3,50 e 118 g i.a. ha⁻¹, e GR₈₀ de 54, 4,03 e 101,23 g i.a. ha⁻¹, respectivamente. No estudo de efeito residual com aplicação de oxyfluorfen, a RL₅₀ aos 21 DAE foi de 59, 57 e 51 dias e a GR₅₀ foi de 49, 47 e 31 dias para Argissolo,

Latossolo e Cambissolo. A RL_{50} com o linuron foi de 75, 92 e 149 dias e GR_{50} de 52, 48 e 120 dias. O maior teor de matéria orgânica e argila do Argissolo em comparação com o Latossolo e Cambissolo, resultou em menor efeito residual do linuron. No oxyfluorfen houve pouca diferença entre o tipo de solo e o efeito residual na espécie, o que pode estar relacionado às características físico-químicas da molécula. O controle da *G. parviflora* pode ser alcançado com doses menores que a recomendada na bula, o que contribui para o controle sustentável de plantas daninhas.

Palavras-chave: Teor de argila. Matéria-orgânica. Dose-resposta. Plantas daninhas.

ABSTRACT

PAULA, Dilma Francisca de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2022. **Residual effect of pre-emergence applied herbicides in three soils and control of *Galinsoga parviflora* with oxyfluorfen, flumioxazin and linuron.** Adviser: Kassio Ferreira Mendes. Co-adviser: Marcelo Rodrigues dos Reis.

The use of herbicides positioned in pre-emergence of weeds is important, however, there are few studies related to the residual effect of oxyfluorfen and linuron, herbicides used in garlic crop. In addition, information regarding the control of *Galinsoga parviflora* is lacking. The objective of this study was to evaluate the residual effect of oxyfluorfen and linuron in three soils with different physical-chemical attributes and the control efficiency over different doses of the herbicides linuron, oxyfluorfen and flumioxazin in *Galinsoga parviflora*. Herbicide efficiency was evaluated on the doses: linuron (0, 30, 40, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 and 2430 g a.i. ha⁻¹), flumioxazin (0, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 40, 60 and 120 g a.i. ha⁻¹) and oxyfluorfen (0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384 and 768 g a.i. ha⁻¹) in order to determine the dose of herbicides causing 80% injury (C₈₀) at 7, 14 and 21 days after emergence (DAE). In addition, the dose that causes 80% reduction of dry biomass accumulation (GR₈₀) was determined. The residual effect of linuron and oxyfluorfen was evaluated in Oxisol, Ultisol and Inceptisol. Vases of 0.35 dm³ were filled and then herbicides were applied at doses: linuron 810 g a.i. ha⁻¹ and oxyfluorfen 180 g a.i. ha⁻¹ at different times: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 and 200 days and the bioindicator species were sowed. The evaluations by means of the injury level score of the herbicides at 7, 14 and 21 DAE were performed, and the half-life of the herbicide residual (RL₅₀) was determined. After the last evaluation, the herbicide dose was also evaluated, which provides a 50% reduction in shoot dry matter production (GR₅₀). The three herbicides were efficient in the control of *G. parviflora*, with C₈₀ to 21 DAE in Ultisol of 81.82, 4.59 and 141.26 g a.i. ha⁻¹, and GR₈₀ of 61, 8.3 and 151.3 g a.i. ha⁻¹ of oxyfluorfen, flumioxazin and linuron, respectively. Oxisol (lower clay and organic matter content), doses were lower, with C₈₀ at 21 DAE of 20.85, 3.50 and 118 g a.i. ha⁻¹, and GR₈₀ of 54, 4.03 and 101.23 g a.i. ha⁻¹, respectively. In the study of residual effect with application of oxyfluorfen, RL₅₀ at 21 DAE was 59, 57 and 51 days and GR₅₀ was 49, 47 and 31 days for Ultisol, Oxisol and Inceptisol. RL₅₀ with linuron was 75, 92 and 149 days and GR₅₀ was 52, 48 and 120 days. The higher

organic matter and clay content of the Ultisol compared to the Oxisol and Inceptisol resulted in lower residual effect of the linuron. In oxyfluorfen, there was little difference between the soil type and the residual effect in the species, which may be related to the physical-chemical characteristics of the molecule. The control of *G. parviflora* can be achieved with lower doses than that recommended in the package leaflet, which contributes to the sustainable control of weeds.

Keywords: Clay content. Organic matter. Dose-response. Weed.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Cultura do alho e interferência de plantas daninhas	14
2.2. <i>Galinsoga parviflora</i>	15
2.3. Uso de herbicidas na cultura do alho	18
2.4. Características gerais dos herbicidas e eficiência de controle	19
2.4.1. Linuron	19
2.4.2. Flumioxazin	21
2.4.3. Oxyfluorfen	23
2.5. Persistência e efeito residual do linuron e oxyfluorfen	25
2.6. Fatores que afetam a persistência e o efeito residual dos herbicidas	27
3. OBJETIVO	29
3.1. Objetivo geral	29
3.2. Objetivos específicos	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1. Coleta e análise das amostras de solo	29
4.2. Local de estudo	32
4.3. Estudo do efeito residual do linuron e oxyfluorfen por ensaio biológico	32
4.3.1. Preparo de amostras e aplicação de herbicidas	32
4.3.2. Avaliação do efeito residual	33
4.4. Controle do botão de ouro (<i>Galinsoga parviflora</i>) com oxyfluorfen, linuron e flumioxazin	34
4.5. Análise estatística dos experimentos de efeito residual e controle dos herbicidas	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. Efeito residual do oxyfluorfen e linuron em três solos com diferentes atributos físico-químicos	37
5.1.1. Oxyfluorfen	37
5.1.2. Linuron	43
5.2. Controle de <i>Galinsoga parviflora</i> com aplicação de oxyfluorfen, linuron e flumioxazin	49
5.2.1. Oxyfluorfen	49

5.2.2. Linuron	53
5.2.3. Flumioxazin.....	57
6. CONCLUSÕES	61
7. REFERÊNCIAS.....	62

1. INTRODUÇÃO

O alho (*Allium sativum* L.) é uma cultura com importância significativa no mercado nacional, com produção, em 2020, de cerca de 155.700 toneladas (IBGE, 2020). A produção brasileira do alho é insuficiente para atender a demanda no país, visto que o consumo nacional de alho é em média 30 milhões de caixas por ano (ANAPA, 2019).

A cultura do alho tem um alto custo de produção, como resultado do controle de doenças e pragas e principalmente no controle de plantas daninhas. A competição com as plantas daninhas interfere na produtividade e qualidade da produção de hortaliças (SOUSA, 2019). O alho, em específico, possui características que tornam a cultura vulnerável a interferência de plantas daninhas por longo período do ciclo da cultura, como baixo desenvolvimento foliar, folhas eretas e curtas, além de apresentar desenvolvimento inicial lento. O que resultam em demora do fechamento do dossel. Por isso, é essencial manter a cultura do alho livre de plantas daninhas durante o período crítico de crescimento da planta (MIELKE et al., 2021)

De acordo com estudos, as perdas causadas no rendimento da produtividade da cultura do alho pela interferência com plantas daninhas variam entre 30 e 79% (RAHMAN et al., 2012). Outro estudo demonstrou uma redução no diâmetro e produtividade dos bulbos do alho, quando essa cultura se encontra em competição com plantas daninhas (SOUSA, 2019). Assim, o manejo eficiente de plantas daninhas permite a cultura do alho atingir a sua máxima eficiência agrônômica, refletindo em maiores produtividades.

Uma importante espécie de planta daninha na cultura do alho é a *Galinsoga parviflora*. Ao estudar a relação dessa espécie com a cultura do alho, Coutinho (2021) observou que a planta daninha é considerada uma boa competitiva com o alho por potássio. Esse nutriente é essencial para que ocorra aumento na produção de bulbos, sendo que sua escassez pode reduzir a produtividade (BULL, 2001). Além disso, segundo Marcuzzo et al. (2021), essa espécie é hospedeira da bactéria *Pseudomonas marginalis* pv. *Marginalis*, causadora da queima bacteriana no alho, e a doença progride para o pseudocaule e bulbo do alho, podendo proporcionar o seu apodrecimento. Portanto, a importância do manejo dessa planta daninha.

Quanto ao manejo das espécies de plantas daninhas, existem poucos herbicidas registrados para a cultura do alho no Brasil, são eles: linuron, oxadiazon, pendimethalin, trifluralin, clethodim e flumioxazin (MAPA, 2021). Além disso, a cultura do alho é sensível ao controle químico, podendo ocorrer problemas de injúrias. A

sensibilidade da cultura foi relatada por Costa (2019), no qual utilizou a dose recomendada do oxadiazon em pós-emergência (PÓS) e ocorreu porcentagem de injúrias de 33,75%. Mesmo os herbicidas registrados para a cultura do alho devem ser usados de forma criteriosa, pois as doses acima da recomendada podem causar injúria nas plantas, e em alguns casos, até na dose recomendada.

Os herbicidas não registrados para a cultura do alho, como o oxyfluorfen, são avaliados como alternativas no controle em pré-emergência (PRÉ). Esse produto quando aplicado em pós-emergência da cultura do alho causou injúria de 41,25% e redução de 27,74% da produtividade em 28 dias após a aplicação do herbicida, mas quando aplicado em PRÉ não prejudicou a cultura (COSTA, 2019). Esses resultados demonstraram que esse herbicida pode ser usado como forma de manejar plantas daninhas na cultura do alho, sendo posicionado em PRÉ da cultura. Contudo, pouco se conhece sobre a dinâmica dos herbicidas linuron, flumioxazin e oxyfluorfen em solos brasileiros os quais tem diferentes características físico-químicas. Além disso, é importante que sejam considerados todos os aspectos descritos na escolha de doses a serem recomendadas no controle das plantas daninhas, de forma que seja eficiente no controle e capaz de evitar problemas ambientais no uso incorreto desses herbicidas.

Por isso, o conhecimento sobre o efeito residual dos herbicidas aplicados em PRÉ, nos diferentes solos é essencial para definir os intervalos seguros para utilização de culturas sensíveis em sucessão, evitar problemas ambientais, como lixiviação, escoamento superficial do produto, além de realizar um controle eficaz das plantas daninhas, usando doses adequadas para cada solo em específico. Portanto, são necessários estudos que avaliam o melhor momento de aplicação, os herbicidas mais eficazes, e a escolha das doses dos herbicidas em solos com diferentes atributos físico-químicos.

Com isso, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito residual do oxyfluorfen e linuron em três solos com diferentes atributos físico químicos e o controle da espécie *G. parviflora* em dois solos que se cultivam alho sob diferentes doses do oxyfluorfen, linuron e flumioxazin.

Os resultados obtidos nessa pesquisa poderão auxiliar produtores e pesquisadores a avaliar a importância das características dos solos para posicionamento correto de doses de herbicidas. O estudo da dinâmica solo, clima e características da

molécula herbicida resultam em redução do custo de produção, maior eficácia de controle e redução dos problemas ambientais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura do alho e interferência de plantas daninhas

A área brasileira destinada ao cultivo de alho (*Allium sativum* L.) está em torno de 11 mil hectares e representou uma colheita de 118,8 mil toneladas (ANAPA, 2019). Minas Gerais é o maior estado produtor de alho, com aproximadamente 3 mil hectares plantados, representando cerca de 37% da produção nacional, em seguida tem-se o seguido do Estado de Goiás com 26% da produção, com 2,4 mil hectares, e Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com média de 1,8 mil hectares e, 14 e 13% da produção nacional, respectivamente (IBGE, 2020).

O ciclo de cultivo do alho é de quatro a seis meses, dependendo da região. A cultura, para um bom desenvolvimento, necessita de temperaturas amenas (18 a 25°C), alta dependência por macronutrientes (N e K) e micronutrientes (Fe, B e Zn) e manejo correto de irrigação, uma vez que a cultura é muito sensível a falta de água (RESENDE e HABER, 2020).

Um dos fatores que comprometem a produtividade do alho é a interferência de plantas daninhas. A cultura é altamente vulnerável a infestação de plantas daninhas, devido ao sistema radicular raso, baixo potencial de emitir folhas e desenvolvimento lento, que resultam em demora no fechamento do dossel da cultura. Isso faz com que seja afetada negativamente pela competição com as plantas daninhas (LUCINI, 2009).

Além disso, as práticas culturais adotadas nas hortaliças, como revolvimento do solo para formação dos canteiros, irrigações constantes e altas doses de fertilizantes, potencializam o desenvolvimento de plantas daninhas. Desta forma, a necessidade de planejamento do manejo das infestantes, para que a cultura se mantenha livre de competição com as plantas daninhas, durante o período crítico de prevenção a interferência (PCPI) pelas plantas na cultura do alho (MIELKE et al., 2021).

O PCPI é a fase do cultivo da cultura, na qual a competitividade com as plantas daninhas causa perdas significativas na produtividade. Geralmente, essa fase coincide com a maior necessidade de recursos (água, luz e nutrientes) no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do alho para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (LUCINI, 2009). O PCPI do alho com as plantas daninhas ocorre em média, entre os 20 dias após o plantio e o início da maturação dos bulbos (RESENDE e HABER, 2020).

Conhecer as plantas daninhas na área de cultivo é essencial para definir as melhores estratégias de manejo de acordo com o PCPI. A análise das espécies que causam prejuízos a cultura do alho é realizada por meio de levantamentos fitossociológicos. Em Minas Gerais, Mascarenhas et al. (1980) observaram que as espécies trevo azedo (*Oxalis latifolia*), serralha (*Sonchus oleraceus*) e botão-de-ouro (*Galinsoga parviflora*) apresentaram maiores índices de valor de importância (IVI) exigindo atenção no manejo, quando em competição com a cultura do alho. Em Santa Catarina, espécies como a nabiça (*Raphanus raphanistrum*), capim-colchão (*Digitaria sanguinalis*) e picão-preto (*Bidens pilosa*) são plantas que apresentam alta competitividade com a cultura do alho (LUCINI, 2009). No Estado do Paraná, Contiero et al. (2003) verificaram que as espécies capim-marmelada (*Urochloa plantaginea*), capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) e capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), afetam constantemente a produção da cultura do alho.

O conhecimento da composição da comunidade infestante é essencial na determinação do grau de interferência. As espécies de plantas daninhas que apresentam similaridade na morfologia e fisiologia com a cultura, geralmente apresentam necessidades e exigências similares em relação aos recursos disponíveis, assim a competição será maior, afetando a produtividade do alho. A avaliação das plantas daninhas que causam maior interferência na cultura do alho é fundamental para escolha do manejo, aumentando a eficiência e reduzindo os custos (MIELKE et al., 2021).

Um dos métodos mais empregados no controle de plantas daninhas na cultura do alho é o controle químico, por meio do uso de herbicidas, o conhecimento da comunidade infestante é essencial para posicionar e definir os herbicidas a serem utilizados, na dose e estágios mais adequados de desenvolvimento das plantas daninhas.

2.2. *Galinsoga parviflora*

A *G. parviflora*, conhecida popularmente por picão branco, fazendeiro e botão de ouro, é uma planta daninha anual da família Asteraceae, normalmente cresce ≤60 cm de altura. Ela é encontrada em áreas agrícolas, terrenos baldios, beiras de estradas em regiões temperadas e subtropicais do mundo (MALLIK, 2020). Contudo, os maiores problemas dessa espécie ocorrem em áreas olerícolas (TEIXEIRA et al., 2018).

Culturas competitivas não são afetadas pela competição com *G. parviflora*, contudo, culturas menos competitivas (de baixa estatura) (por exemplo, feijão, alho e morango) têm sido relatadas como mais sensíveis à competição, com perdas de

produtividade $\leq 60\%$ (DITOMMASO et al., 2022). As perdas não estão relacionadas apenas à absorção de nutriente pela planta daninha, mas também à área foliar alta de *G. parviflora*, que pode sombrear as plantas cultivadas, além de ser hospedeira de pragas e doenças e dificultar as operações de colheita (MARCUIZZO, 2021).

Essa planta daninha se reproduz por sementes durante a estação quente do ano. As sementes são muito pequenas, ovais e cobertas com pelos. O principal período de emergência das plântulas é de março a outubro (MALLIK, 2020). A espécie apresenta ciclo reprodutivo muito curto, menor que 50 dias, produzindo em média 65 milhões de sementes não-dormentes por ha (LORENZI e SOUZA, 2014).

O florescimento ocorre após 41-60 dias e as sementes são produzidas 52-74 dias após a emergência. As sementes necessitam de umidade para germinarem (MALLIK, 2020). Os aquênios podem permanecer viáveis no solo por mais de 2 anos, por isso, a *G. parviflora* apresenta alto potencial para formação de banco de sementes no solo (ESPINOSA et al., 2003).

As sementes, devido ao seu tamanho, peso e presença de pelos, podem ser dispersas a longas distâncias, podendo ser transportadas facilmente com o vento, água e solos contaminados. A ocorrência de apêndices também facilita o transporte das sementes em pelos de animais e roupas humanas (ESPINOSA et al., 2003).

A biologia da espécie de planta daninha é muito importante da definição das estratégias de controle (OLIVEIRA, 2011). A espécie *G. parviflora* é desfavorecida na ausência de luz e aumento da profundidade de semeadura, pois apresentam sementes muito pequenas, essas características podem ser aproveitadas como estratégias de manejo.

A luz é um fator importante na germinação da *G. parviflora*. Estudo desenvolvido por Baskin (1981), reportou que a porcentagem de germinação das sementes foi de 93% na presença de luz e apenas 3% em condições escuras, e que a capacidade de germinação diminuiu com o aumento da profundidade de semeadura. A germinação diminuiu de 98% na superfície do solo para 56% a partir de uma profundidade de 0,25 cm, e nenhuma germinação ocorreu a partir de uma profundidade de 1,0 cm (BASKIN, 1981). A temperatura ótima para germinação da *G. parviflora* ocorre entre 25-30°C (BASKIN, 1981). Contudo Mallik (2020), analisou que a espécie apresentou boa germinação em diferentes temperaturas 15°C, 20°C e 25°C, sendo essa espécie comum em culturas de inverno e verão.

A *G. parviflora* é bastante sensível na competição (particularmente em condições secas) e, portanto, raramente é encontrada em pastagens estabelecidas ou outras culturas em plantio adensado, fato que pode ser uma característica importante no que diz respeito à competição com as culturas por luz. Estudos realizados por Carvalho (2008) mostraram que ao aumentar a densidade populacional da beterraba de 40 para 50 m² reduziu a população de *G. parviflora*.

A espécie necessita certos níveis de umidade no solo para que ocorra a germinação. Segundo experimentos de Rai e Tripathi (1983), as plantas crescem mais altas e florescem mais cedo em níveis maiores de umidade do solo (irrigados diariamente) do que com irrigações mantidas em intervalos de 10 em 10 dias. A diferença de desenvolvimento pode chegar a 10 dias.

Com relação a exigência nutricional, a *G. parviflora* prefere solos com altos níveis de N, P e K para um bom crescimento. Ao avaliar a exigência nutricional dessa espécie, Ditommaso et al. (2022) observaram que altas doses de P aumentam a produtividade de *G. parviflora* e podem aumentar sua competitividade com a cultura. Além disso, foi observado que o crescimento da espécie é reduzido em baixos níveis de nutrientes no solo, resultando em inibição da floração na ausência de N.

A utilização de coberturas plásticas em hortaliças foi importante na redução da *G. parviflora*, pois além de aumentar a temperatura, impede que a incidência luminosa atinja o solo, importante para o desenvolvimento da espécie (RIEMENS et al., 2007). Em outro estudo, Witter e Werkhausen et al. (2019) analisaram que a adição do capim-elefante na superfície do solo atua como supressor da *G. parviflora*. Além disso, o plantio de espécies como adubos verdes ou pastagens por alguns anos consecutivos pode reduzir significativamente a emergência e o banco de sementes da espécie pela diminuição da incidência luminosa na área.

Outras estratégias de controle é o uso de herbicidas. Os herbicidas utilizados na PRÉ da planta daninha são muito importantes, pois garantem o controle ainda em estágios iniciais de desenvolvimento, impedindo o florescimento e enriquecimento do banco de sementes no solo (KNEZEVIC et al., 2019). Alguns dos herbicidas usados no controle *G. parviflora* são: oxyfluorfen, linuron e flumioxazin (FERREIRA et al., 2000; TIBURCIO et al., 2012). Contudo, para aumentar a eficiência de controle é necessário o conhecimento dos atributos físico-químicos do solo e a interação com a molécula herbicida.

2.3. Uso de herbicidas na cultura do alho

No manejo de plantas daninhas na cultura do alho, utiliza-se principalmente o controle mecânico (capinas manuais) e químico (REZENDE e HABER, 2020). Contudo, os gastos com mão-de-obra, principalmente na eliminação das plantas daninhas é um fator importante no aumento do custo de produção dessa cultura (REZENDE e HABER, 2020). O controle químico apresenta limitações de poucas moléculas herbicidas registrados para o alho e problemas relacionados a sensibilidade da cultura aos produtos, podendo ocorrer injúrias, dificultando assim o manejo das plantas daninhas (MIELKE et al., 2021).

De acordo com a época de aplicação, os herbicidas são classificados em pós-emergência (PÓS), pré-plantio incorporado (PPI) e pré-emergência (PRÉ). Na PRÉ, a aplicação do herbicida é feita após a semeadura ou plantio, mas antes da emergência da cultura e das plantas daninhas. Também pode ocorrer a aplicações em PRÉ das plantas daninhas, mas após a emergência da cultura (OLIVEIRA, 2011). Como as plantas daninhas ainda não emergiram, essa aplicação também é considerada como sendo em PRÉ.

A aplicação de herbicidas em PRÉ das plantas daninhas, apresenta como vantagem o controle das plantas daninhas antes de causarem dano econômico à cultura. Além disso, seu efeito residual no solo permite controlar as plantas daninhas por um período prolongado e proporcionar melhor desenvolvimento da cultura até que esta possa cobrir toda a área cultivada (ZHAO et al., 2018). Se tratando da cultura do alho em específico, esse fator é importante, pois a cultura apresenta um desenvolvimento inicial lento e grande dificuldade em competir com as plantas daninhas.

Outras vantagens do controle em PRÉ é o atraso da necessidade de aplicações em PÓS, diminuindo a necessidade de múltiplas aplicações. Essa época de aplicação também está sendo utilizada para auxiliar no manejo da resistência de biótipos de plantas daninhas (KNEZEVIC et al., 2019).

Contudo, para adotar o controle em PRÉ de plantas daninhas é necessário tomar alguns cuidados, os quais irão refletir na eficiência final do controle. O desempenho dos herbicidas aplicados em PRÉ depende de fatores, como umidade no momento da aplicação, chuva após a aplicação, temperatura, tipo de solo e espécies de plantas daninhas a serem controladas. Além disso, é necessário haver disponibilidade de água no solo, pois os herbicidas atuam em processos como a germinação das

sementes ou no crescimento radicular (EMBRAPA, 2006).

Ao aplicar herbicidas na PRÉ das plantas daninhas, deve-se estar atento as culturas em sucessão na área e aos problemas ambientais, por isso é necessário o conhecimento sobre o período residual dos herbicidas e o potencial de lixiviação desses produtos (SOUZA et al., 2020). Quando o efeito residual do herbicida excede o intervalo entre a última aplicação e o semeio da próxima cultura pode ocorrer *carryover*, esse fenômeno é definido como um efeito negativo nas culturas plantadas em sucessão/rotação devido a presença de resíduos que permanecem no solo em concentrações suficientes para causar injúrias na cultura, sejam estes resíduos da molécula herbicida ou seus metabólitos (ALONSO et al., 2013).

A lixiviação pode ser prejudicial à cultura, pois o herbicida pode percolar para camadas mais profundas do solo, no qual a atividade microbiológica e consequente degradação é reduzida, e ser absorvido pela cultura quando as raízes se aprofundarem. Além dos danos ambientais devido a movimentação de alguns herbicidas no perfil do solo, podendo contaminar corpos de água subterrâneos (SOUZA et al., 2020).

Na PRÉ do alho e das plantas daninhas são recomendados linuron, pendimethalin, flumioxazin e oxadiazon. Alguns herbicidas não registrados para a cultura, como diuron, S-metolachlor e oxyfluorfen apresentam bom controle sobre as plantas daninhas, sendo usados como alternativa de controle em PRÉ na cultura do alho. O oxyfluorfen, quando aplicado em PÓS na cultura do alho, causa injúria e perda de produtividade. Contudo, quando aplicado em PRÉ, as injúrias causadas pelo herbicida não diferem dos produtos registrados para cultura, como o pendimethalin (RESENDE e HABER, 2020).

Ainda que os herbicidas sejam registrados para a cultura, eles devem ser usados de forma cautelosa, devido à alta sensibilidade das plantas de alho ao controle químico, podendo causar injúrias (GONÇALVES et al., 2017). Assim, é necessário mais conhecimento sobre a aplicação em PRÉ dos herbicidas na cultura do alho, levando em consideração a relação das características do herbicida e do solo.

2.4. Características gerais dos herbicidas e eficiência de controle

2.4.1. Linuron

O linuron 3-(3,4-dichlorophenyl)-1-methoxy-1-methylurea é um herbicida aplicado em PRÉ e PÓS de gramíneas anuais e plantas daninhas de folha larga, do grupo químico das ureias (PPDB, 2021b). No Brasil, o linuron tem registro para uso nas

culturas do alho, camomila, coentro, gengibre, mandioca, batata, cenoura, cebola e batata-salsa (MAPA, 2021).

O linuron é um herbicida de ação seletiva, sistêmica e possui efeito residual. Ele atua inibindo o fotossistema II (FSII), na etapa fotoquímica da fotossíntese. A inibição da fotossíntese ocorre pela ligação do herbicida ao sítio de ligação Q_B na proteína D1 no FSII. O qual se localiza na membrana dos tilacóides, no cloroplasto, causando o bloqueio de transporte de elétrons de Q_A para Q_B . Esse processo resulta na interrupção da fixação de CO_2 e produção de $NADPH_2$ e ATP, essenciais para o desenvolvimento das plantas. Porém, a morte da planta ocorre principalmente pelo acúmulo de elétrons (radicais livres) que promovem a peroxidação dos lipídios e a destruição das membranas celulares (OLIVEIRA, 2011).

Os sintomas causados pelo linuron aparecem relativamente rápidos. Eles são caracterizados por clorose internervural e das bordas das folhas (escurecimento), progredindo para necrose generalizada da folha. Os sintomas necessitam de luz para se desenvolver (CARVALHO, 2013).

Além do conhecimento do modo de ação do linuron, é essencial conhecer as características físico-químicas desse herbicida para um correto posicionamento no solo, de forma que este possa ser mais eficaz, quando aplicado em PRÉ. De acordo com suas propriedades físico-químicas (Tabela 1), o linuron pode ser classificado como um herbicida de solubilidade moderada em água, ligeiramente móvel no solo e moderadamente persistente (PPDB, 2021b).

Tabela 1. Propriedades físico-químicas da molécula de linuron.

Propriedades	Valores
Nome químico (IUPAC)	3-(3,4-dichlorophenyl) -1-methoxy-1-methylurea
Nome comum	Linuron
Número CAS	330-55-2
Fórmula molecular	$C_9H_{10}Cl_2N_2O_2$
Massa molecular	$249,09 \text{ g mol}^{-1}$
Classe	Herbicida
Grupo	Ureia
Ponto de fusão	93°C
Pressão de vapor (PV) a 20°C	0,051 mPa
Constante da lei de Henry (H) à 25°C	$2,00 \times 10^{-4} \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1}$
(H)	
Solubilidade em água (S_w)	$63,8 \text{ mg L}^{-1} (20^\circ\text{C})$
Coeficiente de partição ácida (pK_a)	Neutro
Coeficiente octanol-água (K_{ow})	$1,00 \times 10^3 (pH 7, 20^\circ\text{C})$
Coeficiente de sorção (K_d)	$15,7 \text{ L kg}^{-1}$

Tempo de meia-vida da degradação
no solo (DT₅₀) 57,6 dias

Fonte: Adaptado de PPDB (2022b).

Alguns estudos na literatura têm demonstrado eficácia do uso do linuron na cultura do alho. A exemplo, um estudo realizado em solo aluvial eutrófico textura argilosa com 3,14% de matéria orgânica foram avaliados os efeitos do linuron (2,00 kg i.a. ha⁻¹) aplicadas em PRÉ, quatro dias após o plantio, combinados com glyphosate (2,00 kg e.a. ha⁻¹) aplicados em PÓS das plantas daninhas, 10 dias antes do preparo do solo (MASCARENHAS et al., 1980). As plantas daninhas foram: *Cyperus rotundus*, *Ageratum conyzoides*, *Bidens pilosa*, *Cynodon dactylon*, *Emilia sagitata* e *Sonchus oleraceus*. O resultado deste estudo foi um controle satisfatório das plantas daninhas predominantes, não prejudicando a produtividade do alho.

Contudo, o linuron (810 g i.a. ha⁻¹), aplicado na PRÉ causou redução na produtividade de alho na cultivar Chonan. A aplicação desse herbicida, reduziu a qualidade e tamanho dos bulbos (COSTA, 2019). A desvantagem na produção de bulbos com menor diâmetro é que estes têm menor valor comercial, sendo que os bulbos inferiores a 32 mm são destinados apenas para a indústria (EMBRAPA, 1999). Esses dados evidenciam que a seletividade do linuron na cultura do alho é associada a dose, ao tipo de solo e ainda deve se estar a cultivar do alho a ser cultivado. Os estudos relacionados ao uso de herbicidas residuais na cultura do alho são antigos e a continuidade dessas pesquisas são necessárias, à medida que a utilização desses produtos vem aumentando no manejo de biótipos de plantas daninhas resistentes.

2.4.2. Flumioxazin

O flumioxazin N-(7-fluoro-3,4-dihidro-3-oxo-4-prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6-yl) cyclohex-1-ene-1,2-dicarboxamide é um herbicida de amplo espectro de controle de plantas daninhas em PRÉ pertencente ao grupo químico das N-fenilftalamidas (PPDB, 2022a). O flumioxazin é registrado para aplicações em PRÉ e PÓS de plantas daninhas na cultura da soja, do pinus e do eucalipto; na PÓS em algodão, café, frutas cítricas, feijão e safras de milho, e na PRÉ de plantas daninhas em culturas de cebola, alho, batata e cana-de-açúcar. Ele tem eficácia no controle de eudicotiledôneas e algumas monocotiledôneas (MAPA, 2021).

O flumioxazin é um herbicida de ação seletiva, de contato, cujo mecanismo de ação está relacionado a inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX ou PPO). A inibição desta enzima causa o aparecimento de precursores da clorofila, que

na presença de luz são convertidos em moléculas que desorganizam as membranas celulares da planta (PIVETTA et al., 2008). A protoporfirina IX se acumula permitindo a formação de oxigênio singlete. Esse composto inicia o processo de peroxidação de lipídeos causando destruição da membrana e perda da sua função, levando a planta à morte (CARVALHO, 2013). Os sintomas causados nas folhas tratadas após exposição à luz são enrugamento, bronzeamento e necrose (DAYAN e WATSON, 2011).

Quando aplicado em PRÉ, esse herbicida causa morte da planta quando entram em contato com a camada de solo em que o herbicida foi aplicado. Os tecidos sensíveis sofrem necrose e morte causados pela peroxidação de lipídeos. As plantas susceptíveis apresentam necrose nas folhas rapidamente (um a três dias) (OLIVEIRA, 2011).

A maior eficiência no controle das plantas daninhas ocorre quando o herbicida se encontra prontamente biodisponível na solução do solo, de forma que as plantas daninhas possam absorvê-lo, uma vez que é aplicado em PRÉ. A biodisponibilidade da molécula para atuar no controle de plantas daninhas, vai depender das propriedades físico-químicas do herbicida e do solo, além das condições ambientais. As propriedades do flumioxazin estão representados na Tabela 2. O flumioxazin é um herbicida que possui baixa solubilidade aquosa, relativamente volátil e, o risco de lixiviação para as águas subterrâneas é baixo. Geralmente não é persistente na água ou solo (PPDB, 2022a). Este herbicida apresenta lixiviação reduzida e alta sorção aos colóides do solo (FERRELL et al., 2005).

Tabela 2. Propriedades físico-químicas da molécula do flumioxazin.

Propriedades	Valores
Nome químico (IUPAC)	N-(7-fluoro-3,4-dihydro-3-oxo-4-prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6-yl) cyclohex-1-ene-1,2-dicarboxamide
Nome comum	Flumioxazin
Número CAS	103361-09-7
Fórmula molecular	C ₁₉ H ₁₅ FN ₂ O ₄
Massa molecular	354,33 g mol ⁻¹
Classe	Herbicida
Grupo	N-fenilftalamidas
Ponto de fusão	203,5 °C
Pressão de vapor (PV) a 20 °C	0,32 mPa
Constante da lei de Henry (H) à 25 °C (H)	0,145 Pa m ³ mol ⁻¹
Solubilidade em água (S _w)	0,786mg L ⁻¹ (20°C)
Coeficiente de partição ácida (pK _a)	Neutro
Coeficiente octanol-água (K _{ow})	3,55 x 10 ⁰² (pH 7, 20°C)

Coeficiente de sorção (K_d)	19,3 L kg ⁻¹
Tempo de meia-vida da degradação no solo (DT_{50})	17,6 dias

Fonte: Adaptado de PPDB (2022a).

Alguns estudos têm demonstrado a eficiência do flumioxazin na cultura do alho. Em um experimento no qual as plantas daninhas encontradas no experimento com a cultivar Chonan foram *Stellaria media* (erva-de-passarinho) e *Stachys arvensis* (mentinha) (HARAMOTO, 2018). Os herbicidas aplicados em PRÉ da cultura e das plantas daninhas foram eficientes no controle dessas espécies até 45 dias após a aplicação (DAA). As maiores injúrias aos 45 DAA foram causadas pelo S-metolachlor (1200 g i.a. ha⁻¹), com 10% de danos no alho cultivar Chonan. Os melhores herbicidas, considerando o controle de plantas daninhas e a produtividade do alho, foram oxyfluorfen (720 g i.a. ha⁻¹) e flumioxazin (40 g i.a. ha⁻¹).

Contudo, outro estudo realizado por Guerra (2020) reportou a eficiência e seletividade de herbicidas posicionados em PRÉ na cultura do alho, em Curitiba-SC, com a variedade de alho Ito, utilizando dos seguintes tratamentos: linuron (810 g i.a. ha⁻¹), oxyfluorfen (720 g i.a. ha⁻¹), flumioxazin (40 g i.a. ha⁻¹), e duas testemunhas com e sem capina. Esse estudo evidenciou que as maiores produtividades da cultura do alho estavam na testemunha com capina. O controle de plantas daninhas com linuron, oxyfluorfen e flumioxazin foram semelhantes a testemunha sem capina, apresentando as menores produtividades. Esses estudos deixaram evidentes a diferença do cultivar do alho na sensibilidade aos diferentes herbicidas.

2.4.3. Oxyfluorfen

O oxyfluorfen 2-chloro- α,α,α -trifluoro-p-tolyl 3-ethoxy-4-nitrophenyl ether é um herbicida do grupo dos difenileters, de ação de contato, que possui amplo espectro de ação para o controle posicionado em PRÉ e PÓS (PPDB, 2022c). O mecanismo de ação, assim como o flumioxazin é a inibição da enzima PROTOX. No Brasil, o oxyfluorfen tem registro para o uso na cultura do café, soja, algodão, pinus e eucalíptos, citros, arroz irrigado e cana-de-açúcar (MAPA, 2021). Esse herbicida não possui registro para o uso na cultura do alho, mas vem sendo utilizado na PRÉ dos cultivos.

O oxyfluorfen pode ser posicionado em PÓS de gramíneas de 1 ou 2 folhas e plantas eudicotiledôneas com 4 ou 5 cm de desenvolvimento (GONÇALVES et al., 2011). O controle do oxyfluorfen posicionado em PRÉ é dependente da adequada umidade do solo durante a aplicação (PEREIRA, 1987). O oxyfluorfen sorve

fortemente as partículas do solo, formando uma barreira química nos primeiros centímetros da superfície do solo, que atuam sobre as plantas daninhas que emergem, essas plantas morrem ao entrar em contato com o herbicida (PEREIRA, 1987). Dessa forma, quando o solo se apresenta seco, existindo a emergência de plantas daninhas, assim que houver uma chuva ou irrigação, poderá haver morte ou controle.

De acordo com as características físico-químicas do oxyfluorfen, o herbicida possui uma baixa solubilidade em água, e por isso dificilmente é lixiviado no solo, sendo uma importante vantagem nas regiões tropicais, além disso, é considerado moderadamente persistente no solo (PPDB, 2022c). Outras propriedades do oxyfluorfen estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades físico-químicas da molécula do oxyfluorfen.

Propriedades	Valores
Nome químico (IUPAC)	2-chloro- α,α,α -trifluoro-p-tolyl 3-ethoxy-4-nitrophenyl ether
Nome comum	Oxyfluorfen
Número CAS	42874-03-3
Fórmula molecular	$C_{15}H_{11}ClF_3NO_4$
Massa molecular	361,7 g mol ⁻¹
Classe	Herbicida
Grupo	Éter difenílico
Ponto de fusão	85,3°C
Pressão de vapor (PV) a 20 °C	0,026 mPa
Constante da lei de Henry (H) à 25 °C (H)	0,02382 Pa m ³ mol ⁻¹
Solubilidade em água (S _w)	0,116 mg L ⁻¹ (20°C)
Coeficiente de partição ácida (pK _a)	Neutro
Coeficiente octanol-água (K _{ow})	7,24 x 10 ⁴ (pH 7, 20°C)
Coeficiente de sorção (K _d)	99,37 L kg ⁻¹
Tempo de meia-vida da degradação no solo (DT ₅₀)	73 dias

Fonte: Adaptado de PPDB (2022c).

Ainda que o oxyfluorfen não seja recomendado para a cultura do alho, alguns estudos tem demonstrado eficácia de controle, quando esse herbicida é posicionado em PRÉ da cultura. Uma pesquisa em campo foi realizada no município de Rio Grande, localizado no estado do Rio Grande do Sul-RS, com objetivo de avaliar a eficácia de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do alho cultivar Quitéria (GARCIA et al.,1994). As espécies dominantes na área foram *Digitaria sanguinalis*, *Eleusine indica*, *Spergula arvensis*, *Bidens pilosa*. Os resultados indicaram que os tratamentos mais eficientes no controle dessas plantas daninhas foram linuron (PRÉ) 675 g i.a. ha⁻¹ + fluazifop-P-butil (PÓS) 375 g i.a. ha⁻¹ e oxyfluorfen (PRÉ) 720

g i.a. ha⁻¹ + Alloxym-sodium (PÓS) 420 g i.a. ha⁻¹. O oxyfluorfen e linuron, nas doses utilizadas, controlam principalmente as plantas daninhas dicotiledôneas, retardando a germinação e desenvolvimento. Com isso, a aplicação de herbicidas posicionados em PÓS emergência da cultura do alho é facilitada, quando a planta de alho se apresenta mais desenvolvida e tolerância aos herbicidas.

Outro estudo com o objetivo de avaliar a eficiência e a seletividade dos herbicidas posicionados em PRÉ do cultivar Chonan, sob condições edafoclimáticas de Santa Catarina (GUERRA, et al., 2020). Os resultados demonstraram que o oxyfluorfen (720 g i.a. ha⁻¹) e pendimethalin (640 g i.a. ha⁻¹) foram os herbicidas mais eficientes levando em consideração controle de plantas daninhas e produtividade da cultura do alho

Essas pesquisas evidenciam a necessidade do conhecimento do herbicida, da cultivar do alho adotada e das características do solo, para definir doses mais adequadas no controle das plantas daninhas, quando a aplicação do herbicida for em PRÉ. O conhecimento sobre a dinâmica da interação solo-herbicida é essencial para um melhor posicionamento do herbicida no solo. Uma vez que a maior biodisponibilidade do herbicida na solução do solo, resulta em controle efetivo das plantas daninhas.

2.5. Persistência e efeito residual do linuron e oxyfluorfen

O uso de herbicidas posicionados na PRÉ é indispensável no controle de fluxos germinativos de sementes/propágulos de plantas daninhas nas culturas. No entanto, é necessário conhecer a dinâmica dos herbicidas no solo, as principais formas de degradação, os fatores que afetam a sorção e a biodisponibilidade do efeito residual, para evitar injúria a culturas sensíveis plantadas em sucessão/rotação (*carryover*). A aplicação de herbicidas, sem esses conhecimentos, podem levar a perda de produtividade das culturas, prejuízos econômicos e contaminação ambiental (MENDES et al., 2019).

Os herbicidas possuem um período de persistência no solo. Ou seja, o tempo de permanência do herbicida no solo expresso em unidade de tempo pela concentração quantificada do produto. A persistência é definida como o período em que o herbicida permanece no meio ambiente, independente da molécula estar ativo ou não no solo. Os resíduos de herbicidas podem permanecer no solo por longos períodos, desde meses até anos, dependendo das características físicas e químicas das moléculas e das condições edafoclimáticas que alteram os processos de

degradação (biótica e abiótica) (DAMS et al., 2006). A persistência do herbicida é sempre maior do que seu efeito residual (MENDES et al., 2019).

Embora seja desejável que os herbicidas posicionados na PRÉ tenha um efeito residual, ou seja, é o período em que o herbicida tem controle sobre as plantas daninhas, estando biologicamente ativo na solução do solo, não é desejável que o efeito residual cause injúria nas culturas agrícolas subsequentes sensíveis, efeito conhecido como *carryover* (CURRAN, 2016).

Consequências negativas do uso de herbicidas posicionados na PRÉ das plantas daninhas, como problemas ambientais, controle insatisfatório de plantas daninhas e *carryover*, podem ser evitados quando se tem conhecimento da dinâmica do herbicida no solo. No entanto, é indispensável conhecer a biodisponibilidade, que é o tempo que o produto permanece ativo no solo, com as características físico-químicas da molécula ativas no ambiente (LEWIS e TZILIVAKIS, 2017).

A biodisponibilidade é determinada por meio do tempo de meia-vida do residual do herbicida, que é definido RL_{50} (*Residual Lifetime*). A RL_{50} é definida como o nível de resíduo no qual a substância ativa do herbicida desaparece na planta (LEWIS e TZILIVAKIS, 2017). A RL_{50} é estimada a partir de bioensaios, em que injúrias causadas pelo herbicida são verificadas em plantas sensíveis, indicando a atividade do herbicida. A RL_{50} é usada para indicar que 50% da molécula foi dissipada e a outra metade ainda está causando efeito na planta. A RL_{50} depende de fatores ambientais, sistema de cultivo, características do herbicida e da sensibilidade da espécie utilizada como planta bioindicadora (LEWIS e TZILIVAKIS, 2017).

Na avaliação do efeito residual dos herbicidas no solo podem ser utilizados diferentes métodos. O uso da cromatografia e radiometria são bastante eficazes na obtenção de resultados quantitativos (EBERLE e GERBER, 1976; MENDES et al., 2017). Contudo, os equipamentos necessários para essas metodologias, são de alto custo. Por isso, muitas vezes são utilizados os bioensaios, esse estudo pode ser utilizados pelo agricultor de forma rápida e de baixo custo para analisar os resíduos de herbicidas em áreas com o histórico do uso dos produtos (MENDES et al., 2019). Os bioensaios são realizados para avaliar várias características dos herbicidas, como sorção, lixiviação, degradação e efeito residual no solo.

De acordo com o estudo, o uso de bioensaios com plantas bioindicadoras na determinação da dissipação de herbicidas, trazem resultados satisfatórios, capazes de simularem condições observadas em campo (EBERLE e GERBER, 1976). Essas

plantas apresentam alterações morfológicas pela alta sensibilidade ao herbicida no solo (INOUE et al., 2022) demonstrando que espécies bioindicadoras apresentam níveis de injúrias de acordo com os níveis de herbicida presentes na solução do solo. Contudo, para a eficácia dos resultados, é necessário obter curvas de calibração (dose-resposta) para determinar a biodisponibilidade do herbicida (MENDES et al., 2019). Com a utilização das curvas de dose-resposta, são determinados o índice de C_{50} (*control*), que é definido como a dose do herbicida necessária para controlar 50% da população e/ou GR_{50} (*grow reduction*), que é, dose do herbicida que proporciona redução de 50% da produção de matéria seca da parte aérea (CHRISTOFFOLETI, 2008). Na realização da curva de dose-resposta é necessário aplicar diferentes doses dos herbicidas para avaliar os diferentes níveis de injúrias nas espécies e redução na produção de matéria seca das espécies estudadas como possíveis bioindicadoras dos herbicidas. Por meio desse método, é possível investigar qual planta possui melhor habilidade para detectar os resíduos biodisponíveis dos herbicidas no solo.

De acordo com a literatura, o pepino (*Cucumis sativus*) é usado como espécie bioindicadora para determinação da biodisponibilidade do linuron nos solos (DEUBER et al., 2009). Quanto ao oxyfluorfen, o sorgo (*Sorghum bicolor*) tem sido utilizado como espécie bioindicadora da presença do herbicida (MELO et al., 2010). Outros estudos utilizaram a aveia (*Aveia sativa*) como espécie bioindicadora do oxyfluorfen nos solos (COLINA, 2005).

2.6. Fatores que afetam a persistência e o efeito residual dos herbicidas

Em estudos de comportamento dos herbicidas no solo, é necessário considerar as propriedades dos herbicidas e do solo em conjunto com as condições climáticas. Principalmente porque é difícil estudar um fator isolado em condições de campo. Por exemplo, a degradação microbiana do herbicida é essencial na persistência e no efeito residual, contudo, é dependente da temperatura e do teor de água no solo (BEDMAR e GIANELLI, 2014)

De maneira geral, os herbicidas são menos persistentes em locais de clima tropical, quando comparado ao clima temperado, pois a temperatura é um fator principal. Nos climas tropicais, altas temperaturas e elevadas precipitações contribuem para o aumento da atividade microbiana no solo em função da maior disponibilidade de água e temperatura do solo, resultando em maior degradação dos herbicidas. Além disso, o teor de matéria orgânica nos solos tropicais também tende a ser menores, influenciando na ocorrência de uma menor sorção e

consequentemente, menor efeito residual. Os herbicidas menos sorvidos estão mais disponíveis para que ocorra a degradação microbiana e a lixiviação para as camadas mais inferiores do solo (MENDES et al., 2019).

Com o crescente aumento da utilização de herbicidas aplicados na PRÉ, principalmente como estratégias de manejar biótipos de plantas daninhas resistentes, o conhecimento da persistência dos herbicidas e do efeito residual é fundamental, pois é necessário fazer com que a cultura fique livre de plantas daninhas no período crítico, no qual a competição interfere na produtividade da culturas. Além disso, herbicidas mais persistentes e móveis, podem lixiviar para camadas mais profundas dos solos, no qual podem permanecer por períodos maiores, devido a atividade microbiológica ser reduzida (CHRISTOFFOLETI, 2008).

Se tratando da cultura do alho, a aplicação de herbicidas posicionados na PRÉ, persistentes e com efeito residual é utilizado com frequência, como por exemplo o linuron e oxyfluorfen, pois a cultura é sensível a competição com plantas daninhas, possui um crescimento inicial lento e a arquitetura foliar dessa cultura, exige o controle de plantas daninhas por um período longo de tempo (GONÇALVES et al., 2017). Portanto, a necessidade de conhecer o comportamento desses herbicidas em diferentes solos.

Dados sobre o comportamento do linuron em solos brasileiros são pouco conhecidos. Estudos de Rodrigues e Almeida (2018), indicam que o herbicida apresenta uma persistência média no solo, de dois a cinco meses. Os resultados demonstraram que, em doses de 788 g i.a. ha⁻¹, o linuron permanece com bioatividade no solo, à profundidade de 0 a 10 cm, três semanas após a sua aplicação. Para um período superior a quatro semanas, o solo não apresentou mais persistência do produto. Doses mais baixas do produto tendem a apresentar períodos menores de persistência (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018).

Em estudos com o oxyfluorfen, foi observado resíduos do produto até 140 dias após a aplicação, além disso, o efeito tóxico diminuiu quando foi acrescentado compostos orgânicos no substrato (SOUZA et al., 1996). Outro estudo realizado por Yen et al. (2003) teve como objetivo analisar a mobilidade e degradação do oxyfluorfen em diferentes solos, sob diferentes condições de umidade e temperatura, concluíram que o aumento da temperatura aumenta a taxa de degradação. Os mesmos autores analisaram que o herbicida não ultrapassou os 9 cm de profundidade e a maior parte do herbicida foi retida nos 0-3 cm. A temperatura teve

grande importância, apresentando quase nenhuma degradação do herbicida à 10°C de temperatura de incubação, e apenas 23% do oxyfluorfen foi degradado à 25°C, mas cerca de 55% foi degradado em alta temperatura (40°C), em que todos os tratamentos estavam com solos à 60% da capacidade de campo, incubados por 13 semanas.

Na utilização do oxyfluorfen e linuron posicionados em PRÉ da cultura do alho é fundamental o conhecimento do efeito residual e a eficiência de controle dos herbicidas em diferentes solos. Em literatura, ainda há poucas informações disponíveis relacionadas à esses herbicidas em relação a plantas daninhas importantes na agricultura tropical.

3. OBJETIVO

3.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito residual dos herbicidas oxyfluorfen e linuron e a relação dos atributos físico-químicos de três solos e avaliar o controle da espécie *Galinsoga parviflora* com linuron, oxyfluorfen e flumioxazin em dois solos que se cultivam alho.

3.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito residual do linuron e oxyfluorfen pelo método biológico, utilizando espécies bioindicadoras desses herbicidas, pepino (*Cucumis sativus*) e sorgo (*Sorghum bicolor*), respectivamente, em três solos com diferentes atributos físico-químicos.
- Avaliar doses dos herbicidas linuron, flumioxazin e oxyfluorfen que sejam eficientes no controle da planta daninha botão de ouro (*Galinsoga parviflora*), em dois solos que se cultivam alho.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Coleta e análise das amostras de solo

As amostras de solos foram coletadas na profundidade 0-10 cm na região de Oratórios-MG (492 m de altitude, latitude: 20°25'5" S, Longitude: 42°47'28" O), Rio Paranaíba-MG (1.073 m de altitude, latitude: 19°11'39" S, longitude: 46°14'37" O) e Curitibanos-SC (987 m de altitude, latitude: 27°16'58" S, longitude: 50°35'04" O), sendo classificados como Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo, respectivamente. Os solos da região Rio Paranaíba e Curitibanos são cultivados com alho anualmente.

Após peneirados em malha de 4 mm, 500 g de cada tipo de solo foi levado ao laboratório de solos da Universidade Federal de Viçosa-MG e submetidos a análises físico-químicas. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Atributos físico-químicos dos solos de Oratórios (Cambissolo), Rio Paranaíba (Latossolo Vermelho-Amarelo) e Curitibaanos (Cambissolo), das regiões de Minas Gerais e Santa Catarina, respectivamente.

Solos	MO	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	CTC
	%	(H ₂ O)	-- mg dm ⁻³ ---		-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----%-----				cmol _c dm ⁻³
Cambissolo	0,53	5,66	59,0	57,0	1,26	0,44	0,00	2,6	60,3	18,3	6,5	14,9	4,45
Argissolo	4,61	6,20	9,3	203	6,70	2,98	0,00	3,9	2,0	1,4	17,3	79,3	14,10
Latossolo Vermelho- Amarelo	3,76	6,71	217,6	68,0	5,16	2,46	0,00	0,7	3,5	5,5	38,5	52,5	8,49

Fonte: Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. MO= matéria orgânica, pH (H₂O) = potencial hidrogeniônico, P= fósforo, K⁺= íons potássio, Ca²⁺= íon cálcio, Mg²⁺= íon magnésio, Al³⁺= Acidez trocável do alumínio, H+Al= Acidez potencial, CTC=Capacidade de troca catiônica.

4.2. Local de estudo

Os estudos foram executados em casa de vegetação do Departamento de Agronomia (DAA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), situado na cidade de Viçosa-MG. Durante o período de novembro de 2021 a julho de 2022.

4.3. Estudo do efeito residual do linuron e oxyfluorfen pelo método biológico

4.3.1. Preparo de amostras e aplicação dos herbicidas

O estudo do efeito residual dos herbicidas nos solos foi realizado em duas etapas: A primeira etapa com a aplicação dos herbicidas e a segunda com a avaliação do nível de injúria utilizando planta indicadora, pepino (*Cucumis sativus*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) para avaliar a presença do linuron e oxyfluorfen, respectivamente, nos solos.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) esquematizado em fatorial $3 \times 10 + 3$, com 4 repetições. O primeiro fator corresponde aos três diferentes solos e o segundo fator corresponde as 10 épocas de avaliação, e três tratamentos controles (um para cada solo), para cada herbicida.

Cada unidade experimental foi constituída por vasos plásticos de $0,35 \text{ dm}^3$, preenchidos com os solos e pesados em balança para garantir que tenham 370 g de solo em cada vaso. Em seguida, foi aplicado o linuron ($810 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e oxyfluorfen ($180 \text{ g i.a. ha}^{-1}$). A dose do linuron foi escolhida conforme a bula, indicada para a cultura do alho, e o oxyfluorfen, por não ser um herbicida recomendado para a cultura do alho, foi realizada a adoção de uma dose menor que teve eficiência de controle, segundo dados de testes preliminares (não publicados).

Os herbicidas foram aplicados na superfície dos solos (simulando uma aplicação em campo), em diferentes épocas. Neste procedimento foi usado um pulverizador pressurizado a CO_2 equipado com duas pontas TT110.02, espaçados de 0,5 m mantidos à pressão de 200.000 Pa a aplicação foi realizada a 0,5 m de altura dos vasos.

Os herbicidas foram aplicados nos três solos em diferentes épocas, aos 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 dias após a aplicação (DAA) de linuron e oxyfluorfen. Os vasos ficaram expostos em casa de vegetação e irrigados conforme a média da quantidade de chuva dos anos 2018, 2019 e 2020, na região de Viçosa (retiradas do instituto nacional de meteorologia), durante os 200 dias de avaliação, com média de 7 mm diários. Os dados climáticos da temperatura foram coletados durante todo o experimento em casa de vegetação (Figura 1).

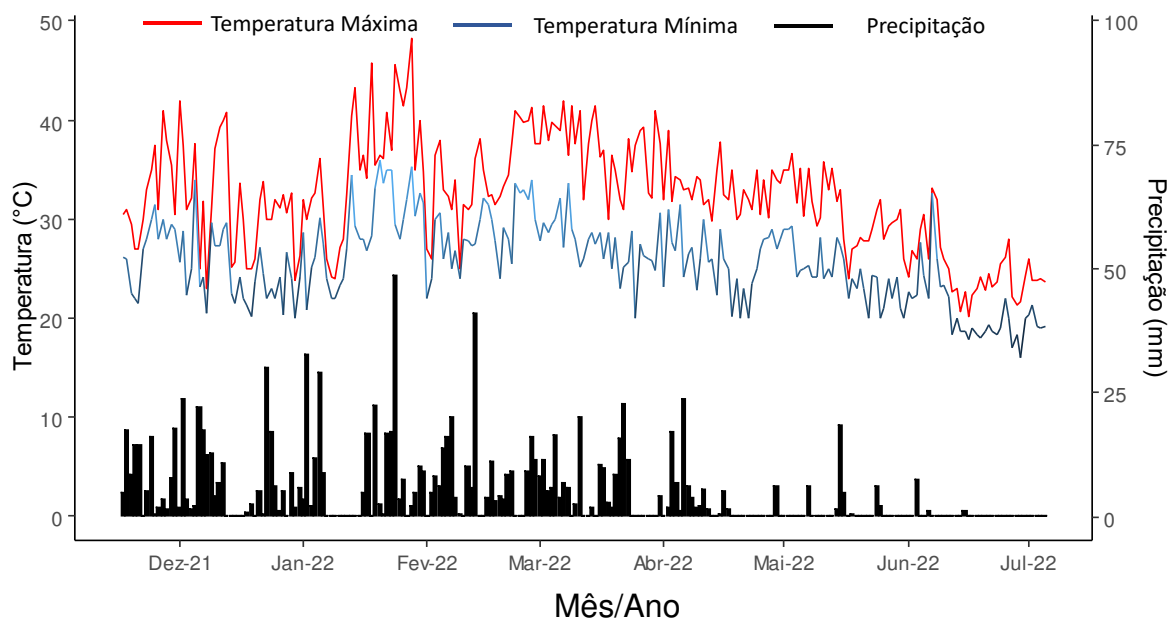


Figura 1. Controle da temperatura e irrigação durante 200 dias de condução do experimento (novembro /2021 a junho/2022).

Após a última aplicação dos herbicidas, foram semeadas nas amostras de solo as sementes da espécie bioindicadora de cada herbicida, sendo 5 sementes de sorgo e pepino por vaso, assim como também foram semeadas em amostras de solo sem herbicida, constituindo o tratamento controle. Após 4 dias de emergência das plantas, foi realizado o desbaste, deixando 3 plantas por vaso. Em sequência, foi realizada a aplicação de solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) nas unidades experimentais, afim de permitir o bom desenvolvimento das plantas. Essa solução tem sido a mais utilizada nas pesquisas em nutrição mineral e constitui a base para formação de inúmeras soluções comerciais, é composta tanto por macro como micronutrientes (COMETTI et al., 2006). Os vasos foram mantidos com irrigações diárias.

4.3.2. Avaliação do efeito residual

A avaliação do efeito residual dos herbicidas foi realizada por meio do nível de injúria nas plantas com a função de detectar a presença do herbicida biodisponível na solução do solo. O estudo foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições para cada um dos diferentes solos (Argissolo, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo) com aplicação do linuron e oxyfluorfen, além do tratamento controle (sem a aplicação de herbicida).

As análises foram realizadas aos 7, 14, e 21 dias após da emergência (DAE), atribuindo-se notas de 0 (zero) a 100% (cem), em que 0 faz referência à ausência de sintomas e 100 à morte da planta. Essa escala visa quantificar o grau de injúria do

bioindicador, sempre considerando as plantas em solo sem resíduo (controle). como padrão máximo de crescimento/desenvolvimento da espécie (INOUE et al., 2022). Aos 21 DAE, também foram avaliados os efeitos sobre a matéria seca da parte aérea (MSPA). Para isto, a parte aérea foi cortada rente ao solo e colocada em sacos de papel.

O material vegetal cortado foi colocado em estufa de circulação forçada de ar (FANEM, 320, São Paulo) com temperatura de 70°C por 72 h, afim de atingir massa constante. Finalmente, utilizando uma balança de precisão analítica (0,0001 g) (SHIMADZU, AY220, São Paulo), a matéria seca das plantas foi pesada. Os valores de matéria seca das plantas de pepino e sorgo foram transformados em porcentagem de redução em relação à matéria seca das plantas do tratamento controle.

4.4. Controle do botão de ouro (*Galinsoga parviflora*) com oxyfluorfen, linuron e flumioxazin

O delineamento utilizado foi o DIC, em esquema fatorial 2x9+2, para cada herbicida, correspondendo a dois tipos de solo, nove doses dos herbicidas, e dois tratamentos controles (um para cada solo), com quatro repetições.

Cada unidade experimental foi constituída por vasos com capacidade de 0,3 dm³, que foram preenchidos com os solos e pesados em balança para uniformização do volume de solo em cada vaso. Posteriormente, foi feita a aplicação do linuron, flumioxazin e oxyfluorfen na superfície dos solos, nas seguintes doses: linuron (0, 30, 40, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 e 2430 g i.a. ha⁻¹), flumioxazin (0, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 40, 60 e 120 g i.a. ha⁻¹) e oxyfluorfen (0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384 e 768 g i.a ha⁻¹ g i.a. ha⁻¹), essas doses foram definidas de acordo com estudos preliminares de ajustes de doses (dados não publicados), com a espécie *G. parviflora* no Latossolo Vermelho-Amarelo e no Argissolo.

A aplicação do herbicida foi realizada imediatamente após o semeio 80 sementes da espécie de planta daninha botão de ouro (*Galinsoga parviflora*) em cada tratamento. Na aplicação, foi usado um pulverizador pressurizado a CO₂ equipado com duas pontas TT110.02, espaçados de 0,5 m mantidos à pressão de 200.000 Pa, a aplicação foi realizada a 0,5 m de altura dos vasos, volume de calda de 160 L ha⁻¹. Os vasos foram irrigados diariamente.

Aos 4 DAE, foi aplicado solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) nas unidades experimentais, afim de permitir o bom desenvolvimento das plantas.

As plantas emergidas foram contadas e o controle foi avaliado pelo cálculo da porcentagem de emergência de plantas daninhas em solos tratados em relação à emergência dos solos não tratados com os herbicidas.

Aos 7, 14 e 21 DAE das plantas daninhas foi avaliado o nível de injúria das plantas, por meio de avaliações visuais, atribuindo-se notas de 0 (ausência de injúria) a 100% (morte da planta). Aos 21 DAE, foi coletada a parte aérea das plantas daninhas e acondicionadas em sacos de papel, sendo posteriormente levados para estufa de circulação forçada de ar à 70 °C por 48 h. Após esse processo, foi determinado a matéria seca das plantas daninhas em balança de precisão analítica (0,0001 g).

4.5. Análise estatística dos dados de efeito residual e controle

No estudo do efeito residual dos herbicidas por meio de espécies indicadoras foi utilizado o tempo residual de meia-vida, RL_{50} (em inglês, *Residual Lifetime*). Nestes casos, os valores de RL_{50} foram determinadas por meio da cinética de primeira ordem, usando as Equações 1 e 2:

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad (1)$$

$$RL_{50} = \ln 2/k \quad (2)$$

Em que a C_t representa a concentração do herbicida no tempo t mensurada pelo nível de injúria da espécie bioindicadora, C_0 representa a concentração inicial e k é a constante da taxa de dissipação do herbicida em dias. A RL_{50} é então determinada a partir do valor k .

Para a interpretação dos dados, serão construídas curvas por análises de regressão do comportamento do efeito residual no tempo, as quais foram geradas utilizando o programa SigmaPlot® (versão 14.0 para Windows, Systat Software Inc., Point Richmond, CA, EUA). A variável nível de injúria foi ajustada no modelo de Streibig et al. (1988) de acordo com a Equação 3:

$$y = \frac{a}{[1 + (\frac{x}{b})^c]} \quad (3)$$

Em que y é a porcentagem de controle; x é a dose do herbicida; e a , b e c são os parâmetros da curva, de modo que a é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, b é o número de dias em que o herbicida está causando 50% de injúria na espécie bioindicadora (RL_{50}). Na análise da variável matéria seca, será utilizado o modelo proposto por Seefeldt et al. (1995), de acordo com a Equação 4:

$$y = a + \frac{b}{\left[1 + \left(\frac{x}{c}\right)^d\right]} \quad (4)$$

Em que y é porcentagem residual da matéria seca; x é dose do herbicida; e a , b , c e d são os parâmetros da curva, de modo que a é o limite inferior da curva, b é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, c é o número de dias em que o herbicida está causando 50% de redução na MSPA (GR_{50}) e d é a declividade da curva.

Nos estudos do efeito residual, a análise estatística dos dados será por meio do teste F da análise de variância (ANOVA), nos dados da matéria seca da parte aérea (MSPA), efetuadas no *software* Sisvar (versão 5.6.) (R CORE TEAM, 2019), com o intuito de verificar a significância da interação fatorial. Quando significativas ($p \leq 0,05$) as interações, serão plotadas regressões não lineares do tipo log-logístico usando o *software* SigmaPlot®.

No experimento de controle da *Galinsoga parviflora*, o cálculo da dose do herbicida que proporciona 80% de controle (C_{80}) e 80% de redução de matéria seca (GR_{80}) foi utilizado a equação proposta por Carvalho et al. (2005). Assim, por meio da Equação 5 foi possível determinar a C_{80} e GR_{80} , substituindo y pelo valor 80:

$$x = b * \sqrt[c]{\frac{a}{y} - 1} \quad (5)$$

Na equação, y porcentagem de matéria seca ou nível de injúria; x é dose do herbicida; a é o limite inferior da curva; b é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva; c é o ponto intermediário entre o limite inferior (a) e superior (b); d é a declividade da curva.

Com os valores de C_{80} e GR_{80} obtidos nos estudos de eficiência de controle, foi possível determinar a dose necessária para controlar as espécies *G. parviflora* em ambos os solos que cultivados com alho.

Nos estudos da curva dose-resposta dos herbicidas, a análise estatística dos dados será por meio do teste F da análise de variância (ANOVA), nos dados da matéria seca da parte aérea (MSPA), efetuadas no *software* Sisvar (versão 5.6.) (R CORE TEAM, 2019), com o intuito de verificar a significância da interação fatorial. Quando significativas ($p \leq 0,05$) as interações, serão plotadas regressões não lineares do tipo log-logístico usando o *software* SigmaPlot® (versão 13.0 para Windows, Systat Software Inc., Point Richmond, CA, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Efeito residual do oxyfluorfen e linuron em três solos com diferentes atributos físico-químicos

5.1.1. Oxyfluorfen

Os sintomas causados pelo efeito residual do oxyfluorfen aos 7 DAE no sorgo foram poucos e difíceis de serem notados em todos os solos, contudo, os sintomas foram evoluindo com o passar dos dias. Aos 14 DAE foram observados encarquilhamento das folhas e sintomas de necrose, principalmente com a diminuição entre o período de aplicação do herbicida e a semeadura do sorgo. Contudo, aos 21 DAE, as injúrias causadas pelo efeito residual do oxyfluorfen foram mais nítidas na espécie bioindicadora, coincidindo com as observadas por Araújo et al. (2021): manchas esbranquiçadas que evoluem a necrose, encarquilhamento das folhas e redução do tamanho da planta. Os sintomas foram diminuindo com o aumento do tempo de aplicação do herbicida (Figura 2).

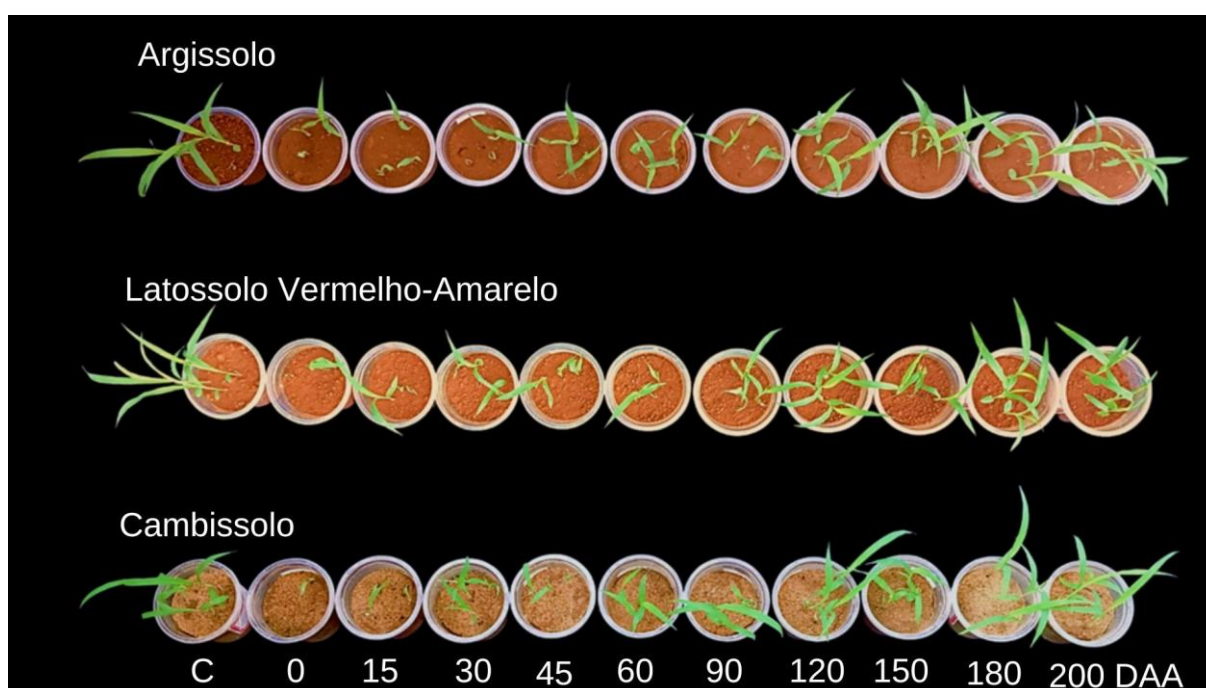
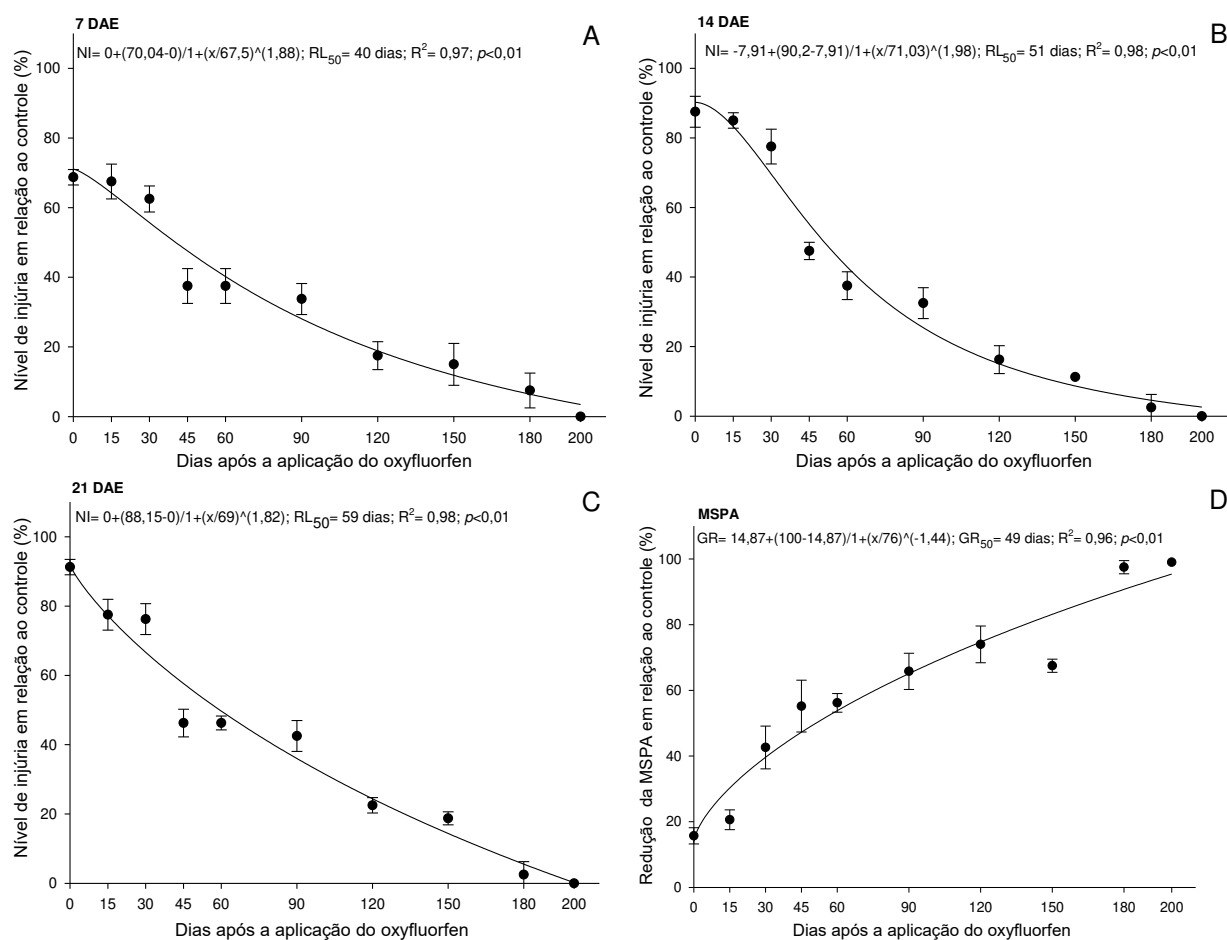
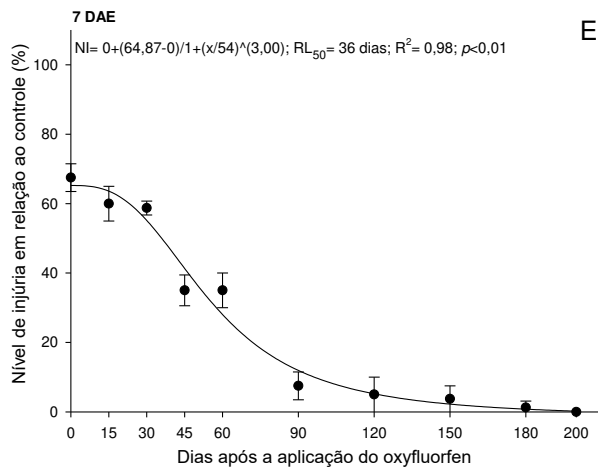


Figura 2. Sintomas de injúrias causadas pelo efeito residual do oxyfluorfen no sorgo (*Sorghum bicolor*) aos 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 dias após a aplicação (DAA) do herbicida em comparação com o tratamento controle (C), no Argissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo, respectivamente.

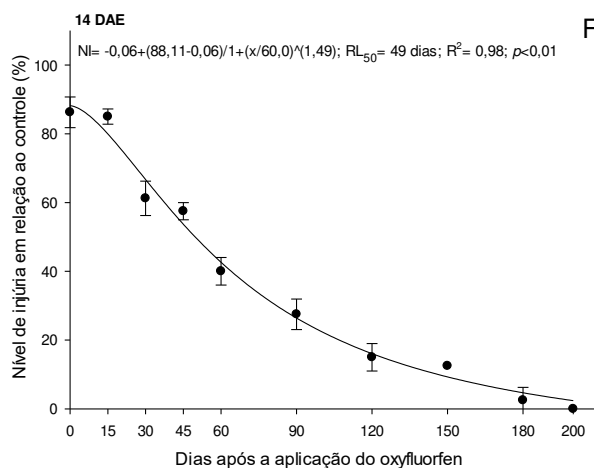
O comportamento da curva do nível de injúria do oxyfluorfen foi semelhante aos 7, 14 e 21 DAE nos três solos. No Argissolo, foi observado maiores injúrias na espécie bioindicadora aos 0, 15 e 30 DAA. Aos 45 dias houve uma redução das injúrias, pois ocorreu a diminuição do efeito residual do oxyfluorfen sobre a espécie bioindicadora.

Aos 120 DAA, foi observado pouco efeito residual do herbicida (<20%), e aos 200 DAA, nenhum efeito de injúria (Figura 3). No Latossolo Vermelho-Amarelo, o comportamento da curva foi muito semelhante ao Argissolo, altas injúrias na espécie bioindicadora aos 0, 15 e 30 DAA, e redução significativa das injúrias entre 45-60 DAA, com sintomas menores que 20% aos 150 DAA e nenhum efeito residual foi observado aos 200 DAA (Figura 3). No Cambissolo, foi observada altas notas de injúrias até 30 DAA, e uma queda das injúrias elevada (45% a 20%) de 60 a 90 DAA, com redução total dos sintomas do herbicida 200 DAA. Notou-se que o nível de injúria não chegou próximo a 100% aos 7 DAE, o que ocorreu nas avaliações 14 e 21 DAE em todos os solos avaliados (Figura 3).

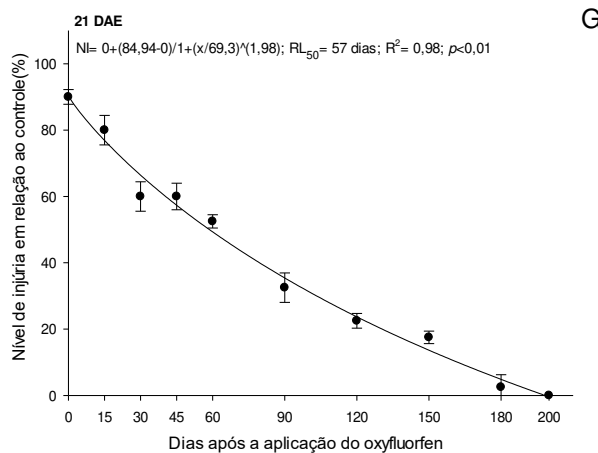




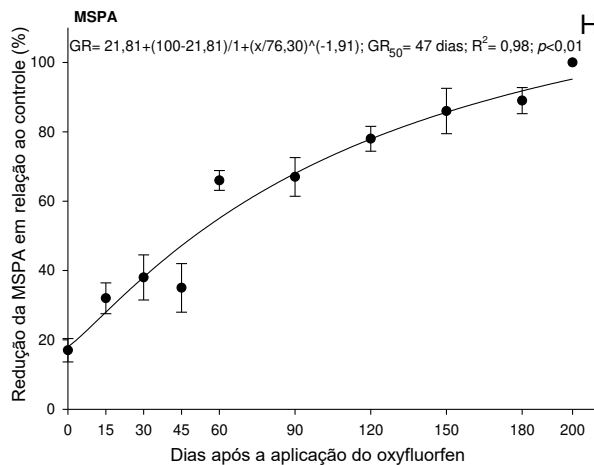
E



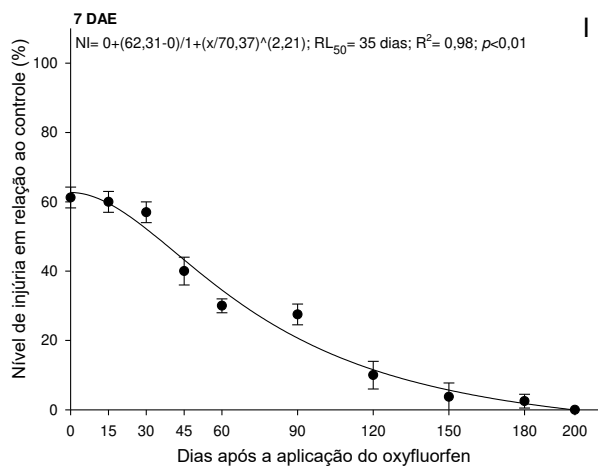
F



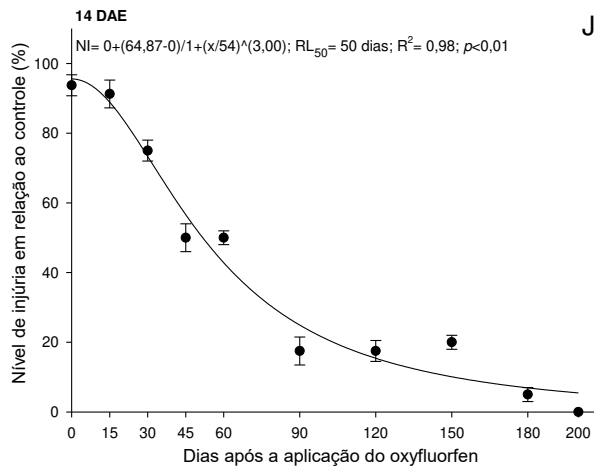
G



H



I



J

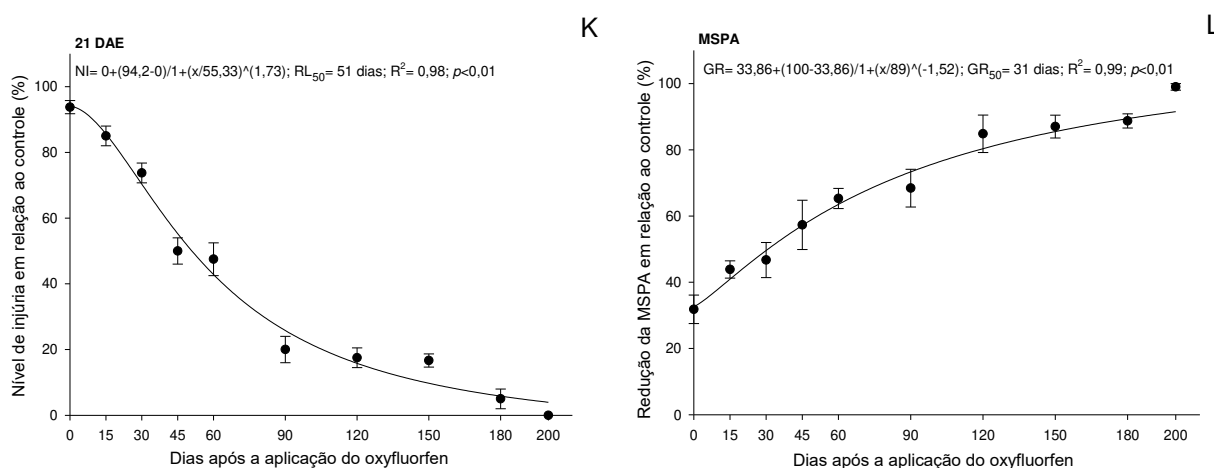


Figura 3. Efeito residual do oxyfluorfen ($180 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), e os valores do tempo residual da meia-vida com 50% de injúria (RL_{50}) no sorgo (*Sorghum bicolor*) aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) e redução da matéria seca da parte aérea (MSPA) em 50% (GR_{50}) em relação ao tratamento controle, no Argissolo (A, B, C e D), Latossolo Vermelho-Amarelo (E, F, G e H) e Cambissolo (I, J, K e L) aos 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 dias após a aplicação (DAA). Quando necessário, os parâmetros foram normalizados pelo ajuste da equação de regressão. As barras verticais em cada símbolo equivalem ao erro padrão da média ($n=4$).

A diferença em dias para atingir o valor de RL_{50} desses herbicidas nas diferentes épocas de avaliação foi mínima, seguindo a ordem crescente de dias nos solos aos 7 DAE: Cambissolo (35 dias), Latossolo Vermelho-Amarelo (36 dias) e Argissolo (40 dias). E aos 14 DAE: Latossolo Vermelho-Amarelo (49 dias), Cambissolo (50 dias) e Argissolo (51 dias). A última avaliação 21 DAE: Cambissolo (51 dias), Latossolo Vermelho-Amarelo (57 dias) e Argissolo (59 dias).

Aos 7 DAE, não foi possível atingir 100% no nível de injúria nas plantas em nenhum dos solos avaliados (Figura 3). Esse resultado se deve ao mecanismo de ação do herbicida e as condições climáticas na qual o experimento foi conduzido. O oxyfluorfen é um herbicida inibidor da PROTOX, que necessita da presença de luz para a produção oxigênio singleto (O^{\cdot}), que destrói a membrana da célula, levando a morte da planta (HAO et al., 2011). Em baixas temperaturas e luminosidade, os sintomas no sorgo demoram mais a serem atingidos. Com o aumento da temperatura e luminosidade aos 14 e 21 DAE, os sintomas se intensificaram chegando a próximos a 100% de injúria nas plantas, em todos os solos avaliados (Figura 3).

O número de dias necessários para alcançar 50% no nível de injúria na espécie bioindicadora, foi maior aos 21 DAE em comparação aos 14 DAE, em todos os solos avaliados e diferenças muito pequenas foram encontrados no comportamento do efeito residual do oxyfluorfen, independente do solo, sendo aos 14 DAE < 52 dias e

aos 21 DAE < 60 dias. Esse comportamento pode ser explicado pela aplicação de uma baixa dose do herbicida (180 g i.a. ha⁻¹), escolhida com base para a cultura do alho, no qual o herbicida não é recomendado em bula.

A MSPA, foi submetida ao teste *F* da ANOVA, para verificar a significância da interação fatorial. Segundo essa análise, houve diferenças significativas entre ambos os fatores ($F=2,03400$; $p=0,01520$), e os tipos de solos afetaram o efeito residual do oxyfluorfen.

A GR₅₀ seguiu a mesma tendência da avaliação 7 e 21 DAE, com maior número de dias no solo de Curitibaanos que dos demais herbicidas, seguindo a ordem: Cambissolo (31 dias), Latossolo Vermelho-Amarelo (47 dias) e Argissolo (49 dias) (Figura 3). A GR₅₀ foi alcançada em menores dias no Cambissolo (31 dias) em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo, (49 e 47 dias, respectivamente) (Figura 3). Assim como os níveis de injúria, esse resultado pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade do oxyfluorfen na solução do Cambissolo em comparação os demais, sendo um sintoma do herbicida a redução do crescimento, diminuindo a MSPA, esse sintoma se intensificou no sorgo em menor tempo.

O Argissolo apresentou 64% e 26,8% maiores teores de argila em comparação ao Cambissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo, respectivamente (Tabela 4). Além disso, apresentou teores de MO cerca de 9 e 1,22 vezes maiores que esses solos, respectivamente. Esses diferentes atributos físico-químicos dos solos podem justificar o maior número de dias para alcançar a RL₅₀ no Argissolo na maioria das avaliações, e esse comportamento se repete na GR₅₀ com a ordem crescente de dias: Cambissolo (31 dias), Latossolo Vermelho-Amarelo (47 dias) e Argissolo(49 dias). O oxyfluorfen ao ficar mais retido nos colóides do Argissolo, resulta em mais tempo para causar as injúrias na espécie bioindicadora. O Cambissolo por possuir menores teores de argila e MO, a biodisponibilidade do herbicida pode ter sido maior na solução do solo, resultando em menos dias para causar injúria e reduzir a MSPA do sorgo.

O efeito residual do oxyfluorfen (720 g i.a. ha⁻¹) em solos contrastantes foi avaliado por Melo et al. (2010), e os autores observaram 50% de injúria no sorgo aos 60 DAA em solos de textura argilosa (9% de MO e 56% de argila) e 90% de injúria em solo de textura franco arenosa (0,4% de MO e 14% de argila). Resultados distintos foram encontrados no seguinte estudo, podendo ter relação com a dose, condições climáticas, teor de água no solo, atividade microbiológica desses solos. Assim, é de

grande importância todos esses fatores na avaliação do comportamento dos herbicidas residuais (MENDES et al., 2019).

Ao analisar o efeito residual do oxyfluorfen em solos constrictantes, Inoue et al. (2011) observaram que a dose de 480 g i. a. ha⁻¹ do herbicida resultou em injúria acima de 80% aos 56 DAA em solo argiloso e aos 36 DAA em arenoso, utilizando a espécie *Urochloa decumbens* (espécie bioindicadora). Esses estudos contribuem para evidenciar o menor número de dias para alcançar a RL₅₀ no Cambissolo em comparação aos outros solos, pois o aumento da biodisponibilidade do herbicida resultam no controle da espécie bioindicadora em menor período de tempo.

Os microrganismos do solo têm grande importância na degradação do oxyfluorfen. Segundo estudo com *Azotobacter chroococcum* em meio de sal mineral esterilizado, a bactéria degradou mais de 60% desse herbicida em 7 dias (CHAKRABORTY et al., 2002). A avaliação do potencial de degradação microbiológica do oxyfluorfen em diferentes temperaturas, foi observada por Mohamed et al. (2011), e os resultados indicaram que a biodegradação do oxyfluorfen em solo incubado à 40°C após 45 dias de incubação foi melhor (55,2-78,3%) do que em solo incubado à 28°C (17,5-36,6%). Espécies importantes com capacidade de degradação do oxyfluorfen em 21 dias foram: *Bacillus* spp., com capacidade de degradação entre 80-95,6%, seguido por *Pseudomonas* spp. (82,2%) e *Arthrobacter* spp. (82,2%). Esses autores mencionaram, que esses microrganismos foram considerados potenciais para o uso de descontaminação de locais poluídos com oxyfluorfen, devido a capacidade de degradação do herbicida.

Além da atividade microbiológica, outros fatores como temperatura, umidade e exposição a radiação solar afetam a degradação do oxyfluorfen. Segundo Rodrigues e Almeida (2018), o efeito residual do oxyfluorfen tende a ser mais prolongado em ambientes com alta umidade e protegido de raios solares, pois uma das importantes rotas de degradação do oxyfluorfen é a fotólise. Assim, a ação prolongada do oxyfluorfen no diferentes solos, possivelmente em razão do experimento ser conduzido em ambiente protegido, mantidos próximos a capacidade de campo, por meio de irrigações diárias. Dados de menores efeitos residuais podem ser encontrados quando o experimento for conduzido em campo sob incidência direta dos raios solares.

Com a avaliação do efeito residual do herbicida foi possível avaliar o tempo de disponibilidade do herbicida do solo que está causando efeito na espécie bioindicadora, contudo, é importante salientar que o tempo de persistência da molécula é maior que o efeito residual, podendo estar presente no solo na forma de resíduos ligados, transformados em outros metabólitos, dentre outras formas, e que as práticas de manejo do solo tem relação direta com a disponibilidade dos herbicidas. A adição de compostos orgânicos ao solo e a relação com o efeito residual do oxyfluorfen, foi observada por Sousa (1996), e como resultado houve incremento na sorção do herbicida e aumento da atividade microbiana na degradação, provocando menor efeito tóxico na espécie bioindicadora, portanto, houve uma diminuição no efeito fitotóxico na espécie bioindicadora de 140 para 110 dias.

Estudos de comportamento do oxyfluorfen ainda são escassos na literatura científica, contudo, como é um herbicida posicionado em PRE e é inibidor da PROTOX, é importante a continuação do estudo com esse herbicida, uma vez que esse mecanismo de ação é indispensável, afim de evitar o desenvolvimento de biótipos de plantas daninhas resistentes. Segundo Hao et al., (2011), os herbicidas inibidores da PROTOX tende a selecionar plantas daninhas com resistência em um nível muito mais lento que os demais herbicidas.

5.1.2. Linuron

Os sintomas do efeito residual do linuron causados na espécie bioindicadora pepino (*Cucumis sativus*) aos 21 DAE foram: clorose primeiramente observada nas nervuras e evoluindo entre as nervuras das folhas, seguida de necrose e morte das plantas. Os sintomas foram diminuindo com o aumento do tempo de aplicação do herbicida (Figura 4).

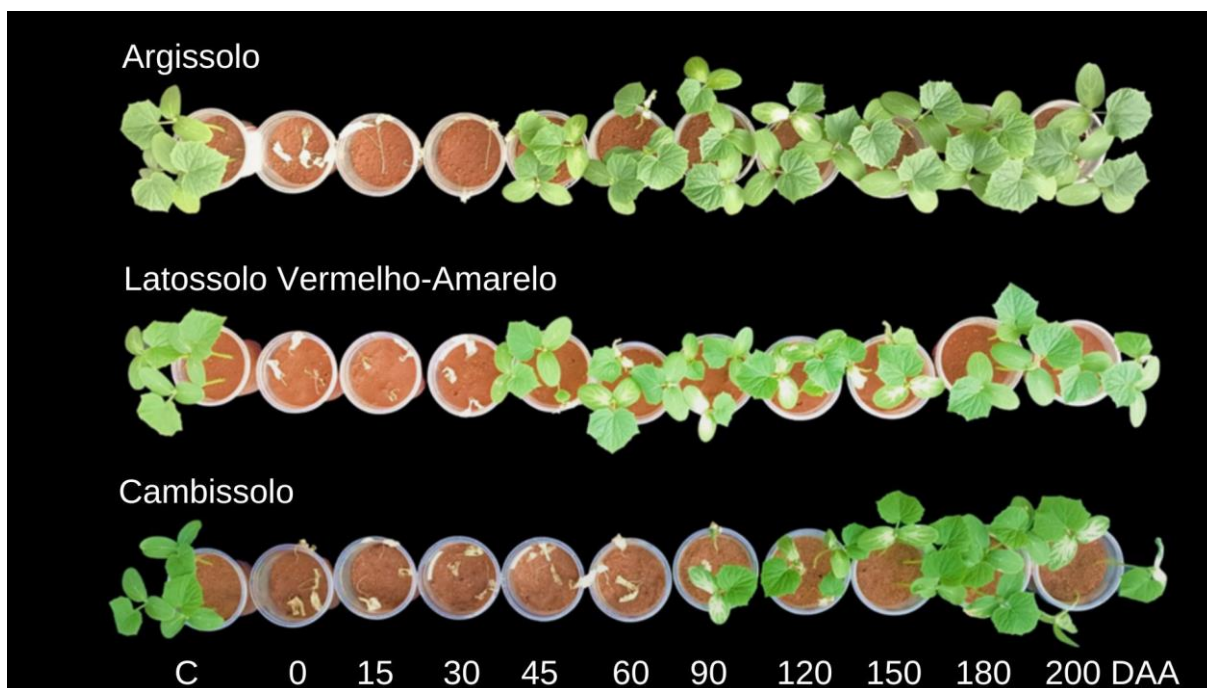
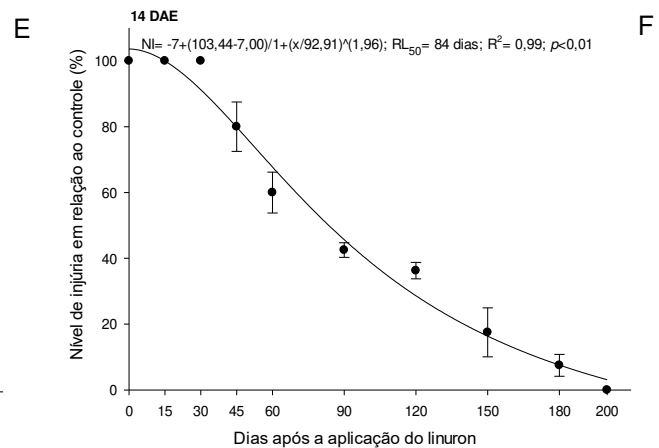
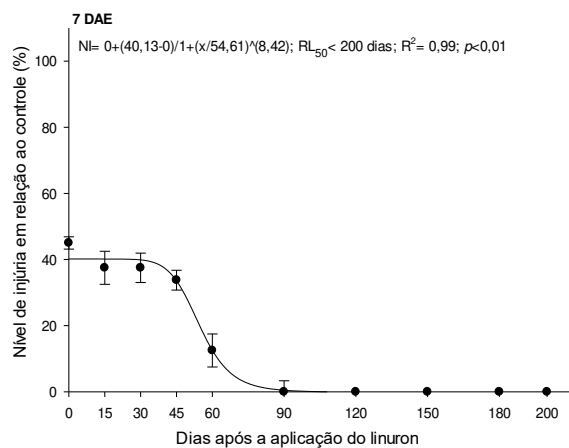
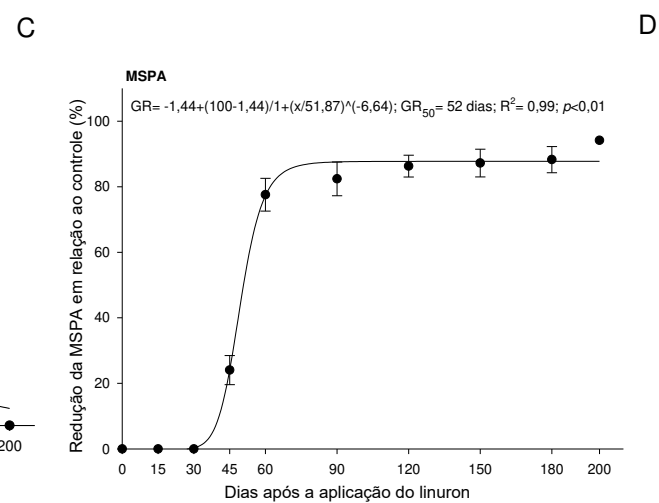
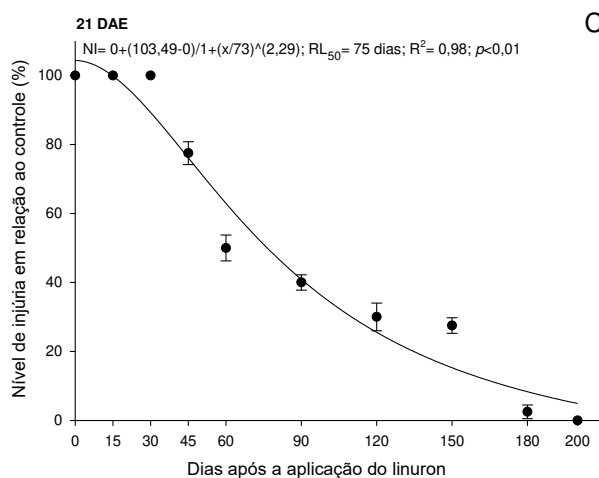
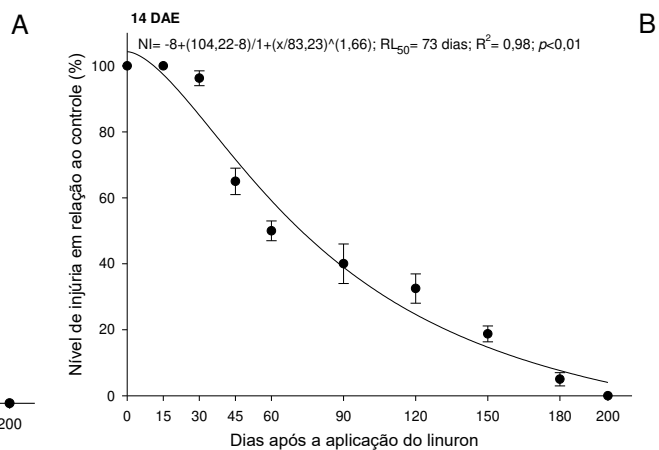
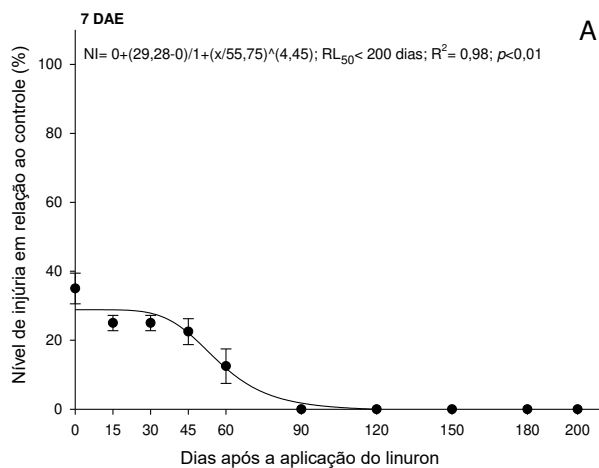


Figura 4. Sintomas de injúrias causadas pelo efeito residual do linuron no pepino (*Cucumis sativus*) em 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 dias após a aplicação (DAA) do herbicida em comparação com o tratamento controle (C), no Argissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo, respectivamente.

O comportamento da curva do nível de injúria em *G. parviflora* causada pelo linuron aos 7, 14 e 21 DAE, foi semelhante no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo, apresentando aos 14 e 21 DAE, morte da planta até aos 30 DAA. As injúrias reduziram para aproximadamente 50-60% no Argissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo, respectivamente, aos 45 DAA. Aos 200 DAA do linuron, não foi observado mais efeito residual nesses solos. No Cambissolo, o comportamento do herbicida foi diferente, a morte da planta foi observada até aos 60 DAA, e aos 200 DAA, ainda havia resíduos de linuron no solo (Figura 5). Aos 7 DAE, não foi possível observar altos valores de nível de injúria em nenhum dos solos, mas foi observado aos 14 e 21 DAE em todos os solos (Figura 5).



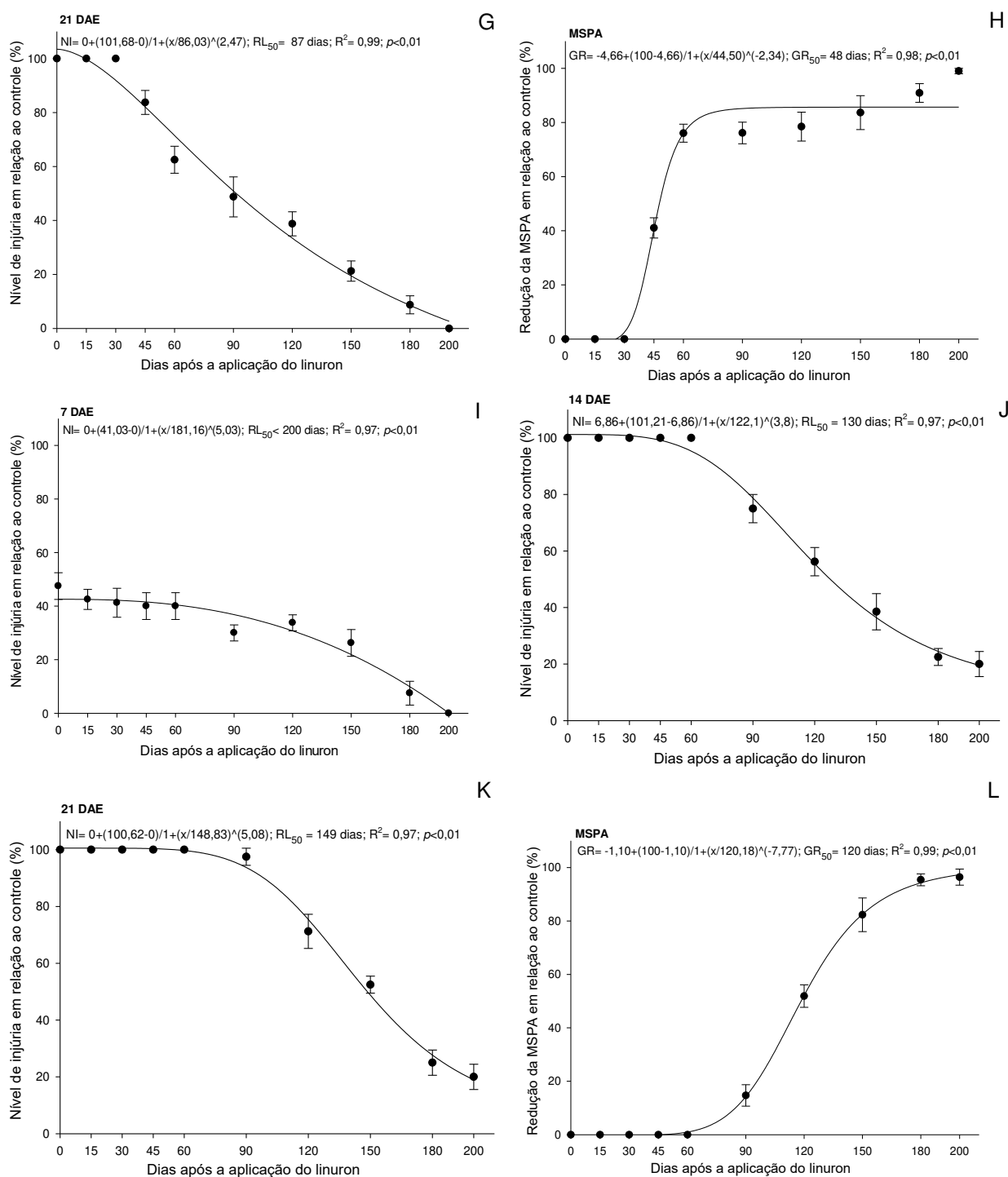


Figura 5. Efeito residual do linuron ($810 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), e os valores do tempo residual da meia-vida com 50% de injúria (RL_{50}) no sorgo (*Sorghum bicolor*) aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) e redução da matéria seca da parte aérea (MSPA) em 50% (GR_{50}) em relação ao tratamento controle, no Argissolo (A, B, C e D), Latossolo Vermelho-Amarelo (E, F, G e H) e Cambissolo (I, J, K e L) aos 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 dias após a aplicação (DAA). Quando necessário, os parâmetros foram normalizados pelo ajuste da equação de regressão. As barras verticais em cada símbolo equivalem ao erro padrão da média ($n=4$).

De acordo com os resultados, não foi possível encontrar a RL₅₀ do linuron aos 7 DAE em nenhum dos solos avaliados (>200 dias). Isso pode ser explicado pela redução da temperatura e luminosidade nos dias após a emergência da espécie bioindicadora. O linuron é um herbicida inibidor do fotossistema II (FSII), que depende da incidência luminosa para intensificação dos sintomas, e é necessário que ocorra o acúmulo de energia nas moléculas de clorofila advindo da energia solar. Esse acúmulo de energia em conjunto com o oxigênio formam espécies reativas (*Reactive Oxygen Species*, ROS) que danificam a membrana celular e causam a morte da planta (OLIVEIRA, 2011). Portanto, as condições climáticas explicam os sintomas aparecerem de forma mais lenta na avaliação aos 7 DAE.

Com o aumento da temperatura e luminosidade, os sintomas causados pelo linuron se intensificaram na espécie indicadora aos 14 DAE, com sintomas de injúria de 100% aos 0 e 15 DAA do herbicida em todos os solos (Figuras 4 e 5). Contudo, para alcançar a RL₅₀, foi necessário um período de tempo muito maior (130 dias) no Cambissolo, em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo (84 dias) e Argissolo (73 dias). O linuron permanece menos sorvido no Cambissolo, essa maior disponibilidade do herbicida na solução do solo resulta em morte da espécie bioindicadora até aos 60 DAA do herbicida. Tal fato, aumenta o intervalo de dias após a aplicação para alcançar a RL₅₀. Como o Argissolo tem maiores teores de argila MO, o herbicida se liga as partículas de solo e impede o efeito residual por longo período. O Latossolo Vermelho-Amarelo, por sua vez, tem teores altos de argila e MO, contudo, menores que o Argissolo, e esse resultado corrobora com o maior número de dias para alcançar a RL₅₀ desse herbicida, pois os sintomas na planta foram mais intensos nesse solo.

De acordo a ANOVA, houve interação significativa entre os fatores ($F=15,57740$; $p=2,28 \times 10^{-20}$), e os tipos de solo afetaram o efeito residual do herbicida. De acordo com os resultados, as GR₅₀ foram próximos no Argissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com valores de 52 e 48 dias, respectivamente. Contudo, no Cambissolo esse valor foi de 120 dias. Isso ocorreu devido ao efeito residual do linuron no Cambissolo matar a planta até 60 dias após a aplicação do herbicida, aumentando os dias para atingir a GR₅₀. Como o herbicida ficou mais retido no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo, a morte completa da planta foi apenas em 30 DAA do herbicida e a GR₅₀ foi alcançada em tempos menores (Figuras 4 e 5).

O linuron é um herbicida pouco solúvel em água, as interações hidrofóbicas com a MO do solo diminuem efeito residual desse herbicida nos solos. Entre as frações da MO do solo, as substâncias húmicas são os principais sorventes dos herbicidas (OLIVEIRA, 2011). Quanto maior o valor K_{ow} do herbicida, maior seu potencial de retenção em superfícies hidrofóbicas, como a MO do solo (maior grau de humificação) (OLIVEIRA, 2011; PRADO et al., 2013). Na literatura científica há relatos de correlação positiva entre o C aromático dos ácidos húmicos e os valores K_{oc} dos herbicidas (EBELING et al., 2011; MITCHELL e SIMPSON, 2013). Para o linuron, Dorado et al. (2005) encontraram maior afinidade de retenção em solos com ácidos húmicos.

As avaliações aos 21 DAE demonstraram os resultados próximos de 14 DAE, com pequenos aumentos na RL_{50} em 75, 92 e 149 dias para o Argissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo, respectivamente. Esse aumento dos dias para alcançar a RL_{50} se devem principalmente pela evolução dos sintomas na espécie bioindicadora, principalmente nos primeiros dias após a aplicação do herbicida. A maior atividade microbiana ocorre em solos com maiores teores de MO, além da maior sorção do linuron ocorrer no argissolo, é provável que a maior degradação microbiana também ocorra, diminuindo o efeito residual do linuron nesse solo em comparação com o Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo.

Assim como o oxyfluorfen, a degradação do linuron é influenciada pela atividade microbiológica do solo (GRENNI et al., 2009; CYCOÑ et al., 2010). Alguns microrganismos de solo são capazes de utilizar herbicidas derivados da ureia como fonte de nitrogênio para suprir as necessidades energéticas. Contudo, estudos de Breugelmans et al. (2007) mostraram que a degradação do linuron foi realizada por um grupo de bactérias que interagem metabolicamente e não por cepas individuais.

Outro fator importante é que o Argissolo e o Latossolo Vermelho-Amarelo são solos que se cultivam alho, e a utilização do linuron no manejo de plantas daninhas é frequente nesses solos. O Cambissolo, por sua vez, não ocorre a utilização desse herbicida. Com isso, ocorre pressão de seleção do linuron sobre a microbiota no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo, podendo estar selecionando microrganismos mais adaptados em degradar esse herbicida, isso resulta em menor efeito residual do linuron nesses solos em comparação ao Cambissolo. Resultados semelhantes, foram encontrados por Medo et al., 2021, no qual a utilização do linuron alterou a composição microbiana do solo, com abundância de Proteobacteria, particularmente

os gêneros de *Pseudomonas* e *Achromobacter*. Além disso, foi observado aumento da expressão de genes microbianos relacionados a vias de degradação de xenobióticos.

Um estudo demonstrou que o linuron possui baixa solubilidade e mobilidade, como consequência se mantém nas camadas superficiais do solo (0-10 cm), sendo encontrados 70% após 245 dias. Os principais metabólitos detectados foram DCPMU [3-(3,4-diclorofenil)-1-metilureia] e DCA (3,4-dicloroanilina) Além disso, as perdas por volatilização do linuron são mínimas (GUZZELLA, 2006). Esse estudo contribui para demonstrar que a principal forma de degradação do herbicida no solo é por atividades microbiológicas.

A atividade microbiológica, quando avaliada em campo tende a ser mais intensa que em ambiente protegido. Com isso, a degradação do linuron tende a ser mais rápida. Estudos desenvolvidos por Novo (2020), em solos com teores de 4% de MO, mostraram que a dose 2000 g i.a. ha⁻¹ que o nível de injúria causado pelo herbicida tende a ser elevada aos 28 dias, causando morte da espécie bioindicadora, contudo, não causou fitotoxicidade na espécie bioindicadora aos 42 DAA. No seguinte estudo, até 120 dias em solos com teores próximos de MO (Argissolo) ainda havia nível de injúria leve na espécie bioindicadora.

Esse estudo evidência que os diferentes atributos físico-químicas dos solos interferem no efeito residual do linuron, no controle de plantas daninhas e na degradação da molécula no solo.

5.2. Controle de *Galinsoga parviflora* com aplicação de oxyfluorfen, linuron e flumioxazin

5.2.1. Oxyfluorfen

Doses crescentes do oxyfluorfen promoveram aumento nos níveis de injúria de *G. parviflora* e redução MSPA no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo. Além disso, a aplicação em PRÉ da planta daninha, resultou no controle da espécie em doses reduzidas, como pode ser observado na avaliação aos 21 DAE (Figura 6).

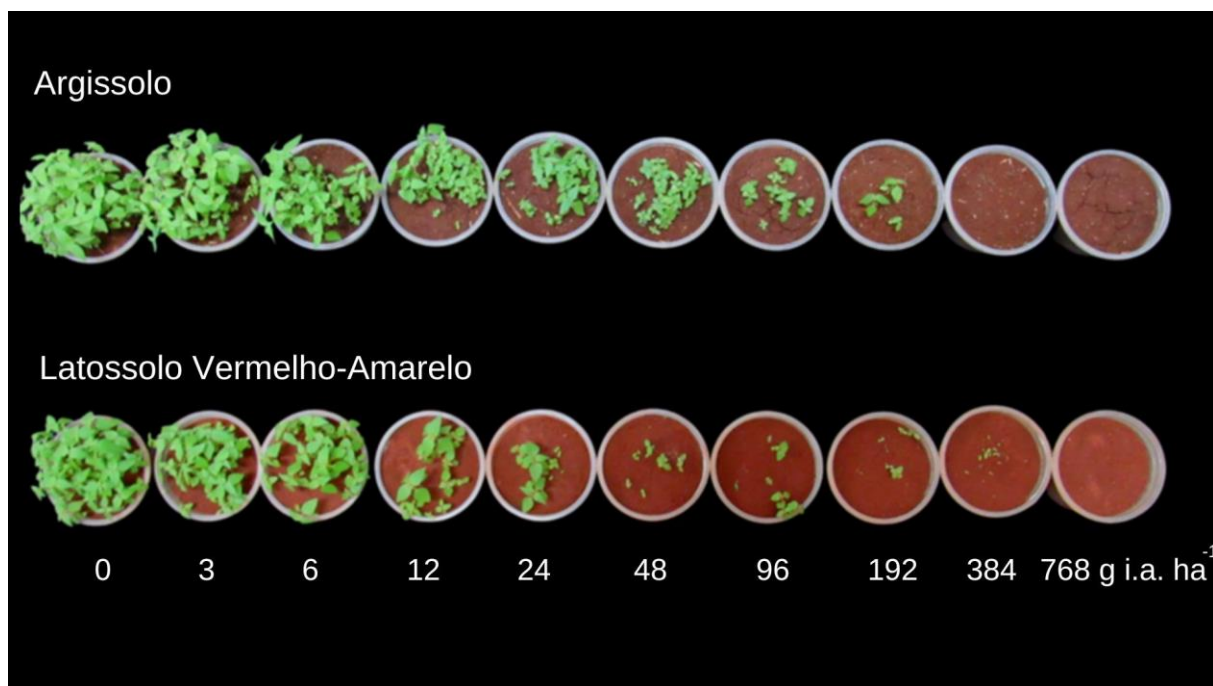


Figura 6. Nível de controle de botão de ouro (*Galinsoga parviflora*) sob doses crescentes de oxyfluorfen (0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384 e 768 g i.a. ha⁻¹) aplicados em pré-emergência no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo.

O comportamento da curva de injúria em *G. parviflora* causada pelo oxyfluorfen foi semelhante aos 7, 14 e 21 DAE no Argissolo, sendo que o aumento da dose do oxyfluorfen resultou em aumento do nível de injúria na *G. parviflora*. Até a dose de 24 g i.a. ha⁻¹ não ocorreu controle satisfatório em nenhuma época de avaliação, apresentando controle da espécie menor ou igual a 60%. Contudo, quando a dose foi aumentada para 96 g. i. a. ha⁻¹, o controle foi maior que 80% em todas as avaliações. No Argissolo Vermelho-Amarelo, o comportamento do herbicida foi semelhante nas avaliações aos 7,14 e 21 DAE, em que apenas 12 g i.a. ha⁻¹ provocou 60% de injúria na *G. parviflora* e 24 g i.a. ha⁻¹ proporcionou >80% de injúria da espécie (Figura 7).

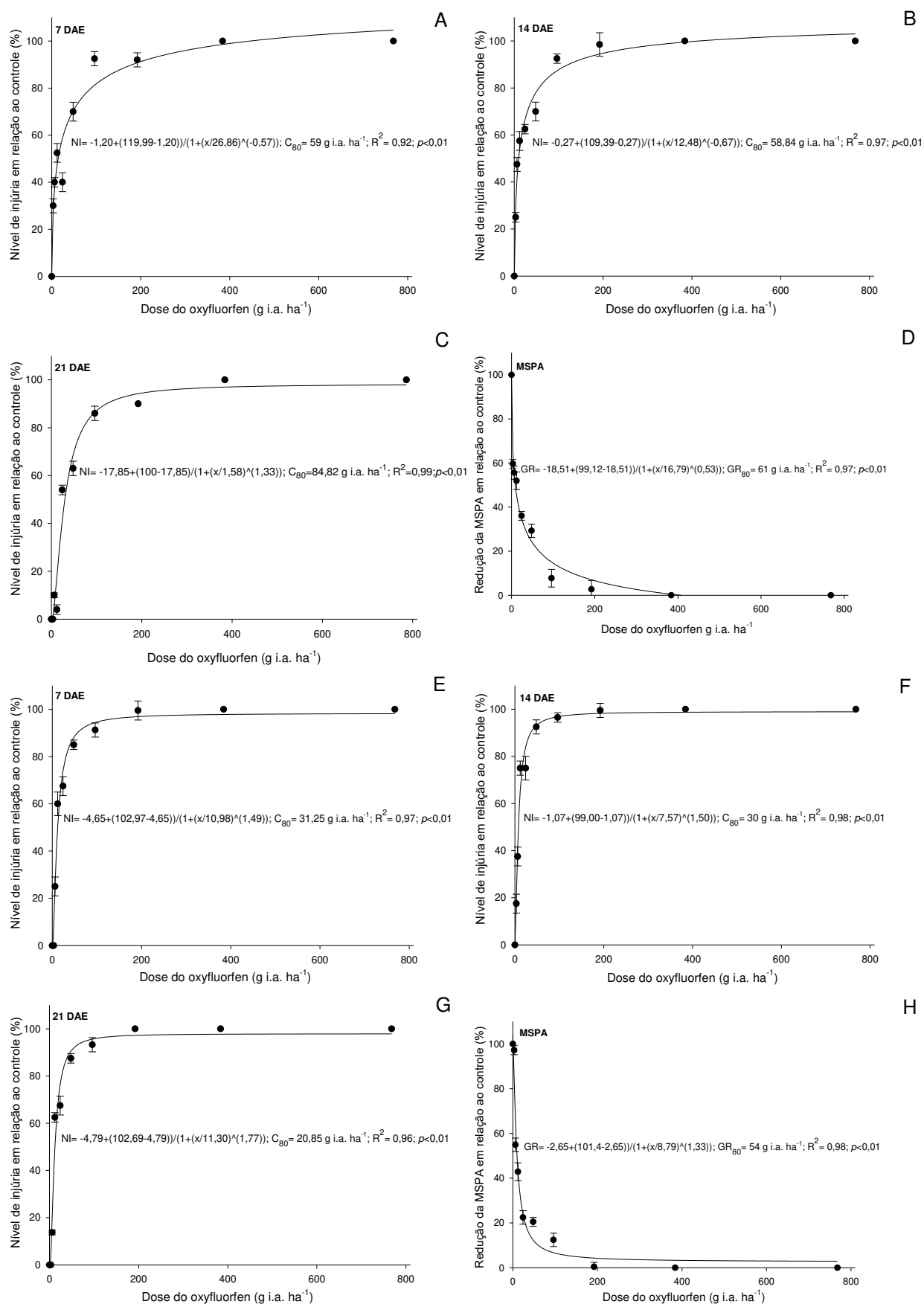


Figura 7. Nível de injúria de controle de botão de ouro (*Galinsoga parviflora*) aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) e redução da matéria seca da parte aérea (MSPA), no Argissolo (A, B, C e D) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (E, F, G e H)

sob as doses de oxyfluorfen (0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384 e 768 g i.a. ha⁻¹). As barras verticais de cada símbolo equivalem ao erro padrão da média ($n=4$).

A espécie *G. parviflora* precisou de 59; 58,84 e 84,82 g i.a. ha⁻¹ de oxyfluorfen para alcançar a C₈₀ aos 7, 14 e 21 DAE, respectivamente, no Argissolo e 31,25; 30 e 20,85 g i.a. ha⁻¹ no Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 7). Doses mais altas foram necessárias no Argissolo para alcançar a C₈₀, quando comparado ao Latossolo Vermelho-Amarelo, em todas as épocas de avaliação.

De acordo com a ANOVA, houve diferença significativa entre os solos e a dose do oxyfluorfen ($F=5,94300$; $p=0,000006$) para reduzir a MSPA da *G. parviflora*. Os valores da GR₈₀ no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo foram iguais a 61 e 54 g i.a. ha⁻¹, respectivamente (Figura 7).

Aos 21 DAE, foi necessário doses maiores para causar C₈₀ no Argissolo em comparação aos 7 e 14 DAE, e esse fator pode estar relacionado a maior sorção do herbicida com o tempo, diminuindo a disponibilidade na solução do solo. O oxyfluorfen apresenta baixa solubilidade em água (0,116 mg L⁻¹ a 20 °C), alto K_{oc} (3,46–4,13 L Kg⁻¹) e K_{ow} (log K_{ow} = 4,86) (EFSA, 2010). Devido a essas propriedades, o oxyfluorfen é sorvido à maioria dos solos e possui forte ligação com a MO, argila e CTC; e é considerado como pouco móvel a imóvel no solo (EFSA, 2010; MANTZOS et al.; 2014). Como o oxyfluorfen é quase insolúvel em água e tem tendência a sorver no solo, ele será sorvido em partículas suspensas ou sedimentos se atingir os recursos hídricos (MANTZOS et al.,2014).

Aspectos relacionados aos atributos físico-químicas desses solos podem explicar a diferença da dose de controle. O Argissolo apresenta teores de argila de 26,8%, MO de 0,8% maiores e 1,66 vezes maior CTC que o Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabela 4).

O oxyfluorfen, é um herbicida não ionizável (neutro) que, em solução, permanece na forma molecular, não sofrendo influência do pH (MANTZOS et al., 2014). Contudo, a MO e argila tem forte relação com a sorção dos herbicidas no solo.

A MO além de ser o principal sítio em que os resíduos ligados são formados, assim como a argila, possui uma alta superfície específica capaz de reter fortemente os herbicidas, com isso, há uma menor biodisponibilidade do produto na solução do solo, resultando em menor eficiência no controle da plantas daninhas (CHRISTOFFOLETI, 2008).

O oxyfluorfen é pouco solúvel em água (0,116 mg L⁻¹ a 20°C) (PPDB, 2022c) e fortemente sorvido nos colóides do solo. Por isso, a eficiência de controle do herbicida, mesmo em doses baixas, está relacionada ao teor de umidade do solo. Por isso, esse herbicida tem demonstrado bom controle em culturas irrigadas (GUERRA, 2020). O mesmo autor menciona que quando o solo está seco pode ocorrer a germinação das plantas daninhas, contudo, assim que ocorrer chuva ou irrigação, ocorre morte ou controle.

Alguns estudos foram realizados com finalidade de avaliar as doses que seriam eficientes no controle de plantas daninhas com oxyfluorfen. Doses de 170 g i.a. ha⁻¹ foram eficientes no controle total do caruru roxo (*Amaranthus hybridus*) e também botão de ouro (*G. parviflora*). Outro estudo realizado em condições de solo argiloso, com 5,2% de MO demonstrou que 115 g i.a. ha⁻¹ apresentou controle satisfatório de plantas daninhas, e dose de 173 g i.a. ha⁻¹ foi suficiente para um controle de 90% das espécies presentes em campo (FERREIRA et al.,1993). Ao avaliar o controle de plantas daninhas na POS da cultura do alho, Barbosa (2021) observou que mesmo não sendo recomendado em bula, o oxyfluorfen em doses reduzidas 36 e 48 g i.a. ha⁻¹ tem o potencial de uso em POS do alho, uma vez que não afetou a produtividade total e nem a classificação comercial dos bulbos.

O oxyfluorfen apresenta um grande potencial de uso na cultura do alho, isso se deve ao efeito herbicida de amplo espectro, com capacidade de controle de um grande número de espécies de plantas daninhas. Estudo com a aplicação de oxyfluorfen + quizalofop-etil (150 + 50 g i.a. ha⁻¹) registraram densidade mínima de plantas daninhas nos estádios de crescimento da cultura do alho. Esse tratamento com herbicida registrou a máxima eficiência de controle de plantas daninhas (84,17%) e resultou no aumento da produtividade de bulbos de alho (SIDDHU, 2018).

Contudo, a eficiência de controle do oxyfluorfen e a dose é dependente da sensibilidade das espécies de plantas daninhas presentes na área, do teor de MO e argila dos solos, além da umidade do solo. A utilização de doses baixas do oxyfluorfen é importante no controle de plantas daninhas na cultura do alho, uma vez que esse herbicida não é recomendado para a cultura, e em doses altas pode causar efeito de *carryover* nas culturas sensíveis em sucessão.

5.2.2. Linuron

O linuron apresentou bom controle da *G. parviflora* em doses reduzidas. A figura 8 demonstra o controle da espécie aos 21 DAE, com a aplicação de diferentes doses em PRÉ da planta daninha.

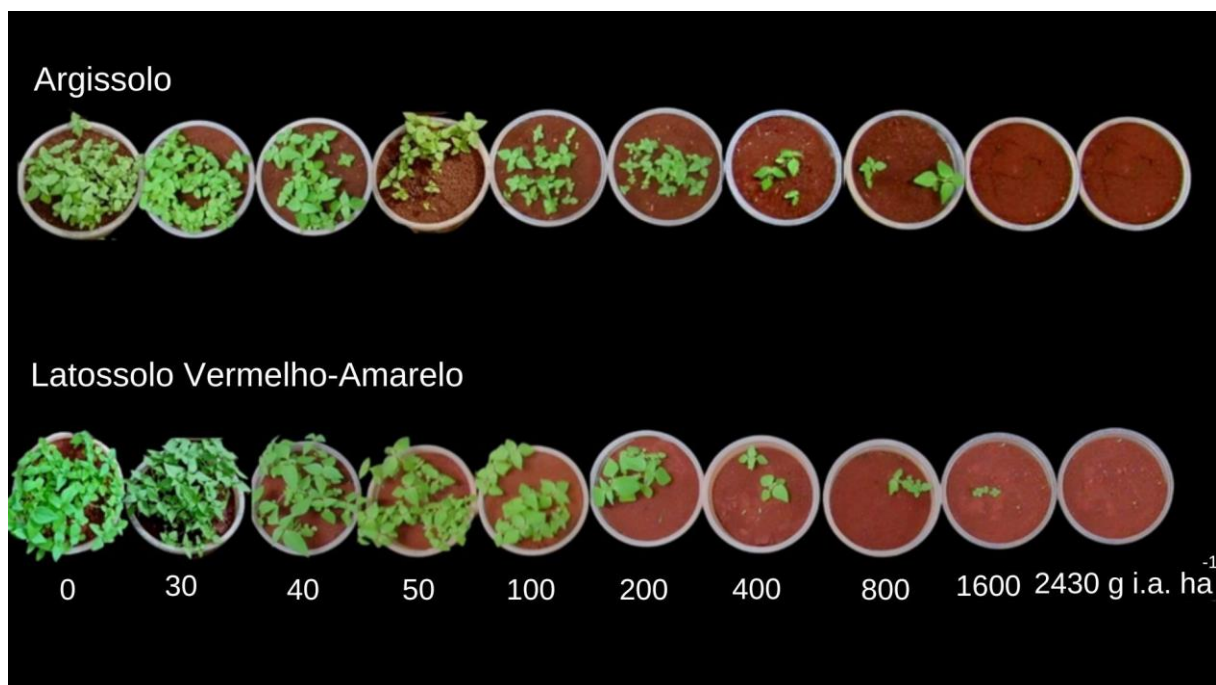


Figura 8. Nível de ontrole de *Galinsoga parviflora* sob doses crescentes de linuron (0, 30, 40, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 e 2430 g i.a. ha⁻¹) aplicados em pré-emergência da espécie no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo.

O comportamento da curva de injúria em *G. parviflora* causada pelo linuron foi semelhante nos dois solos, aos 7, 14 e 21 DAE (Figura 9). A dose de 100 g i.a. ha⁻¹ foi capaz de causar injúrias de 60% ou próximo a esse valor. Quando foi dobrada a dose do herbicida (200 g i.a. ha⁻¹), o controle aumentou para acima de 80%; e doses de ≥ 400 g i.a. ha⁻¹ controlaram a planta daninha a valores próximos de 100%. Contudo, doses um pouco maiores aos 21 DAE foram necessárias no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo, para alcançar o mesmo nível de injúria, como observada na C₈₀ (Figura 9).

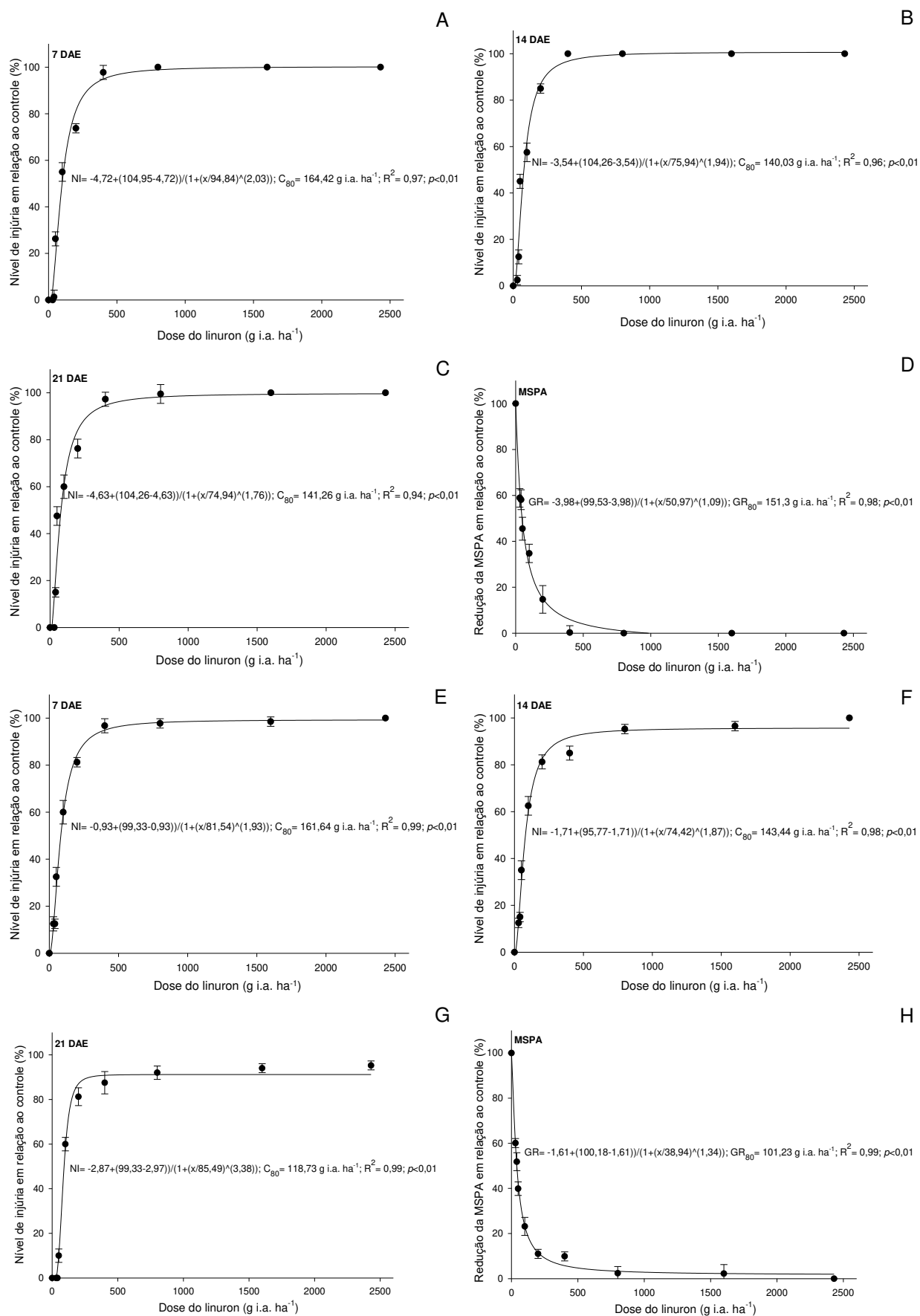


Figura 9. Nível de injúria de controle de *Galinsoga parviflora* aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) e redução da massa seca da parte aérea (MSPA), nos solos de

Argissolo (A,B,C e D) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (E, F, G e H) sob as doses de linuron (0, 30, 40, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 e 2430 g i.a. ha). As barras verticais equivalem ao erro padrão da média ($n=4$).

De acordo com a ANOVA, na MSPA, houve interação significativa entre o solo e a dose do linuron ($F=2,52600$; $p=0,01583$). O Argissolo apresentou $GR_{80}=151,3$ g i.a. ha⁻¹ no controle da planta daninha e o Latossolo Vermelho-Amarelo teve $GR_{50}=101,23$ g i.a. ha⁻¹ (Figura 9).

O linuron, assim como o oxyfluorfen é um herbicida não iônico e a sorção do herbicida no solo e o controle de plantas daninhas é influenciado principalmente pelos teores de argila, MO e CTC (BRÜCHER e BERGSTRÖM; 1997). Esse comportamento explica as maiores doses no Argissolo em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo.

Um estudo realizado por Mantzos et al.,(2014) teve o objetivo de avaliar o comportamento do linuron com a adição de resíduos orgânicos nos solos (esterco de ovelha compostado e vinhaça de beterraba). Como resultado, esses resíduos melhoraram a atividade microbiana no solo e aumentou a sorção do herbicida, devido aos fenômenos de sorção e reações químicas que ocorrem nas superfícies ativas de partículas minerais e húmus (MANTZOS et al., 2014). A argila também pode atuar como sorventes importantes do linuron, especialmente em solos em que o teor de MO é baixo (WAUCHOPE et al., 2002).

A avaliação de injúria em espécie indicadora foi avaliada em dois solos com o mesmo teor de MO (1,25%) e teores diferentes de argila (30% e 50%), e demonstrou que quando aplicado em PRÉ (750 g. i.a. ha⁻¹), a injúria na espécie indicadora foi menor e mais curta em solos com 50% de argila do que com 30% (VOUZOUNIS et al.,1995). Esse estudo mostra a importância da argila na sorção do linuron.

Por outro lado, a água concorre com locais de superfície do solo. Em condições secas (solos sem cobertura morta), os solos tornam-se extremamente sortivos aos herbicidas não polares, como o linuron (NAVARRO et al., 2009). Portanto, a umidade do solo é muito importante na disponibilidade do herbicida e melhorar a eficiência de controle.

A eficiência de controle do linuron na cultura do alho, posicionado em PRE das plantas daninhas foi avaliada na aplicação de dose 1000 g i.a. ha⁻¹ (DEUBER et al., 1983). O herbicida mostrou eficiente no controle de eudicotiledôneas, acima de 95% até aos 84 dias após a aplicação, contudo, foi insatisfatório para monocotiledoneas com 66,7% de controle (DEUBER et al., 1983). Outro estudo

demonstrou eficiência de controle do linuron na dose de 720 g i.a. ha⁻¹, posicionado na POS da cultura do alho sem afetar a produtividade da cultura (BARBOSA, 2021). Doses menores do linuron podem ser utilizadas no controle em PRE das plantas daninhas eudicotiledôneas, dependendo da sensibilidade das espécies, portanto, a importância do levantamento fitossociológico, antes do posicionamento e escolha dos herbicidas.

Em comparação ao oxyfluorfen, a diferença de doses do linuron foram menores nos diferentes solos. Esse comportamento pode estar relacionado a maior solubilidade do linuron (63,8 mg L⁻¹) em comparação ao oxyfluorfen (0,116 mg L⁻¹), permitindo que esse herbicida fique menos retido nos colóides do solo (PPDB, 2022b c).

Apesar do linuron ser mais solúvel que o herbicida oxyfluorfen, foi necessário doses maiores no controle da espécie *G. parviflora*. Essa diferença tem relação com o mecanismo de ação de cada herbicida. O oxyfluorfen atua inibindo a enzima PROTOX. Esse produto quando aplicado em PRÉ forma uma barreira na superfície do solo e age por contato, as plântulas emergem e morrem após entrar em contato com o herbicida (GUERRA, 2020). O linuron atua como inibidor do FSII, e é sistêmico e absorvido principalmente pelas raízes (CORREIA, 2021). Por isso, necessita de maior desenvolvimento da planta daninha e acúmulo de biomassa para absorção do herbicida, pois atua na planta depois de haver maior atividade fotossintética. Um estudo realizado por Voll (1990) concluiu que a absorção do linuron pelas raízes parece ser passiva e governada pela absorção de água no solo. Esse comportamento diferencial explica a maior dose do linuron em relação ao oxyfluorfen.

5.2.3 Flumioxazin

A espécie *G. parviflora* foi mais sensível ao flumioxazin que ao linuron e oxyfluorfen. Aos 21 DAE, pode-se observar um excelente controle da planta daninha em doses reduzidas (Figura 10).

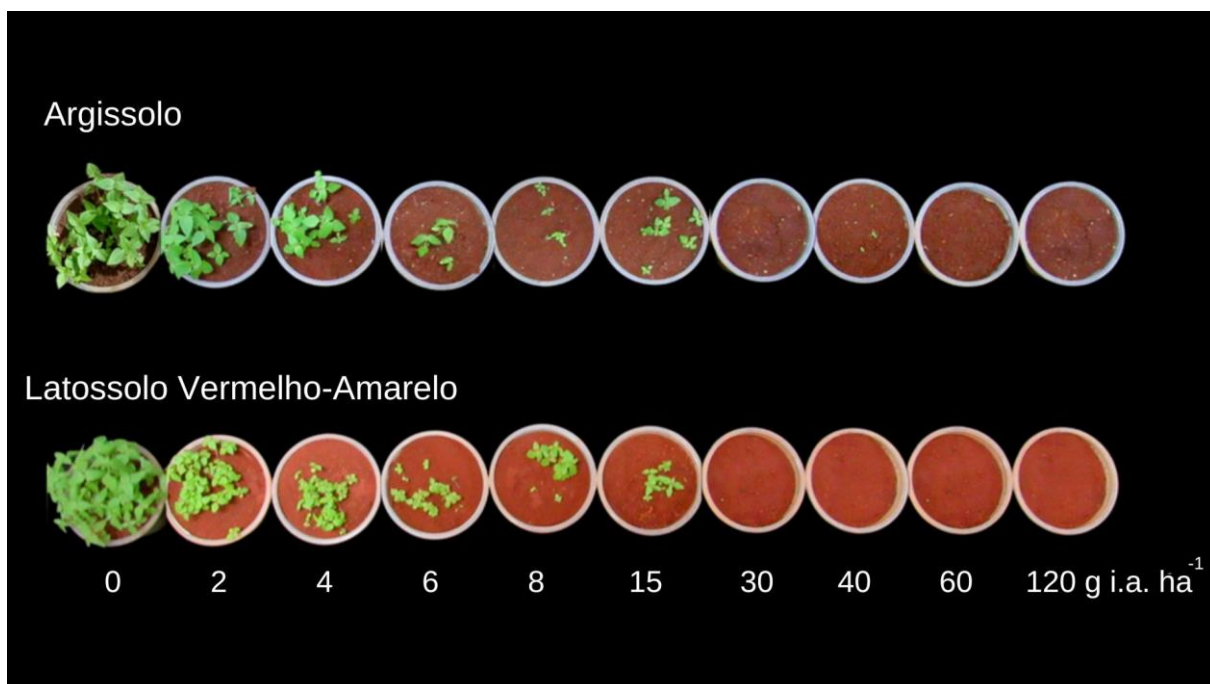
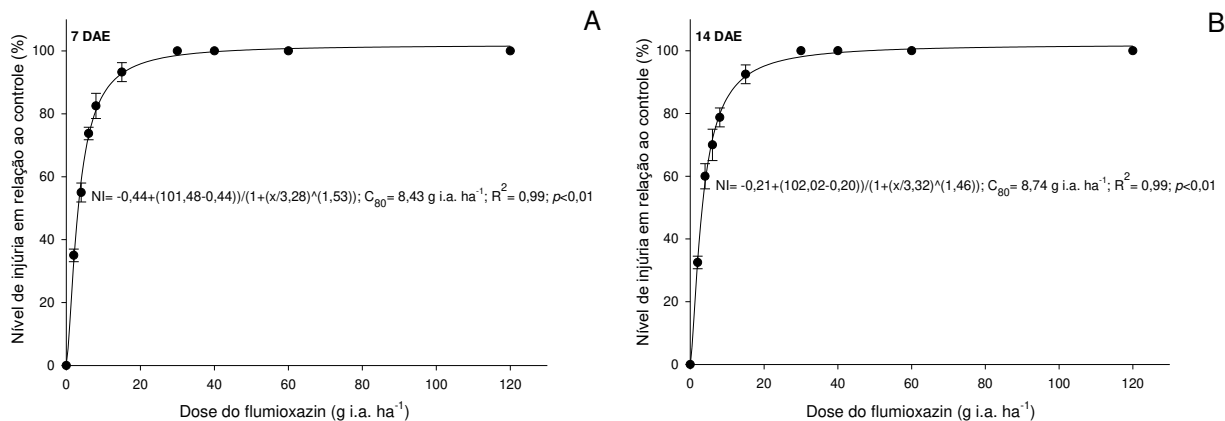


Figura 10. Nível de controle de *Galinsoga parviflora* sob doses crescentes de flumioxazin (0, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 40, 60 e 120 g i.a. ha⁻¹) aplicados em pré-emergência da espécie no Argissolo e no Latossolo Vermelho-Amarelo.

O comportamento da curva de injúria na *G. parviflora* pelo flumioxazin no Argissolo teve um comportamento semelhante aos 7, 14 e 21 DAE. Até a dose 4 g i.a. ha⁻¹ no solo de Curitiba não ocorreu um controle satisfatório, com aproximadamente 60%. Contudo, apenas 8 g i.a. ha⁻¹ foi eficiente para causar injúrias acima de 80% na *G. parviflora*. No Latossolo Vermelho-Amarelo o comportamento da curva de injúria da *G. parviflora* pelo flumioxazin foi diferente, menores doses causaram um controle eficaz da espécie, em que: 4 g i.a. ha⁻¹ causou injúrias maiores que 70% e 8 g i.a. ha⁻¹ causou quase 100% de injúrias na espécie (Figura 11).



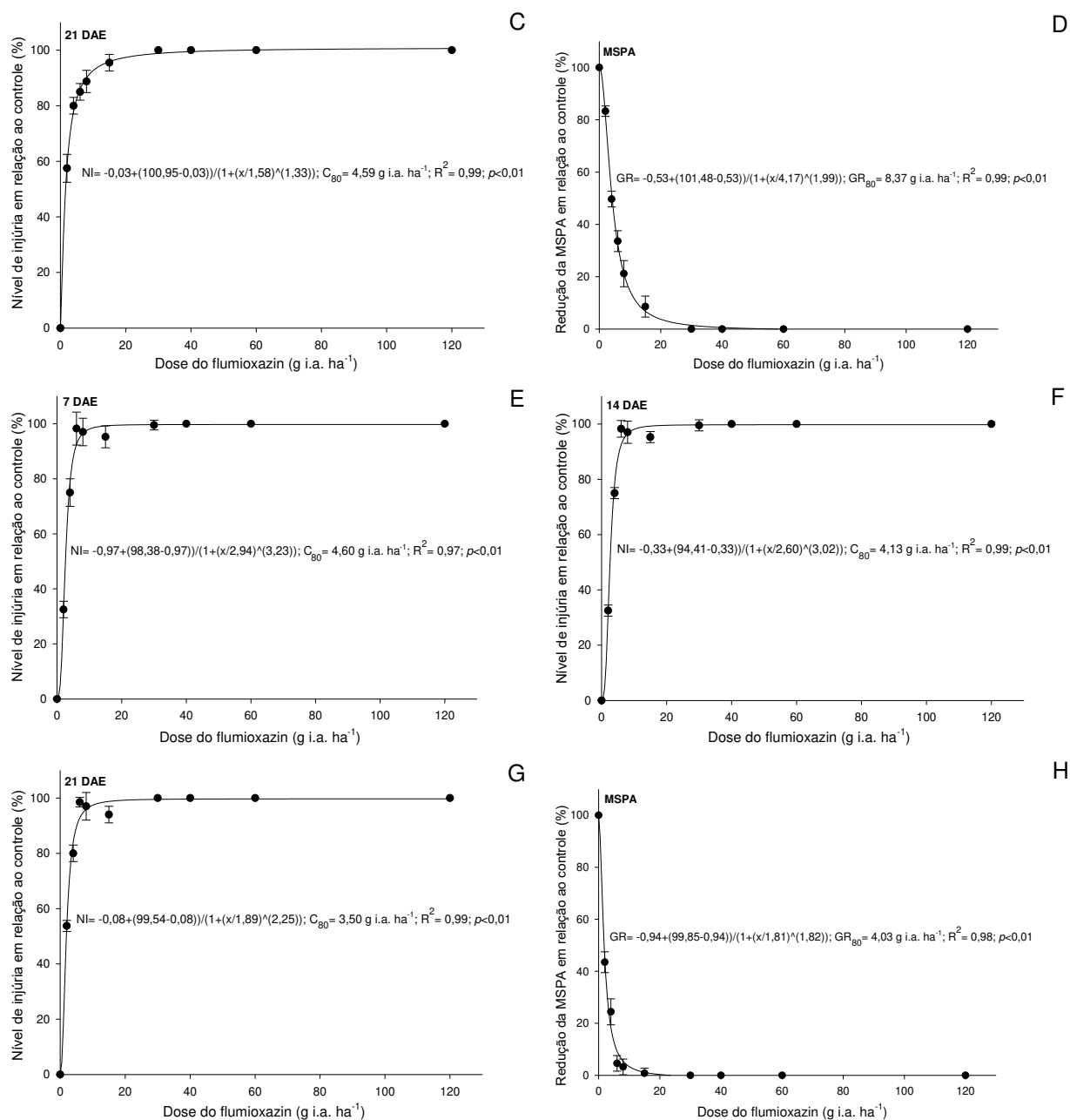


Figura 11. Nível de injúria de controle de *Galinsoga parviflora* aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) e redução da matéria seca da parte aérea (MSPA), no Argissolo (A, B, C e D) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (E, F, G e H) sob as doses de flumioxazin (0, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 40, 60 e 120 g i.a. ha⁻¹). Quando necessário, os parâmetros foram normalizados pelo ajuste da equação de regressão. As barras verticais equivalem ao erro padrão da média ($n=4$).

Assim como o oxyfluorfen e linuron, foi necessário maiores doses para alcançar C_{80} no Argissolo em comparação com o Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferença de aproximadamente o dobro da dose aos 14 DAE, e essa diferença diminuiu aos 21 DAE (Figura 11).

De acordo com a ANOVA, houve interação significativa entre o solo e a dose do flumioxazin ($F=4,10000$; $p=0,00038$). O Argissolo necessitou do dobro da dose

para atingir a GR₈₀ (8,37 g i.a. ha⁻¹), enquanto o Latossolo Vermelho Amarelo alcançou a GR₈₀ em doses menores (4,13 g i.a. ha⁻¹) (Figura 11).

O flumioxazin, assim como o oxyfluorfen e o linuron é um herbicida não-iônico que apresenta baixa solubilidade em água (0,786 mg L⁻¹ a 20°C) (PPDB, 2022a). Experimentos de sorção-dessorção mostraram que a capacidade de sorção do flumioxazin no solo foi positivamente correlacionado com o aumento da CTC e MO do solo. Os coeficientes de correlação entre os valores de K_d da sorção e o teor de CTC e MO foram de 0,9909 e 0,8390, respectivamente (GLASPIE, 2021). Esses dados corroboram com o presente estudo, no qual o maior teor de MO e CTC do Argissolo, resultaram em maiores doses para alcançar a C₈₀ e GR₈₀ em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo.

A sorção do flumioxazin às partículas do solo é principalmente atribuído à ligação hidrofóbicas. A MO e as argilas fornecem as condições necessárias para sorver o flumioxazin devido à hidrofobicidade das partículas (GLASPIE, 2021).

Contudo, a biodisponibilidade do flumioxazin na solução do solo é também dependente do teor de água do solo. Uma vez que os solos são mantidos na capacidade de campo, permite o bom controle das espécies de plantas daninhas em doses reduzidas (MELO et al., 2019).

Resultados semelhantes foram encontrados em alguns estudos com o flumioxazin. No qual, o controle de plantas daninhas variou por espécie, com controle decrescente à medida que o teor de MO dos solos aumentou (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018; ROZANSK, 2002). Espécies como apaga-fogo, botão-de-ouro, capim-colchão, carrapicho beijo-de-boi e juá-de-capote foram as espécies mais sensíveis à aplicação de flumioxazin (25 e 40 g i.a. ha⁻¹) (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018). Quanto ao flumioxazin, detectou-se eficácia no controle de caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis*), picão-preto (*Bidens pilosa*), corda-de-viola (*Ipomoea purpurea*), botão de ouro (*G. parviflora*) e beldroega (*Portulaca oleracea*), com 25 g i.a. ha⁻¹ (ROZANSK, 2002).

Em solos argilosos e com alto teor de MO, o controle de plantas daninhas com flumioxazin em doses baixas pode ser suficiente no controle aos 0 DAA e pode perder o efeito residual com o passar do tempo, devido a maior sorção do produto no solo. Quanto maior for a sensibilidade da planta daninha, mais tempo poderá durar o efeito residual do herbicida no controle. De acordo com estudos em solo argiloso, para as doses de 25 e 40 g i.a. ha⁻¹, as maiores reduções no número de plantas de carrapicho

beijo de boi (*Desmodium tortuosum*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) e capim colchão (*Digitaria horizontalis*) ocorreram no período de aplicação de 0 dias após a semeadura (DAS) das plantas daninhas. Para o apaga fogo (*Alternanthera tenella*) e *G. parviflora* as reduções foram maiores tanto para a aplicação ao 0 DAS como para aplicação aos 7 DAS, o que revela maior sensibilidade desta espécie a este herbicida (JAREMTCHUK et al., 2009).

Em solo arenoso, o comportamento do herbicida foi diferente. O herbicida em menor dose (25 g i.a. ha⁻¹) apresentou controle das espécies de plantas daninhas, mesmo quando aplicado com maior antecipação em relação à semeadura das plantas daninhas (JAREMTCHUK et al., 2009).

A aplicação do flumioxazin também pode ser feita em dose reduzida (15 e 10 g i.a. ha⁻¹) em POS da cultura do alho, sem causar danos a produtividade total e a classificação comercial dos bulbos (BARBOSA, 2021).

A eficiência de controle de *G. parviflora* em doses reduzidas do flumioxazin e oxyfluorfen e linuron pode estar relacionado à biologia das sementes da espécie estudada, em que produzem sementes muito pequenas que ficam geralmente nas camadas mais superficiais do solo, aumentando o contato com os herbicidas. Os dois tipos de solo possuem um alto teor de argila e MO o que facilita a semente permanecer na camada mais superficial do solo em contato com os herbicidas aplicados. Além disso, os três herbicidas possuem baixa capacidade de lixiviação, como já mencionado, o que contribuem para que esse herbicida fique nas camadas mais superficiais no controle do banco de sementes das plantas daninhas.

Este estudo corrobora com o de muitos outros autores que citam que controle satisfatório de plantas daninhas pode ser alcançado mesmo quando os herbicidas são usados em doses abaixo das recomendações na bula (VITTA et al., 2000; WALKER et al., 2002; AUSKALNIS e KADZYS, 2006; BARROS, 2007). Isso pode contribuir para diminuição de custos de produção, eficiência agrônômica e diminuição de impactos ambientais resultantes do uso de herbicidas.

6. CONCLUSÕES

O efeito residual do oxyfluorfen na dose 180 g i.a. ha⁻¹ não variou muito com o tipo de solo. Contudo, o efeito residual do linuron, na dose 810 g i.a. ha⁻¹ teve diferenças significativas com o tipo de solo, sendo que no Cambissolo, foi muito maior em comparação com o Latossolo Vermelho-Amarelo e ao Argissolo que tiveram comportamentos parecidos.

O maior teor de matéria orgânica no Argissolo com diferenças de 4,08% e 0,85% e argila de 64,4% e 26,8% em relação ao Cambissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo, estão relacionados com o efeito residual dos herbicidas. Contudo, em condições de campo o fenômeno da lixiviação pode agir em solos arenosos e diminuir o efeito residual, contribuindo com a dissipação.

As características do solo que mais afetaram o controle dos herbicidas não-iônicos, como o linuron, oxyfluorfen e flumioxazin na *Galinsoga parviflora* em solos que se cultivam alho, foi a argila e MO. A *G. parviflora* foi mais sensível ao herbicida flumioxazin que ao oxyfluorfen e linuron.

As características físico-químicas e microbiológicas do solo são importantes no conhecimento do efeito residual dos herbicidas. Informações referentes ao efeito residual dos herbicidas em diferentes solos, pode ser usado como estratégia de controle de plantas daninhas e posicionamento sequencial de herbicidas, conforme a necessidade de manejo. Além disso, problemas de *carryover* podem ser evitados quando se conhece o comportamento dos herbicidas posicionados em PRÉ nos solos.

O monitoramento das espécies de plantas daninhas e o conhecimento sobre a sensibilidade dessas espécies aos diferentes herbicidas é importante afim de reduzir doses, selecionar as melhores moléculas. O controle de plantas daninhas pode ser alcançado de forma sustentável com utilizações de doses de herbicidas menores que as recomendadas em bula. Esse fato é importante tanto nos aspectos econômicos dos produtores, como ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, D. G.; OLIVEIRA R. S.; CONSTANTIN, J. Potencial de *carryover* de herbicidas com atividade residual usados em manejo outonal. In: OLIVEIRA R.; CONSTANTIN J; OLIVEIRA A.; BLAINSKI E. **Buva: Recomendações para o manejo**. Curitiba: Omnipax, 2013. p. 91-104.
- ARANTES, C. R.; CORREA, A. R.; SILVA, A. M. P.; PALLAORO, D. S.; CAMILI, E. C.; COELHO, M. D. F. B. Germinação e armazenamento de sementes de *Talinum triangulare* em diferentes ambientes. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 3, p. 1-18, 2022.
- ARAÚJO, A. C.; JOSÉ, A. R. S.; SOARES, M. R. S.; MOREIRA, E. D. S. Eficiência e toxicidade do oxyfluorfen em água de irrigação na implantação a campo do gênero *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 634-657, 2021.

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE ALHO - ANAPA. **Alho brasileiro sofre concorrência desleal**. 2019. Disponível em: <https://anapa.com.br/revista-campo-e-negocio-alho-brasileiro-sofre-concorren-cia-desleal/>. Acesso em: 08 de julho de 2021.
- AUSKALNIS, A.; KADZYS, A. Effect of timing and dosage in herbicide application on weed biomass in spring wheat. **Agronomy Research**, v. 4, p. 133-136, 2006.
- BARBOSA, A. R. **Prospecção de herbicidas em pós-emergência na cultura do alho**. 2021. 32 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2021.
- BARROS, J. F. C.; BASCH, G.; CARVALHO, M. Effect of reduced doses of a post-emergence herbicide to control grass and broad-leaved weeds in no-till wheat under Mediterranean conditions. **Crop Protection**, v. 26, n. 10, p. 1538–1545, 2007.
- BASKIN, J. M. Temperature relations of seed germination and ecological implications in *Galinsoga parviflora* and *G. quadriradiata*. **Bartonia**, n. 48, p. 12-18, 1981.
- BEDMAR, F.; GIANELLI, V. Comportamiento de los herbicidas em el suelo. *In*: FERNÁNDEZ, O.A; LEGUIZAMÓN, E.S. (Ed.). **Mazelas e invasoras de la Argentina: ecología y manejo**. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2014. p. 361-390.
- BREUGELMANS, P. Characterization of novel linuron-mineralizing bacterial consortia enriched from long-term linuron-treated agricultural soils. **Microbiology Ecology**, v. 62, n. 3, p. 374-385, 2007.
- BRÜCHER, J.; BERGSTRÖM, L. Temperature dependence of linuron sorption to three different agricultural soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, n. 5, p.1327-1335, 1997.
- BÜLL, L. Fertilização potássica na cultura do alho vernalizado. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 157-163, 2001.
- CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. 1ª edição. Lages, SC: Edição do Autor, 2013. 72p.
- CARVALHO, L. B.; GUZZO, C. D. Adensamento da beterraba no manejo de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 26, p. 73-82, 2008.
- CARVALHO, S. J. P. Curva de dose resposta para avaliação do controle dos fluxos de emergência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 535-542, 2005.

- CHAKRABORTY, S. K.; BHATTACHARYYA, A.; CHOWDHURY, A. Degradation of oxyfluorfen by *Azotobacter chroococcum*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 69, n. 2, p. 203-209, 2002.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 2008. 85 p.
- COLINA, L. A. P.; SOUZA, I. F. D.; BUENO FILHO, J. S. D. S. Persistência biológica de ametryn, diuron e oxyfluorfen no solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 980-987, 2005.
- COMETTI, N. N.; FURLANI, P. R.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, E. I. IV-Soluções nutritivas: formulação e aplicações. *In*: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**, 2 ed. Viçosa: Editora UFV. p. 90-112. 2006.
- CORREIA, N. M.; CARVALHO, A. D. F. Selectivity of herbicides to sweet potato. **Weed Control**, v. 20, p. e202100740, 2021.
- CORREIA, N. M.; CARVALHO, A. D. F. Selectivity of linuron herbicide for carrot when sprayed in post-emergence. **Planta Daninha**, v. 35, p. e017161461, 2017.
- COUTINHO, P. Desempenho agrônômico do alho em diferentes densidades populacionais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e13310212258-e13310212258, 2021.
- CURRAN, W. S. Persistence of herbicides in soil. **Crops & Soils**, v. 49, n. 5, p. 16-21, 2016.
- CYCOŃ, M.; PIOTROWSKA-SEGET, Z.; KOZDRÓJ, J. Linuron effects on microbiological characteristics of sandy soils as determined in a pot study. **Annals of Microbiology**, v. 60, n. 3, p. 439-449, 2010.
- DAMS, R. I. Pesticidas: Usos e perigos à saúde e ao meio ambiente. **Revista Saúde e Ambiente**, v.7, n.1, p. 37-44, 2006.
- DAYAN, F. E.; WATSON, S. B. Plant cell membrane as a marker for light-dependent and light-independent herbicide mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 101, n. 3, p. 182-190, 2011.
- DEUBER, R.; FORNASIER, J. B.; LISBÃO, R. S. Efeito de diferentes herbicidas nas culturas de alho e cebola. **Bragantia**, v. 42, p. 119-129, 1983.
- DEUBER, R.; PASTRE, W.; GIUSTO, A. B. Lixiviação de linuron em dois diferentes latossolos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 8, n. 1, p. 27-36, 2009.

- DITOMMASO, A.; MOHLER, C. L.; WESTBROOK, A. S. Response of hairy *G. parviflora* to nitrogen, phosphorus, and competition from lettuce. **Weed Science**, v.1, n.3, p. 1-26, 2022.
- DORADO, J.; LÓPEZ-FANDO, C.; ZANCADA, M. C.; ALMENDROS, G. Sorption–desorption of alachlor and linuron in a semiarid soil as influenced by organic matter properties after 16 years of periodic inputs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 13, p. 5359-5365, 2005.
- EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C. D.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, É. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, v. 70, p. 157-165, 2011.
- EBERLE, D. O.; GERBER, H. R. Comparative studies of instrumental and bioassay methods for the analysis of herbicide residues. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 4, n. 1, p. 101-118, 1976.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistemas de produção de alho**. 1999. Disponível em: C3%A7%C3%A3o+de+Alho/64258d94-6bb8-4826-a0e9-ece47aa434ff. Acesso em: 9 de agosto de 2022.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Época de aplicação dos herbicidas**. 2006. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do62_11.htm#:~:text=As%20vantagens%20dos%20herbicidas%20pr%C3%A9,menos%20o%20solo%20%C3%A0%20eros%C3%A3o%2C. Acesso em: 04 de agosto de 2022.
- ESPINOSA, F. J.; VÁZQUEZ, R.; MARTÍNEZ, M. Survival, germinability and fungal colonization of *Dimorphic achenes* of the annual weed *Galinsoga parviflora* buried in the soil. **Weed Research**, v. 43, n. 4, p. 269-275, 2003.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY- EFSA. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance oxyfluorfen. **EFSA Journal**, v.8, n.11, p.1906, 2010.
- FERREIRA, L. R.; DURIGAN, J. C.; CHURATA-MASCA, M. G. C.; FERREIRA, F. A. Seletividade e eficácia da aplicação sequencial de oxyfluorfen e de ioxynil-oc-tanoato, em semeadura direta da cebola. **Planta Daninha**, v. 18, n. 1, p. 39-50, 2000.

- FERREIRA, L. R.; OLIVEIRA J, R. S. D.; SILVA, J. F. D. Tolerância do alho (*Allium sativum* cv. Gigante roxão) ao oxyfluorfen. **Revista Ceres**, v. 41, n. 233, p.81-87, 1993.
- FERRELL, J. A.; VENCILL, W. K.; XIA, K.; GREY, T. L. Sorption and desorption of flumioxazin to soil, clay minerals and ion-exchange resin. **Pest Management Science**, v. 61, n. 1, p. 40-46, 2005.
- GARCIA, D. C.; BARNI, V.; DETTMANN, L. A.; LOPES, S. J. Controle de plantas daninhas e seletividade de herbicidas em alho. **Ciência Rural**, v. 24, n.3, p. 453-457, 1994.
- GLASPIE, C. F.; JONES, E. A.; PENNER, D.; PAWLAK, J. A.; EVERMAN, W. J. Effect of clay, soil organic matter, and soil pH on initial and residual weed control with flumioxazin. **Agronomy**, n.11, v.7, p. 1326, 2021.
- GLOWACKA, A. Dominant weeds in maize (*Zea mays* L.) cultivation and their competitiveness under conditions of various methods of weed control. **Acta Agrobotanica**, v. 64, n. 2, p. 119-126, 2011.
- GONÇALVES, A. H. Manejo de plantas daninhas. In: NICK, C; BORÉM, A. **Alho do plantio a colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2017, p 148-158.
- GONÇALVES, K. S.; SÃO JOSÉ, A. R.; CAVALIERE, S. D.; MARTINS, I. S. B.; VELINI, E. D. Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência em pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 110-120, 2011.
- GRENNI, P.; CARACCILOLO, A. B.; RODRÍGUEZ, M. S.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J. Changes in the microbial activity in a soil amended with oak and pine residues and treated with linuron herbicide. **Applied Soil Ecology**, v. 41, n. 1, p. 2-7, 2009.
- GUERRA, N.; HARAMOTO, R.; SCHMITT, J. D.; COSTA, G.; SCHIESSEL, J. J.; OLIVEIRA, A. Controle de plantas daninhas e seletividade de herbicidas de pré emergência para a cultura do alho. **Planta Daninha**, v. 38, p. e02022389, 2018.
- GUERRA, N.; HARAMOTO, R.; SCHMITT, J. D.; COSTA, G.; SCHIESSEL, J. J.; OLIVEIRA, A. Weed control and selectivity herbicides pre emerging in garlic cultivars. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020228966, 2020.
- GUZZELLA, L.; CAPRI, E.; CORCIA, A.; GIULIANO, G. Fate of diuron and linuron in a field lysimeter experiment. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 1, p. 312-323, 2006.

- HAO, G. F.; ZUO, Y.; YANG, S. G.; YANG, G. F. Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v. 65, n. 12, p. 961-969, 2011.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils Berkeley**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347 p.
- INOUE, M. H.; FERNANDES, T.; MENDES, K. F.; OLIVEIRA JR., R. S.; GUIMARAES, A. C. D.; MACIEL, C. D. G. Métodos de Detecção de Herbicidas no Solo Utilizando Bioensaios. *In*: MENDES, K.F.; INOUE, M.H.; TORNISIELO, V.L. (Orgs.). **Herbicidas no ambiente: impacto e detecção**. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2022. p. 331-374.
- INOUE, M. H.; MENDES, K. F.; DE SANTANA, C. T. C; POSSAMAI, A. C. S. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados em solos contrastantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 232-242, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento Sistemático de Produção Agrícola**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 08 de julho de 2022.
- JAREMTCHUK, C. C.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G. Efeito residual de flumioxazin sobre a emergência de plantas daninhas em solos de texturas distintas. **Planta Daninha**, v. 27, p. 191-196, 2009.
- KNEZEVIC, S. C.; PAVLOVIC, P.; OSIPITAN, O. A.; BARNES, E. R.; BEIERMANN, C.; OLIVEIRA, M. C.; JHALA, A. Critical time for weed removal in glyphosate resistant soybean as influenced by preemergence herbicides. **Weed Technology**, v. 33, n. 3, p. 393-399, 2019.
- LEWIS, K.; TZILIVAKIS, J. Development of a data set of pesticide dissipation rates in/on various plant matrices for the Pesticide Properties Database (PPDB). **Data**, v. 2, n. 3, p. e28, 2017.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais do Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 3ª ed. Nova Odessa: Plantarum, 2014. 558 p.
- LUCINI, M. A. **Principais plantas daninhas na cultura do alho em Santa Catarina**. Curitiba: Anapa, 2009, 48 p.
- MALLIK, D. Seed germination and seedling growth of some crops and weed seeds under different environmental conditions. **Journal of Research in Weed Science**, v. 3, n. 3, p. 363-381, 2020.

- MANTZOS, N.; KARAKITSOU, A.; HELA, D.; PATAKIOUTAS, G.; LENETI, E.; KONSTANTINO, I. Persistence of oxyfluorfen in soil, runoff water, sediment and plants of a sunflower cultivation. **Science of the total environment**, v. 472, p. 767-777, 2014.
- MARCUZZO, L. Sobrevivência de *Pseudomonas marginalis* pv. *marginalis* do alho em plantas-daninhas. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 5, n.5, p. 1-5, 2021.
- MASCARENHAS, M. H. T.; SATURNINO, H. M.; SOUZA, R. J. Controle de plantas daninhas na cultura do alho (*Allium sativum* L.) através da combinação de herbicidas residuais com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 3, n. 2, p. 68-74, 1980.
- MEDO, J.; MAKOVÁ, J.; MEDOVÁ, J.; LIPKOVÁ, N.; CINKOCKI, R. Changes in soil microbial Community and activity caused by application of dimethachlor and linuron. **Scientific Reports**, v.11, n. 1, p. 1-13, 2021.
- MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI, L. D.; FERREIRA, F. A.; TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, L. R. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n.2, p. 385-392, 2010.
- MELO, C. A. D.; REIS, M. R. D.; BARBOSA, A. R.; DIAS, R. D. C.; SILVA, G. S. D. Effectiveness of reduced doses of flumioxazin herbicide at weed control in direct sow onions. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 13, n. 1, p. 71-80, 2019.
- MENDES, K. F.; MARTINS, B. A. B.; REIS, F. C.; DIAS, A. C. R.; TORNISIELO, V. L. Methodologies to study the behavior of herbicides on plants and the soil using radioisotopes. **Planta Daninha**, v. 35, e017154232, 2017.
- MENDES, M. F.; SOUSA, R. N.; DIAS, R. C.; REIS, M.R. Efeito residual de herbicidas em solos agrícolas. *In*: TORNISIELO, V. L.; VILCA F. Z.; GUIMARÃES. C. D., MENDES, K. F. **Contaminantes orgânicos da análise a biorremediação**. Piracicaba: FEALQ, 2019. P.157-178.
- MIELKE, C. K; MENDES, F. K.; REIS, R. M. Alho. *In*: MENDES, F. K. **Atualidades no manejo de plantas daninhas em hortaliças tuberosas**. Curitiba: Brazil Publishing, p. 9-41, 2021.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Cultura do alho**. 2021. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 8 de agosto de 2021.

- MITCHELL, PERRY J.; SIMPSON, MYRNA J. High Affinity sorption domains in soil are blocked by polar soil organic matter components. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 1, p. 412-419, 2013.
- MOHAMED, A. T.; EL-HUSSEIN, A. A.; EL-SIDDIG, M. A.; OSMAN, A. G. Degradation of oxyfluorfen herbicide by soil microorganisms biodegradation of herbicides. **Biotechnology**, v. 10, n. 3, p. 274-279, 2011.
- NAVARRO, S.; BERMEJO, S.; VELA, N.; HERNANDEZ, J. Rate of loss of simazine, terbuthylazine, isoproturon and methabenzthiazuron during soil solarization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 57, n. 14, p. 6375-6382, 2009.
- NOVO, M. D.; CRUZ, L. S. P.; LOPES, E. S.; NAGAI, V.; AMBRÓSIO, L. A.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; LOMBARDI, M. L. C. D. O. Persistência de linuron e orizalina em latossolo roxo sob cultivo de soja. **Bragantia**, v. 51, p. 177-184, 2020.
- OLIVEIRA, R. S. Introdução ao controle químico. In: OLIVEIRA Jr., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 348.
- PEREIRA, W. S. P. Herbicida de pré-emergência – oxyfluorfen. **Série Técnica IPEF**, v.4, n.12, p.45-60, 1987.
- PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE – PPDB. **Flumioxazin**, 2022a. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1663.htm#none>. Acesso em: 8 de agosto de 2022.
- PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE – PPDB. **Linuron**, 2022b. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1663.htm#none>. Acesso em: 8 de agosto de 2022b.
- PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE – PPDB. **Oxyfluorfen**, 2022c. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1663.htm#none>. Acesso em: 8 de agosto de 2022.
- PIVETTA, K. F. L.; ROSA, C. S.; PITELLI, R. A.; COAN, R. M. Seletividade de sálvia (*Salvia splendens*) ao herbicida oxyfluorfen veiculado à palha de arroz. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 645-655, 2008.
- PRADO, A. B. C. A.; OBARA, F. E. B.; BRUNHARO, C. A. G.; MELO, M. S. C.; CRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, M. C. Dinâmica de herbicidas aplicados em pré-emergência sobre palha de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 179-187, 2013.

- RAHMAN, U. H.; KHATTAK, A. M.; SADIQ, M.; ULLAH, K.; JAVERIA, S.; ULLAH, I. Influence of different weed management practices on yield of garlic crop. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 28, n. 2, p. 213-218, 2012.
- RAI, J. P. N.; TRIPATHI, R. S. Population regulation of *Galinsoga ciliata* and *G. parviflora*: Effect of sowing pattern, population density and soil moisture and texture. **Weed Research**, v. 23, n. 3, p. 151-163, 1983.
- RESENDE, F. V.; HABER, L. L. **A cultura do alho**. 2020. Brasília. Embrapa Hortaliças. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/749963/a-cultura-do-alho>. Acesso em: 8 de julho de 2021.
- RIEMENS, M. M.; VAN DER WEIDE, R. Y.; BLEEKER, P. O. Effect of stale seedbed preparations and subsequent weed control in lettuce on weed densities. **Weed Research**, v. 47, n. 2, p. 149-156, 2007.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S.; **Guia de herbicidas**. 7.ed. Londrina: IAPAR, 2018. 764 p.
- ROZANSKI, A. Efeito do herbicida flumioxazin nas plantas daninhas e na cultura da cebola. **Boletim Informativo**. Londrina: SBCPD, v. 8, n. 1, 2002.
- SEEFELDT, S. S; JENSEN, J. E; FUERST, P. Loglogistic analysis of herbicide dose response relationships. **Weed Technology**, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.
- SIDDHU, G. M.; PATIL, B. T. Manejo de plantas daninhas em alho (*Allium sativum* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7 n. 1 p. 1440-1444, 2018.
- SOUZA, A. D. S.; LEAL, J. F. L.; LANGARO, A. C.; CARVALHO, G. S. D.; PINHO, C. F. D. Leaching and carryover for safrinha corn of the herbicides imazapyr + imazapic in soil under different water conditions. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 287-298, 2020.
- SOUZA, A. P.; LOURES, E. G.; DA SILVA, J. F.; RUIZ, H. A. Efeito do oxyfluorfen, 2,4-D e glyphosate na atividade microbiana de solos com diferentes texturas e conteúdo de matéria orgânica. **Planta Daninha**, v. 14, p. 55-64, 1996.
- SOUZA, A. P.; LOURES, E. G.; DA SILVA, J. F.; RUIZ, H. A. Efeito do oxyfluorfen, 2, 4-D e glyphosate na atividade microbiana de solos com diferentes texturas e conteúdo de matéria orgânica. **Planta Daninha**, v. 14, n. 1, p. 55-64, 1996.
- STREIBIG, J. C. Herbicide bioassay. **Weed Research**, v. 28, n. 6, p. 479-484, 1988.
- TEIXEIRA, S.I.; FERREIRA, E.; MENDES, G. A. Phytosociology in organic system of lettuce production. **Horticultura Argentina**, v. 37, n. 92, p. 42-60, 2018.

- TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, M. S.; MACHADO, A. F. L. Controle de plantas daninhas e seletividade do flumioxazin. **Cerne**, v. 18, p. 523-531, 2012.
- VITTA, J. I.; FACCINI, D. E.; NISENSOHN, L. A. Control of *Amaranthus quitensis* in soybean crops in Argentina: an alternative to reduce herbicide use. **Crop Protection**, v.19, n. 7, p. 511–513, 2000.
- VOUZOUNIS, N. A.; AMERICANOS, P. G. Residual activity of linuron and pendimethalin determined by bioassays in field trials. **Technical Bulletin**, n.169, p. 3-7, 1995.
- WALKER, S. R. Improved management of *Avena ludoviciana* and *Phalaris paradoxa* with more densely sown wheat and less herbicide. **Weed Research**, v. 42, n. 4, p. 257–270, 2002.
- WAUCHOPE, R. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. **Pest Management Science**, v. 58, n. 5, p. 419-445, 2002.
- WITTER, A.; WERKHAUSEN E. Fitossociologia e supressão de plantas daninhas sob efeito da solarização e cobertura com capim-elefante. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 56-63, 2019.
- YEN, J. H.; SHEU, W. S.; WANG, Y. S. Dissipation of the herbicide oxyfluorfen in subtropical soils and its potential to contaminate groundwater. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 54, n. 2, p. 151-156, 2003.
- ZHAO, N.; ZUO, L.; LI, W.; GUO, W.; LIU, W.; WANG, J. Greenhouse and field evaluation of isoxaflutole for weed control in maize in China. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p.1-9, 2018.