

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

ATIVIDADE RESIDUAL DE HERBICIDAS SOBRE
ESPÉCIES BIOINDICADORAS

ERONEI SILVA MORAIS

Rio Verde, GO
2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO CAMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**ATIVIDADE RESIDUAL DE HERBICIDAS SOBRE
ESPÉCIES BIOINDICADORAS**

ERONEI SILVA MORAIS

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof. Dr. Renata Pereira Marques

**Rio Verde - GO
2024**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Morais, Eronei Silva

M828a Atividade residual de herbicidas sobre espécies
bioindicadoras / Eronei Silva Moraes; orientadora Renata
Pereira Marques. -- Rio Verde, 2024.

36 f.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2024.

1. Bioindicador. 2. Fitotoxicidade. I. Marques, Renata Pereira,
orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Eronei Silva Moraes

Matrícula:

2018102200240214

Título do trabalho:

Atividade residual de herbicidas sobre espécies bioindicadoras

RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 29 /08 /2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - Go

27 /08 /2024

Local

Data

 Documento assinado digitalmente
ERONEI SILVA MORAIS
Data: 21/08/2024 08:46:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Cliente e de acordo:

 Documento assinado digitalmente
RENATA PEREIRA MARQUES
Data: 21/08/2024 11:05:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orier



SERVIÇO
PÚBLICO
FEDERAL
MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 6/2024 - UDP-POLO/POLO/IFGOIANO

**ATA DE DEFESA DE TRABALHO
DE CURSO**

Aos treze dias do mês de agosto de 2024, às 14:00 horas, reuniu-se, de forma on line, a banca examinadora composta pelos membros: Profa. Dra. Renata Pereira Marques (orientadora/IF Goiano - Campus Rio Verde), Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (membro/IF Goiano - Campus Rio Verde) e Me. Yasmine Ariadne Andrade Martins (membro/IF Goiano - Campus Rio Verde) para examinar o Trabalho de Curso intitulado "FITOINTOXICAÇÃO POR HERBICIDAS UTILIZANDO ESPÉCIES BIOINDICADORAS DE RESÍDUO" do

discente Eronai Silva Moraes, matrícula nº 2018102200240214 do Curso de Bacharelado em Agronomia do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros avaliadores.

(Assinado Eletronicamente)

Renata Pereira Marques
Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Marconi Batista Teixeira
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Yasmine Ariadne Andrade Martins
Membro

Observação:

Documento assinado eletronicamente por:

- Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/08/2024 15:12:35.
- Yasmine Ariadne Andrade Martins, 2023202320140009 - Discente, em 13/08/2024 15:05:22.
- Renata Pereira Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/08/2024 15:02:32.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/08/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 622720

Código de Autenticação: c80ff7dea0



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Polo de Inovação

Rodovia Sul Goiana Km 01, None, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75.901-970

None

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais, Eronildes e Guiomar, e ao meu irmão Edson”.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido a oportunidade de chegar aqui hoje, realizando um sonho.

A minha família, a minha mãe, Guiomar Lopes da Silva Moraes ao meu pai, Eronildes dos Santos Moraes e em especial ao meu irmão Edson Silva Moraes que me incentivou a ingressar no curso superior e que me permitiu realizar esse sonho.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, ao seu corpo docente, direção e administração, pela oportunidade de ser discente do curso de Agronomia em uma instituição tão comprometida com o ensino e a pesquisa.

Em especial a minha professora Renata Pereira Marques pela orientação ao longo de minha vida acadêmica.

Aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante esta caminhada, e todos os demais colegas.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho e de toda a trajetória desse sonho que foi a minha graduação.

Obrigado!

RESUMO

A persistência de herbicidas no ambiente depende de fatores como propriedades do solo e parâmetros biológicos que regulam as taxas de degradação microbiana. O conhecimento dos efeitos residuais dos herbicidas em diferentes solos é fundamental para determinar aplicações seguras em culturas sensíveis, evitando problemas ambientais e controle de plantas daninhas, usando a dosagem adequada para cada solo. Neste estudo, objetivou-se avaliar a resposta de espécies vegetais bioindicadoras da atividade residual dos herbicidas flumioxazina, trifluralina e diclosulam em solos arenoso e argiloso semeados com sementes de alface e pepino. Para isso, realizaram-se dois experimentos conduzidos em casa de vegetação, sendo avaliadas duas espécies bioindicadoras: *Lactuca sativa* (alface) e *Cucumis sativus* (pepino), sob o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo 3 herbicidas x 2 (textura de solo), com quatro repetições, além de um tratamento sem adição de herbicidas (controle). Foram utilizadas doses recomendadas de flumioxazina, trifluralina e diclosulam em solos de textura argilosa e arenosa. Foram determinadas a altura de plantas (AP), a massa seca de parte aérea (MSPA) e fitotoxicidade das espécies. A aplicação dos herbicidas diclosulam e flumioxazina em ambos os tipos de solo provocou redução na altura, na produção de massa seca e promoveu maior fitotoxicidade nas espécies *Lactuca sativa* e *Cucumis sativus*. A aplicação do herbicida trifluralina resultou em acréscimo na altura da espécie e produção de massa seca para ambas as espécies tanto para o solo argiloso quanto para o arenoso. Na espécie *C. sativus*, pode-se constatar maior fitotoxicidade nas plantas sendo o diclosulam mais expressivo no solo arenoso e o flumioxazina com maiores respostas negativas no solo argiloso.

Palavras-chaves: *Cucumis sativus*, *Lactuca sativa*, bioindicador, fitotoxicidade.

ABSTRACT

The persistence of herbicides in the environment depends on factors such as soil properties and biological parameters that regulate microbial degradation rates. Knowledge of the residual effects of herbicides in different soils is essential to determine safe applications in sensitive crops, avoiding environmental problems and weed control, using the appropriate dosage for each soil. This study aimed to evaluate plant species that are bioindicators of the residual activity of the herbicides flumioxazina, trifluralin and diclosulam in sandy and clayey soils sown with lettuce and cucumber seeds. For this, two experiments were carried out in a greenhouse, evaluating two bioindicator species: *Lactuca sativa* (lettuce) and *Cucumis sativus* (cucumber), under a completely randomized experimental design, with 3 (herbicides x 2 (soil texture) , with four replications, in addition to a treatment without the addition of herbicides (control). Recommended doses of Flumioxazina, Trifluralin and Diclosulam were used in soils with clayey and sandy texture. Plant height (AP), dry mass of part (MSPA) and phytotoxicity of the species. The application of the herbicides diclosulam and flumioxazina in both types of soil caused a reduction in height, dry mass production and promoted greater phytotoxicity in the species *Lactuca sativa* and *Cucumis sativus*. The application of the herbicide trifluralin provided an increase in the height of the species and dry mass production for both species, both for clayey and sandy soils. with greater responses in clayey soil.

Keywords: *Cucumis sativu*, *Lactuca sativa*, bioindicator, phytotoxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura química do herbicida flumioxazina	13
Figura 2. Estrutura química do herbicida trifluralina	14
Figura 3. Estrutura da molécula do herbicida diclosulam	15
Figura 4. Aplicação do herbicida Trifluralina no dia 28/11/2022	21
Figura 5. Aplicação do herbicida Diclosulam no dia 28/11/2022	21
Figura 6. Aplicação do herbicida Flumioxazina no dia 28/11/2022	22
Figura 7. Escala de notas para avaliação visual de fitotoxicidade de herbicidas.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Altura (cm) de <i>Lactuca sativa</i> aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo	23
Tabela 2. Altura (cm) de <i>Cucumis sativus</i> aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo	24
Tabela 3. Massa seca (gramas) de <i>Lactuca sativa</i> aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo	25
Tabela 4. Massa seca (gramas) de <i>Cucumis sativus</i> aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo	26
Tabela 5. Fitotoxicidade (%) de <i>Lactuca sativa</i> após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo	27
Tabela 6. Fitotoxicidade (%) de <i>Cucumis sativus</i> após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 Características gerais dos herbicidas e eficiência de controle	10
2.1.1 Flumioxazina	12
2.1.2 Trifluralina	13
2.1.3 Diclosulam	15
2.2 Comportamento dos herbicidas no ambiente	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5 CONCLUSÃO	29
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores usuários de defensivos agrícolas, respondendo por aproximadamente 31% do uso mundial (SINDIVEG, 2022). Dentre os defensivos agrícolas utilizados no Brasil, os herbicidas são os mais empregados, respondendo por 49% das vendas totais (SINDIVEG, 2022). Os herbicidas são usados devido à sua disponibilidade, eficácia e menor custo em comparação com outros métodos de controle de plantas daninhas que infestam as lavouras (RAMBORGER et al., 2017). No entanto, o uso de herbicida deixa resíduos no solo que podem permanecer mais do que o ciclo da cultura em que foi aplicado, afetando as culturas semeadas continuamente de interesse econômico, processo conhecido como *carryover* (CAMACHO et al., 2022).

Os herbicidas de atividade em pré-emergência são utilizados para controlar a infestação do banco de sementes e proteger as lavouras por mais tempo, ou seja, impede que as plantas daninhas impactem negativamente no início do ciclo da cultura. No entanto, eles podem inviabilizar a rotação/sucessão de culturas porque muitas espécies são sensíveis até mesmo a baixas concentrações no solo. A persistência de herbicidas no ambiente depende das propriedades do solo, como textura, minerais de argila, pH e parâmetros biológicos que regulam as taxas de degradação microbiana, que afetarão os processos de degradação, mineralização, adsorção, imobilização e translocação (GALON et al., 2021).

A matéria orgânica do solo promove a redução da temperatura do solo e variabilidade da umidade, propicia condições favoráveis para biomassa e atividade microbiana e acelera a biotransformação de moléculas de herbicidas presentes no solo (TREVISAN et al., 2016), além de facilitar a adsorção e degradação de herbicidas presentes no solo (ALVES et al., 2019), sendo a base para o transporte, persistência e bioacumulação de pesticidas (DA SILVA et al., 2021).

Por outro lado, a cobertura do solo com palha pode evitar que os herbicidas aplicados em pré-emergência entrem em contato com o solo, reduzindo o controle de plantas daninhas (MATOS et al., 2016). A hidrossolubilidade dos herbicidas também afeta sua persistência no solo, sendo que os herbicidas mais solúveis são mais facilmente transportados com a água por processos de lixiviação ou percolação (GALON et al., 2021).

No entanto, métodos para verificar a presença de herbicidas em amostras de solo muitas vezes são difíceis de obter por serem técnicas complexas e muito caras, como o uso de radioisótopos, cromatografia líquida e gasosa e espectrometria de massas (DIAS et al., 2019). Por outro lado, o uso de espécies vegetais como indicadores biológicos (bioensaios) torna-se uma alternativa mais acessível devido ao seu baixo custo e detecção molecular mais simples de herbicidas (DUQUE et al., 2020). Dentre as espécies utilizadas como indicadores biológicos de herbicidas, destacam-se o pepino - *Cucumis sativus* L. (OLIVEIRA et al., 2018) e a alface - *Lactuca sativa* L. (JONAS et al., 2020).

Portanto, o conhecimento dos efeitos residuais dos herbicidas em diferentes solos é fundamental para determinar intervalos seguros entre aplicações sucessivas de culturas sensíveis, evitando problemas ambientais (como lixiviação, escoamento de produtos) e controle de plantas daninhas, usando a dosagem adequada para cada solo. Portanto, estudos são necessários para avaliar o momento ideal de aplicação, os herbicidas mais eficazes e a seleção de doses de herbicidas em solos com diferentes propriedades físico-químicas.

Os resultados obtidos em estudos sobre atividade residual de herbicidas em solos podem auxiliar produtores e pesquisadores a avaliar a importância das propriedades do solo para o correto direcionamento das doses de herbicidas. A pesquisa sobre a dinâmica do solo, clima e propriedades das moléculas de herbicidas pode reduzir os custos de produção, melhorar a eficiência do controle e reduzir as preocupações ambientais.

Neste estudo, objetivou-se avaliar espécies vegetais bioindicadoras da atividade residual dos herbicidas flumioxazina, trifluralina e diclosulam em solos arenoso e argiloso semeados com sementes de alface e pepino.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características gerais dos herbicidas e eficiência de controle

Os efeitos residuais de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência no solo e sua dinâmica no ambiente dependem das propriedades físico-químicas das moléculas que o compõem e de suas interações com fatores climáticos e edáficos. O comportamento ambiental de herbicidas usados no meio ambiente é influenciado por processos de retenção, transporte e transformação, incluindo fenômenos como adsorção, volatilização, fotodegradação, decomposição química e microbiana, escoamento superficial, lixiviação e absorção de moléculas pelas plantas (GODOY et al., 2010).

Os herbicidas são frequentemente adsorvidos pelas partículas do solo durante a degradação biótica ou abiótica. Os solos possuem diferentes tipos de comunidades microbianas, que determinam o tipo de biodegradação que ocorre. Os possíveis efeitos dos agrotóxicos na biota do solo variam de acordo com suas características físicas e também dependem do tipo de comunidades microbianas presentes no habitat. Estrutura molecular, intensidade de aplicação, propriedades físicas e microbianas do solo e vias de degradação podem determinar quanto tempo um composto persiste no solo (GRISOLIA, 2005).

Ao estudar o comportamento de herbicidas no solo, é necessário considerar as propriedades do herbicida e do solo, bem como as condições climáticas. Sobretudo por ser difícil estudar um fator isolado em condições de campo. Por exemplo, a degradação microbiana de herbicidas é crítica para persistência e efeitos residuais, mas depende da temperatura e do teor de umidade do solo (BEDMAR; GIANELLI, 2014).

Em geral, os herbicidas são menos persistentes em climas tropicais do que em climas temperados porque a temperatura é um fator determinante. Em climas tropicais, altas temperaturas e alta precipitação podem levar ao aumento da atividade microbiana no solo devido à disponibilidade de água e aumento da temperatura do solo, levando a uma maior degradação dos herbicidas. Além disso, os solos tropicais também tendem a apresentar menores teores de matéria orgânica, afetando a ocorrência de menor sorção e, portanto, menor atividade residual. Herbicidas menos adsorvidos são mais suscetíveis à degradação microbiana e à lixiviação nas camadas inferiores do solo (MENDES et al., 2019).

Com o aumento do uso de herbicidas em pré-emergência, principalmente como estratégia de manejo de biótipos de plantas daninhas resistentes, entender a persistência e os efeitos residuais dos herbicidas é fundamental, pois é necessário manter as lavouras

livres de plantas daninhas em períodos críticos, onde a competição interfere na produtividade das culturas. Além disso, em solos cujas condições de atividade microbiana são reduzidas, os herbicidas mais persistentes e móveis podem lixiviar para camadas mais profundas do solo, onde permanecem por períodos de tempo mais longos (CHRISTOFFOLETI, 2008).

2.1.1 Flumioxazina

O herbicida flumioxazinaa N-(7-fluoro-3,4-dihidro-3-oxo-4-prop-2-inil-2H-1,4-benzoxazin6-il) ciclohex-1-eno-1,2-dicarboxamida é um herbicida pertencente ao grupo químico das N-feniltalamidas (PPDB, 2023). O herbicida está registrado para pré e pós-emergência para o controle de plantas daninhas nas culturas de soja, pinus e eucalipto; em pós-emergência nas culturas de algodão, café, citros, feijão e milho e em pré de plantas daninhas nas culturas de cebola, alho, batata e cana-de-açúcar. É eficaz no controle de dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas (MAPA, 2021).

É um herbicida de contato, seletivo, cujo mecanismo de ação está relacionado à inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX ou PPO). A inibição dessa enzima leva ao aparecimento de precursores de clorofila, que são convertidos pela luz em moléculas que danificam as membranas celulares das plantas (PIVETTA et al., 2008). A protoporfirina IX se acumula, permitindo a formação de oxigênio singlete. Este composto inicia o processo de peroxidação lipídica levando ao rompimento da membrana e perda de função levando à morte da planta (CARVALHO, 2013). Os sintomas apresentados pelas folhas tratadas após exposição à luz são enrugamento, bronzeamento e necrose (DAYAN; WATSON, 2011).

Quando aplicado em pré-emergência, esse herbicida causa a morte da planta quando os tecidos vegetais em desenvolvimento, entram em contato com a camada de solo tratado com o herbicida. Os tecidos sensíveis sofrem necrose e a morte é causada pela peroxidação lipídica. Plantas suscetíveis desenvolvem necrose foliar rápida (um a três dias) (OLIVEIRA, 2011).

O controle de plantas daninhas é mais eficaz quando o herbicida está prontamente disponível na solução do solo, de modo que as plantas daninhas possam absorvê-lo porque foi pré-aplicado. Além das condições ambientais, a

biodisponibilidade de moléculas que atuam no controle de plantas daninhas dependerá do herbicida e das propriedades físico-químicas do solo. A flumioxazina é um herbicida é relativamente volátil e com baixa solubilidade em água e com baixo risco de lixiviação para as águas subterrâneas. Geralmente não é persistente na água ou no solo (PPDB, 2023). Apresenta rápida dissipação no solo (meia-vida de 11,9 a 17,5 dias). Esse herbicida desenvolve lixiviação reduzida e alta adsorção aos colóides do solo (FERRELL et al., 2005) (Figura 1).

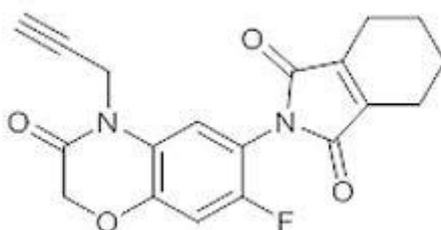


Figura 1. Estrutura química do herbicida flumioxazina

Fonte: FERRELL et al., 2005.

2.1.2 Trifluralina

A trifluralina (α,α,α -trifluorometil-2,6-dinitro-N,N-dipropil-p-toluidina) é um dos herbicidas mais comumente usados para o controle de várias plantas daninhas (Figura 2), especialmente, gramíneas. Pertence ao grupo das dinitroanilinas e é utilizado em pré-emergência (FERNANDES et al., 2007). Este herbicida está disponível na forma de emulsão concentrada ou sólido cristalino alaranjado, possui baixa solubilidade em água, volatilidade moderada e é considerado alcalino (NOGAROL; FOTANETTI, 2011). Em solos usados para agricultura, a trifluralina degrada-se rapidamente em condições anaeróbias (GODOY et al., 2010).

Os herbicidas pertencentes ao grupo das dinitroanilinas são baseados na estrutura da anilina contendo moléculas de NO_2 nas partes 2 e 6 ou 3 e 5 do anel (FERRELL et al., 2005).

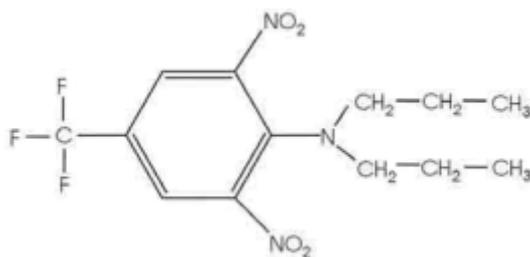


Figura 2. Estrutura química do herbicida trifluralina

Fonte: FERRELL et al., 2005.

O mecanismo de ação do herbicida trifluralina nas plantas é a inibição da divisão celular nos meristemas, germinação das sementes e formação de novas células na radícula e caule (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Nas plantas, esse herbicida inibe o processo de divisão celular mitótica, atuando principalmente nos meristemas e tecidos de órgãos subterrâneos como raízes, brotos, rizomas e sementes (SOUZA; FONTANETTI, 2011).

Esse herbicida pode ser inativado por volatilização, fotólise e processos químicos e biológicos, tornando-se líquido em temperaturas em torno de 48,5 a 49°C. Solúvel em metanol, acetona, xileno, clorofórmio e outros solventes orgânicos. A solubilidade em água a 27°C é inferior a 1ppm, seu ponto de ebulição é em torno de 96-97°C e é facilmente decomposto pela radiação ultravioleta (PROBST et al., 2002).

A trifluralina é fortemente adsorvida por colóides de matéria orgânica, mas raramente é adsorvida por colóides de argila; em solos onde a matéria orgânica é o principal composto, existem obstáculos à absorção de produtos pelas raízes das plantas, caso em que não é recomendado o uso; a lixiviação e os movimentos laterais do solo são bastante reduzidos (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998).

A degradação dos herbicidas trifluralina pode ser química, microbiana ou fotolítica; na degradação química, os grupos amino são desalquilados, os grupos nitro e amino são reduzidos, os grupos trifluorometil são parcialmente oxidados a grupos carboxila e, subsequentemente, degradados a fragmentos mais pequenos; ocorrendo microbiologicamente, principalmente sob em condições anaeróbias, onde se verificou 98% de degradação do produto, 25% foram obtidos em condições aeróbicas (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998).

2.1.3 Diclosulam

O diclosulam N-(2,6-dichlorophenyl)-5-ethoxy-7-fluoro[1,2,4]triazolo[1,5-c]pyrimidine-2-sulfonamide (Figura 3), é um herbicida que abrange o grupo químico das pirimidinas sulfonanilidas e inibem a acetolactato sintase (ALS), que é essencial para a síntese de valina, leucina e isoleucina (ALONSO et al., 2013). Sintomas significativos aparecem uma a duas semanas após a aplicação, incluindo interrupção do crescimento, amarelecimento do meristema e redução do sistema radicular, com raízes secundárias uniformemente mais curtas e grossas.

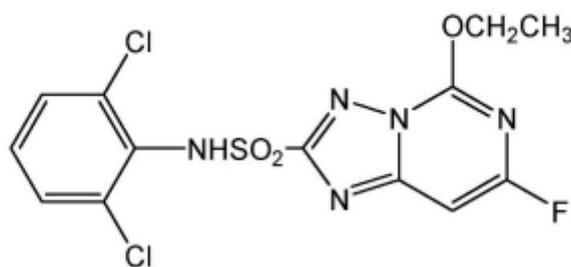


Figura 3. Estrutura da molécula do herbicida diclosulam

Fonte: ANVISA, 2023.

O peso molecular do diclosulam é $406,22 \text{ g mol}^{-1}$. É um pó esbranquiçado com pressão de vapor de $6,58 \times 10^{-8} \text{ mm Hg}$ (20°C). Seus valores de log Kow variam de -0,448 em pH 9 a 1,42 em pH 5, o que também indica uma baixa hidrofobicidade (BIANCHI et al., 2010).

A solubilidade em água é dependente do pH e varia de $\sim 117 \text{ mg l}^{-1}$ (pH 5- 20°C) e 124 mg l^{-1} (pH 7 e 20°C) a $>4.000 \text{ mg l}^{-1}$ em pH 9 (DAMS, 2009). Em solos aráveis, o diclosulam é considerado um produto altamente solúvel (DAHLEM, 2013). O diclosulam requer pouca precipitação para penetrar na palha e atingir seu alvo (MINOZZI, 2014). A simulação de 30 mm de chuva após a aplicação resultou em melhores taxas de controle de plantas de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia* (CARBONARI et al., 2008). A redução da umidade do solo pode afetar negativamente a eficácia dos herbicidas (MONQUEIRO et al., 2013).

A molécula apresenta pKa de 4,09 a 20°C , sugerindo que ela predomina na forma aniônica nas características de pH de solos aráveis (BIANCHI et al., 2010). Os

herbicidas que permanecerem na forma aniônica tendem a possuir mais oportunidades de se transportar livremente pela solução do solo, apresentando grande mobilidade na palha, sugerindo o controle de plantas daninhas na cultura da soja em sistema de plantio direto (ALONSO et al., 2013).

Dependendo da região ou país onde é utilizado, além de pós-emergência da soja, também pode ser utilizado em pré-plantio, pré-plantio e/ou pré-emergência de plantas daninhas. Produtos à base de diclosulam são registrados e comercializados na Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Paraguai, Estados Unidos e Uruguai para o controle de plantas daninhas anuais e algumas plantas daninhas perenes de folha larga, ou para o controle cultural de plantas daninhas no cultivo de soja, amendoim e cana-de-açúcar. A combinação deste herbicida com graminicidas fornece controle de amplo espectro de plantas daninhas (DOW, 2012).

Estudos em solos do Paraná, Argentina e Estados Unidos mostraram que a meia-vida ($t_{1/2}$) do diclosulam pode variar de 16 a 54 dias (YODER et al., 2000). Entre os diferentes sistemas de semeadura, o valor da meia-vida foi de 67 dias para o sistema de semeadura direta e 87 dias para o sistema de semeadura convencional (RAMBORGER et al., 2017). No entanto, certas espécies podem ser mais sensíveis a este herbicida.

A atividade microbiana favorece a degradação do diclosulam no solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011) e as condições que favorecem o aumento da atividade microbiana são as mesmas que favorecem a degradação de agrotóxicos: temperatura, umidade e aeração (MONQUEIRO, 2013).

A umidade do solo pode afetar a persistência de alguns herbicidas, como o diclosulam apresentou maior duração de efeito na umidade de 100% CC (capacidade de campo), enquanto no solo a 60% CC a porcentagem de intoxicação da espécie indicadora biológica foi menor, possivelmente devido a essa condição facilitar a adsorção desse herbicida. A presença desse herbicida foi detectada até 90 DAA (dias após a aplicação), independentemente da umidade do solo (MONQUERO et al., 2013). Observou-se também que, em relação aos solos de plantio direto e preparo convencional, pode-se observar maior dissipação de diclosulam no plantio direto do que no preparo convencional (MONQUERO et al., 2013). A maior atividade microbiana no plantio direto do que no plantio convencional pode estar relacionada com os maiores

conteúdos de carbono orgânico e nutrientes nesse sistema e pode explicar, em parte, a maior taxa de degradação do diclosulam no plantio direto via microrganismos.

Para avaliar a ocorrência de resíduos de herbicidas aplicados na soja, Dan et al. (2012) realizaram bioensaios com *Sorghum bicolor*, simulando culturas cultivadas continuamente. Neste estudo, foram utilizados oito herbicidas registrados para pré e pós-emergência da soja. O sorgo foi semeado após a colheita da leguminosa [115 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) em pré-emergência e 97 DAA dos herbicidas em pós-emergência]. Amostras de solo foram coletadas ao longo do experimento para bioensaios, e *S. bicolor* também serviu como indicador biológico. As avaliações de toxicidade mostraram que os herbicidas sulfentrazone, diclosulam e imazetapir tiveram efeitos negativos sobre o sorgo, mesmo após o plantio da soja. Dentre os herbicidas avaliados, o sulfentrazone apresentou o maior residual no solo.

As doses de aplicação do herbicida diclosulam variaram de 25 a 35 g ha⁻¹, o que é considerado baixo em comparação a outros herbicidas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). No entanto, a aplicação desse herbicida na soja pode causar danos às culturas subsequentes, como milho (DAN et al., 2012), tomate, algodão e sorgo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Ainda segundo Rodrigues e Almeida (2011), áreas tratadas com diclosulam não devem ser cultivadas com girassol por 18 meses.

2.2 Comportamento dos herbicidas no ambiente

Após a aplicação de um herbicida no solo, em sistemas de plantio direto, a maior parte do herbicida permanece na palhada superficial, que atua como uma barreira de retenção do herbicida (ASSIS, 2016). Dessa forma, o herbicida é prontamente volatilizado e/ou fotolisado antes penetrar no solo (MANCUSO et al., 2011). A quantidade de herbicida que penetra no solo depende da capacidade da palha de cobrir o solo e reter o herbicida, das propriedades físico-químicas do herbicida, do momento e da quantidade de chuva após a aplicação (CARVALHO, 2013). No solo em sistema de plantio direto, os herbicidas conseguem se distribuir melhor e apresentar maior persistência devido aos caminhos formados por restos vegetais ou organismos do solo, principalmente devido a processos de degradação (CORREIA, 2018).

O coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) e a pressão de vapor são os principais fatores que afetam a interação entre herbicidas e palha (SOUTO et al., 2013). K_{ow} é uma medida da lipofilicidade de uma molécula e, portanto, é utilizada como medida da interação entre herbicidas e materiais orgânicos (ROMAN, 2005). Outros fatores que afetam a retenção do herbicida pela palha é a quantidade e o momento da chuva após a aplicação (VASCONELO, 2017). As diferentes capacidades de adsorção dos herbicidas também podem ser atribuídas às mudanças na composição química da palhada e ao seu envelhecimento (CARVALHO, 2013).

O tipo de solo e o teor de matéria orgânica são dominantes na atividade dos herbicidas aplicados. Quanto maior o K_{ow} , maior a adsorção e maior a persistência do herbicida no solo, favorecendo a ocorrência de resíduo ou efeito residual. Por outro lado, quanto menor o K_{ow} , maior a solubilidade dos herbicidas e menor sua adsorção no solo, facilitando seu deslocamento em direção à área de germinação das plantas daninhas (MANCUSO et al., 2011).

A partir do momento em que o herbicida passa pela palha até o solo, pode permanecer ali por muito tempo, de meses a anos, dependendo das propriedades físicas e químicas da molécula e do solo alterando o processo de degradação (biótico e abiótico), causando grandes impactos ambientais (SOUTO et al., 2013). A persistência de um herbicida pode ser definida como a capacidade que o mesmo tem de manter sua integridade molecular, bem como suas propriedades físicas, químicas e biocidas no ambiente em que é transportado e distribuído após a liberação (MARCHESAN, 2016).

Ao usar produtos de pré-emergência, muitas vezes busca-se atividade residual, impedindo o crescimento de plantas daninhas em uma área específica por um determinado período. Por outro lado, herbicidas com bioatividade muito longa podem causar danos a espécies sensíveis de crescimento contínuo (DAN et al., 2012).

Propriedades como baixa volatilidade, ausência de fotodegradação, alta solubilidade, baixa adsorção aos colóides do solo e degradação principalmente por microorganismos (solos secos) ajudam a manter a eficácia dos herbicidas nos solos, pois em solos secos muitos microorganismos passam por uma fase de repouso e se tornam inativos (CORREIA, 2018).

Mancuso et al. (2011) e Correia (2018) relatam que a aplicação de herbicidas residuais em pré-emergência provoca fitotoxicidade ou resíduos em cultivos contínuos,

dependendo do herbicida utilizado, da cultura em sucessão e das condições ambientais após a aplicação. Os programas de substituição de culturas devem ser cuidadosos para evitar esse problema e, idealmente, devem controlar os efeitos residuais até que a cultura seja fechada (MANCUSO et al., 2011). Herbicidas com maior persistência no solo apresentam maior risco de contaminação ambiental por lixiviação, volatilização ou erosão. A complexidade do comportamento dos herbicidas no solo tem sido relatada por diversos autores (CORREIA, 2018).

A persistência de herbicidas no solo pode ser avaliada por uma técnica denominada bioensaios, utilizando plantas que indicam a presença de herbicidas. Os bioensaios permitem a detecção de resíduos biologicamente ativos presentes no solo. Características de espécies indicadoras favoráveis para bioensaios são frequentemente encontradas em espécies cultivadas (NUNES; VIDAL, 2009). Uma das características da espécie que favorecem os bioensaios é a alta taxa de crescimento, pois permite a observação rápida de sintomas já ocorridos. Além disso, a ampla distribuição geográfica permite que as espécies cultivadas sejam utilizadas para pesquisas em outros lugares.

Muitas plantas cultivadas são indicadores biológicos da presença de certos herbicidas no solo. Pepino (*Cucumis sativus*), soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) são exemplos de espécies utilizadas por Guerra et al. (2011), como um indicador biológico da presença de triflusaluron-metil e piritiona sódica. Nunes; Vidal (2009) avaliou aveia branca (*Avena sativa*), melancia (*Cucumis sativus*), pepino (*Cucurbita pepo*), cevada (*Hordeum vulgare*), alface (*Lactuca sativa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus*), rabanete (*Raphanus sativus* var. *sativus*) e trigo (*Triticum aestivum*) como indicadores de herbicidas residuais (atrazina, clorsulam, imazaquin, Saikezin e metolacoloro). Aveia branca, trigo, quiabo (*Abelmoschus esculentus*), tomate (*Solanum lycopersicum*), ervilha (*Pisum sativum*) e rabanete foram utilizados como indicadores biológicos da presença do herbicida atrazina (MARCHESAN et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante os meses de dezembro a fevereiro de 2022, localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, GO (17° 48' 28.2" Sul e 50° 54' 09.9" Oeste).

Foram avaliadas duas espécies bioindicadoras: *Lactuca sativa* (alface) e *Cucumis sativus* (pepino), sob o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo 3 (herbicidas x 2 (textura de solo), com quatro repetições, além de um tratamento sem adição de herbicidas (controle).

Foram utilizadas doses de Flumioxazinaa (Flumyzin 500 SC) (500 g/l) 150 ml/ha, Trifluralina (Trifluralina Nortox) (445g/l) 1,8 l/ha, Diclosulam (Spider® 840 WG) (840 g/l) 41,7 g/ha (Figura 4).

Foram utilizados dois solos de texturas distintas, sendo o solo de textura argilosa classificado como Latossolo Vermelho, e o solo arenoso classificado como Neossolo Quartzarênico.

Para avaliar a atividade residual dos herbicidas, fez-se a aplicação dos herbicidas 30 dias antecedendo a semeadura da alface e pepino. No dia 28/11/2022 foi realizada a aplicação dos herbicidas por meio de pulverizador costal pressurizado a CO₂, calibrado na pressão 2,5 Bar, pontas de pulverização ST02D e com vazão de 225 l/min. As condições climáticas no momento da aplicação foram de temperatura do ar de 26,3 °C, velocidade do vento 3,9 km/h e umidade relativa 30,4%.

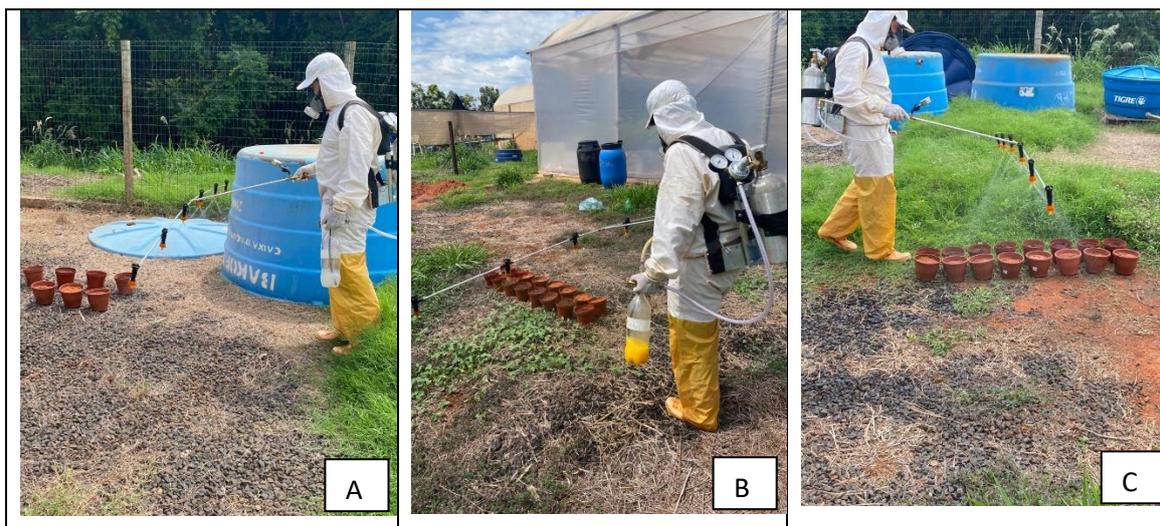


Figura 4. Aplicação do herbicida Trifluralina (A), Diclosulam (B) e Flumioxazina (C) no dia 28/11/2022.



Figura 5. Aplicação do herbicida Diclosulam no dia 28/11/2022.



Figura 6. Aplicação do herbicida Flumioxazina no dia 28/11/2022.

Antes da pulverização dos herbicidas, as unidades experimentais foram irrigadas, portanto, a aplicação foi realizada com solo úmido. Após 30 dias da aplicação dos herbicidas, realizou-se a semeadura das espécies com 3 sementes na profundidade de 1 cm por vaso.

Após a etapa de semeadura foi realizado a irrigação dos vasos plásticos uma vez ao dia, mantendo o solo sempre úmido durante a condução do experimento, para o melhor desenvolvimento das plantas.

Aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação dos herbicidas (DAA) foram feitas avaliações visuais de intoxicação, atribuindo notas de 0 a 100, onde 0 significa ausência de sintomas e 100 a morte total das plantas (Figura 7), a altura de plantas (AP). A massa seca de parte aérea (MSPA) foi obtida coletando as plantas inteiras aos 28 DAA. A AP foi realizada com auxílio de régua milimetrada, sendo os resultados expressos em centímetros. Para a MSPA, as plantas foram retiradas inteiras com a raiz e acondicionadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa de circulação de ar forçada, por 96 horas à 65 °C, sendo posteriormente pesadas em balança analítica (0,0001g).

Para interpretação dos dados, empregou-se a análise de variância, utilizando-se do teste F ($< 0,05$).

Conceito	Nota	Observação
Muito leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, porém totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para morte de toda a cultura.

Adaptado de SBCPD (1995).

Figura 7. Escala de notas para avaliação visual de fitotoxicidade de herbicidas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito dos herbicidas na altura das plantas (AP) de alface é apresentado na Tabela 1. No solo argiloso a altura das plantas de alface semeadas apresentou diferença estatística em todo o período avaliado, sendo que todos os tratamentos apresentaram altura inferior à altura do tratamento controle neste período; aos 14, 21 e 28 DAA somente plantas tratadas com a trifluralina apresentaram alturas similares ao tratamento controle. Somente as plantas semeadas sobre o solo tratado com a flumioxazina apresentaram altura nula durante o período avaliado, indicando que a alface é sensível ao herbicida.

Em relação ao solo arenoso o tratamento com a trifluralina apresentou alturas similares ao tratamento controle no início das avaliações, se sobressaindo ao 14 DAA.

Tabela 1. Altura (cm) de *Lactuca sativa* dos 7 aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo.

Solo argiloso				
Tratamentos	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	0,67 cB	2,40 dB	3,10 cB	4,40 cB
Diclosulam	0,37 bA	0,50 bA	0,50 aA	0,50 aA
Flumioxazina	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA
Trifluralina	0,52 bcA	1,70 cB	2,32 bB	2,87 bB
CV%	35,78	18,91	27,83	27,49
F _{5%}	0,011*	0,000*	0,0001*	0,000*

Solo arenoso				
Tratamentos	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	0,30 bA	0,77 bA	1,55 bA	2,12 bA
Diclosulam	0,40 bA	0,52 bA	0,52 aA	0,52 aA
Flumioxazina	0,00 aA	0,15 aA	0,20 aA	0,25 aA
Trifluralina	0,42 bA	1,20 cA	1,67 bA	2,17 bA
CV%	35,78	18,91	27,83	27,49
F _{5%}	0,011*	0,000*	0,0001*	0,000*

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas e nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. *significativo.

De acordo com Lavorenti et al. (2003), o diclosulam é um herbicida ativo residual com meia-vida ($t_{1/2}$) de 67 dias no sistema plantio direto e 87 dias no sistema convencional de preparo do solo. Segundo Yoder et al. (2000), o herbicida tem meia-vida de 16 a 54 dias em solos do Brasil, Argentina e Estados Unidos. Considerando que a meia-vida é o tempo necessário para que o herbicida atinja a metade da concentração inicial no solo, sugere-se que o diclosulam afetaria negativamente as culturas da alface e pepino mesmo em baixas concentrações residuais.

Conforme Dan et al. (2012), sua persistência depende das propriedades do solo e baixo teor de matéria orgânica, textura e sorção de herbicidas é maior em solos ácidos com pH mais baixo, diretamente relacionado ao teor de matéria orgânica no solo.

Os resultados dos tratamentos com o herbicida trifluralina nas plantas de alface pode ser justificado pelo mecanismo de ação desse herbicida e a forma como ele é absorvido pelas plantas, pois a trifluralina atua inibindo a divisão celular dos tecidos meristemáticos e inibindo a germinação das sementes e a formação de novas células na radícula e caulículo. Portanto, quando esse herbicida entra em contato com o sistema radicular de uma planta, pode ter um efeito prejudicial maior no desenvolvimento da planta. Vale ressaltar que a ausência de fitotoxicidade na deriva simulada de plantas de alface é um aspecto relevante, visto que este produto possui alta pressão de vapor, tanto que suas recomendações se baseiam na inclusão de pré-plantio (KLUPINSKI e CHIN, 2003).

Os resultados obtidos por da Silva et. al. (2017) confirmaram os dados obtidos neste experimento, no qual os autores tiveram como objetivo avaliar a seletividade do

herbicida trifluralina quando aplicado antes do transplante de culturas de alface em condições de campo. Os autores obtiveram dados que demonstram a seletividade da trifluralina nas culturas de alface. Esse comportamento foi demonstrado pelo mecanismo de ação e forma de aplicação, que reduz o contato do produto com a cultura da alface.

A altura da espécie *C. sativus* foi influenciada negativamente pela aplicação dos herbicidas diclosulam e flumioxazina em ambos os tipos de solo. Analisando a aplicação do herbicida trifluralina, observa-se acréscimo na altura da espécie tanto para o solo argiloso quanto para o arenoso, se comparado aos demais tratamentos com herbicidas e diferenciou do tratamento controle nos dias 14 e 28 dias no solo argiloso (Tabela 2).

Tabela 2. Altura (cm) de *Cucumis sativus* dos 7 aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo.

Solo argiloso				
Tratamentos	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	1,67 bB	5,10 bB	6,32 bA	7,42 bA
Diclosulam	0,00 aA	1,40 aA	1,60 aA	1,67 aA
Flumioxazina	0,65 abA	0,85 aA	1,00 aA	1,45 aA
Trifluralina	4,32 cB	8,05 cB	9,00 cB	11,07 cB
CV%	49,57	20,44	22,46	25,44
F _{5%}	0,0039*	0,000*	0,0007*	0,0009*
Solo arenoso				
Tratamentos	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	0,00 aA	3,82 bcA	6,70 cA	8,00 cA
Diclosulam	0,00 aA	2,12 aA	1,57 aA	1,62 aA
Flumioxazina	1,20 aA	2,65 abB	4,07 bB	4,97 bB
Trifluralina	2,75 bA	5,27 cA	7,00 cA	7,90 cA
CV%	39,57	20,44	22,46	25,44
F _{5%}	0,0039*	0,000*	0,0007*	0,0009*

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas e nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. *significativo.

A espécie *L. sativa* apresentou maior redução na massa seca em resposta a aplicação dos herbicidas diclosulam e flumioxazina nos dois tipos de solo. Ao avaliar o herbicida trifluralina, observou-se incremento na produção de massa seca em comparação aos demais herbicidas e não apresentando diferença significativa entre o tratamento controle para ambos os solos (Tabela 3).

Tabela 3. Massa seca (gramas) de *Lactuca sativa* aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo.

Tratamentos	Massa seca	Massa seca
	(solo argiloso)	(solo arenoso)
Controle	0,30 bA	0,23 bA
Diclosulam	0,04 aA	0,05 abA
Flumioxazina	0,00 aA	0,02 abA
Trifluralina	0,28 bA	0,23 bA
CV%	65,40	
F _{5%}	0,515 ^{ns}	

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas e nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Observou-se resposta positiva na produção de massa seca do pepino com a aplicação da trifluralina. Em contraposição, os herbicidas diclosulam e flumioxazina apresentaram efeito residual alto, evidenciado pela baixa produção de massa seca em relação ao tratamento controle, comportamento este evidenciado nos dois tipos de solo (Tabela 4).

Tabela 4. Massa seca (gramas) de *Cucumis sativus* aos 28 dias após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo.

Tratamentos	Massa seca	Massa seca (solo arenoso)
	(solo argiloso)	
Controle	4,80 bB	2,81 bcA
Diclosulam	0,05 aA	0,047 aA
Flumioxazina	0,13 aA	1,14 abA
Trifluralina	6,85 bB	3,68 cA
CV%	52,75	
F _{5%}	0,014*	

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas e nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. *significativo

De acordo com Tan et al. (2006), plantas altamente sensíveis aos herbicidas inibidores da ALS podem apresentar paralisação do crescimento apical em função da redução da biossíntese de valina, leucina e isoleucina, aminoácidos essenciais ao desenvolvimento da planta. A atividade residual apresentada pelos herbicidas diclosulam e flumioxazina causaram reduções significativas no acúmulo de massa de matéria seca nas plantas de alface e pepino.

Para o herbicida diclosulam foi observado maiores resultados de fitointoxicação em ambos os tipos de solo na alface. No solo arenoso a espécie bioindicadora apresentou sensibilidade aos herbicidas flumioxazina e trifluralina a partir dos 21 DAA (Tabela 5). Pode-se deduzir da adsorção das moléculas dos herbicidas flumioxazina e trifluralina no solo que elas podem ser absorvidas gradual e lentamente pelas plantas à medida que o ciclo do vegetal avança, reduzindo assim a intoxicação inicial das espécies.

O mecanismo de ação do diclosulam nas plantas é através da inibição da enzima ALS. Essa enzima é encontrada principalmente na região do meristema das plantas e está envolvida na síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (LEITE et al., 1998). Em plantas sensíveis tratadas com este ingrediente ativo, o crescimento para dentro de algumas horas, mas os sintomas podem demorar semanas para aparecer. Os primeiros sintomas são clorose da planta, murcha, necrose e morte. Além disso, as nervuras da face inferior das folhas podem ficar roxas (CUNHA, 2022).

Tabela 5. Fitotoxicidade (%) de *Lactuca sativa* após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo.

Tratamentos	Solo argiloso			
	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 a
Diclosulam	5,00 bA	11,25 bA	22,50 bA	41,25 b
Flumioxazina	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 a
Trifluralina	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	2,00 a

	0,00	69,68	108,11	79,67
CV%	0,00	69,68	108,11	79,67
F5%	0,00	0,580 ^{ns}	0,524 ^{ns}	0,551 ^{ns}

Solo arenoso

Tratamentos	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 a
Diclosulam	5,00 bA	11,25 bA	22,50 bA	40,00 b
Flumioxazina	0,00 aA	2,50 aA	7,50 abA	10,00 a
Trifluralina	0,00 aA	0,00 aA	10,25 abA	12,5 a
CV%	0,00	0,00	0,00	0,00

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

De acordo com as avaliações de fitotoxicidade realizadas na espécie *C. sativus*, pode-se constatar uma maior fitotoxicidade nas plantas com a aplicação dos herbicidas diclosulam e flumioxazina, sendo o diclosulam mais expressivo no solo arenoso e o flumioxazina com maiores respostas no solo argiloso (Tabela 6).

Tabela 6. Fitotoxicidade (%) em plantas de *Cucumis sativus* aos 7, 14, 21 e 28 após a aplicação de herbicidas em diferentes texturas de solo.

Solo argiloso				
Tratamentos	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA
Diclosulam	0,00 aA	6,50 aA	18,00 aA	20,50 aA
Flumioxazina	18,75 bA	61,25 bB	60,50 bB	62,50 bB
Trifluralina	0,00 aA	0,00 a	2,25 aA	3,50 aA
CV%	240,43	60,49	97,32	101,13
F5%	0,402 ^{ns}	0,020*	0,010*	0,013*

Solo arenoso

Tratamentos	Período avaliado			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Controle	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA	0,00 aA
Diclosulam	0,00 aA	6,50 aA	58,75 bB	52,50 bB
Flumioxazina	7,50 aA	37,50 bA	25,50 abA	20,25 abA

Trifluralina	0,00 aA	0,00 aA	1,75 aA	2,75 aA
CV%	0,00	0,00	0,00	0,00

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. * significativo. ns: não significativo.

De maneira geral, a altura da planta correlacionou-se negativamente com a fitotoxicidade, sendo que, para quase todos os herbicidas, as avaliações de toxicidade a partir dos 21 DAA mostraram maior expressividade de espécies indicadoras biológicas em ambos os tipos de solo. Isso reflete diferenças na sensibilidade das variáveis de resposta em detectar mudanças no desenvolvimento da planta em resposta à presença de herbicidas, e também pode ser explicado pela evolução dos sintomas que ocorrem ao longo do tempo.

5 CONCLUSÃO

A aplicação dos herbicidas diclosulam e flumioxazina em ambos os tipos de solo provocou redução na altura, na produção de massa seca e promoveu maior fitotoxicidade nas espécies *Lactuca sativa* e *Cucumis sativus*.

A aplicação do herbicida trifluralina, não interferiu negativamente na altura da espécie e produção de massa seca para ambas as espécies tanto para o solo argiloso quanto para o arenoso;

Na espécie *Cucumis sativus*, pode-se constatar uma maior fitotoxicidade nas plantas sendo o diclosulam mais expressivo no solo arenoso e o flumioxazina com maiores respostas no solo argiloso.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES C, GALON L, WINTER FL, BASSO FJM, HOLZ CM, KAIZER RR. Winter species promote phytoremediation of soil contaminated with protox-inhibiting herbicides. *Planta Daninha*. 2019; 37:e019184783. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100020>

ALONSO, D. G. et al. Seletividade de glyphosate isolado ou em misturas para soja RR em aplicações sequenciais. *Planta daninha*, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 203-212, Mar. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582013000100022&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 mai. 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000100022>.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/38a2b2804745906a991ddd3fbc4c6735/d43.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em 24 abr. 2023

ASSIS, Fernando Xavier de. Transporte e sorção do imazapic em solos cultivados com cana-de-açúcar. 2016. 75 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7719>>

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.

BIANCHI, M.A.; ROCKENBACH, D.; SCHNEIDER, T. Seletividade de herbicidas a base de clorimurrom-etílico aplicados em pré e em pós-emergência da soja. Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 3, 2010. Cruz Alta-RS. Resumos... Universidade de Cruz Alta, 2010. p.3.0

CAMACHO M, GANNON T, AHMED K, MULVANEY M, HEITMAN J, AMOOZEGAR A. Evaluation of imazapic and flumioxazina carryover risk for Carinata (*Brassica carinata*) establishment. *Weed Science*. 2022; 70(4): 503-13. Available from: <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.27>

CARVALHO, L. B. *Herbicidas*. 1ª edição. Lages, SC: Edição do Autor, 2013. 72p.

CARBONARI, C. A. et al. Eficácia do herbicida diclosulam em associação com a palha de sorgo no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. *Planta daninha*, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 657-664, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582008000300022&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 mai. 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582008000300022>.

CHRISTOFFOLETI, P. J. *Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar*. Piracicaba: ESALQ, 2008. 85 p.

CORREIA, Núbia Maria. Comportamento dos herbicidas no ambiente / Núbia Maria Correia - Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2018. 30 p. : il. color. ; 21 cm x 27 cm. (Documentos / Embrapa Hortaliças, ISSN 1415-2312 ; 160).

CUNHA, Beatriz Ribeiro da. Tolerância de diferentes cultivares de soja ao diclosulam em função da modalidade de aplicação, textura de solo e absorção e translocação. 2022. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2022. doi:10.11606/D.11.2022.tde-11052022-153318. Acesso em: 2023-07-21.

DAHLEM, Ana R. Plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho sob plantio direto no Sudoeste do Paraná. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) 94f.. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

DAMS, R. I. Pesticidas: Usos e perigos à saúde e ao meio ambiente. Revista Saúde e Ambiente, v. 7, n. 2, p. 37-44, 2009.

DAN, H. A., DAN, L. G. M., BARROSO, A. L. L., PROCÓPIO, S. O., OLIVEIRA JR, R. S., SILVA, A. G., & FELDKIRCHER, C. (2010). Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. *Planta Daninha*, 28(SPE), 1087-1095.

DAN, H. A., et al. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 1, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2163>. Acesso em 13 de mai. 2023.

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.

Da Silva, Paulo Vinicius & Nicolle, GASPAR & Ribeiro, Nagila & Viera, Paulo & Monquero, Patricia. (2017). EFEITOS FITOTÓXICOS SOBRE A CULTURA DO ALFACE OCASIONADOS PELA DERIVA SIMULADA DE HERBICIDAS UTILIZADOS NO MILHO. *Revista Ensaios Pioneiros*. 1. 1-13. 10.24933/rep.v1i1.21.

DA SILVA CT, BARROSO GM, SILVA DV, GALON L, HOLZ CM, SANTOS MV, EVARISTO AB, DAS CHAGAS PSF, DE CARVALHO AJE, DOS SANTOS JB. Remedial capacity of diclosulam by cover plants in different edaphoclimatic conditions. *Int J Phytoremediation*. 2021; 23(6):609-18. Available from: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1847032>.

DIAS, R. C. et al. Seleção de espécies bioindicadoras para o herbicida indaziflam. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 18, n.1, e650, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v18i2.650>

DOW. Product Safety Assessment - Diclosulam. The Dow Chemical Company, 2012. Disponível em:

http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08b1/0901b803808b1f7f.pdf?filepath=productsafety/pdfs/noreg/233-00953.pdf&fromPage=GetDoc. Acesso em: 06 maio. 2023.

DUQUE, T. S. et al. Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e999998123, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8123>.

FERNANDES, T.C.C.; MAZZEO, D.E.C.; MARIN-MORALES, M.A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trifluralin herbicide. *Pesticide biochemistry and Physiology*, v.88, p.252-259, 2007.

FERRELL, J. A.; VENCILL, W. K.; XIA, K.; GREY, T. L. Sorption and desorption of flumioxazina to soil, clay minerals and ion-exchange resin. *Pest Management Science*, v. 61, n. 1, p. 40-46, 2005.

Galon L, Nonemacher F, Agazzi L, Fiabane R, Forte C, Franceschetti M, et al. [Phytoremediation of soil contaminated with ALS and PS II inhibitors herbicides]. *Rev. Bras. Herb.* 2017; 16(4):307-24. Portuguese. Available from: <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.586>

GODOY, J. A. P.; FONTANETTI, C. S. Diplopods as Bioindicators of Soils: Analysis of Midgut of Individuals Maintained in Substrate Containing Sewage Sludge. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 2010, p.389-398, 2010.

GUERRA, Naiara et al. Seleção de espécies bioindicadoras para os herbicidas trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium. *Revista Brasileira de Herbicidas*, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 37-48, abr. 2011. ISSN 2236-1065. Disponível em: . Acesso em 13 mai. 2018. doi:<https://doi.org/10.7824/rbh.v10i1.89>.

JONAS, B. F. de S. et al. Selection of bioindicator species of flumioxazina and saflufenacil residues in the soil. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 11, p. e139119486, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.9486

KARPINSKI, Ricardo André Kloster et al. Influência da textura do solo na seletividade do herbicida fomesafen aplicado em pré-emergência do algodoeiro. *Revista Brasileira de Herbicidas*, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 125-133, ago. 2014. ISSN 2236-1065. Disponível em: <<http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/283>>. Acesso em: 23 jul. 2023. doi:<https://doi.org/10.7824/rbh.v13i2.283>.

KLUPINSKI, T. P., CHIN, Y. P. Abiotic Degradation of Trifluralin by Fe(II): Kinetics and Transformation Pathways. *Environ. Sci. Technol.*, Easton v. 37, p. 1311-1318, 2003.

LAVORENTI, A. et al. Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, n.1, p.183-190, 2003. Disponível em: <<http://www.sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v27n1a19.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2023.

LEITE, C. R. F.; ALMEIDA, J. C. V.; PRETE, C. E. C. Aspectos fisiológicos, bioquímicos e agronômicos dos herbicidas inibidores da enzima ALS (AHAS). Londrina: Célio Roberto Ferreira Leite, 1998. 68 p.

MATOS AKA, CARBONARI CA, COTRICK GLG. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw. *Rev. Bras. de Herb.* 2016; 15(1): 97-106. Available from: <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i1.441>

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L.. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 10, n. 2, p. 151-164, ago. 2011. ISSN 2236-1065.

MARCHESAN, Eli D. et al. Integration mulches with atrazine for weed management in corn. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v. 11, n. 1, p. 1-7, 2016. ISSN 1981-1160. Disponível em: . Acesso em 13 mai. 2018. doi:10.5039/agraria.v11i1a5353.

MENDES, M. F.; SOUSA, R. N.; DIAS, R. C.; REIS, M.R. Efeito residual de herbicidas em solos agricultáveis. 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.

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 maio de 2023.

MINOZZI, G. B., MONQUERO, P. A., PEREIRA, P. A., Eficácia de diferentes manejos das plantas daninhas na cultura da soja transgênica. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.9, n.3, p. 406-412, 2014. ISSN (on line) 1981-0997. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119032103015>> ISSN 1981-1160>. Acesso em 13 de mai. 2023. doi:10.5039/agraria.v9i3a4499.

MONQUERO, P. A.; MUNHOZ, W. S.; HIRATA, A. C. da Silva. Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE*, v. 7, n. 3, p. 331-337, dez. 2013. ISSN 1982-8470. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/1311>>. Acesso em 13 mai. 2023. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i3.1311>.

NOGAROL, L.R.; FONTANETTI, C.S. Acute and subchronic exposure of diplopods to substrate containind sewage mud: Tissular responses of the midgut. *Micron*, v.41, p. 239-246, 2011.

NUNES, Anderson L.; VIDAL, Ribas A.. Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 19, dez. 2009. ISSN 0103-7277.

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.

OLIVEIRA, T. L. et al. Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida ethoxysulfuron. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 61, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2613>

PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE – PPDB. Flumioxazina, 2023. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1663.htm#none>. Acesso em: 8 de maio de 2023.

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.

RAMBORGER BP, GULARTE CAO, RODRIGUES DT, GAYER MC, CARRIÇO MRS, BIANCHINI MC. The phytoremediation potential of *Plectranthus neochilus* on 2,4- dichlorophenoxyacetic acid and the role of antioxidant capacity in herbicide tolerance. *Chemosphere*. 2017; 188: 231-40. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.164>.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. *Guia de herbicidas*. 6. ed. Londrina: [s.n.], 2011. 697 p.

ROMAN, Erivelton Scherer et al. *Como Funcionam Os Herbicidas: da biologia à aplicação*. Gráfica Editora Berthier, [S. l.], p. 1–152, 2005.

Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal - Sindiveg, 2022. Available from: <https://sindiveg.org.br/>

SOUTO, K. M. et al. Biodegradação dos herbicidas imazetapir e imazapique em solo rizosférico de seis espécies vegetais. *Ciencia Rural*, [S. l.], v. 43, n. 10, p. 1790–1796, 2013

SOUZA, T.S.; FONTANETTI, C.S. Morphological biomarkers in the *Rhinocricus padbergi* midgut exposed to contaminated soil. *Rev. Ecotoxicology and Environmental Safety*. n.74, p. 10-18, 2011.

TREVISAN E, BELO A, PIRES F, BONOMO R, VIANA D, EGREJA FILHO F. Influence of organic matter on the phytoremediation of sulfentrazone in contaminated soil. *Rev. Bras. Herb*. 2016; 15(4): 371-79. Available from: <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i4.495>

VASCONCELO, Simony Montthiel Araújo. *Fitorremediação de solo contaminado com imazapic*. 2017. [s. l.], 2017.

YODER, R. N. et al. Aerobic metabolism of diclosulam on US and South American soils. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 48, n. 9, p. 4335-4340, 2000.