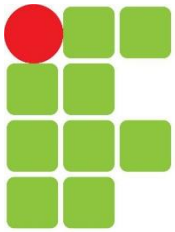

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

AGRONOMIA

EFEITO RESIDUAL DE INDAZIFLAM: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RODRIGO MATHEUS SOARES HILÁRIO

RIO VERDE, GO

2024

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

AGRONOMIA

EFEITO RESIDUAL DE INDAZIFLAN: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RODRIGO MATHEUS SOARES HILÁRIO

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador (a): Prof. Dra. Renata Pereira Marques

Rio Verde – GO

Março, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi

Soares Hilário, Rodrigo Matheus
H 6 4 1 EFEITO RESIDUAL DE INDAZIFLAN: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA / Rodrigo Matheus Soares Hilário. Rio Verde - GO 2024.

21f.

Orientadora: Profª. Dra. Renata Pereira Marques.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220024 - Bacharelado em Agronomia - Integral - Rio Verde (Campus Rio Verde).
I. Título.

ATA DE DEFESA

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO VII - FICHA DE AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE CURSO

Aluno:

Rodrigo Matheus Soares Hilário

Título:

"EFEITO RESIDUAL DE INDAZIFLAM: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA"

Membro 1 da Banca Examinadora:

Renata Pereira Marques

Membro 2 da Banca Examinadora:

Lucas Loram Lourenço

Membro 3 da Banca Examinadora:

Juliany Alves Lopes

Itens avaliados	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Nota Final*
Avaliação Escrita	5,12	5,08	4,9	9,32
Apresentação Oral	3,9	4,07	3,85	
Nota	9,02	9,15	9,79	

*NOTA FINAL: A nota final será obtida a partir da média aritmética simples das notas dos membros da banca [(Nota do Examinador 1 + Nota do Examinador 2 + Nota do Examinador 3)/3].

Renata Pereira Marques

Membro 1 da Banca Examinadora

Lucas Loram Lourenço

Membro 2 da Banca Examinadora

gov.br Documento assinado digitalmente
JULIANY ALVES LOPES
Data: 18/04/2024 15:52:35-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Juliany Alves Lopes

Membro 3 da Banca Examinadora

Rio Verde, 18 de abril de 2024.

Documento assinado eletronicamente por:

- Lucas Loram Lourenço, 2021202341360022 - Discente, em 18/04/2024 15:20:36.
- Renata Pereira Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/04/2024 14:50:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/04/2024. 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: 594179
Código de Autenticação: e3296ebee9

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

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

- ☐ Tese (doutorado)
- ☐ Dissertação (mestrado)
- ☐ Monografia (especialização)
- ☑ TCC (graduação)
- ☐ Artigo científico
- ☐ Capítulo de livro
- ☐ Livro
- ☐ Trabalho apresentado em evento
- ☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor: Rodrigo Matheus Soares Hilário

Matrícula: 2017102200240383

Título do trabalho: EFEITO RESIDUAL DE INDAZIFLAM: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 21/08/2025

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 inclusos 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 (Local) 20/08/2025 (Data)

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus que me sustentou até aqui e a minha família por ser meu esteio durante os anos de curso. Também quero agradecer à minha orientadora Dra. Renata Pereira Marques pela orientação e aprendizado e por contribuir com a minha formação. Além disso quero agradecer ao Laboratório de Plantas Daninhas e todos os membros pelo suporte e conhecimento adquiridos durante minha permanência no mesmo. Também quero agradecer aos meus amigos que estiveram presentes na minha trajetória acadêmica o Lucas Freitas, Pedro Peraro, Gabriel Jesus e Gabriel Castoldi.

RESUMO

O controle químico através da aplicação de herbicidas, tanto na condição de pré-emergência como de pós-emergência, é o principal método de controle das plantas daninhas. O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1H-inden-1-yl]-6- [(1R)-1-fluoroetil]-1,3,5-triazina-2,4-diamina) é um ingrediente ativo com efeito herbicida recentemente inserido no mercado, cujo mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose, pertencente à classe química "alquilazina ". Objetivou-se com esse estudo realizar pesquisas na literatura que enfatizam a dinâmica ambiental do herbicida indaziflam. Para a obtenção dos resultados desta pesquisa, foram selecionados 5 artigos científicos, que abordam respostas das culturas a esse herbicida, persistência no solo, sorção, dinâmica ambiental, demostrando assim os resultados de diversos pesquisadores aliados ao tema. As implicações na dinâmica ambiental e como vem afetar o meio ambiente ainda são poucas informações disponibilizadas. Portanto, estudos do efeito do resíduo deste herbicida e como isso implica na dinâmica ambiental e no meio ambiente ainda ter que ser realizados, principalmente para o comportamento deste herbicida em solos brasileiros, visando minimizar o efeito residual para as culturas subsequentes e contaminações.

Palavras-chave: Alion; carry over; alquilazina; meio ambiente.

ABSTRACT

Chemical control through the application of herbicides, both in pre-emergence and post-emergence conditions, is the main method of controlling weeds. Indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6-[(1R)-1-fluoroethyl]-1,3,5 -triazine-2,4-diamine) is an active ingredient with herbicidal effect recently entered on the market, whose mechanism of action is the inhibition of cellulose biosynthesis, belonging to the chemical class "alkylazine". The objective of this study was to carry out research in the literature that emphasizes the environmental dynamics of the herbicide indaziflam. To obtain the results of this research, 5 scientific articles were selected, which address crop responses to this herbicide, persistence in the soil, sorption, environmental dynamics, thus demonstrating the results of several researchers allied to the theme. The implications on the environmental dynamics and how it affects the environment are still little information available. Therefore, studies of the effect of this herbicide residue and how it affects the environmental dynamics and the environment still have to be carried out, mainly for the behavior of this herbicide in Brazilian soils, aiming to minimize the residual effect for subsequent cultures and contamination.

Palavras-chave: Alion; carry over; alkylazine; environment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Artigos científicos relacionados ao efeito residual do herbicida indaziflam.....20

SUMÁRIO

1. **INTRODUÇÃO** 10
2.1. Propriedades físico-químicas do herbicida indaziflam 11
2.2. Efeito residual do herbicida Indaziflam 13
2.3. Implicações na dinâmica ambiental 14
3. MATERIAL E MÉTODOS 16
4. ARTIGOS RELACIONADOS AO TEMA EM ESTUDO 17
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 18

1. **INTRODUÇÃO**

Anualmente são usados no mundo aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de agrotóxicos. O consumo anual de agrotóxicos no Brasil tem sido superior a 300 mil toneladas de produtos comerciais. Expresso em quantidade de ingrediente-ativo (i.a.), são consumidas anualmente cerca de 130 mil toneladas no país; representando um aumento no consumo de agrotóxicos de 700% nos últimos quarenta anos, enquanto a área agrícola aumentou 78% nesse período. (EMBRAPA, 2021), mostrando sua importante participação na agricultura brasileira. O controle químico através da aplicação de herbicidas, tanto na condição de pré-emergência como de pós-emergência, é o principal método de controle das plantas daninhas. (MOZAMBANI et al., 2007). O uso de forma racional e consciente é de suma importância, pois a atividade agrícola é muito questionada e julgada do ponto de vista ambiental, e para isso, muitos estudos são realizados para compreender o comportamento desses produtos no solo (MANCUSO et al., 2011).

Grande parte dos agrotóxicos utilizados não atingem seu alvo, cerca de 99,9% têm potencial de transferência para os diferentes componentes ambientais (DORNELLES e OLIVEIRA, 2015), como nascentes, poços, açudes, lagos, rios, fauna e flora silvestres, solos explorados ou não para cultivo, a atmosfera e o homem. A eficácia de um herbicida em controlar plantas daninhas depende do comportamento de suas moléculas no solo, que é o destino final ou transitório do produto, independentemente do local de aplicação (INOUE et al., 2011; MANCUSO et al., 2011).

Uma vez no solo, a molécula do herbicida pode seguir diferentes destinos no ambiente, governados por alguns processos como, por exemplo, a sorção (adsorção ou dessorção), a lixiviação ou escorrimento superficial, a degradação química e/ou biológica, e a absorção pelas plantas, além das interações entre todos esses processos (PRATA, 2002, MANCUSO et al., 2011). Outro aspecto importante na recomendação do herbicida a ser aplicado é a interação solo-planta-herbicida, onde no solo está relacionado com a dinâmica do herbicidas, sendo influenciadas pelas propriedades físico-químicas da molécula, pelos atributos do solo (textura, pH e matéria orgânica) e pelas condições ambientais ou pela interação desses fatores (CHRISTOFFOLETI et al, 2009).

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1H-inden-1-yl]-6- [(1R)-1-fluoroetil]-1,3,5-triazina-2,4-diamina) é um ingrediente ativo com efeito herbicida recentemente inserido no mercado, cujo mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose, pertencente à classe química "alquilazina " (TOMPKINS, 2010). De acordo com Amim et al. (2014), que observou o controle de plantas daninhas (*Rottboellia cochinchinensis, Panicum maximum, Digitaria horizontalis, Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia*) por indaziflam em diferentes tipos de solos (texturas areia, argila e franco-argiloarenosa), o herbicida foi mais eficiente no controle das espécies *D. horizontalis, P. maximum e R. cochinchinensis*. As duas primeiras foram muito sensíveis ao herbicida, com controle total dessas espécies em todas as doses e solos testados. No solo argiloso, *R. cochincinensis* só foi eficientemente controlada a partir da dose de 50 g ha-1 de indaziflam. O controle de *E. heterophylla* e *I. grandifolia* pelo indaziflam foi mais eficiente no solo franco-argiloarenoso.

O indaziflam foi introduzido em 2016 no Brasil e, apresenta registro apenas para as culturas da cana, citros e café (BRASIL, 2019). De acordo com Brasil (2021), entre 2020 e 2021 foram comercializados 0,16 mil toneladas do ingrediente ativo indaziflam com maior consumo no estado de São Paulo. É um herbicida posicionado para aplicações em pré-emergência (BROSNAN et al., 2011; BRABHAM et al., 2014). Seu residual no solo é considerado longo, persistindo no sistema por mais tempo que outros herbicidas utilizados nesta modalidade a qual tem recomendação (KAAPRO; HALL, 2012). Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo realizar pesquisas na literatura que enfatizam a dinâmica ambiental do herbicida indaziflam.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Propriedades físico-químicas do herbicida indaziflam

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6- [(1R)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine), é um ingrediente ativo com efeito herbicida, pertencente à nova classe química "alquilazina ". Seu mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose (TOMPKINS, 2010). O indaziflam apresenta as seguintes

características físico-químicas: Solubilidade em água – 2.8mgL-1, coeficiente de partição octanol-água - 6.31 X 10^2, adsorção ao solo – 1.000 e meia vida no solo de 150 dias (LEWIS et al., 2016). Já EPA (2010) e Alonso et al. (2011) traz que as propriedades físico-químicas do indaziflam sugerem baixa sorção ao solo (Kd = 4,9 - 27,4 mL-1), alta persistência (T1/2 > 200 dias) e é improvável que volatilize (pressão de vapor $6{,}92\times10^{-8}$ Pa).

Esse é um herbicida que possui elevado residual no solo, o que pode implicar em risco de contaminação ambiental, a depender de aspectos relacionados ao potencial de sorção e lixiviação deste nos solos (SOUZA, 2018). O indaziflam possui registro apenas para as culturas cana-de-açúcar, café, citrus, manga, goiaba, coco, dendê, eucalipto, pinus, uva, maçã, banana e caju, variando entre doses de 0,1 a 0,2 L ha-1 para essas culturas (BRASIL, 2021).

O indaziflam pode controlar tanto Liliopsidas quanto Magnoliopsidas, em pré ou pós-emergência inicial (BROSNAN et al., 2011; PERRY et al., 2011; BROSNAN et al., 2012). Kaapro e Hall (2012) observaram maior controle de espécies da classe Liliopsida em relação às Magnoliopsidas pelo herbicida, tanto em pré como em pós-plantio de *Pinus* e *Eucalyptus*, na Austrália. Seu mecanismo de ação consiste no impedimento da formação da parede celular em células novas, interrompe o crescimento das plantas, sem, no entanto, afetar a síntese de polímeros de polissacáridos, indicando que a inibição provavelmente ocorre na etapa de reticulação de microfibrilas de celulose. A inibição da divisão celular do tecido meristemático, também, tem sido proposta como modo de ação secundário (GRIFFIN, 2005).

O manejo de plantas resistentes é primordial para o sistema produtivo, fazendo do indaziflam uma importante ferramenta no controle de plantas daninhas. Plantas de *Arabidopsis thaliana* resistentes a inibidores da biossíntese de celulose conhecidos, como isoxabeno ou quinoxifeno, não apresentaram resistência cruzada ao indaziflam, sugerindo um alvo molecular diferente para indaziflam (BRABHAM et al., 2014). Segundo Kawamoto e Urano (1989), quanto menor a solubilidade em água do herbicida maior será a afinidade da molécula pela MOS, a qual é o principal sítio de sorção de herbicidas pouco solúveis em água, devido à sua alta CTC e característica lipofílica. Esses herbicidas também podem ser adsorvidos pelos coloides de argila (INOUE et al., 2008; ROCHA et al., 2013; VIVIAN et al., 2007).

Há estudos da seletividade desse composto, confirmando-se a aplicabilidade do herbicida, nas culturas como café (BLANCO; RAMOS, 2012a) e citrus (BLANCO; RAMOS, 2012b). Também na cultura da banana, o indaziflam aplicado em pré-emergência na entrelinha da cultura, não causou injurias nas doses de 50 a 125g ha^{-1}(VITAL SILVA et al., 2017). Para a maioria dos herbicidas utilizados em cana-de-açúcar, quanto maior for o intervalo entre a aplicação e a ocorrência de chuvas menor será a lixiviação até o solo, reduzindo a eficácia de controle das plantas daninhas (DA SILVA; MONQUERO, 2013).

2.2. Efeito residual do herbicida Indaziflam

No decorrer de sua dissipação, os herbicidas podem deixar resíduos fitotóxicos à cultura sucessora, reduzindo a produtividade, em decorrência de seu efeito residual (HINZ, 2001). Este fenômeno é comumente denominado de *carryover* e designa o tempo em que um herbicida permanece ativo no solo (MENDES et al., 2017). Herbicidas com baixa persistência são degradados no solo por meio de processos físicos (fotodecomposição), químicos (oxidação/redução, hidrólise, formação de sais insolúveis em água e complexos químicos) ou biológicos (degradação microbiológica) (OLIVEIRA E BRIGHENTI, 2011). A taxa de dissipação do herbicida no solo é normalmente descrita por sua meia-vida ($t_{1/2}$), que expressa o tempo em que 50% da quantidade inicialmente aplicada é dissipada no solo (LAVORENTI et al., 2003).

O indaziflam caracteriza-se pelo elevado período residual no solo, superior a 150 dias, permite uma maior flexibilidade da época de aplicação, diferenciando-o dos demais herbicidas para aplicação em pré-emergência (KAAPRO; HALL, 2012). Trabalhos conduzidos no desenvolvimento inicial das culturas do milho, milheto, sorgo, girassol, algodão, beterraba e pepino indicaram que estas espécies foram sensíveis à semeadura em solo onde houve aplicação de indaziflam, não ocorrendo a emergência das plântulas (GUERRA et al., 2013). Devido a sua longa persistência no solo e à sensibilidade de certas culturas a este herbicida, o risco na sucessão de culturas pode ser alto (ALISTER e KOGAN, 2005). Como exemplo, se aplicado antes da renovação do canavial, pode manter efeito residual (carry-over) afetando o cultivo subsequente de amendoim.

Tem se usado diversas espécies como indicadoras de resíduos de indaziflam no solo, como pepino (GUERRA et al., 2016a), azevém (JHALA et al., 2012), beterraba e soja (GUERRA et al., 2016b). Guerra et al. (2014) apontaram como indicadores de indaziflam a soja, o sorgo, o milho, o pepino e a beterraba. No entanto, em seu trabalho as plantas de sorgo, milho, beterraba e pepino não germinaram mesmo em solo que recebeu a menor dose testada, 20 g i.a, ha^{-1}, o que torna inconsistente a definição do C_{50} e, consequentemente, a definição da melhor indicadora entre elas. Da Silva et al. (2021), observaram que a eficácia de indaziflam foi negativamente influenciada por quantidades elevadas de palha de cana- de-açúcar, sendo as melhores performances alcançadas com menores quantidades de palha, indicando uma possível retenção do herbicida na palha por conta da umidade.

Características do solo como, material de origem, tipos de minerais predominantes na fração argila, grupos funcionais e a quantidade da matéria orgânica, são responsáveis pela persistência dos herbicidas nos solos (WEBER et al., 2004), assim como as condições climáticas e a quantidade de herbicida aplicada ao solo (KRAEMER et al., 2009). Esses fatores atuarão sobre a sorção e dessorção e, consequentemente, sobre a persistência da molécula no solo. Enquanto a sorção protege a molécula herbicida da degradação, reduzindo seu transporte e a degradação no solo, o processo de dessorção exerce o papel inverso, embora a velocidade da dessorção seja muito mais lenta (FERNANDES et al., 2006).

A persistência e o efeito residual dos herbicidas no ambiente são mensurados, principalmente, por meio do método de bioensaio, que permite detectar os resíduos biologicamente ativos no solo (BLANCO et al., 2010). A estimativa é efetuada por análises visuais ou medições objetivas, como o percentual de germinação, peso dos órgãos da planta (PINTAR et al., 2017) e sintomas de fitointoxicação, que possibilitam identificar o tempo de meio-vida (DT50) da dissipação do produto (MENDES et al., 2014).

2.3. Implicações na dinâmica ambiental

Para estudos de contaminação ambiental por herbicidas, é fundamental que se conheça os processos que influenciam o seu comportamento no solo. A molécula neste ambiente pode sofrer os processos de sorção, transporte e degradação; além ser absorvida pelas plantas, lixiviada para as camadas subsuperficiais do solo, bem como sofrer

escoamento superficial, podendo atingir respectivamente os cursos de água subterrâneos e superficiais (LAVORENTI et al., 2003). A maior ou menor persistência do herbicida no solo influenciará o controle das plantas daninhas, a sua toxicidade às culturas em sucessão e o risco de contaminação ambiental, dependendo das propriedades do solo (teor de CO, pH, textura), da população de microrganismos, das condições ambientais (temperatura, precipitação) e das práticas culturais (sistema de semeadura, doses aplicadas), as quais regulam a concentração, o fluxo e o tempo de permanência das moléculas na solução do solo (OLIVEIRA JR., 2001).

O indaziflam é classificado como móvel a moderadamente móvel no solo e apresenta valor de pressão de vapor de $6{,}92 \times 10^{-8}$ Pa (GUERRA et al., 2013). Alguns estudos mostram que o seu comportamento é influenciado pelas características dos solos, como pH e teor de matéria orgânica (BRAGA, 2017; GONÇALVES, 2018). A matéria orgânica possui sítios tridimensionais de ligações, onde os herbicidas se ligam de forma complexa, por meio de ligações hidrogênio, ligações covalentes e interações hidrofóbicas (BENOIT et al., 2008). Nos herbicidas poucos solúveis em água e lipofílicos, como o indaziflam, as interações hidrofóbicas com a matéria orgânica são consideradas as mais importantes (SILVA et al., 2007). Alonso et al. (2011) observaram correlação significativa entre o teor de matéria orgânica e a sorção do indaziflam em solos brasileiros.

A disponibilidade de sítios que possibilitam a sorção dos herbicidas nos solos pode ser variável sob diferentes condições e características físicas e químicas dos solos, assim, dependendo da condição o produto irá apresentar maior ou menor retenção e/ou mobilidade, afetando, consequentemente, sua eficiência agronômica e potencial de contaminação (REFATTI et al., 2015). Por ser o indaziflam um herbicida de uso recente no Brasil, é importante conhecer a sua sorção e lixiviação em solos tropicais, onde predominam minerais 1:1, como a caulinita, com baixa capacidade de expansão e cargas dependentes de pH, utilizando para tanto os métodos da planta indicadora e da cromatografia liquida, uma vez que a maioria dos estudos realizados com esse herbicida foram conduzidos em solos de regiões temperadas, os quais apresentam características contrastantes com os solos tropicais (ALONSO et al., 2011; JHALA et al., 2012; GUERRA et al., 2016a).

As informações sobre seus possíveis efeitos tóxicos ao meio ambiente são poucas, porém, sabe-se que este herbicida possui o anel aromático s-triazina, encontrado na atrazina. Tal anel aromático pode dificultar o tratamento dos corpos naturais contaminados por tais

compostos (AMIM et al., 2014). Com base nas propriedades físico-químicas do indaziflam, ele está sujeito a concentrar-se no solo sob a forma de resíduo, apresentando ionização ácida. A característica deste composto é de pouca lixiviação, obtendo elevada sorção, o que indica a maior tendência de contaminar as águas subterrâneas (AMIM et al., 2014; ALONSO et al., 2015 e GUERRA et al., 2014).

O indaziflam não é hidrolisado, sendo sua degradação em solo resultante via fotólise direta de suas moléculas e biodegradação aeróbica, o que leva aos seguintes subprodutos: a) Indaziflamtriazina-indanona (ITI); b) Indaziflam-carboxilico-ácido (composto mais tóxico) (ICA); c) Indaziflam-hidroxietil; d) Indaziflam-olefina; e) fluoroetildiaminotriazina (FDAT). O ITI e ICA são clivados na ligação com N para formar o FDTA (no anel s-triazina) e outros resíduos não identificados. Os resíduos são, então, degradados a CO_2 e compostos refratários (ALONSO et al., 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para adquirir os dados necessários para a elaboração do presente estudo foi realizada uma revisão bibliográfica narrativa, a qual não esgota as fontes de informações sobre o tema. Foram feitas buscas em sites de periódicos e comunidades científicas, principalmente Portal de Periódicos Capes, Google Acadêmico e Scopus; em sites jornalísticos e blogs que apresentam informações atuais sobre o tema em questão; e em sites governamentais como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Foram utilizados: artigos científicos, páginas eletrônicas, relatórios técnicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e livros, como fonte de informações. Os dados foram coletados e atualizados até o dia 18 de novembro de 2022.

Os descritores utilizados na busca foram: indaziflam, efeito residual do herbicida indaziflam, implicações ambientais do herbicida indaziflam e características físico-químicas do herbicida indaziflam.

Para a obtenção dos resultados desta pesquisa, foram selecionados 5 artigos científicos, que abordam o efeito residual do herbicida indaziflam, demostrando assim os resultados de diversos pesquisadores aliados ao tema. Diante isso, para melhor visualização os dados foram organizados em uma tabela.

4. ARTIGOS RELACIONADOS AO TEMA EM ESTUDO

Na Tabela 1 são apresentados os principais resultados de pesquisas referentes ao efeito residual do herbicida indaziflam, apresentando o periódico onde foi publicado e os autores que tiveram participações nesses estudos.

Tabela 1. Artigos científicos relacionados ao efeito residual do herbicida indaziflam.

Periódico	Autores	Pesquisa	Resultados
Pakistan Journal of Biological Sciences	Da Silva, P. V.;Viana, H. R. M.;Malardo, M. R.;Oliveira, M. C.;Dias, R. C.;Inácio, E. M.;Monquero, P. A.;Christoffoleti, P. J.	Indaziflam: Control effectiveness in monocotyledonous and eudicotyledonous weeds as a function of herbicide dose and soil texture	As plantas daninhas da família *Poaceae* apresentaram maior suscetibilidade ao herbicida indaziflam, por outro lado, as plantas daninhas *Mucuna aterrima*, *Ipomoea purpurea* e *Merremia aegyptia* necessitaram de maior dose de princípio ativo para serem controladas com eficiência.
Science of the Total Environment	Eckelmann, D.;Augustin, T.;Leake, C.	Isomeric stability of indaziflam and major degradation products in the environment	Em suma, foi demonstrado que nas diferentes condições ambientais sob processos de degradação abióticos e bióticos, o indaziflam não foi sujeito a interconversão isomérica em diastereoisômeros 435-IAF (RRR), 438-IAF (RSS) ou 439-IAF (RSS). Assim, todos os três centros quirais de indaziflam podem ser considerados isomericamente estáveis.
Planta Daninha	Guerra, N.;Oliveira Júnior R.S.;Constantin J.;Oliveira Neto A.M.;Gemelli A.;Pereira Júnior D.M.;Guerra A.	Persistence of biological activity and leaching potential of herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam in soils with different textures.	A persistência da atividade biológica do aminociclopiracloro e indaziflam foi superior a 150 dias. No solo argiloso houve aminociclopiracloro menos persistente do que na textura argilosa. por indaziflam não houve diferença na persistência entre os dois solos. Com relação ao potencial de lixiviação, observou-se que as precipitações têm capacidade de interferir na lixiviação dos herbicidas aminociclopiracloro e indaziflam.
Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes	Mendes, K. F.; Soares; M. B.; Sousa, R. N.; Mielke, K. C.; Brochado, M. G. S.; Tornisielo, V. L.	Indaziflam sorption–desorption and its three metabolites from biochars- and their raw feedstock-amended agricultural soils using radiometric technique	Em todos os solos, o uso de corretivos orgânicos promoveu maior sorção e menor dessorção de indaziflam e ITI. A adição de biochar aos solos promoveu maior sorção dos quatro produtos químicos testados em comparação com as matérias-primas correspondentes. Dentre os biocarvões, os cavacos de uva apresentaram maior potencial em sorb indaziflam e ITI. Em geral, nenhum dos biochars afetou a sorção e dessorção de FDAT e ICA.

Fonte: Autoria própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal da presente revisão foi realizar um levantamento sobre o efeito residual do herbicida indaziflam, pode-se concluir devido à recente inserção mercado desta molécula e ainda restam muitas dúvidas do seu comportamento no solo. Seu efeito residual ainda deve ser estudado para as culturas onde possa ser utilizado como cana-de-açúcar, citrus, café, dentre outras. Seu residual é confirmado como maior de 150 dias e a dinâmica que se dá para degradação de sua molécula depende do solo onde é aplicado, requer mais estudos.

As implicações na dinâmica ambiental e como vem afetar o meio ambiente ainda são poucas informações disponibilizadas. Portanto, estudos do efeito do resíduo deste herbicida e como isso implica na dinâmica ambiental e no meio ambiente ainda ter que ser realizados, principalmente para o comportamento deste herbicida em solos brasileiros, visando minimizar o efeito residual para as culturas subsequentes e contaminações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alister, C.; Kogan, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinoneresistant maize and their carryover effect on rotational crops. Crop Prot. 24 (4), 375–379. 2005.

ALONSO, D. G.; KOSKINEN, W. C.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; MISLANKAR, S. Sorption-desorption of indaziflam in selected agricultural soils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 59, n. 4, p. 3096-3101, 2011.

ALONSO, D. G.; OLIVEIRA, R. S. J.; HALL, K. E.; KOSKINEN, W. C.; CONSTANTIN, J.; MISLANKAR, S. Changes in sorption of Indaziflam and three transformation products in soil with aging. ELSEVIER. Geoderma, p. 250-256, 2015.

AMIM, R. T.; FREITAS, S. P.; FREITAS, I. L. J.; GRAVINA, G. A.; PAES, H. M. F. Controle de plantas daninhas pelo Indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas. Planta Daninha, Viçosa-MG. v. 32, p.791-800, 2014.

BENOIT, P.; MADRIGAL, I.; PRESTON, C. M.; CHENU, C.; BARRIUSO, E. Sorption and desorption of non-ionic herbicides onto particulate organic matter from surface soils under different land uses. European Journal of Soil Science, v. 59, n. 2, p. 178-189, 2008.

BRABHAM, C.; LEI, L.; GU, Y.; STORK, J.; BARRETT, M.; DEBOLT, S. Indaziflam herbicidal action: A potent cellulose biosynthesis inhibitor. Plant Physiology, v. 166, n.3, p. 1177-1185, 2014.

BRAGA, R. R. Sorção de indaziflam e isoxaflutole em solos tropicais. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários.

Brasil. 2021. Relatórios de Comersialização de Agrotóxicos. IBAMA. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos#Painel-comercializacao. Acesso em 06 de mar de 2023.

BROSNAN, J. T.; MC CULLOUGH, P. E.; BREEDEN, G. K. Smooth crabgrass control with indaziflam at various spring timings. Weed Technology, v. 25, n. 3, p. 363-366, 2011.

BROSNAN JT, BREEDEN GK, MCCULLOUGH PE & HENRY GM. PRE and POST control of annual bluegrass (Poa annua) with indaziflam. Weed Technology, 26:48-53. 2012.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: CP, 2, 72 p. 2009.

DA SILVA, P. V., VIANA, H. R. M., MONQUERO, P. A., RIBEIRO, N. M., PEREIRA NETO, W.; INACIO, E. M., CHRISTOFFOLETI, P. J., DIAS, R. de C. Influence of sugarcane straw on weed germination control: Weed control in sugarcane. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, v. 53, n. 1, p. 220–233, 2021.

DA SILVA, P. V., VIANA, H. R. M., MALARDO, M. R., OLIVEIRA, M. C., DIAS, R. C., INÁCIO, E. M., CHRISTOFFOLETI, P. J. (2021). Indaziflam: Control effectiveness in monocotyledonous and eudicotyledonous weeds as a function of herbicide dose and soil texture. Pakistan Journal of Biological Sciences, 24(11), 1119-1129. doi:10.3923/pjbs.2021.1119.1129

DORNELLES, M. F.; OLIVEIRA, G. T. Toxicity of atrazine, glyphosate, and quinclorac in bullfrog tadpoles exposed to concentrations below legal limits. Environmental Science and Pollution Research, v. 23, n. 2, p. 1610-1620, 2015.

ECKELMANN, D., AUGUSTIN, T., & LEAKE, C. (2020). Isomeric stability of indaziflam and major degradation products in the environment. Science of the Total Environment, 737 doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140223

EMBRAPA – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Agrotóxicos no Brasil, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil#:~:text=O%20consumo%20anual%20de%20agrot%C3%B3xicos,mil%20toneladas%20de%20produtos%20comerciais. Acesso em 10 de fev. de 2023.

EPA - U. S. Environmental Protection Agency. Indaziflam Fact Sheet. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency PC Code 080818. 2010. 32p.

FERNANDES, M.C., COX, L., HERMOSÍN, M.C., CORNEJO, J. Organic amendments affecting sorption, leaching and dissipation of fungicides in soils. Pest management science, 62(12):1207-1215. 2006.

FERREIRA CRRPT, CAMARGO MLB& VERGO CLR. Defensivos Agrícolas: vendas batem novo recorde em 2012 e segue em ritmo forte em 2013. Análises e Indicadores do Agronegócio, 8:1-5. 2013.

GONÇALVES, V. A. Sorção, dessorção, meia-vida e lixiviação do tebuthiuron em latossolos brasileiros. 2018. 65f. Tese (doutorado em fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K. Sensibility of plant species to herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam. Planta Daninha, v. 32, n. 3, p. 609-617, 2014.

GUERRA, N.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GEMELLI, T. M. C. J.; GUERRA, A. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-deaçúcar. Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias, v. 11, n. 1, p. 42-53, 2016a.

GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GEMELLI, T. M. C. J.; GUERRA, A. Persistence of biological activity and leaching potential of herbicides aminocyclopyrachol and indaziflam in soils with diferente textures. Planta Daninha, v. 34, n. 2, p. 345-355, 2016b.

GUERRA, N., OLIVEIRA JÚNIOR, R. S., CONSTANTIN, J., OLIVEIRA NETO, A. M., GEMELLI, A., PEREIRA JÚNIOR, D. M., & GUERRA, A. (2016). Persistence of biological activity and leaching potential of herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam in soils with different textures. [Persistência da atividade biológica e potencial de lixiviação dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam em solos com diferentes texturas] Planta Daninha, 34(2), 345-355. doi:10.1590/S0100-83582016340200016

HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. Geoderma, v. 99, n. 3-4, p. 225-243, 2001.

INOUE, M. H.; SANTANA, C. T. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; POSSAMAI, A. C. S; SANTANA, D. C.; ARRUDA, R. A. D. et al. Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. Planta Daninha, v. 29, n. 2, p. 429- 435, 2011.

INOUE MH, OLIVEIRA JR RS, CONSTANTIN J, ALONSODG & SANTANA DC. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. Acta Scientiarum. Agronomy, 30:631-638. 2008.

JHALA, A. J.; RAMIREZ, A. H. M.; SINGH, M. Leaching of indaziflam applied of two rates under different rainfall situations in Florida Clandler Soil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v. 88, n. 3, p. 326-332, 2012.

KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam – a new herbicide for preemergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. Pakistan Journal of Weed Science Research, v. 18, p. 267-270, 2012. Special Issue.

KAWAMOTO K& URANO K. Parameters for predicting fate of organochlorine pesticides in the environment (II) Adsorption constant to soil. Chemosphere, 19:1223- 1231. 1989.

KRAEMER, A.F., MARCHESAN, E., GRHOS, M., AVILA, A.L., MACHADO, S.L.O., ZANELLA, R., MASSONI, P.F.S., SARTORI, G. M. S. Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. Ciência Rural, 39(6):1660-1666. 2009.

LAVORENTI, A., PRATA, F., REGINATO, J. B. Comportamento de agrotóxicos em solos – fundamentos. Tópicos em Ciência do Solo, 3:335-400. 2003.

LEWIS, K. A., TZILIVAKIS, J., WARNER, D., GREEN, A. An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment, v. 22, n. 4, p. 1050-1064, 2016.

MANCUSO MAC, NEGRISOLI E& PERIM L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). Revista Brasileira de Herbicidas, 10:151-164. 2011.

MENDES, K.F.; DIAS, R.C.; REIS, M. R. *Carryover* e persistência de herbicidas em solos. Boletim Técnico, Viçosa: SBCPD Comitê de Qualidade Ambiental, 2017. 11 p.

MENDES, K. F., SOARES, M. B., SOUSA, R. N. D., MIELKE, K. C., BROCHADO, M. G. D. S., & TORNISIELO, V. L. (2021). Indaziflam sorption–desorption and its three metabolites from biochars- and their raw feedstock-amended agricultural soils using radiometric technique. Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 56(8), 731-740. doi:10.1080/03601234.2021.1941559

MOZAMBANI, A. E.; PIZZO, I. V. Expansão e renovação de canavial. Editora CP 2, Piracicaba-SP. 2007.

OLIVEIRA, M.F., BRIGHENTI, A.M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: Oliveira Jr., R.S.; Constantin, J. e Inoue, M.H. (Eds) *Biologiae* Manejo de Plantas Daninhas. Curitiba, PR: Omnipax, cap. 11, p. 263-304. 2011.

Oliveira Jr., R.S., Koskinen, W.C., Ferreira, F.A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. Weed Research, 41:97-110. 2001.

Prata, F. (2002) Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina. Piracicaba. (Tese Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 149 p.

PERRY DH, MCELROY JS, DOROH MC & WALKER RH. Indaziflam utilization for controlling problematic turfgrass weeds.AppliedTurfgrass Science.8:1-7. 2011.

REFATTI, J. P.; de AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; MANICA-BERTO, R.; DA CAS BUNDT, A.; BALBÉ ELGUEIRA, D. Efeito da calagem na lixiviação de imazethapyr e imazapyr em solo de cultivo de arroz irrigado. Ciência Rural, v. 44, n. 6, 2014.

ROCHA PRR, FARIA AT, BORGES LGFC, SILVA LOC, SILVA AA & FERREIRA EA. Sorção e dessorção do diuron em quatro latossolos brasileiros.PlantaDaninha, 31:231-238. 2013.

SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR., R. S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

SOUZA, W. M. Influência dos atributos do solo na sorção e lixiviação do indaziflam em solos tropicais. 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

TOMPKINS J (2010) Pesticide Fact Sheet: Indaziflam.Disponível em: Acessado em: 14 de novembro de 2022.

VIVIAN R, GUIMARÃES AA, QUEIROZ MELR, SILVA AA, REIS MR & SANTOS JB. Adsorção e dessorção de trifloxysulfuron-sodium e ametryn em solos brasileiros. Planta daninha, 25:97-109. 2007.

WEBER, B.J., WILKERSON, G.G., REINHARDT, C.F. Calculating pesticide sorption coefficients (Kd) using selected soil properties. Chenosphere, 55 (2):157-166. 2004.