

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

NAIARA GUERRA

Comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam em materiais de solo  
de textura contrastante

MARINGÁ

2014

NAIARA GUERRA

Comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam em materiais de solo  
de textura contrastante

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Área de concentração: Proteção de Plantas.

Orientador: Rubem Silvério de Oliveira Júnior

Coorientador: Jamil Constantin

MARINGÁ

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

G934c Guerra, Naiara  
Comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam em materiais de solo de textura contrastante / Naiara Guerra. -- Maringá, 2014.  
125 f. : il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rubem Silvério de Oliveira Júnior.

Coorientador: Prof. Dr. Jamil Constantin.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.

1. Herbicida - Aminocyclopyrachlor - Comportamento do solo. 2. Herbicida - Indaziflam - Comportamento do solo. 3. Herbicida - Aminocyclopyrachlor - Lixiviação. 4. Herbicida - Aminocyclopyrachlor - Persistência. 5. Herbicida - Indaziflam - Lixiviação. 6. Herbicida - Indaziflam - Persistência. 7. Matéria orgânica. 8. Textura do solo. I. Oliveira Júnior, Rubem Silvério de, orient. II. Constantin, Jamil, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 21.ed. 632.954

ECSL-001589

# FOLHA DE APROVAÇÃO

NAIARA GUERRA

Comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam em materiais de solo  
de textura contrastante

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial obtenção do título de Doutor em Agronomia pela comissão julgadora composta pelos membros:

## COMISSÃO JULGADORA

Rubem Silvério de Oliveira Júnior  
Universidade Estadual de Maringá

Jamil Constantin  
Universidade Estadual de Maringá

Cleber Daniel de Goes Maciel  
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Cassio Antonio Tormena  
Universidade Estadual de Maringá

Robinson Luiz Contiero  
Universidade Estadual de Maringá

APROVADA em 29 de setembro de 2014

Local de defesa: anfiteatro, NAPD, bloco I45, Universidade Estadual de Maringá.

## DEDICATÓRIA

Aos meus amados e queridos pais, Claudinei Guerra e Norma Néspolo Guerra, pelo amor e dedicação em todos os momentos, pelo esforço, apoio incondicional e carinho que foram decisivos para atingir mais este objetivo.

Ao meu querido esposo, Antonio Mendes de Oliveira Neto, por todo amor, cuidado, carinho e paciência durante todos esses anos de convivência.

Às minhas irmãs, Angélica Guerra e Ana Paula Guerra, pelo amor e amizade, mesmo estando cada uma seguindo o seu caminho.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos em mais uma etapa caminhada e dar-me forças para superar as dificuldades impostas pela vida.

À Universidade Estadual de Maringá, em especial ao Departamento de Agronomia, pela oportunidade concedida para a realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela ajuda financeira por meio da bolsa de estudos concedida.

Ao professor Dr. Rubem Silvério de Oliveira Júnior, pela orientação, paciência, oportunidade e amizade que servirão de exemplo para minha vida profissional.

Ao professor Dr. Jamil Constantin, pela coorientação, oportunidade, ensinamentos e amizade que transcenderam a vida profissional.

Ao meu esposo, Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto, pela amizade, companheirismo, compreensão e apoio durante todos esses anos e pelo indispensável auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Agronomia/UEM, Milton Lopes da Silva e ao Luis Machado Homem, pela presteza e apoio na condução dos experimentos.

Aos amigos membros do Núcleo de Estudos Avançados em Ciência das Plantas Daninhas da Universidade Estadual de Maringá (NAPD/UEM), Alessandra Constantin Francischini, Alexandre Gemelli, Denis Fernando Biffe, Diego Gonçalves Alonso, Éder Blainski, Eliezer Antonio Gheno, Fabiano Aparecido Rios, Gizelly Santos, Guilherme Braga Pereira Braz, Hudson Kagueyama Takano, Hugo de Almeida Dan, Jethro Barros Osipe, João Guilherme Zanetti de Arantes, Luiz

Henrique Morais Franchini, Michel Alex Raimondi e Talita Mayara de Campos Jumes, pela amizade e companheirismo durante este período e indispensável colaboração nos trabalhos desenvolvidos.

Aos professores Alberto Leão de Lemos Barros, Robinson Luiz Contiero e Marcelo Augusto Batista, pela disponibilidade e relevantes sugestões apresentadas durante a qualificação da tese de doutorado.

Aos professores Cleber Daniel de Goes Maciel, Cassio Antonio Tormena, Robinson Luiz Contiero e Jamil Constantin, por aceitarem o convite para participação da banca de defesa.

À secretária do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Érika Cristina T. Sato, pelo atendimento profissional e competente durante este período de convivência.

A todas as pessoas que não foram citadas, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada.

## EPÍGRAFE

*“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro  
passo para a vitória é o desejo de vencer”*

Mahatma Gandhi



## Comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam em materiais de solo de textura contrastante

### RESUMO GERAL

Os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam são duas novas moléculas que se encontram em fase de desenvolvimento para a cultura da cana-de-açúcar, no Brasil. Para as condições brasileiras são escassas as informações a respeito destes herbicidas. Com isso, o desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo obter informações a respeito do comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam no solo, em condições tropicais. Inicialmente, foram realizados ensaios para selecionar a espécie bioindicadora mais adequada para monitorar a atividade desses herbicidas no solo. As espécies mais sensíveis para ambos os herbicidas foram beterraba e soja. Em seguida, foi avaliada a persistência da atividade biológica do aminocyclopyrachlor e indaziflam por meio dos bioindicadores selecionados previamente. A persistência do aminocyclopyrachlor foi superior a 150 dias. No solo de textura muito argilosa verificou-se menor persistência deste herbicida comparado ao solo de textura franco argilo arenosa, provavelmente pelos maiores conteúdos de argila e carbono orgânico. O indaziflam mostrou-se altamente persistente nos solos estudados, sendo que, mesmo após 150 dias de sua aplicação, verificou-se inibição total do desenvolvimento dos bioindicadores. Quanto à lixiviação, verificou-se que o aminocyclopyrachlor possui maior potencial de contaminação de águas superficiais que o indaziflam. As precipitações possuem capacidade de interferir na lixiviação dos herbicidas. O aminocyclopyrachlor tem sua mobilidade aumentada quando aplicado em solo de textura franco argilo arenosa, já para o indaziflam não se observou diferença entre os solos com texturas contrastantes. A aplicação de aminocyclopyrachlor e indaziflam diretamente no solo mostrou-se eficiente no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Euphorbia heterophylla*. Já quando a aplicação é realizada sobre camada de palha de cana-de-açúcar de 10 ton ha<sup>-1</sup> é essencial que ocorra precipitação para promover a percolação destes herbicidas para o solo e proporcionar o controle eficiente das plantas daninhas.

**Palavras-chave:** bioensaio, beterraba, lixiviação, matéria orgânica, persistência, textura do solo.

## Behavior of aminocyclopyrachlor and indaziflam in soil contrasting texture materials

### GENERAL ABSTRACT

Herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam are two new molecules still in the development phase for sugar cane culture in Brazil. Little information on these weed killers is extant for Brazilian conditions. Current research investigated the behavior of aminocyclopyrachlor and indaziflam in soil within tropical conditions. Tests were first conducted to select the most suitable bioindicator species so that the activity of these herbicides could be monitored in the soil. Beetroot and soybean were the most sensitive species to the two herbicides. The persistence of biological activity of aminocyclopyrachlor and indaziflam was assessed by previously selected biomarkers. Aminocyclopyrachlor persisted longer than 150 days. In highly clayey soil the herbicide's persistence was lower than in clayey sandy texture, probably due to higher contents of clay and organic carbon. Indaziflam was highly persistent in the soils under analysis. In fact, there was complete inhibition of the development of biomarkers even after 150 days of application. Aminocyclopyrachlor had a greater potential for contamination of surface water than indaziflam when leaching is taken into account. Rainfall affects herbicide leaching. Aminocyclopyrachlor increases mobility when applied to clayey sandy textured soil, whereas there was no difference between contrasting textures soils in the case of indaziflam. Applying aminocyclopyrachlor and indaziflam directly into the soil proved to be efficient in the control of *Ipomoea grandifolia* and *Euphorbia heterophylla*. When the herbicides are applied on a straw layer of 10 ton ha<sup>-1</sup> cane sugar, rainfall is essential to promote percolation of the herbicides into the soil and provide effective weed control.

**Keywords:** bioassay, beetroot, leaching, organic matter, persistence, soil texture.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
Aminocyclopyrachlor.....	2
Indaziflam.....	6
Referências.....	9
CAPÍTULO 1 - SENSIBILIDADE DE ESPÉCIES VEGETAIS AOS HERBICIDAS AMINOCYCLOPYRACHLOR E INDAZIFLAM.....	14
Resumo.....	15
Introdução.....	16
Material e métodos.....	18
Resultados e discussão.....	20
Conclusões.....	28
Referências.....	29
CAPÍTULO 2 - PERSISTÊNCIA DA ATIVIDADE BIOLÓGICA DE AMINOCYCLOPYRACHLOR E INDAZIFLAM EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS.....	31
Resumo.....	32
Introdução.....	33
Material e métodos.....	34
Resultados e discussão.....	37
Conclusões.....	46
Referências.....	47
CAPÍTULO 3 - POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS AMINOCYCLOPYRACHLOR E INDAZIFLAM.....	49
Resumo.....	50
Introdução.....	51
Material e métodos.....	53
Resultados e discussão.....	56
Conclusões.....	63
Referências.....	64

CAPÍTULO 4 - COMPARAÇÃO ENTRE O POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS UTILIZADOS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	66
Resumo.....	67
Introdução.....	68
Material e métodos.....	69
Resultados e discussão.....	72
Conclusões.....	81
Referências.....	82
CAPÍTULO 5 - INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO E PALHA DA CANA-DE- AÇÚCAR NA EFICIÊNCIA DE CONTROLE DO AMINOCYCLOPYRACHLOR E INDAZIFLAM.....	85
Resumo.....	86
Introdução.....	87
Material e métodos.....	89
Resultados e discussão.....	92
Conclusões.....	104
Referências.....	105
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
APÊNDICES.....	109

## INTRODUÇÃO GERAL

Na cultura da cana-de-açúcar utiliza-se, quase que exclusivamente, o controle químico para manejo da infestação de plantas daninhas. Dessa forma, o desenvolvimento de novas moléculas de herbicidas para uso nesta cultura é muito relevante pela intensa utilização dos mesmos.

No Brasil, os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam são duas novas moléculas que se encontram em fase de desenvolvimento para a cultura da cana-de-açúcar. O primeiro possui registro nos Estados Unidos para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas e arbustivas em áreas não agrícolas e pastagens, o segundo encontra-se registrada do nos Estados Unidos e Canadá para uso em gramados e em áreas cultivadas com espécies frutíferas, visando ao controle de espécies mono e dicotiledôneas.

Aminocyclopyrachlor é um herbicida mimetizador de auxina, do novo grupo químico dos ácidos pirimidinecarboxílicos, e o indaziflam pertence a também nova classe química alquilazina, e atua na biossíntese de parede celular. Ambos apresentam atividade em pré e pós-emergência, sendo que em pré-emergência os resultados são mais satisfatórios pelo prolongado efeito residual que estes proporcionam.

Uma vez que ambos se encontram em fase de desenvolvimento no Brasil, as informações disponíveis a cerca destes dois novos herbicidas ainda são limitadas.

Com isso, o desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo obter informações a respeito do comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam em solos contrastantes, em condições tropicais.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Aminocyclopyrachlor

O herbicida aminocyclopyrachlor (ácido 6-amino-5-cloro-2-ciclopropilpirimidino-4-carboxílico) é um herbicida mimetizador de auxina, do novo grupo químico dos ácidos pirimidinecarboxílicos. Este foi registrado nos Estados Unidos, no ano de 2010, para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas e arbustos em áreas não agrícolas e pastagens, incluindo gramados, aeroportos, rodovias, ferrovias e áreas de recreação (TURNER et al., 2009), e apresenta tanto atividade foliar quanto no solo (RICK; TURNER; MEREDITH, 2008; TURNER et al., 2009; Mc CLOSKEY et al., 2011). Várias espécies em numerosas famílias Magnoliopsidas são sensíveis ao aminocyclopyrachlor, incluindo Asteraceae, Fabaceae, Chenopodiaceae, Convolvulaceae e Euphorbiaceae (CLAUS; TURNER; HOLLIDAY, 2008; ARMEL et al., 2009; TURNER et al., 2009; JENKS, 2010).

O aminocyclopyrachlor tem seletividade para muitas espécies Liliopsidas (EDWARD, 2008; VASSIOS et al., 2009) e, normalmente, estas plantas possuem maior tolerância quando comparada com espécies Magnoliopsidas (STRACHAN et al., 2010). Segundo Grossmann (2009), este herbicida imita o hormônio natural ácido indolacético, que não é metabolizado rapidamente em Magnoliopsidas suscetíveis.

Os sintomas proporcionados por este herbicida em plantas sensíveis caracterizam-se por epinastia dos caules e folhas recém-desenvolvidos (STRACHAN et al., 2010) e perda da dominância apical (GROSSMANN, 2009), porém, o seu modo de ação ainda não foi completamente elucidado. Aparentemente, a ação inicial deste herbicida envolve o metabolismo de ácidos nucleicos e a plasticidade da parede celular; e podem causar a acidificação da parede celular por meio do estímulo a bombas de prótons da ATPase, ligada à membrana celular, a redução do pH apoplástico induz a elongação celular pelo aumento da atividade de algumas enzimas responsáveis pelo afrouxamento celular (OLIVEIRA JR., 2011). Os herbicidas mimetizadores de auxinas estimulam a liberação de etileno, que em alguns casos podem produzir os sintomas de epinastia (SENSEMAN, 2007).

A absorção e translocação do aminocyclopyrachlor são dependentes da sensibilidade da planta alvo. Espécies altamente suscetíveis como a *Lactuca serriola* absorvem e translocam menos herbicida do que espécies relativamente menos sensíveis, como a espécie perene *Chondrilla juncea* (BELL; BURKE; PRATHER, 2011). A translocação ocorre por

meio do floema, de forma semelhante a outros herbicidas auxínicos (BUKUN et al., 2010) que se acumulam nos tecidos meristemáticos (BELL; BURKE; PRATHER, 2011).

Em Magnoliopsidas, a absorção e translocação deste herbicida são significativas, resultando em controle eficiente de espécies de plantas daninhas importantes em regiões de clima temperado, tais como *Cirsium arvense*, *Fallopia japonica*, *Hypochaeris radicata*, *Plantago* spp., entre outras (BUKUN et al., 2010). Este herbicida também é uma alternativa eficiente para o controle de espécies resistentes aos herbicidas glyphosate e inibidores da ALS, como *Conyza canadensis*, *Kochia scoparia*, *Lactuca serriolata*, *Salsola* spp. (CLAUS et al., 2009, TURNER et al., 2010). Estudos desenvolvidos por Lindenmayer et al. (2013) mostraram que o aminocyclopyrachlor é rapidamente absorvido pelas folhas de *Convolvulus arvensis* e foi absorvido 12,6 h após a aplicação 90% do total do herbicida aplicado, caracterizando velocidade de absorção superior a outros herbicidas com este mecanismo de ação como é o caso do 2,4-D, picloram (AGBAKOBA; GOODIN, 1970) e o dicamba (FLINT; BARRETT, 1989).

Para a espécie *Lolium arundinaceum*, pertencente à família Poaceae, foram necessárias 3 e 48 h após a aplicação do aminocyclopyrachlor para se atingir porcentagens de absorção de 38 e 68%, respectivamente. Para essa espécie, a translocação limitou-se à folha na qual o herbicida é aplicado (LEWIS et al., 2013a).

As doses de aminocyclopyrachlor utilizadas em trabalhos de pesquisa variam de 35 a 315 g ha<sup>-1</sup>, no entanto, para espécies sensíveis doses entre 70 e 140 g ha<sup>-1</sup> têm proporcionado controle eficiente. Essas doses são bem menores do que as comumente utilizadas por herbicidas auxínicos, como o 2,4-D, possibilitando menor impacto ao ambiente e intoxicação de mamíferos. Ainda assim são esperados longos períodos de atividade residual (WESTRA et al., 2008; TURNER et al., 2009). Observações realizadas a campo indicam que 35 g de aminocyclopyrachlor são muito eficazes para o controle de *Convolvulus arvensis*, atingindo níveis superiores a 90% durante até 16 meses após a aplicação, superando os herbicidas quinclorac e picloram (LINDENMAYER; WESTRA; BRUNK, 2009).

Os resultados de Kniss e Lyon (2011) indicam que, apesar do controle residual de diversas espécies de plantas daninhas, o aminocyclopyrachlor deve ser utilizado com cautela, pois pode prejudicar as espécies que serão posteriormente cultivadas. Têm-se como exemplo a cultura do trigo, que não apresentou sintomas de lesões visíveis após a semeadura em solos que receberam 20 g ha<sup>-1</sup> de aminocyclopyrachlor 15 dias antes da semeadura. No entanto, no momento da colheita observou-se redução de 50% na produtividade. As culturas da alfafa,

soja e girassol também foram sensíveis ao *carryover* em solos que receberam a aplicação de aminocyclopyrachlor (WESTRA; WILSON; EDWARDS, 2008), o que torna sua utilização em sistemas de pousio arriscada, mesmo são utilizados intervalos mais longos entre a aplicação e a semeadura.

A solubilidade em água do aminocyclopyrachlor a 20°C é de 4200 mg L<sup>-1</sup>, pressão de vapor de 4,89 x 10<sup>-6</sup> Pa, constante de equilíbrio de ionização ácido (pKa) de 4,65, coeficiente de partição octanol-água (K<sub>ow</sub>) de 2,48, coeficiente de partição normalizado para o teor de carbono orgânico (K<sub>oc</sub>) é 28 mL g<sup>-1</sup> e a meia vida (t<sub>1/2</sub>) de 37 - 128 dias. O aminocyclopyrachlor é degradado no solo por microrganismos (FINKELSTEIN et al., 2008; LINDENMAYER; WESTRA; BRUNK, 2009) e fotólise quando depositado nas camadas superficiais do solo (U.S. EPA, 2010a).

Lindenmayer (2012) verificou valores de meia-vida de 32,5 dias, provavelmente pela alta umidade proporcionada pelo sistema de irrigação o que favoreceu à atividade microbiana e, em consequência, à degradação deste herbicida.

Oliveira Jr., Alonso e Koskinen (2011), ao estudarem a sorção do aminocyclopyrachlor em solos brasileiros e americanos, verificaram que existe correlação positiva entre a sorção do herbicida e os teores de matéria orgânica e argila do solo. Embora seja considerado um herbicida ácido fraco (pKa 4,65), os pesquisadores não observaram correlação significativa entre o coeficiente de Freundlich (Kf) e o pH do solo para o intervalo de pH entre 4,9 e 7,2. Como os níveis de pH do solo estavam acima do pKa do aminocyclopyrachlor, este encontrava-se substancialmente dissociado e muito pouco sorvido. Desta forma, com base no pKa deste herbicida é esperada baixa sorção para a maioria dos solos estudados.

Lindenmayer (2012) também demonstrou que a sorção do aminocyclopyrachlor tem relação positiva com os teores de matéria orgânica e silte e não encontrando correlação entre a sorção e o pH do solo. Resultados de Conklin e Lym (2013) sugerem que a degradação do aminocyclopyrachlor pode ser mais lenta em solos com baixo teor de matéria orgânica e maior conteúdo de argila.

Estudos indicam que o aminocyclopyrachlor sofre fotodegradação quando submetido a águas rasas expostas à luz solar, apresentando meia-vida de 1,2 dias (CLAUS; TURNER; HOLLIDAY, 2008). A sua eficácia aumenta quando este é aplicado em locais com umidade como, por exemplo, em ambientes com orvalho, não ocorrendo perdas significativas (LEWIS et al., 2013b).



Quando o aminocyclopyrachlor é aplicado no solo, permanece em torno de 14 dias após a sua aplicação em grande concentração na camada superficial do solo. Após 28 dias tende a diminuir a sua concentração na superfície do solo e passar para camadas mais profundas, sendo possível a sua detecção 365 dias após a sua aplicação nas camadas de 5-15 e 15-30 cm de profundidade do solo (LINDENMAYER, 2012). Segundo Oliveira Jr, Alonso e Koskinen (2011), com base nos coeficientes de sorção, o aminocyclopyrachlor pode ser muito móvel no solo.

Este herbicida foi desenvolvido na forma ácida (aminocyclopyrachlor) e de metil éster (aminocyclopyrachlor éster metílico). Cerca de 80% do éster metílico é convertido para ácido livre em plantas 6h após a absorção foliar (BUKUN et al., 2010).

Um dos problemas associados aos herbicidas auxínicos é a elevada pressão de vapor. Comparando as formulações de aminocyclopyrachlor e aminocyclopyrachlor éster metílico, verifica-se que o aminocyclopyrachlor apresenta baixa volatilidade, enquanto que a formulação éster metílico pode volatilizar-se a partir de superfícies não porosas como o vidro e o plástico. E apesar da volatilização do éster metílico poder ser reduzida com a utilização de tensoativos, as perdas na melhor das hipóteses foram superiores a 50% em condições de laboratório. Apesar de ambas as formulações serem igualmente ativas como herbicidas, a forma de éster de metílico tem uma pressão de vapor menor ( $4,46 \times 10^{-4}$  Pa) e é mais volátil do que a forma ácida ( $4,89 \times 10^{-6}$  Pa) (STRACHAN et al., 2010).

Resultados de Strachan et al. (2010) e Strachan, Ferry e Cooper (2013) sugerem que o risco de volatilização e movimento subsequente de vapor do aminocyclopyrachlor éster metílico está entre o do dicamba e aminopyralid, ao passo que o risco de volatilização e movimento subsequente de vapor do aminocyclopyrachlor parece ser semelhante ou ainda menor do que o do aminopyralid (SENSEMAN, 2007; STRACHAN et al., 2010).

Até o momento, pouco se conhece sobre o comportamento do herbicida aminocyclopyrachlor em condições de altas temperaturas e precipitações, quando utilizado em solos com minerais de argila muito intemperizados, formados basicamente por óxidos de ferro e alumínio.

## Indaziflam

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1H-inden-1-il]-6-[(1R)-1-fluoroetilo]-1,3,5-triazina-2,4-diamina) é um novo herbicida que oferece possibilidade de controle em pré e pós-emergência de plantas daninhas Liliopsidas e Magnoliopsidas. Seu primeiro registro foi obtido em 2010 nos Estados Unidos para uso em gramados (KAAPRO; HALL, 2012). No Canadá, apresenta registro para o controle de plantas daninhas em áreas cultivadas com espécies frutíferas como maçãs, pêra, pêssego, citrus, uvas e nozes (BAYER, 2012). Possui amplo espectro de ação e duradoura eficácia mesmo com aplicação de baixas doses. Para o controle de poáceas anuais suscetíveis, as doses oscilam de 25 a 100 g ha<sup>-1</sup>, podendo chegar a 150 g ha<sup>-1</sup> em espécies mais tolerantes (MYERS et al., 2009; KAAPRO; HALL, 2012). No Brasil, este herbicida se encontra em fase de desenvolvimento para as culturas da cana-de-açúcar, citros e café.

O indaziflam pertence a também nova classe química alquilazine. Atua na biossíntese de parede celular e é considerado o mais potente inibidor da parede celular já descoberto (MYERS et al., 2009; KAAPRO; HALL, 2012). Este herbicida também inibe a deposição de cristais na parede celular, afetando severamente a sua formação, a divisão e o alongamento das células. Isso indica que folhas completamente desenvolvidas dificilmente serão afetadas pelo indaziflam, uma vez que a formação da parede celular já está concluída e nenhuma nova síntese de celulose ocorre. A eficácia em aplicações em pós-emergência tem sido observada até a fase de duas folhas (KAAPRO; HALL, 2012). Brosnan et al. (2012) também sugerem que o tamanho da planta, o seu estágio de desenvolvimento e as condições ambientais podem afetar o controle com indaziflam em pós-emergência.

Estudos desenvolvidos por Brosnan e Breeden (2012) mostraram que a aplicação de indaziflam (52,5 g ha<sup>-1</sup>) em pós-emergência inicial de *Digitaria ischaemum* e *Poa annua* promoveram controle de 6% e 0%, respectivamente, aos 35 dias após a aplicação (DAA). Quando foi aplicado em pré-emergência destas espécies, o controle foi superior a 90%, mesmo aos 195 DAA (BROSNAN; McCULLUOGH; BREEDEN, 2011; BROSNAN et al., 2012). Perry et al. (2011) também verificaram controle satisfatório ( $\geq 80\%$ ) de *D. ischaemum* e *P. annua* com a aplicação de 60 g ha<sup>-1</sup> de indaziflam em pré-emergência.

Trabalhos conduzidos no Brasil mostraram que a aplicação de indaziflam em doses a partir de 100 g ha<sup>-1</sup> em pré-emergência das espécies *Ageratum conyzoides*, *Sida rhombifolia*, *Digitaria horizontalis* e *Bidens pilosa* promoveram controle satisfatório, mesmo aos 120 DAA (NICOLAI et al., 2012a; CHRISTOFFOLETI et al., 2012).

A seletividade deste herbicida também vem sendo estudada por pesquisadores brasileiros, os quais observaram que as culturas do cafeeiro (BLANCO; RAMOS, 2012a) e de citros (BLANCO; RAMOS, 2012b; NICOLAI et al., 2012b; BLANCO et al., 2012) não sofrem qualquer injúria com a aplicação de doses entre 75 e 150 g ha<sup>-1</sup>.

A solubilidade em água do indaziflam a 20°C é de 4,4 mg L<sup>-1</sup> (pH 4,0) e 2,2 mg L<sup>-1</sup> (pH 7,0 e 9,0), pressão de vapor de 6,92 x 10<sup>-8</sup> Pa (25°C), constante de equilíbrio de ionização ácida (pKa) de 3,5, coeficiente de partição octanol-água (K<sub>ow</sub>) de 2,8 (pH 7,0 a 40°C), coeficiente de partição normalizado para o teor de carbono orgânico (K<sub>oc</sub>) é <1000 mL g<sup>-1</sup> e a meia vida (t<sub>1/2</sub>) >150 dias (BAYER, 2010; U.S. EPA., 2010b; U.S. EPA, 2011).

Apesar das baixas doses de aplicação, apresenta uma longa atividade residual para a maioria dos usos propostos, como resultado da sua longa persistência no solo (U.S. EPA, 2010a).

Segundo Jones et al. (2013), o aumento no teor de carbono orgânico do solo promove redução nas lesões foliares e radiculares de híbridos de grama-bermuda (*Cynodon dactylon*), expostas ao indaziflam. Este resultado apoia os descritos por Alonso et al. (2011), que verificaram correlação positiva entre a sorção do indaziflam e o conteúdo de carbono orgânico de diversos solos brasileiros. Embora o indaziflam seja um herbicida ácido fraco (pKa 3,5), não se observou correlação entre a sorção e o pH do solo (ALONSO et al., 2011). Esta falta de correlação pode ter ocorrido pela estreita faixa de pH dos solos estudados (pH 5,4 – 6,5), na qual o indaziflam está substancialmente ionizado (> 99%).

Jhala, Ramirez e Singh (2012) conduziram ensaios de lixiviação do indaziflam, utilizando *Lolium multiflorum* como bioindicador, em solos com 4% de argila e 0,5% de matéria orgânica; verificaram que quando se utilizou 73 g ha<sup>-1</sup> de indaziflam, houve lixiviação até os 15, 20 e 25 cm de profundidade para as lâminas de precipitação de 50, 100 e 150 mm, respectivamente. Enquanto que para a maior dose do herbicida (145 g ha<sup>-1</sup>) a lixiviação ocorreu até 20, 25 e 30 cm. Estes resultados sugerem correlação positiva entre a dose de indaziflam e o volume de chuva com a lixiviação deste herbicida em solos de textura arenosa. Para estas condições, o indaziflam é considerado um herbicida com moderada potencialidade de lixiviação.

Estudos de Jhala e Singh (2012) mostraram que o indaziflam apresentou lixiviação até 12,5 cm de profundidade após a simulação de 50 mm de precipitação em solo com 4% de argila e 0,5% de matéria orgânica, apresentando mobilidade semelhante aos herbicidas norflurazon e pedimentahlin. Quando a lâmina de irrigação foi de 150 mm, este atingiu 27,2

cm de profundidade, sendo inferior à mobilidade observada para os herbicidas norflurazon e bromacil e superior a de simazine, diuron e pedimentalin.

De acordo com Alonso et al. (2011), em solos brasileiros o indaziflam pode ser considerado lixiviável apenas para o menor  $K_{oc}$  ( $434 \text{ L kg}^{-1}$ ) quando a meia-vida ( $t_{1/2}$ ) ser > 106 dias, ao passo que para o maior valor de  $K_{oc}$  ( $1544 \text{ L kg}^{-1}$ ) a meia-vida teria de ser > 2036 dias.

Quando em contato com o solo, indaziflam é dissipado principalmente pela degradação biótica. Os principais produtos de transformação resultantes dos processos de degradação do indaziflam são indaziflam-triazina-indanona, ácido indaziflam-carboxílico, indaziflam-hidroxietil, indaziflam-olefina, fluoroetildiaminotriazina (FDAT) e fluoroetiltriazinanediona. Indaziflam, indaziflam-triazina-indanona e ácido indaziflam-carboxílico são divididos na ponte de N para formar FDAT (a partir da porção triazina) e compostos minoritários não identificados (a partir da porção indanil). Os resíduos são finalmente convertidos em resíduos ligados e  $\text{CO}_2$  (U.S. EPA, 2010b). Os metabólitos deste herbicida são mais móveis do que a sua molécula original e foram detectados em estudos de campo em maiores profundidades (105-120 cm) (U.S.EPA, 2011). Portanto, os metabólitos do indaziflam têm maior potencial de lixiviação para a água subterrânea.

A maioria das informações a respeito dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam foi obtida em outros países. Desta forma, é muito importante que antes da sua utilização em áreas comerciais sejam realizados estudos para verificar a seletividade, eficácia e comportamento destes herbicidas nas condições edafoclimáticas brasileiras.

## REFERÊNCIAS

AGBAKODA, C.S.O.; GOODIN, J.R. Picloram enhances 2,4-D movement in field bindweed. **Weed Science**, v.18, p.19-21,1970.

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.

ARMEL, G. R.; KLINGEMAN, W.E.; FLANAGAN, P.C.; BREEDEN, G.K.; HALCOMB, M. Comparisons of the experimental herbicide DPX-KJM44 with aminopyralid for control of key invasive weeds in Tennessee. **Proc. Weed Sci. Soc. Am. Abstr.**, v.49, n.410, 2009.

BAYER ENVIRONMENTAL SCIENCE, **Indaziflam**, 15p. 2012. Disponível em: <[http://www.agf.gov.bc.ca/pesticides/indaziflam%20500\\_label.pdf](http://www.agf.gov.bc.ca/pesticides/indaziflam%20500_label.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2013.

BAYER ENVIRONMENTAL SCIENCE. **Specticle herbicide technical bulletin**; 2010; 16 pp.

BELL, J.L.; BURKE, I.C.; PRATHER, T.S. Uptake, translocation and metabolism of aminocyclopyrachlor in prickly lettuce, rush skeleton weed and yellowstarthistle. **Pest Management Science**, v.67, n.5, p.1338-1348, 2011.

BLANCO, F.M.G.; ADORYAN, M.L.; RAMOS, Y.G.; SCARSO, F.M. Determinação da seletividade do herbicida indaziflam sobre mudas de citros avaliando dois tipos de transplantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012, p.70-75.

BLANCO, F.M.G.; RAMOS, Y.G. Avaliação da seletividade do herbicida indaziflam sobre as raízes e parte epigeas da cultura de café cv. Catuaí. Resultado do primeiro ano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012a, p.54-59.

BLANCO, F.M.G.; RAMOS, Y.G. Avaliação da seletividade do herbicida indaziflam sobre as raízes e parte epigeas da cultura do citros cv. Valência. Resultado do primeiro ano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012b, p.54-59.

BROSNAN, J.T.; BREEDEN, G.K. Application placement affects postemergence smooth crabgrass (*Digitaria ischaemum*) and annual bluegrass (*Poa annua*) control with indaziflam **Weed Technology**, v.26, n.4, p.661-665, 2012.

BROSNAN, J.T.; BREEDEN, G.K.; McCULLUOGH, P.E.; HENRY, G.M. Pre and post emergence annual bluegrass control with indaziflam. **Weed Technology**, v.26, n.1, p.48-53, 2012.

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

BUKUN, B.; LINDENMAYER, R.B.; NISSEN, S.J.; WESTRA, P.; SHANER, D.L.; BRUNK, G. Absorption and translocation of aminocyclopyrachlor and aminocyclopyrachlor-methyl ester in Canada thistle (*Cirsium arvense*). **Weed Science**, v.58, n.2 p.96-102, 2010.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: BASF. 2005. 49 p.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; NICOLAI, M.; MELO, M.S.C.; OBARA, F.E.B.; REICHENBACH, J.W. Indaziflam: Novo mecanismo de ação para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012, p.76-80.

CLAUS, J.S.; HOLLIDAY, M.J.; TURNER, R.G.; MEREDITH, J.H.; WILLIAMS, S.C. Aminocyclopyrachlor development and registration update. **North Central Weed Sci. Soc. Proc.**, v.64, n.128, 2009.

CLAUS, J.S.; TURNER, R.G.; HOLLIDAY, M. DuPont aminocyclopyrachlor (proposed common name) (DPX-MAT28/KJM44) herbicide for use in turf, IWC, bare-ground, and brush markets. **Inter. Weed Sci. Cong.** v.5, n.277, 2008.

CONKLIN, K.L.; LYM, R.G. Effect of temperature and moisture on aminocyclopyrachlor soil half-life. **Weed Technology**, v.27, n.3, p.552-556, 2013.

EDWARDS, R. The effects of DPX-KJM44 on native and non-native Colorado rangeland species. **Proc. West. Soc. Weed Sci. Abstr.**, v.61, n.5, 2008.

FINKELSTEIN, B.L.; ARMEL, G.R.; BOLGUNAS, S.A.; CLARK, D.A.; CLAUS, J.S.; CROSSWICKS, R.J.; HIRATA, C.M.; HOLLINGSHAUS, G.J.; KOEPPE, M.K.; RARDON, P.L.; WITTENBACH, V.A.; WOODWARD, M.D. Discovery of aminocyclopyrachlor (proposed common name) (DPX-MAT28): a new broad spectrum auxinic herbicide. In: Proceedings of the 236th ACS National Meeting in Philadelphia, PA. Washington. **Abstracts...** American Chemical Society, 2008.

FLINT, J. L.; BARRETT, M. Effects of glyphosate combinations with 2,4-D or dicamba on field bindweed (*Convolvulus arvensis*). **Weed Science**, v.37, p.12-18, 1989.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Manag. Sci.**, v.66, n.2, p.113-120, 2009.

JENKS, B. M. Yellow toadflax control in rangeland with DPX-MAT28. **Proc. West. Soc. Weed Sci. Abstr.**, v.63, n.4, 2010.

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

- JHALA, A.J.; SINGH, M. Leaching of indaziflam compared with residual herbicides commonly used by Florida citrus. **Weed Technology**, v.26, n.3, p.602-607, 2012.
- JONES, P.A.; BROSINAN, J.T.; KOPSELL, D.A.; BREEDEN, G.K. Effect of reed-sedge peat moss on hybrid bermudagrass injury with indaziflam and proflumicetone in sand based root zones. **Weed Technology**, v.27, n.3, p.547-551, 2013.
- KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam, a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Pakistan Journal Weed Science Research**, v.18, n.esp., p.267-270, 2012.
- KNISS, A.R.; LYON, D.J. Winter wheat response to preplant applications of aminocyclopyrachlor. **Weed Technology**, v.25, n.1, p.51 -57, 2011.
- LEWIS, D.F.; ROTEN, R.L.; EVERMAN, W.J.; GANNON, T.W.; RICHARDSON, R.J.; YELVERTON, F.H. Absorption, translocation and metabolism of aminocyclopyrachlor in tall fescue (*Lolium arundinaceum*). **Weed Science**, v. 61, n.3, p.348-352, 2013a.
- LEWIS, D.F.; JEFFRIES, M.D.; STREK, H.J.; RICHARDSON, R.J.; YELVERTON, F.H. Effect of ambient moisture on aminocyclopyrachlor efficacy. **Weed Technology**, v.27, n.2, p.317-322, 2013b.
- LINDENMAYER, R.B. **Understanding aminocyclopyrachlor behavior in soil and plant**. 2012. 82f. Tese de doutorado (Colorado State University).Colorado, 2012.
- LINDENMAYER, R.B.; NISSEN, S.J.; WESTRA, P.P.; SHANER, D.L.; BRUNK, G. Aminocyclopyrachlor absorption, translocation and metabolism in field bindweed (*Convolvulus arvensis*). **Weed Science**, v.61, n.1, p.63-67, 2013.
- LINDENMAYER, R.B.; WESTRA, P.P.;BRUNK, G. Selected invasive species control using aminocyclopyrachlor. **Proc. West. Soc. Weed. Sci. Abstr.**v.62, n.42, 2009.
- MCCLOSKEY, W.B.; McREYNOLDS, K.; FOSTER, E.; ARTHUN, D. Knapweed management in southwestern abandoned pastures. **Proc Weed Sci Soc Am Abstr.**, v.63, n.43,2011.
- MYERS, D. F.; HANRAHAN, R.; MICHEL, J.; MONKE, B.; MUDGE, L.; OLSEN, C.; PARKER, A.; SMITH, J.; SPAK, D. Indaziflam/BCS AA170717—a new herbicide for preemergent control of grasses and broadleaves in turf and ornamentals. **Proc South Weed Sci Soc Abstr.**, v.62, p.393, 2009.
- NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; MELO, M.S.C.; OBARA, F.E.B.; REICHENBACH, J.W. Indaziflam: Novo mecanismo de ação para o citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012a, p.76-80.
- NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; MELO, M.S.C.; OBARA, F.E.B.; REICHENBACH, J.W. Avaliação da seletividade do herbicida indaziflam ao longo de três

anos para a cultura do citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012b, p.81-85.

OLIVEIRA JR, R.S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011, p.141-191.

OLIVEIRA JR., R.S.; ALONSO, D.G.; KOSKINEN, W.C. Sorption-desorption of aminocyclopyrachlor in selected Brazilian soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.8 , p.4045-4050, 2011.

PERRY, D.H.; McELROY, J.S.; DOROH, M.C.; WALKER, R.H. Indaziflam utilization for controlling problematic turfgrass weeds. **Plant Management Network**, 2011. Disponível em: <<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/ats/research/2011/indaziflam/>> Acesso em: 03 jun. 2013.

RICK, S.K.; TURNER, R.G.; MEREDITH, J.H. Biology review of aminocyclopyrachlor. **North Central Weed Sci. Soc. Proc.**, v.63. p.202, 2008.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide Handbook**, 9. ed., Lawrence-KS: Weed Science Society of America, p.331-332, 335-338, 2007.

STRACHAN, S.D.; CASINI, M.S.; HELDRETH, K.M.; SCOCAS, J.A.; NISSEN, S.J.; BUKUN, B.; LINDENMAYER, R.B.; SHANER, D.; WESTRA, P.; BRUNK, G. Vapor movement of synthetic auxin herbicide: Aminocyclopyrachlor, aminocyclopyrachlor methyl ester, dicamba and aminopyralid. **Weed Science**, v.58, n.2, p.103-108, 2010.

STRACHAN, S.D.; FERRY, N.M.; COOPER, T.L. Vapor movement of aminocyclopyrachlor, aminopyralid and dicamba in the field. **Weed Technology**, v.27, n.1, p.143-155, 2013.

TURNER, R.G.; PITTS, J.R.; GANSKE, D.D; HIDALGO, E.; CLAUS, J.S. aminocyclopyrachlor blend products for vegetation management on railroad and utility sites. **Proc. Soc. Range Manage. Proc. Meet.** 2010.

TURNER, R.G; CLAUS, J.S.; HIDALGO, E.; HOLLIDAY, M.J.; ARMEL, G.R. Technical introduction of the new DuPont vegetation management herbicide aminocyclopyrachlor. **Proc South Weed Sci Soc Abstr.**, v.62, p.405, 2009.

U.S. EPA. **Pesticide fact sheet for indaziflam**.2011. Disponível em: <http://www.epa.gov/opprd001/factsheets/indaziflam.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2013.

U.S. EPA. **Pesticide fact sheet**, 2010. Conditional registration, 2010a; 108 pp.

U.S. EPA. **Environmental Fate and Ecological Risk Assessment for the Registration of Indaziflam**.2010b. 292p.



VASSIOS, J.D.; DOUGLASS, C.; BRIDGES, M.; LINDENMAYER, R.B.; NISSEN, S.  
Native grass tolerance to aminopyralid and DPX-KJM44. **Proc. Weed Sci. Soc. Am. Abstr.**,  
v. 49, n.153, 2009.

WESTRA, P.; NISSEN, S.; GAINES, T.; BEKUN, B.; LINDENMAYER, B.; SHANER, D.  
Aminocyclopyrachlor for invasive weed management and restoration grass safety in the  
central great plains. **Proc. North Central Weed Sci. Soc.**, v.63, p. 203, 2008.

WESTRA, P.; WILSON, R.; EDWARDS, M. Agronomic crop responses to KJM-44  
herbicide. **Proc. North Central Weed Sci. Soc.**, v.63, p. 61-62, 2008.

## **CAPÍTULO 1**

### **Sensibilidade de espécies vegetais aos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam**

## RESUMO

O aminocyclopyrachlor e indaziflam são herbicidas que se encontram em fase de desenvolvimento no Brasil e não existem informações a respeito do comportamento destes herbicidas em solos brasileiros. Este trabalho teve como objetivo avaliar a sensibilidade de espécies vegetais a estas novas moléculas, buscando selecionar plantas que possam ser utilizadas como bioindicadores em ensaios de comportamento destes herbicidas no solo. Foram conduzidos dois experimentos, em casa de vegetação, sendo um para cada herbicida. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 8x6, e os níveis dos fatores representados por oito espécies utilizadas como possíveis bioindicadoras – algodão, milho, soja, sorgo, girassol, milheto, pepino e beterraba e seis doses dos herbicidas (aminocyclopyrachlor – 0; 10; 20; 30; 40 e 50 g ha<sup>-1</sup> e indaziflam 0; 20; 40; 60; 80 e 100 g ha<sup>-1</sup>). Dentre as espécies estudadas, a soja e a beterraba mostraram-se bastante sensíveis às duas novas moléculas herbicidas, sendo alternativas viáveis para serem utilizadas como bioindicadores em bioensaios visando à detecção biológica de baixas concentrações de aminocyclopyrachlor e indaziflam no solo.

**Palavras-chave:** beterraba; bioensaio; I<sub>50</sub>; soja.

## INTRODUÇÃO

O aminocyclopyrachlor e indaziflam são novas moléculas herbicidas que se encontram em fase de desenvolvimento no Brasil. O primeiro para a cultura da cana-de-açúcar e pastagens e o indaziflam para a cultura da cana-de-açúcar, café e citrus.

O aminocyclopyrachlor (ácido 6-amino-5-cloro-2-ciclopropilpirimidino-4-carboxílico) é um herbicida mimetizador de auxina, do grupo químico dos ácidos pirimidinecarboxílicos. Nos Estados Unidos, possui registro para o controle de plantas daninhas em áreas não agrícolas e pastagens, incluindo gramados, aeroportos, rodovias, ferrovias, áreas de recreação etc. Este herbicida apresenta tanto atividade foliar quanto residual (TURNER et al., 2009; Mc CLOSKEY et al., 2011) e amplo espectro de controle de plantas daninhas (RICK; TURNER, MEREDITH, 2008).

Apresenta baixa toxicidade para mamíferos e animais selvagens apresentando perfil ambiental favorável pelas doses utilizadas e ao amplo espectro de controle. Típico dos herbicidas auxínicos, o aminocyclopyrachlor é translocado por via sistêmica (BUKUN et al., 2010), mas é eficaz em doses muito mais baixas que outros herbicidas auxínicos, como o 2,4-D (TURNER et al., 2009). Estudos conduzidos em casa de vegetação, por Strachan et al. (2011), demonstraram que espécies da classe Liliopsidas apresentam maior tolerância ao aminocyclopyrachlor aplicado no solo do que espécies da classe Magnoliopsida.

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1H-inden-1-il]-6-[(1R)-1-fluoroetilo]-1,3,5-triazina-2,4-diamina) inibe a biossíntese de celulose em plantas suscetíveis e pertence ao grupo químico alquilazine (MYERS et al., 2009). Seu primeiro registro foi em 2010, nos Estados Unidos, para uso em gramados (KAAPRO; HALL, 2012). No Canadá, foi registrado para o controle de plantas daninhas Liliopsidas e Magnoliopsidas em áreas cultivadas com espécies frutíferas como maçãs, pêra, pêssago, citrus, uvas, nozes etc. (BAYER, 2012); possui atividade em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas. A prolongada atividade residual é uma de suas principais características. Brosnan et al. (2012) verificaram excelente controle de *Poa annua*, mesmo 28 semanas após a aplicação. Myers e Parker (2010) também constataram elevado período de atividade residual (entre 3 e 5 meses) para as espécies *Eclipta alba*, *Euphorbia maculata* e *Senecio vulgaris*.

Estes herbicidas se encontram em fase de desenvolvimento no Brasil e por isso não existem informações a respeito do comportamento destes em nossos solos. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a sensibilidade de espécies vegetais aos

herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam, buscando selecionar plantas que possam ser utilizadas como bioindicadores em ensaios de comportamento destes herbicidas no solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos durante os meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012, em casa de vegetação, localizada no Centro de Tecnologia de Irrigação da Universidade Estadual de Maringá (CTI/UEM). Suas coordenadas geográficas são latitude 23°23'44,4'' Sul e longitude 51°57'03,7'' Oeste e altitude de 511 m.

O solo utilizado como substrato foi coletado da camada de 0-20 cm de profundidade e apresentava textura franco argilo arenosa (69% de areia; 29% de argila e 2% de silte). Com relação às características químicas, o solo apresentou pH (H<sub>2</sub>O) de 5,9; 3,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>; 3,17 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>+2</sup>; 0,67 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>+2</sup>; 0,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 47,6 mg dm<sup>-3</sup> de P e 11,89 g dm<sup>-3</sup> de C.

Foram conduzidos simultaneamente experimentos para os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 8x6, sendo os fatores representados por oito espécies utilizadas como possíveis bioindicadoras – algodão cv. FMT 707<sup>®</sup> (*Gossypium hirsutum*); milho híbrido DKB 3904<sup>®</sup> (*Zea mays*); soja cv. V max<sup>®</sup> (*Glycine max*); sorgo híbrido BRS 306<sup>®</sup> (*Sorghum bicolor*); girassol cv. BRS 321<sup>®</sup> (*Helianthus annuus*); milheto cv. BRS 1501<sup>®</sup> (*Pennisetum glaucum*); pepino cv. Safira<sup>®</sup> (*Cucumis sativus*) e beterraba cv. All Green<sup>®</sup> (*Beta vulgaris esculenta*) e seis doses dos herbicidas (aminocyclopyrachlor – 0; 10; 20; 30; 40 e 50 g ha<sup>-1</sup> e indaziflam 0; 20; 40; 60; 80 e 100 g ha<sup>-1</sup>). O delineamento experimental utilizado para ambos os ensaios foi o inteiramente casualizado com quatro repetições.

As unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno, com capacidade de 3 dm<sup>3</sup> de solo, nos quais foram semeadas cinco sementes de cada espécie, à profundidade de 1-2 cm. Após a semeadura, os vasos foram irrigados e depois de 2 h procedeu-se à aplicação dos herbicidas. A aplicação em pré-emergência foi realizada em 15/12/2011, com um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, munido de quatro pontas XR110.02, mantido à pressão de trabalho de 206,8 kPa, o que resultou em um volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>. No momento da aplicação, a temperatura do ar encontrava-se em 28,8° C, a umidade relativa do ar era de 35,1% e vento de 1,8 km h<sup>-1</sup>.

Decorridos 21 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), contou-se o número de plantas vivas por vaso e, em seguida, foi colhida a parte aérea das mesmas. Esse material foi pesado em balança de precisão a fim de se obter a massa fresca da parte aérea.

Os resultados da massa fresca da parte aérea dos bioindicadores foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) e regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos considerando-se a significância dos coeficientes de regressão e o significado biológico. Com base nos dados e modelos de regressão obtidos, estabeleceu-se o  $I_{50}$  (dose necessária para redução de 50% da massa fresca das plantas), a fim de comparar a sensibilidade das espécies. Os modelos de regressão utilizados neste trabalho foram:

*modelo linear*: é representado pela equação  $Y=A+(B*X)$ , em que Y representa a estimativa da variável em questão, A é a massa fresca máxima, B é a declividade da reta analisada e X representa a dose do herbicida;

*Modelo hipérbole*: é representado pela equação  $Y= (A*B) / (B+X)$ , em que Y representa a estimativa da variável em questão, X é a dose do herbicida, A é a massa fresca máxima e B são o parâmetros de regressão não linear do modelo;

*modelo sigmoidal (3 parâmetros)*: é representado pela equação  $Y=A/1+\exp[-(X-X_0)/B]$ , em que Y representa a estimativa da variável em questão, X é a dose do herbicida, A é a massa fresca máxima e B é parâmetro do modelo de regressão não linear,  $X_0$  é a dose necessária para redução de 50% do parâmetro A;

*modelo sigmoidal (4 parâmetros)*: é representado pela equação  $Y=Y_0+A/1+\exp[-(X-X_0)/B]$ , em que Y representa a estimativa da variável em questão, X é a dose do herbicida, A e B são parâmetros de regressão não linear do modelo;  $X_0$  é a dose inicial ou  $0 \text{ g ha}^{-1}$  do herbicida;  $Y_0$  é a massa fresca obtida com a dose inicial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As culturas do grupo das Liliopsidas mostraram-se mais tolerantes ao aminocyclopyrachlor se comparado às Magnoliopsidas. O milho, sorgo e milheto não sofreram injúrias visuais de tal forma que não ocorreu qualquer redução na massa fresca (figuras 1 e 2) quando semeados em solo tratado com este herbicida. Desta forma, o valor de  $I_{50}$  para estas culturas foi superior a maior dose testada ( $>50 \text{ g ha}^{-1}$ ) (tabela 1).

Tabela 1. Valores de  $I_{50}^*$  para as espécies vegetais 21 dias após a aplicação de aminocyclopyrachlor e indaziflam.

Espécie	$I_{50} \text{ (g ha}^{-1}\text{)}$	
	Aminocyclopyrachlor	Indaziflam
Algodão	9,70	63,50
Milho	$>50,00$	86,00
Soja	2,55	1,80
Sorgo	$>50,00$	0,50
Girassol	24,50	$>100,00$
Milheto	$>50,00$	3,60
Pepino	39,50	2,30
Beterraba	0,65	2,90

\* Dose do herbicida necessária para causar 50% de redução na massa fresca dos bioindicadores em relação à testemunha sem herbicida.



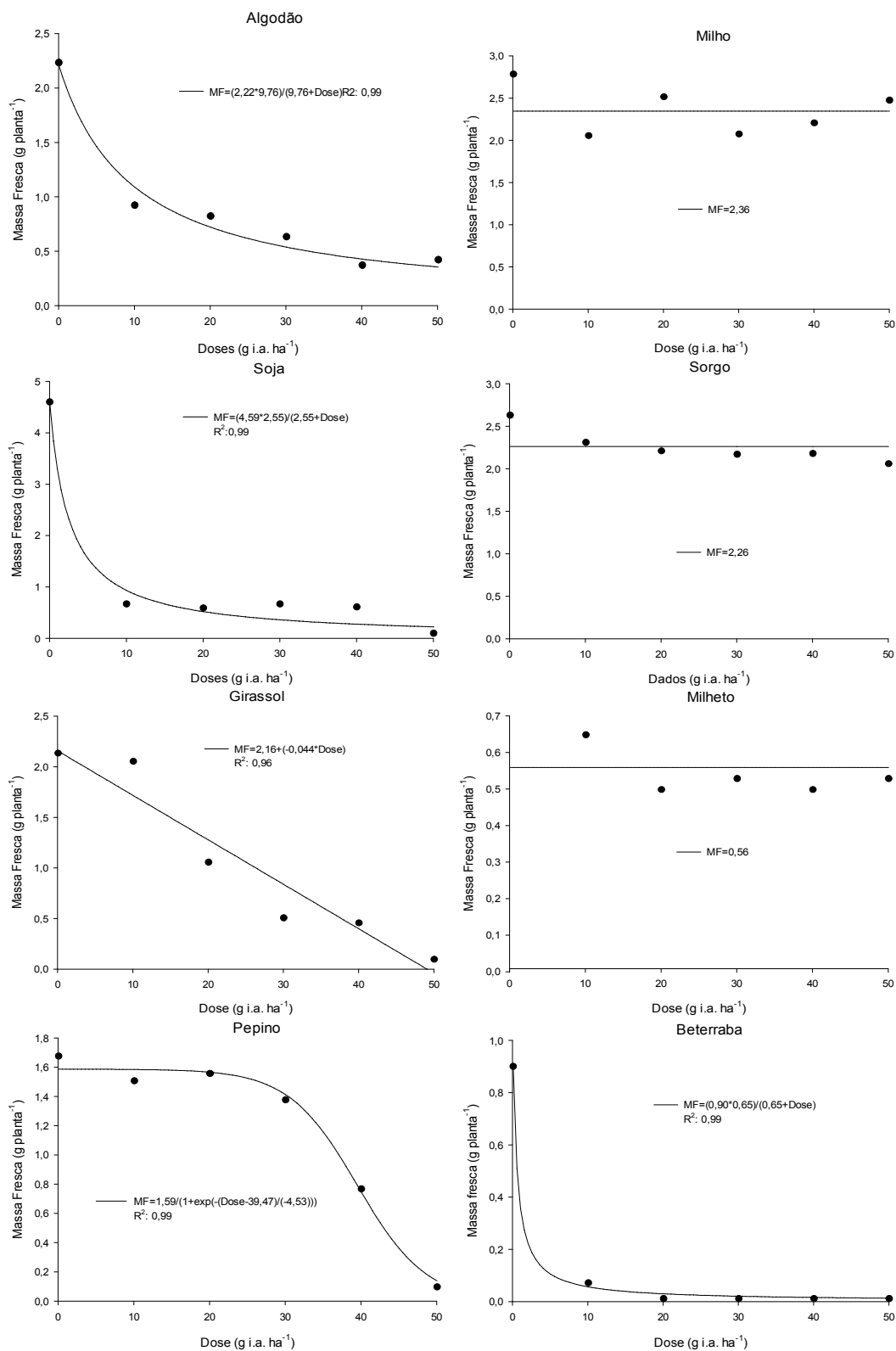


Figura 1. Efeito de doses de aminocyclopyrachlor na massa fresca da parte aérea de espécies vegetais, 21 DAA.

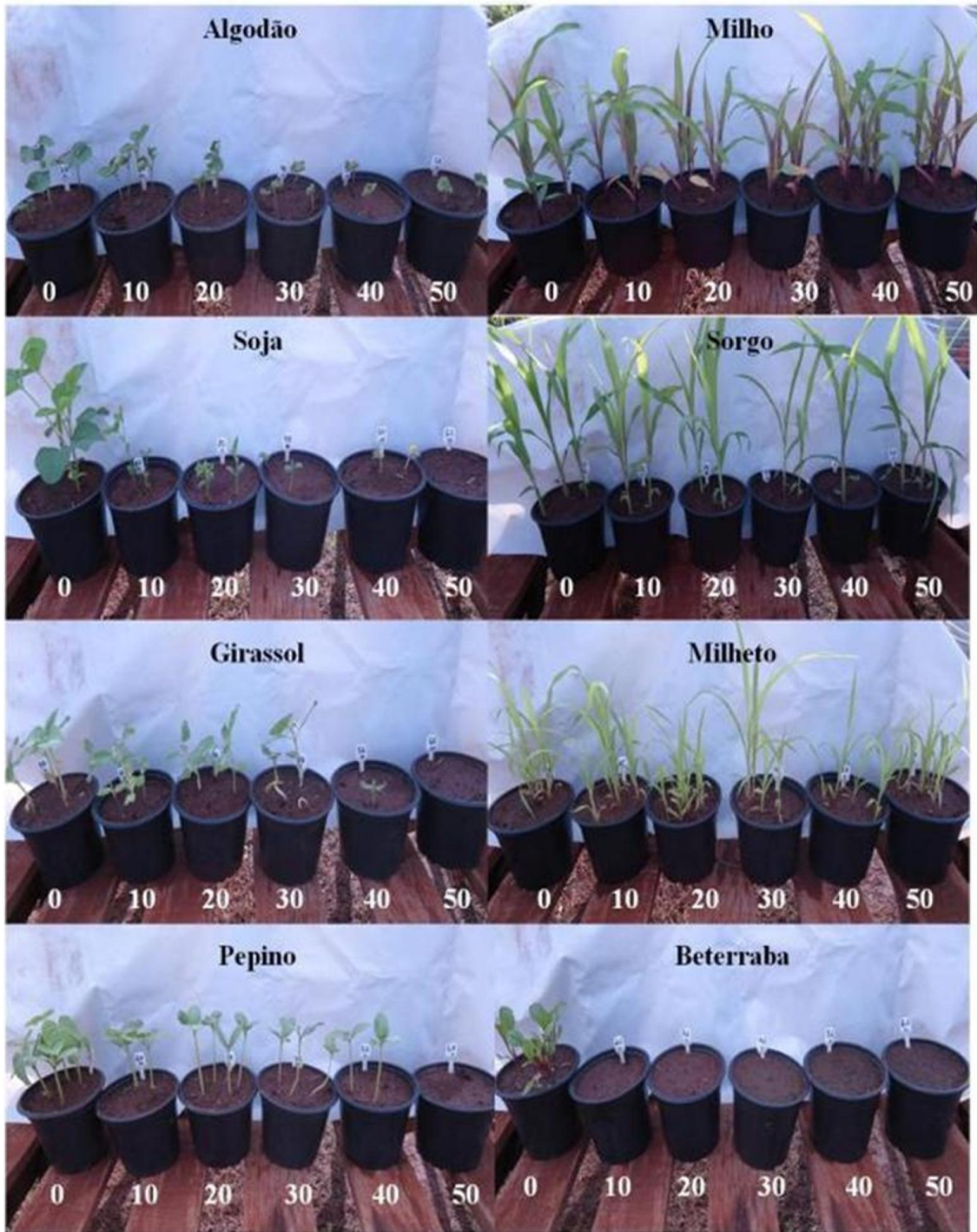


Figura 2. Sintomas visuais de intoxicação de espécies vegetais após a aplicação de diferentes doses ( $\text{g ha}^{-1}$ ) de aminocyclopyrachlor.

Strachan et al. (2010; 2011) também testaram a sensibilidade de diversas espécies ao aminocyclopyrachlor e verificaram que nenhuma espécie Liliopsida mostrou-se sensível a este herbicida, de modo que nem mesmo a aplicação no solo de  $64 \text{ g ha}^{-1}$  deste produto foi suficiente para alcançar valores de  $I_{25}$  (redução de 25% no acúmulo de massa seca em relação à testemunha sem herbicida), dentre as espécies testadas encontravam-se milho, aveia, trigo, azevém e cevada. Estas espécies são tolerantes a maioria dos herbicidas mimetizadores de auxinas, e a seletividade está relacionada a diversos fatores, como arranjo do tecido vascular em feixes, presença de meristemas intercalares, metabolização e exsudação via sistema radicular. Desta forma, o movimento das auxinas nestas espécies é mais restrito, ocorrendo a degradação e metabolização de forma mais acentuada (FLESSNER; DUTE; McELROY, 2011) o que leva a menor chegada dos herbicidas mimetizadores de auxina nos locais onde atuam, ou seja, os meristemas em crescimento nas plantas jovens. No entanto, os resultados de Kniss e Lyon (2011) demonstraram que, apesar do trigo semeado 15 dias após a aplicação de  $20 \text{ g ha}^{-1}$  de aminocyclopyrachlor não ter apresentado sintomas visuais de fitointoxicação, no momento da colheita observou-se redução de 50% na produtividade de grãos. Esse resultado foi justificado pelo fato da utilização de mimetizadores de auxinas induzirem a partenocarpia (produção de frutos sem sementes). Segundo Gillaspay, Ben-David e Gruissem (1993), o aumento dos níveis de auxina nos óvulos ou ovários irá causar a iniciação do desenvolvimento do fruto, sem fertilização. Tal iniciação impediria a produção de grãos em uma planta de trigo de aparência normal (KNISS; LYON, 2011).

Os sintomas de fitointoxicação observados no algodão, soja, girassol e pepino caracterizaram-se por epinastia e enrolamento das folhas, ramos e pecíolo. De acordo com Strachan et al. (2010), esses sintomas em espécies Magnoliopsidas são semelhantes aos observados quando se aplica o herbicida aminopyralid, que também apresenta o mesmo mecanismo de ação. Para a beterraba, houve a emergência das plântulas, no entanto, estas morreram até com a menor dose de aminocyclopyrachlor ( $10 \text{ g ha}^{-1}$ ) aplicada (figura 2).

Os valores de  $I_{50}$  para as espécies do grupo das Magnoliopsidas variaram entre  $0,65$  e  $39,50 \text{ g ha}^{-1}$ . Dentre estas espécies, a que apresentou maior tolerância ao aminocyclopyrachlor foi o pepino, com de  $I_{50}$  de  $39,50 \text{ g ha}^{-1}$ . Em seguida, girassol e algodão, com  $I_{50}$  de  $24,50$  e  $9,70 \text{ g ha}^{-1}$ , respectivamente. As espécies mais sensíveis foram soja e beterraba. Para a primeira, notou-se que a dose de apenas  $2,55 \text{ g ha}^{-1}$  foi suficiente para promover 50% de redução na massa fresca, e para a beterraba este valor foi ainda menor ( $0,65 \text{ g ha}^{-1}$ ) (figura 1 e tabela 3).

Strachan et al. (2010) também verificaram alta sensibilidade da soja a este herbicida, observando-se que a dose de  $1,0 \text{ g ha}^{-1}$  já foi suficiente para promover 50% de fitointoxicação nesta espécie. A sensibilidade de soja, girassol (WESTRA; WILSON; EDWARDS, 2008; STRACHAN et al., 2011), algodão, beterraba (STRACHAN et al., 2011) e alfafa (WESTRA; WILSON; EDWARDS, 2008) ao aminocyclopyrachlor já foi descrita na literatura por outros autores.

Strachan, Ferry e Cooper (2013) notaram que a soja é altamente sensível a herbicidas auxínicos (aminocyclopyrachlor, aminocyclopyrachlor methyl, aminopyralid e dicamba) e utilizaram esta espécie como bioindicadora da volatilização destes herbicidas.

A maioria das espécies testadas apresentaram-se sensíveis ao indaziflam. O único sintoma observado nas diferentes espécies após a semeadura em solo contendo este herbicida foi a não emergência das plântulas, exceto para o girassol. Algodão e milho não emergiram somente quando semeados no solo com a maior dose de indaziflam ( $100 \text{ g ha}^{-1}$ ). Para a soja, observou-se a emergência no solo tratado com as duas menores doses ( $20$  e  $40 \text{ g ha}^{-1}$ ). No entanto, estas plantas morreram depois de alguns dias. Enquanto que para o sorgo, milheto, pepino e beterraba não houve emergência nem mesmo no solo que recebeu a menor dose deste herbicida ( $20 \text{ g ha}^{-1}$ ).

O mecanismo de ação exato do indaziflam ainda não está completamente esclarecido. Acredita-se que este herbicida evita que novas células da parede celular sejam formadas, havendo então a paralisação do crescimento da planta. A formação de parede celular é inibida, mas a síntese de polímeros de polissacarídeos não é afetada. A inibição provavelmente ocorre em algum ponto na etapa da reticulação das microfibrilas de celulose e, nesse sentido, a inibição da divisão celular do tecido meristemático também tem sido proposta, como um modo de ação secundário (GRIFFIN, 2005). Para Kaapro e Hall (2012), a inibição da deposição de cristais na parede celular afeta severamente a sua formação, a divisão e o alongamento das células. Isso indica que as folhas completamente desenvolvidas não são ou dificilmente serão afetadas pelo indaziflam, desde que a formação da parede celular já esteja concluída e nenhuma nova síntese de celulose ocorra. A eficácia em aplicações em pós-emergência tem sido observada até a fase de duas folhas. Segundo Griffin (2005), os sintomas observados em plantas sensíveis cultivadas em solo tratados com herbicidas deste mecanismo de ação caracterizam-se pela não emergência da planta, e caso ocorra a emergência o crescimento radicular é reduzido ocasionando posteriormente morte desta.

Dentre as espécies testadas, observou-se que a mais tolerante ao indaziflam foi o girassol. Esta espécie apresentou pequeno decréscimo na massa fresca da parte aérea, contudo, nem a maior dose utilizada ( $100 \text{ g ha}^{-1}$ ) foi suficiente para atingir valores de  $I_{50}$ . O milho e o algodão apresentaram tolerância intermediária ao indaziflam, com valores de  $I_{50}$  de respectivamente  $86,00$  e  $63,50 \text{ g ha}^{-1}$ . A maior parte das espécies testadas apresentou alta sensibilidade ao indaziflam. Soja, sorgo, milheto, pepino e beterraba apresentaram valores de  $I_{50}$  inferior a  $5 \text{ gr}$  de indaziflam, dose esta 20 vezes menor a normalmente utilizada nos países onde este herbicida já possui registro (figuras 3 e 4 e tabela 1).

Jhala, Ramirez e Singh (2012), realizando trabalhos de dose resposta de indaziflam sobre *Lolium multiflorum*, verificaram que doses de  $3,65$  e  $14,62 \text{ g ha}^{-1}$  são suficientes para inibir a germinação desta espécie em  $70$  e  $90\%$ , respectivamente. E doses superiores a  $29,2 \text{ g ha}^{-1}$  inibiram totalmente a germinação do azevém.

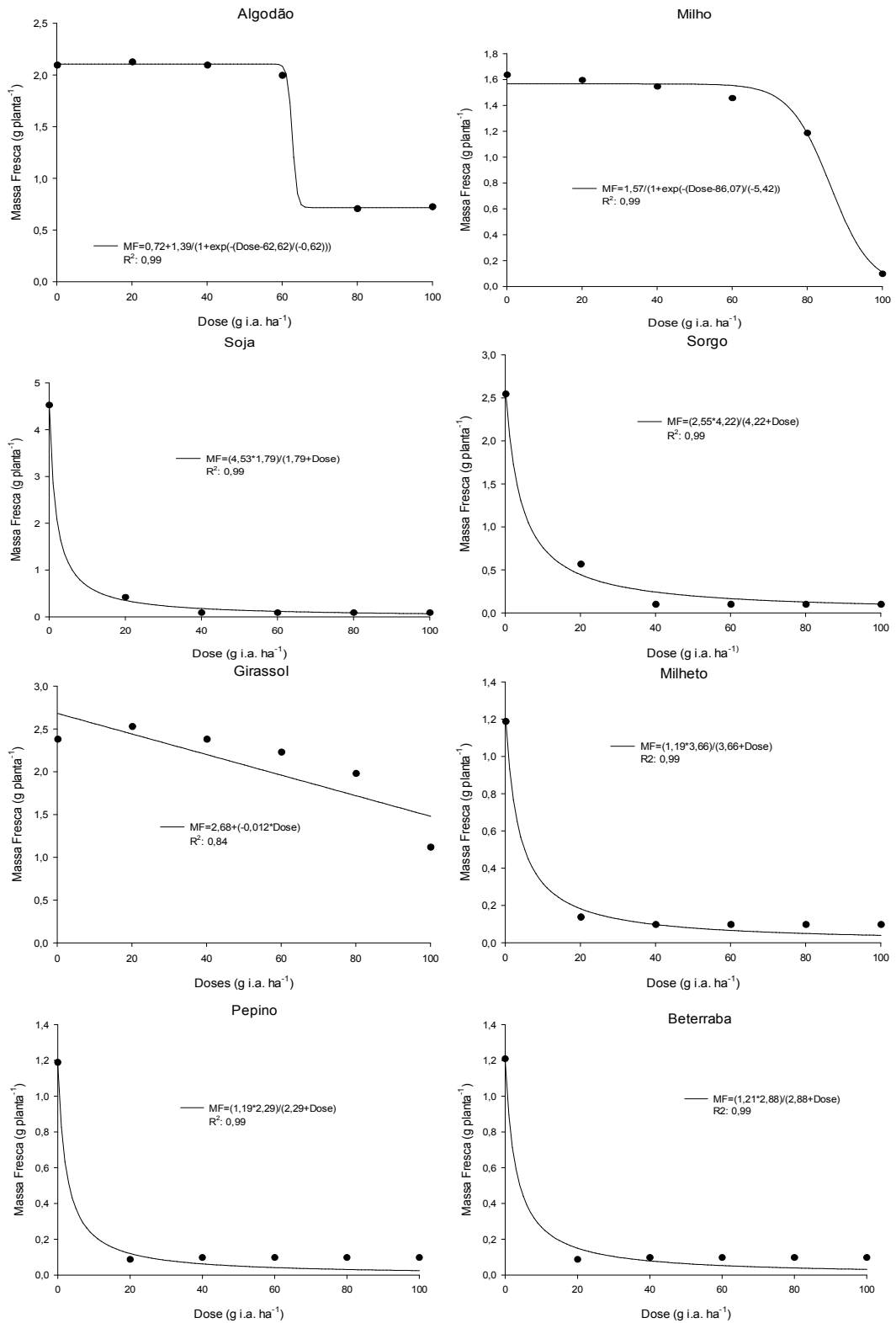


Figura 3. Efeito de doses de indaziflam na massa fresca da parte aérea de espécies vegetais, 21 DAA.



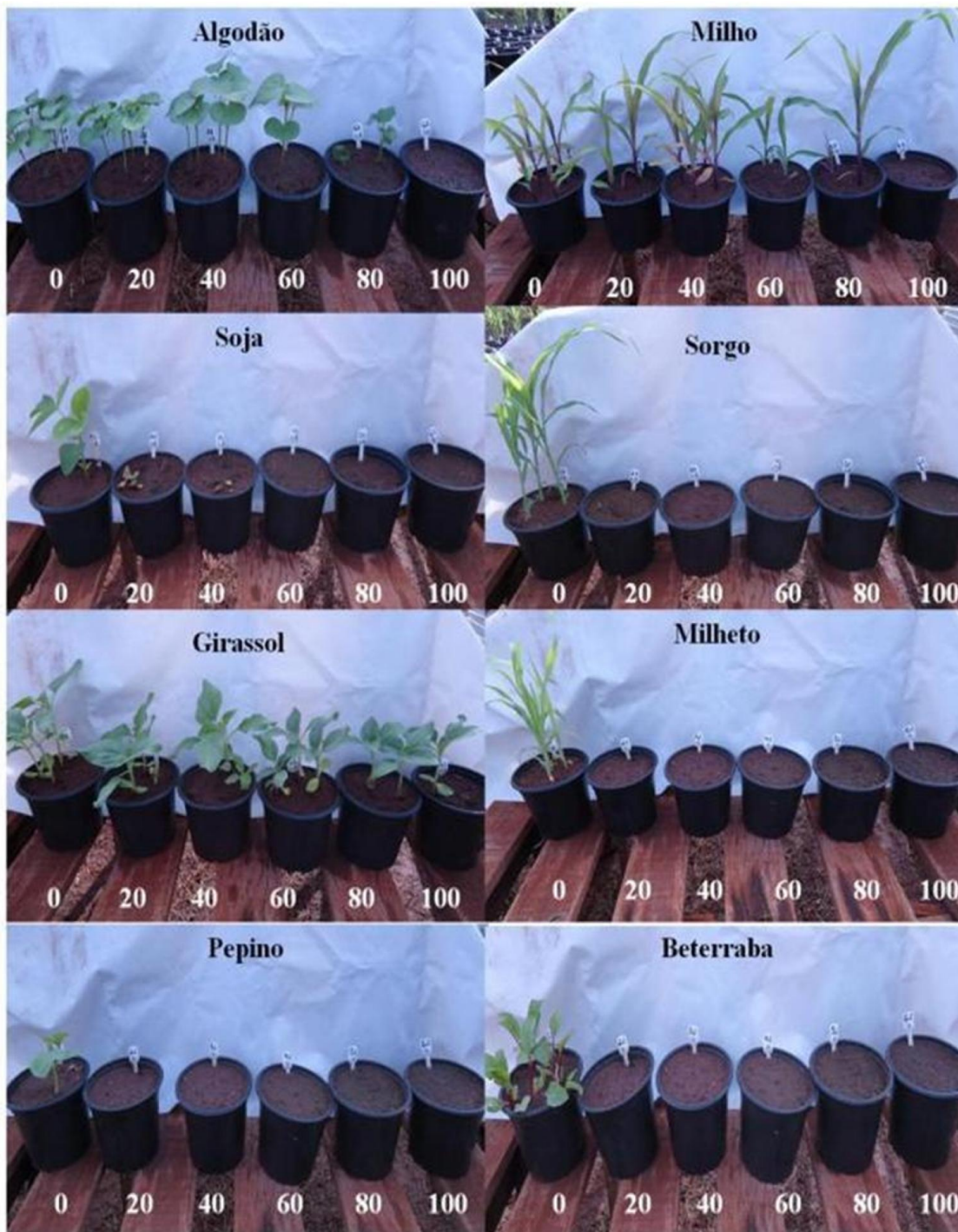


Figura 4. Sintomas visuais de intoxicação de espécies vegetais após a aplicação de diferentes doses ( $\text{g ha}^{-1}$ ) de indaziflam.

## **CONCLUSÕES**

Dentre as espécies estudadas, a soja e a beterraba mostraram-se bastante sensíveis às duas novas moléculas herbicidas, sendo ótimas alternativas para bioensaios visando à detecção biológica de baixas concentrações de aminocyclopyrachlor e indaziflam no solo.



## REFERÊNCIAS

- BAYER ENVIRONMENTAL SCIENCE, **Indaziflam**, 15p. 2012. Disponível em: <[http://www.agf.gov.bc.ca/pesticides/indaziflam%20500\\_label.pdf](http://www.agf.gov.bc.ca/pesticides/indaziflam%20500_label.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2013.
- BROSNAN, J.T.; BREEDEN, G.K.; McCULLUOGH, P.E.; HENRY, G.M. Pre and post emergence annual bluegrass control with indaziflam. **Weed Technology**, v.26, n.1, p.48-53, 2012.
- BUKUM, B.; BRADLEY, R.B.; NISSEN, S.J.; WESTRA, P.; SHANER, D.L.; BRUNK, G. 2010. Absorption and translocation of aminocyclopyrachlor and aminocyclopyrachlor-methyl ester in Canada thistle (*Cirsium arvense*). **Weed Science**, v.58, n.2 p.96-102, 2010.
- FLESSNER, M.L.; DUTE, R.R.; McELROY, J.S. Anatomical response of St. Augustine grass to aminocyclopyrachlor treatment. **Weed Science**, n.2, v.59, p.263-269, 2011.
- GILLASPY, G.; BEN-DAVID, H.; GRUISSEM, W. Fruits: a developmental perspective. **Plant Cell**, v.5, n.10, p.1439-1451, 1993.
- GRIFFIN, J.L. Inhibition of cell wall synthesis. In: \_\_\_\_\_ **Weed Course**. 2005, p.150-153.
- JHALA, A.J.; RAMIREZ, A.H.; SINGH, M. Leaching of indaziflam applied of two rates under different rainfall situations in Florida Candler Soil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.88, n.3, p.326-332, 2012.
- KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam, a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Pakistan Journal Weed Science Research**, v.18, n.esp., p.267-270, 2012.
- KNISS, A.R.; LYON, D.J. Winter wheat response to preplant applications of aminocyclopyrachlor. **Weed Technology**, v.25, n.1, p.51 -57, 2011.
- MC CLOSKEY, W.B.; McREYNOLDS, K.; FOSTER, E.; ARTHUN, D. Knapweed management in southwestern abandoned pastures. **Proc Weed Sci Soc Am Abstr.**, v.49, 2011. Abstract 58. Disponível em: <<http://wssaabstracts.com/public/4/proceedings.html>.>
- MYERS, D. F.; HANRAHAN, R.; MICHEL, J.; MONKE, B.; MUDGE, L.; OLSEN, C.; PARKER, A.; SMITH, J.; SPAK, D. Indaziflam/BCS AA170717—a new herbicide for preemergent control of grasses and broadleaves in turf and ornamentals. **Proc South Weed Sci Soc Abstr.**, v.62, p.393, 2009.
- MYERS, D.; PARKER, A. Weed control and ornamental tolerance to indaziflam. **Proc Weed Sci Soc Am Abstr.**, v.49, 2011. Abstract 58. Disponível em: <<http://wssaabstracts.com/public/4/proceedings.html>.>
- RICK, S.K.; TURNER, R.G.; MEREDITH, J.H. Biology review of aminocyclopyrachlor. **Proc North Central Weed Sci Soc Abstr.**, v.63, 202, 2008.

STRACHAN, S.D.; CASINI, M.S.; HELDRETH, K.M.; SCOCAS, J.A.; NISSEN, S.J.; BUKUN, B.; LINDENMAYER, R.B.; SHANER, D.; WESTRA, P.; BRUNK, G. Vapor movement of synthetic auxin herbicide: Aminocyclopyrachlor, aminocyclopyrachlormethyl ester, dicamba and aminopyralid. **Weed Science**, v.58, n.2, p.103-108, 2010.

STRACHAN, S.D.; FERRY, N.M.; COOPER, T.L. Vapor movement of aminocyclopyrachlor, aminopyralid and dicamba in the field. **Weed Technology**, v.27, n.1, p.143-155, 2013.

STRACHAN, S.D.; NANITA, S.C.; RUGGIERO, M.; CASINI, M.S.; HELDRETH, K.M.; HAGEMAN, L.H.; FLAGINAN, H.A.; FERRY, N.M.; PENTZ, A.M. Correlation of chemical analysis of residual levels of aminocyclopyrachlor in soil to biological responses of alfalfa, cotton, soybean, and sunflower. **Weed Technology**, v.25, n.2, p.239-244, 2011.

TURNER, R.G.; CLAUS, J.S.; HIDALGO, E.; HOLLIDAY, M.J.; ARMEL, G.R. Technical introduction of the new DuPont vegetation management herbicide aminocyclopyrachlor. **Proc South Weed Sci Soc Abstr.**, v.62, p.405, 2009.

WESTRA, P.; WILSON, R.; EDWARDS, M. Agronomic crop responses to KJM-44 herbicide. **Proc. North Central Weed Sci. Soc.**, v.63, p. 61-62, 2008.

## **CAPÍTULO 2**

**Persistência da atividade biológica de aminocyclopyrachlor e indaziflam em solos de diferentes texturas**

## RESUMO

A persistência de um herbicida representa a capacidade do composto em demonstrar seu efeito residual, prevenindo o desenvolvimento das plantas daninhas de uma determinada área. Por outro lado, herbicidas com bioatividade muito prolongada podem causar injúrias às plantas sensíveis semeadas em sucessão. Este trabalho teve como objetivo avaliar a persistência da atividade biológica dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam em solos de texturas contrastantes, por meio de bioensaios. Foram conduzidos simultaneamente quatro experimentos, em esquema fatorial  $(2 \times 6) + 2$ . Os fatores estudados em cada experimento foram compostos por dois solos com texturas distintas e seis épocas de aplicação dos herbicidas em relação à semeadura das plantas bioindicadoras beterraba e soja. A persistência da atividade biológica do aminocyclopyrachlor foi superior a 150 dias. No solo de textura muito argilosa verificou-se menor persistência deste herbicida do que no solo de textura franco argilo arenosa, possivelmente pelos maiores conteúdos de argila e carbono orgânico. O indaziflam mostrou-se altamente persistente nos solos estudados, sendo que mesmo após 150 dias de sua aplicação verificou-se inibição total do desenvolvimento dos bioindicadores.

**Palavras-chave:** atividade residual, bioensaio, matéria orgânica.

## INTRODUÇÃO

O solo é o destino final dos produtos químicos usados na agricultura, sejam eles aplicados diretamente no solo ou na parte aérea das plantas. Ao entrarem em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos físico-químicos que regulam o seu destino no ambiente (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

A persistência de um herbicida representa a capacidade do composto em demonstrar seu efeito residual, prevenindo o desenvolvimento das plantas daninhas de uma determinada área. Por outro lado, herbicidas com bioatividade muito prolongada podem causar injúrias às plantas sensíveis em um sistema de rotação de culturas ou em culturas consorciadas (BLANCO; OLIVEIRA, 1987). São muitos os processos que interferem na persistência de um herbicida no solo, dentre eles destacam-se a dissipação, evaporação, lixiviação, escoamento superficial, absorção pelas plantas, taxa de degradação física, química e biológica da molécula (SILVA; VIVIAN; OLIVEIRA JR, 2007), além da dose inicial (BLANCO; OLIVEIRA, 1987; GUIMARÃES, 1987).

Dentre as técnicas analíticas que permitem a identificação e quantificação dos resíduos de herbicidas no solo, destacam-se o uso de radioisótopos e a cromatografia líquida e gasosa. Alternativamente, pode-se utilizar espécies vegetais que apresentam alta sensibilidade ao herbicida de interesse, método este conhecido como biológico (INOUE et al., 2002) ou bioensaio.

Para Blanco, Velini e Batista Filho (2010), quando a persistência dos herbicidas no solo é determinada por meio de bioensaio, é possível avaliar o tempo que o resíduo com bioatividade, podendo assim, além de avaliar seu impacto ambiental, estimar o tempo em que pode permanecer no solo e afetar culturas sensíveis, em um sistema de sucessão ou rotação de culturas. Além disso, trata-se de uma técnica mais acessível pelo menor custo para sua realização (SILVA; VIVIAN; OLIVEIRA JR, 2007; NUNES; VIDAL, 2009).

Os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam são moléculas que se encontram em fase de desenvolvimento no Brasil. Nos Estados Unidos, o aminocyclopyrachlor é registrado para o controle de plantas daninhas em áreas não agrícolas, pastagens, plantios florestais e viveiros (TURNER et al., 2009; Mc CLOSKEY et al., 2011), já o indaziflam nos Estados Unidos é recomendado para uso em gramados (KAAPRO; HALL, 2012) e no Canadá para o cultivo de algumas frutíferas (BAYER, 2012). Ambos os herbicidas possuem atividade em pré e pós-emergência, e longo período de atividade residual (TURNER et al., 2009; U.S. EPA., 2010). Na literatura, praticamente, não há informação sobre a persistência destes

herbicidas, principalmente para condições de clima subtropical e tropical como as que ocorrem no Brasil. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a persistência da atividade biológica dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam em solos de texturas contrastantes, por meio de bioensaios.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos durante os meses de junho a dezembro de 2012, em casa de vegetação, pertencente à Faculdade Integrado de Campo Mourão, Campo Mourão-PR, que se localiza na rodovia BR 158, km 207, Jardim Batel, Campo Mourão-PR. Suas coordenadas geográficas são: latitude 23°99'04'' Sul e longitude 52°36'37'' Oeste e altitude média de 508 m. Os solos utilizados foram coletados na profundidade de 0-10 cm, apresentando os atributos físicos e químicos descritos na tabela 1. Antes de serem utilizadas, nos experimentos, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm.

Tabela 1. Atributos físico-químicos de amostras de solo utilizadas nos experimentos.

Textura do Solo	pH		Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O					
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
Franco argilo arenosa	4,8	5,3	0	4,61	4,17	1,02	0,66
Muito argilosa	5,5	6,2	0	3,68	7,09	2,81	0,36
	P	C	CTC	V	Areia	Silte	Argila
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	%		
Franco argilo arenosa	108,7	12,28	10,46	55,93	72	05	23
Muito argilosa	6,3	18,42	13,94	73,60	17	10	73

Foram conduzidos simultaneamente quatro experimentos, sendo dois para o aminocyclopyrachlor e dois para o indaziflam, e foi utilizada beterraba ou soja como bioindicadores. Estas espécies bioindicadoras foram escolhidas com base em trabalhos realizados previamente (capítulo 1). As doses de aminocyclopyrachlor e indaziflam utilizadas nestes experimentos corresponderam a 90 e 100 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em todos os experimentos foram utilizados delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, em esquema fatorial (2x6) +2. O primeiro fator estudado em cada experimento foi o solo, e os níveis deste fator foram representados por dois materiais com texturas distintas (textura franco argilo arenosa e muito argilosa – tabela 1). O segundo fator estudado foi o período de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a semeadura do bioindicador (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação dos herbicidas – DAA), além de duas testemunhas (1 para cada textura de solo) sem aplicação do herbicida.

As unidades experimentais foram constituídas de vasos de polietileno com capacidade de 3 dm<sup>3</sup> de solo. A primeira aplicação dos herbicidas foi realizada em 10/07/2012

e a cada 30 dias era realizada uma nova aplicação. Para todas as aplicações utilizou-se um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, munido de quatro pontas XR110.02, mantido à pressão de trabalho de 206,8 kPa, o que resultou em um volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>. No momento das aplicações, as condições ambientais médias foram de temperatura entre 25 - 28° C, umidade relativa do ar entre 65 - 82%, vento oscilando em 0,3 - 1,5 km h<sup>-1</sup> e solo úmido.

Durante o período de tempo compreendido entre a aplicação dos herbicidas e a semeadura do bioindicador, as unidades experimentais que aguardavam a semeadura receberam uma irrigação semanal que simulava a precipitação de 15 mm. Ao término de todas as épocas de aplicações pré-determinadas (26/11/2012), foram semeadas quatro sementes de soja ou oito sementes de beterraba por unidade experimental, à profundidade de 1,5 cm.

Decorridos 21 dias após a semeadura do bioindicador (DAS), o número de plantas vivas foi anotado e, em seguida, foi realizado o corte da parte aérea. Este material foi pesado em balança de precisão a fim de se obter a massa fresca da parte aérea. Com estes dados, calcularam-se as porcentagens de inibição em relação à respectiva testemunha sem herbicida para cada textura de solo.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e à análise de regressão ( $p \leq 0,05$ ). Os modelos foram escolhidos considerando-se o coeficiente de determinação e o significado biológico. Também se realizou teste de média (Tukey a 5% de probabilidade) para comparar os resultados dos solos com diferentes texturas.

Os modelos de regressão utilizado neste trabalho foram o modelo linear e exponencial. O modelo linear foi constituído pela equação  $Y=A+(B*X)$ , em que Y representou a estimativa da variável em questão, A é a estimativa máxima da variável em questão, B é a taxa de declínio da variável analisada e X a dose do herbicida. O modelo exponencial é representado pela equação  $Y=A*(B+\exp(X))$ , em que Y representou a estimativa da variável em questão, A é a massa fresca máxima, B o parâmetro do modelo de regressão não linear e X a dose do herbicida.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente da textura do solo, observou-se elevada persistência da atividade biológica do aminocyclopyrachlor. Mesmo após 150 dias de sua aplicação, verificaram-se porcentagens de inibição da massa fresca dos bioindicadores superiores a 55% (figuras 1 e 2 e tabelas 2 e 3).

A atividade biológica do aminocyclopyrachlor, detectada pelas plantas de beterraba, indicou que, quando este foi aplicado em solo com textura franco argilo arenosa, a persistência foi mais longa (figura 1) do que quando aplicado em solo de textura muito argilosa. Analisando os dados constantes na tabela 2 e na figura 3, verificou-se que quando a beterraba foi semeada entre 0 e 90 DAA do aminocyclopyrachlor não houve emergência, ocorrendo 100% de inibição da massa fresca. Já as sementeiras realizadas aos 120 e 150 DAA resultaram em inibição de 70,7% e 70,8% para o solo de textura franco-argilo-arenosa e 58,1% e 55,5% para o muito argiloso, respectivamente. Ou seja, para haver redução de 30% (textura franco argilo arenosa) e de 42 – 45% (muito argilosa) na atividade residual do aminocyclopyrachlor foi necessário um período mínimo de 120 dias e precipitação acumulada equivalente a 260 mm de chuva.

A menor persistência no solo de textura muito argilosa, provavelmente, se deve a maior sorção deste herbicida aos coloides de argila, que são mais abundantes neste solo que no de textura franco argilo arenosa. Oliveira Jr et al. (2013) observaram em seus estudos que em solo com maior teor de argila há maior sorção deste herbicida. Além do teor de argila, o conteúdo de carbono orgânico também é superior no solo de textura muito argilosa, o que também pode ter contribuído para a maior sorção deste herbicida, pois a sorção do aminocyclopyrachlor tem correlação positiva com o teor de argila e o conteúdo de carbono orgânico do solo (OLIVEIRA JR.; ALONSO; KOSKINEN, 2011). Lindenmayer (2012) também demonstrou que a sorção do aminocyclopyrachlor tem relação positiva com a matéria orgânica.

Outra hipótese é que em solos com maiores teores de carbono orgânico apresentam maior atividade de microorganismos, o que pode ter favorecido a degradação do aminocyclopyrachlor, uma vez que esta é a principal forma de degradação deste herbicida (FINKELSTEIN et al. 2008; LINDENMAYER; WESTRA; BRUNK, 2009; LINDENMAYER, 2012). Em contrapartida, Conklin e Lym (2013) sugerem o oposto,

dizendo que a degradação do aminocyclopyrachlor pode ser mais lenta em solos com baixo teor de matéria orgânica, por esta molécula estar sorvida a matéria orgânica.

Quando se utilizou a soja como bioindicador não se observou diferença na persistência para os solos com diferentes texturas (figura 2). Somente na semeadura realizada no mesmo dia da aplicação do aminocyclopyrachlor (0 DAA) não houve emergência desta espécie, para nenhuma das texturas do solo. Nas demais épocas de semeadura verificou-se para o solo de textura franco argilo arenosa porcentagens de inibição da massa fresca oscilando entre 59,4 e 68,7%, enquanto que para o solo de textura muito argilosa estes valores variaram de 61,6 a 77,8% (tabela 3 e figura 4). O fato de não terem sido verificadas grandes diferenças na persistência deste herbicida nos dois solos, quando se utilizou a soja como espécie bioindicadora pode ser atribuída a menor sensibilidade desta espécie ao aminocyclopyrachlor quando comparado com a beterraba, como foi descrito no capítulo 1.

Segundo Kniss e Lyon (2011), o aminocyclopyrachlor deve ser utilizado com cautela, pois pode prejudicar as culturas que serão cultivadas posteriormente. Tem-se como exemplo a cultura do trigo, que não apresentou sintomas de lesões visíveis após a semeadura em solos que receberam 20 g ha<sup>-1</sup> de aminocyclopyrachlor 15 dias antes. No entanto, no momento da colheita, observou-se redução de 50% na produtividade, o que indica que a sua utilização é arriscada mesmo quando se utiliza maiores intervalos de tempo entre a aplicação e a semeadura de espécies com diferentes sensibilidades ao aminocyclopyrachlor.

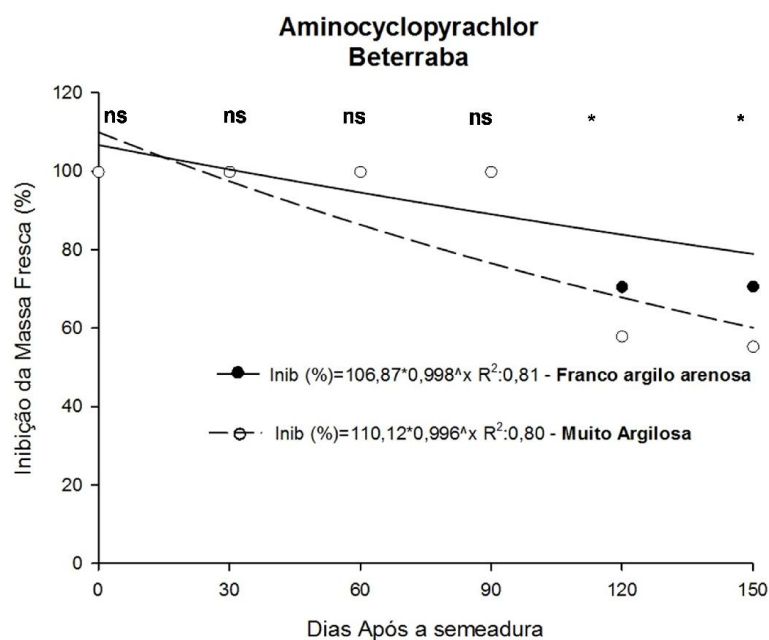


Figura 1. Inibição da massa fresca das plantas de beterraba aos 21 dias após a semeadura em solos de textura contrastante após a aplicação de aminocyclopyrachlor.

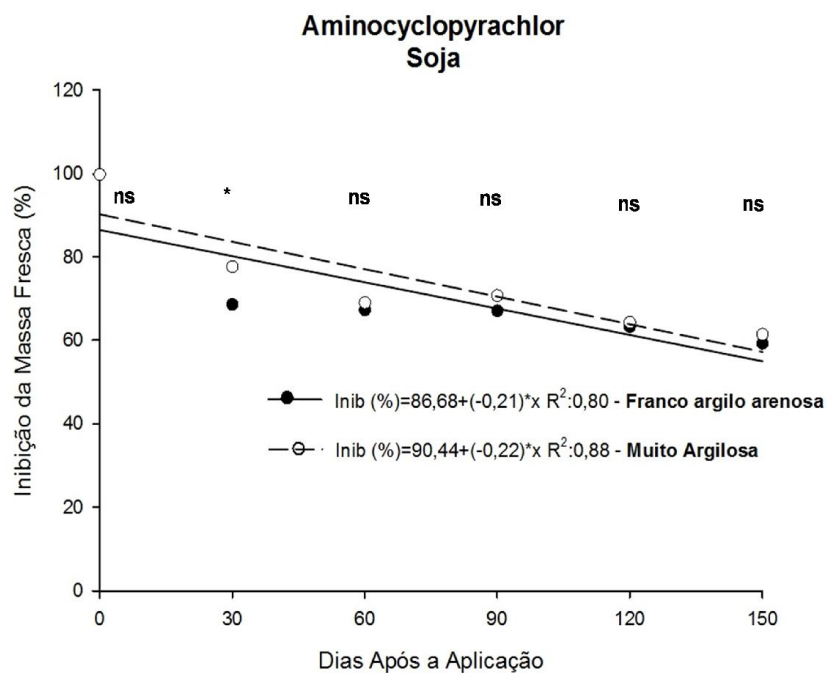


Figura 2. Inibição da massa fresca das plantas de soja aos 21 dias após a semeadura em solos de textura contrastante após a aplicação de aminocyclopyrachlor.

Tabela 2. Porcentagem de inibição na massa fresca da beterraba após semeadura em solo com aplicação de aminocyclopyrachlor.

Época de semeadura (DAA)	Textura do solo	
	Franco argilo arenosa	Muito argilosa
0	100,0 aA	100,0 aA
30	100,0 aA	100,0 aA
60	100,0 aA	100,0 aA
90	100,0 aA	100,0 aA
120	70,7 bA	58,1 bB
150	70,8 bA	55,5 bB
<b>Fcalc</b>	6,048	
<b>CV (%)</b>	5,31	
<b>DMS linha</b>	5,93	
<b>DMS coluna</b>	8,76	

\*Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Porcentagem de inibição na massa fresca da soja após semeadura em solo com aplicação de aminocyclopyrachlor.

Época de semeadura (DAA)	Textura do solo	
	Franco argilo arenosa	Muito argilosa
0	100,0 aA	100,0 aA
30	68,7 bB	77,8 bA
60	67,4 bcA	69,2 cdA
90	67,2 bcA	70,8 bcA
120	63,5 bcA	64,5 cdA
150	59,4 cA	61,6 dA
<b>Fcalc</b>	1,33	
<b>CV (%)</b>	6,12	
<b>DMS linha</b>	5,64	
<b>DMS coluna</b>	8,33	

\*Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

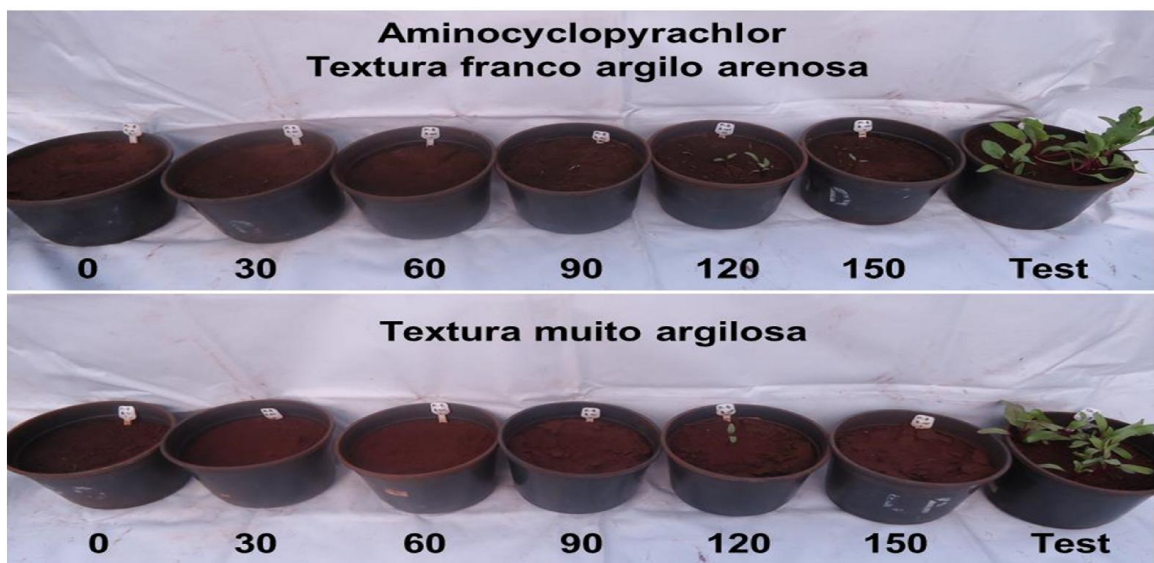


Figura 3. Fitointoxicação da beterraba semeada após diferentes épocas de aplicação de aminocyclopyrachlor.

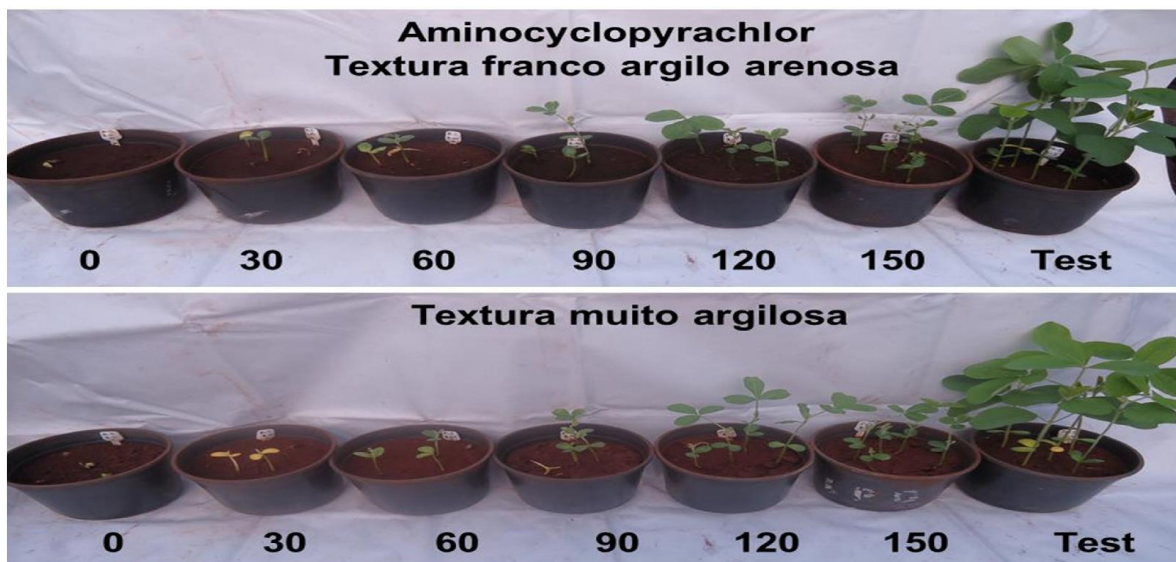


Figura 4. Fitointoxicação da soja semeada após diferentes épocas de aplicação de aminocyclopyrachlor.

A persistência da atividade biológica do indaziflam foi perceptível pelos bioindicadores (beterraba e soja) durante todo o período de condução do experimento, independentemente da textura do solo. Em todas as épocas de semeadura, verificou-se inibição total da massa fresca dos bioindicadores (100%), não havendo a emergência destes em nenhuma das épocas de semeadura e dos solos testados, como pode ser observado nas

figuras 7 e 8. Desta forma, não foi possível realizar análise estatística para nenhum destes experimentos (figuras 5 e 6 e tabelas 4 e 5).

O indaziflam é um herbicida que possui longa persistência no solo, apresentando  $t_{1/2}$  por volta de 150 dias (U.S. EPA., 2010). Em experimentos conduzidos no Estado da Flórida-EUA, este herbicida promoveu na cultura do citros controle residual durante três a cinco meses, dependendo das condições climáticas e da pressão de infestação da área (SINGH; RAMIREZ; EDENFIELD, 2011).

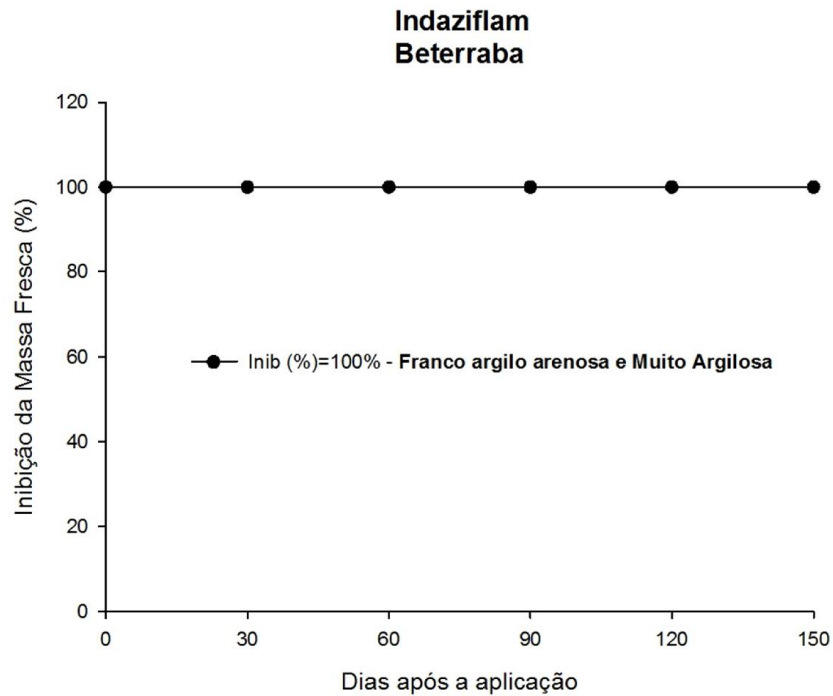


Figura 5. Inibição da massa fresca das plantas de beterraba aos 21 dias após a semeadura em solos de textura contrastante após a aplicação de indaziflam.

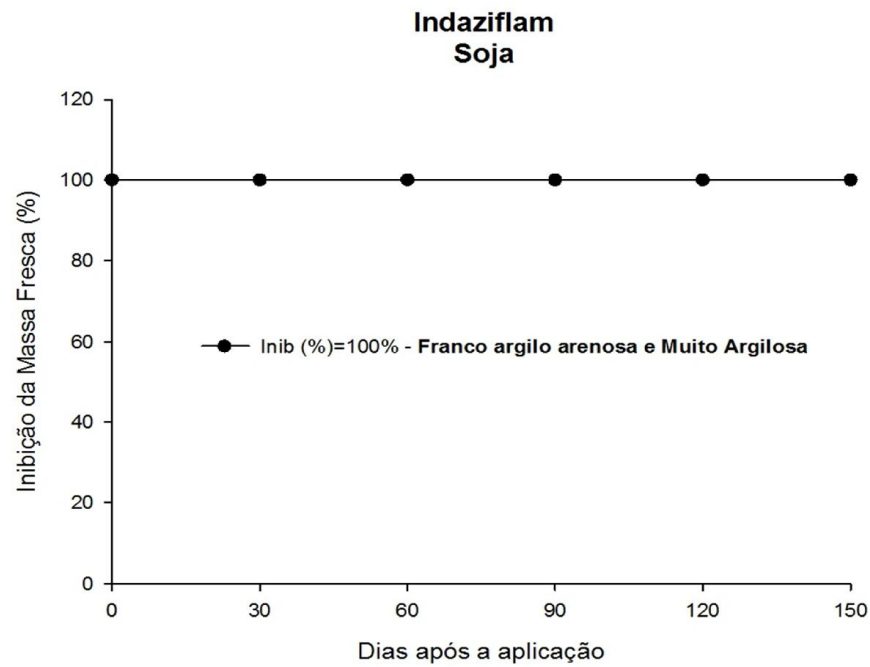


Figura 6. Inibição da massa fresca das plantas de soja aos 21 dias após a semeadura em solos de textura contrastante após a aplicação de indaziflam.

Tabela 4. Porcentagem de inibição na massa fresca da beterraba após semeadura em solo aplicação de indaziflam.

Época de semeadura	Textura do solo	
	Franco argilo arenosa	Muito argilosa
0	100,0	100,0
30	100,0	100,0
60	100,0	100,0
90	100,0	100,0
120	100,0	100,0
150	100,0	100,0

Tabela 5. Porcentagem de inibição na massa fresca da soja após semeadura em solo aplicação de indaziflam.

Época de semeadura	Textura do solo	
	Franco argilo arenosa	Muito argilosa
0	100,0	100,0
30	100,0	100,0
60	100,0	100,0
90	100,0	100,0
120	100,0	100,0
150	100,0	100,0



Figura 7. Fitointoxicação da beterraba semeada após diferentes épocas de aplicação de indaziflam.





Figura 8. Fitointoxicação da soja semeada após diferentes épocas de aplicação de indaziflam.

## CONCLUSÕES

A persistência da atividade biológica do aminocyclopyrachlor foi superior a 150 dias. No solo de textura muito argilosa verificou-se menor persistência deste herbicida do que no de textura franco argilo arenosa por maiores conteúdos de argila e carbono orgânico.

O indaziflam mostrou persistência longa nos solos estudados, sendo que mesmo após 150 dias de sua aplicação foi verificada inibição total do desenvolvimento dos bioindicadores.

## REFERÊNCIAS

- BAYER ENVIRONMENTAL SCIENCE, **Indaziflam**, 15p. 2012. Disponível em: <[http://www.agf.gov.bc.ca/pesticidas/indaziflam%20500\\_label.pdf](http://www.agf.gov.bc.ca/pesticidas/indaziflam%20500_label.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2013.
- BLANCO, F.M.G.; VELINI, E.D.; BATISTA FILHO, A. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.69, n.1, p.71-75, 2010.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A. Persistência de herbicidas em Latossolo Vermelho Amarelo em cultura de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.7, p.681-687, 1987.
- CONKLIN, K.L.; LYM, R.G. Effect of temperature and moisture on aminocyclopyrachlor soil half-life. **Weed Technology**, v.27, n.3, p.552-556, 2013.
- FINKELSTEIN, B.L.; ARMEL, G.R.; BOLGUNAS, S.A.; CLARK, D.A.; CLAUS, J.S.; CROSSWICKS, R.J.; HIRATA, C.M.; HOLLINGSHAUS, G.J.; KOEPPE, M.K.; RARDON, P.L.; WITTENBACH, V.A.; WOODWARD, M.D. Discovery of aminocyclopyrachlor (proposed common name) (DPX-MAT28): a new broad spectrum auxinic herbicide. In: Proceedings of the 236th ACS National Meeting in Philadelphia, PA. Washington. **Abstracts...** American Chemical Society, 2008.
- GUIMARÃES, G. L. Impactos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 159-180, 1987.
- INOUE, M.H.; MARCHIORI JR., O.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; TORMENA, C.A. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v.20, n.1, p.125-132, 2002.
- KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam, a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Pakistan Journal Weed Science Research**, v.18, n.esp., p.267-270, 2012.
- KNISS, A.R.; LYON, D.J. Winter wheat response to preplant applications of aminocyclopyrachlor. **Weed Technology**, v.25, n.1, p.51 -57, 2011.
- LINDENMAYER, R.B. **Understanding aminocyclopyrachlor behavior in soil and plant**. 2012. 82f. Degree of doctor (Colorado State University). Colorado, 2012.
- LINDENMAYER, R.B.; WESTRA, P.P.; BRUNK, G. Selected invasive species control using aminocyclopyrachlor. **Proc. West. Soc. Weed. Sci. Abstr.** v.62, n.42, 2009.
- MC CLOSKEY, W.B.; McREYNOLDS, K.; FOSTER, E.; ARTHUN, D. Knapweed management in southwestern abandoned pastures. **Proc Weed Sci Soc Am Abstr.**, v.49, 2011. Abstract 58. Disponível em: <<http://wssaabstracts.com/public/4/proceedings.html>. >
- NUNES, A.L.; VIDAL, R.A. Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais. **Revista ecotoxicologia e meio ambiente**, v.19, n.1, p.19-28, 2009.

OLIVEIRA JR., R.S.; ALONSO, D.G.; KOSKINEN, W.C.; PAPIERNIKS, K. S. Comparative sorption, desorption and leaching potential of aminocyclopyrachlor and picloran. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.48, n.12, p.1049-1057, 2013.

OLIVEIRA JR., R.S.; ALONSO, D.G.; KOSKINEN, W.C. Sorption-desorption of aminocyclopyrachlor in selected Brazilian soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.8, p.4045-4050, 2011.

OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A.M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011, p.264-304.

SILVA, A.A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR., R.S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.189-248.

SINGH, M.; RAMIREZ, A.H.M.; EDENFIELD, M. Indaziflam: A new preemergence herbicide for citrus. **Proc Weed Sci Soc Am Abstr.**, v.63, n.44, 2011.

TURNER, R.G.; CLAUS, J.S.; HIDALGO, E.; HOLLIDAY, M.J.; ARMEL, G.R. Technical introduction of the new DuPont vegetation management herbicide aminocyclopyrachlor. **Proc South Weed Sci Soc Abstr.**, v.62, p.405, 2009.

U.S. EPA. **Pesticide fact sheet**, 2010. Conditional registration, 2010; 108 pp.

## **CAPÍTULO 3**

### **Potencial de lixiviação dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da textura do solo e do volume de precipitação na lixiviação das duas novas moléculas de herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam, utilizando o bioensaio como técnica de detecção. O experimento consistiu da aplicação de aminocyclopyrachlor ( $90 \text{ g ha}^{-1}$ ) e indaziflam ( $100 \text{ g ha}^{-1}$ ) no topo de colunas de solo montadas em tubos de PVC, nas quais foram simuladas precipitações de 0, 30 e 60 mm após a aplicação dos herbicidas. Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $(2 \times 5) + 2$ . O primeiro fator foi constituído por solos com diferentes texturas (textura franco argilo arenosa e muito argilosa) e o segundo fator por cinco faixas de profundidades nas colunas (0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-25 cm), assim como uma testemunha para cada textura de solo sem a aplicação do herbicida, para servir como padrão de comparação. A beterraba foi utilizada como bioindicador. O aminocyclopyrachlor possui maior potencial de lixiviação do que o indaziflam. As precipitações possuem capacidade de interferir na lixiviação dos herbicidas. O aminocyclopyrachlor tem sua mobilidade aumentada quando aplicado em solo de textura franco argilo arenosa. Já para o indaziflam, não foram constatadas diferenças significativas entre os solos com diferentes texturas.

**Palavras-chave:** beterraba, bioensaio, mobilidade, precipitação.

## INTRODUÇÃO

A lixiviação ou percolação de um herbicida é o movimento descendente na matriz solo ou com a água do solo. Para que ocorra a movimentação do herbicida é necessário que este esteja na solução do solo (KELLER; WEBER, 1997; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Essa forma de movimento se dará juntamente com o fluxo de água, pela diferença de potencial hídrico entre dois pontos (PRATA et al., 2003).

O movimento descendente dos herbicidas no solo é influenciado por diversos fatores, tais como pelo conteúdo e composição da matéria orgânica, textura, pH, densidade do solo, tamanho e distribuição dos poros, além das características físico-químicas do herbicida, como solubilidade, coeficiente de sorção normalizado pelo teor de carbono orgânico ( $K_{oc}$ ), constante de equilíbrio de ionização do ácido (pKa), entre outros (LEE; WEBER, 1993; OLIVEIRA JR, 2001; MONQUERO et al., 2008a).

A percolação dos herbicidas tem grande influência no seu desempenho no campo. Pequena lixiviação é desejável, pois pode tornar o herbicida mais eficiente, uma vez que permite a incorporação ao solo, e, além disso, move-o da superfície para onde estão as sementes de plantas daninhas, uma vez que estas concentram-se nos 5 cm superficiais do solo (VELINI, 1992; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Porém, quando esta movimentação ocorre para maiores profundidades pode ocasionar a contaminação do lençol freático (VELINI, 1992).

Segundo Inoue et al. (2002), dentre as técnicas analíticas que possibilitam a correta identificação e quantificação de resíduos de herbicidas presentes no solo, destaca-se o uso de radioisótopos e a cromatografia líquida e gasosa. Uma técnica alternativa é a utilização de espécies vegetais que apresentem alta sensibilidade ao herbicida de interesse (bioindicadores), esta técnica é conhecida como bioensaio (INOUE et al., 2002; NUNES; VIDAL, 2009) e tem como vantagem em relação as outras a simplicidade, o baixo custo e a possibilidade de detecção da quantidade biologicamente ativa do herbicida e constitui aplicabilidade direta em condições de campo (LIMA et al., 1999).

Na cultura da cana-de-açúcar, o método químico de controle de plantas daninhas tem sido preferido pelos produtores, em razão do menor custo, maior eficiência, grande extensão das áreas agrícolas e disponibilidade de registro de diversos produtos (MONQUERO et al., 2008b). Nessa cultura, a maioria dos herbicidas é recomendada para aplicação em pré-emergência ou pós-emergência inicial, de modo que o destino de grande parte das moléculas é

o solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2009). Atualmente, duas novas moléculas herbicidas, aminocyclopyrachlor e indaziflam, encontram-se em fase de desenvolvimento no Brasil para a cultura da cana-de-açúcar.

Com base no exposto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a influência da textura do solo e da lâmina de precipitação na lixiviação das duas novas moléculas de herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam, utilizando o bioensaio como técnica de detecção.



## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no Campus Experimental da Faculdade Integrado de Campo Mourão - PR, que se localiza na rodovia BR 158, km 207, Jardim Batel, Campo Mourão-PR. Suas coordenadas geográficas são: latitude 23°99'04'' Sul e longitude 52°36'37'' Oeste e altitude média de 508 m.

Os ensaios foram conduzidos entre os meses de agosto a outubro de 2013, e utilizando amostras de solo foram coletadas da profundidade de 0-20 cm, no Campus Experimental da Faculdade Integrado de Campo Mourão – PR, sendo posteriormente secas ao ar e peneiradas (2 mm).

Foram utilizados dois tipos de solo. O primeiro classificado como de textura franco argilo arenosa, sendo constituído por 67% de areia, 29% de argila e 4% de silte. Com relação às características químicas, apresentou pH (H<sub>2</sub>O) de 5,50; 4,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>; 3,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>+2</sup>; 0,75 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>+2</sup>; 1,34 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 30,61 mg dm<sup>-3</sup> de P e 3,26% de matéria orgânicas segundo foi classificado como sendo um solo de textura muito argilosa, constituído por 13% de areia, 76% de argila e 11% de silte. Com relação às características químicas, apresentou pH (H<sub>2</sub>O) de 5,70; 5,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>; 2,47 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>+2</sup>; 1,44 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>+2</sup>; 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 1,34 mg dm<sup>-3</sup> de P e 2,3% de matéria orgânica.

Foram conduzidos simultaneamente ensaios com o herbicida aminocyclopyrachlor (90 g ha<sup>-1</sup>) e indaziflam (100 g ha<sup>-1</sup>). Para cada herbicida foram simuladas três diferentes lâminas de precipitação (0, 30 e 60 mm).

Todos os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial (2x5) +2. O primeiro fator foi constituído por solos com diferentes texturas (textura franco argilo arenosa e muito argilosa) e o segundo fator por cinco faixas de profundidades nas colunas (0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-25 cm). Os dois tratamentos adicionais foram constituídos por duas testemunhas (uma para cada textura de solo), sem aplicação do herbicida, para servir como padrão de comparação.

As unidades experimentais foram constituídas de colunas de solo montadas em tubos de PVC de 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura, previamente seccionadas longitudinalmente. Para manter as duas metades unidas foi utilizado fita adesiva e arame liso. Na parte inferior das colunas, foi posicionada uma tela de polietileno com malha de 1 mm, presa por meio de borrachas, a fim de evitar a perda de solo. Cada coluna recebeu aproximadamente 3 kg de

solo. Após o condicionamento do solo, as colunas foram umedecidas por capilaridade até o solo do topo da coluna ficar saturado. Em seguida, as colunas foram mantidas sobre bancadas em casa de vegetação por 24 h para que o excesso de água fosse drenado.

Os herbicidas aminocyclopyrachlor ( $90 \text{ g ha}^{-1}$ ) e indaziflam ( $100 \text{ g ha}^{-1}$ ) foram aplicados no topo das colunas em 13/08/2013. Para isso utilizou-se um pulverizador costal pressurizado com  $\text{CO}_2$ , munido de quatro pontas XR110.02, mantido à pressão de trabalho de 206,8 kPa, o que resultou em um volume de aplicação de  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . No momento da aplicação, os solos encontravam-se úmidos e as condições ambientais foram de temperatura de  $27,1^\circ \text{C}$ , umidade relativa do ar de 55%, ventos de  $1,5 \text{ km h}^{-1}$ .

Foram simuladas, 72 h após a aplicação dos herbicidas no topo das colunas as precipitações equivalentes a 0, 30 e 60 mm. Três dias após a simulação das precipitações, as colunas tiveram as duas metades separadas longitudinalmente. Cada metade foi dividida em cinco seções de 5 cm a partir da superfície onde o herbicida foi aplicado (0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-25 cm de profundidade). O solo de cada uma destas seções foi transferido para vasos de polietileno com capacidade de  $250 \text{ cm}^3$ , sendo então semeadas cinco sementes de beterraba (*Beta vulgaris*) por vaso. Esta espécie possui sensibilidade aos herbicidas utilizados neste ensaio (capítulo 1). Nas figuras que apresentam os resultados dos ensaios, cada intervalo de 5 cm das colunas é representado numericamente pelo maior valor absoluto.

As irrigações para a manutenção da umidade dos vasos foram realizadas diariamente em todos os tratamentos.

Decorridos 21 dias da emergência do bioindicador, foi realizado o corte da parte aérea das plantas de beterraba, rente ao solo. Este material foi pesado em balança de precisão a fim de se obter a massa fresca da parte aérea. A partir destes dados, foi calculada a porcentagem de inibição em relação à respectiva testemunha sem herbicida para cada camada de profundidade na coluna de solo.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e à análise de regressão, com o auxílio dos programas estatísticos Sisvar e Sigma PLOT. Os modelos foram escolhidos considerando-se o coeficiente de determinação e o significado biológico. Os modelos de regressão utilizado neste trabalho foram:

*modelo linear*: é representado pela equação  $Y=A+(B*X)$ , em que Y representou a estimativa da variável em questão, A a massa fresca máxima, B a taxa de declínio da variável analisada e X a profundidade da coluna e

*modelo exponencial (2 parâmetros):*  $Y=A*\exp(-B*X)$ , em que Y representa a estimativa da variável analisada, A e B são os parâmetros do modelo e X representou a profundidade da coluna.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1 estão apresentadas as porcentagens de inibição da massa fresca das plantas de beterraba após a aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 0 (figura 1A), 30 (figura 1B) e 60 mm (figura 1C) de precipitação, em solos de textura franco argilo arenosa e muito argilosa. Independentemente da lâmina de precipitação avaliada, observou-se comportamento linear para a porcentagem de inibição da massa fresca ao longo da coluna.

Mesmo quando não houve a simulação de precipitação (figura 1A), verificou-se a movimentação do aminocyclopyrachlor por toda a extensão da coluna. Isto sugere a presença de resíduos do herbicida capazes de proporcionar mais de 60% de inibição na massa fresca do bioindicador, na profundidade de 25 cm, para ambos os solos, aos 21 dias após a emergência. Também indica que a aplicação em solo próximo à saturação já é suficiente para que o aminocyclopyrachlor se movimente significativamente no perfil das colunas, mesmo sem a ocorrência de precipitação após a aplicação.

Quando houve a simulação de 30 e 60 mm, ocorreu a inibição quase que total da massa fresca até a camada de 5-10 cm de profundidade (figuras 1B e 1C), promovendo a partir dessa profundidade uma queda gradativa, mas de maneira ainda a proporcionar elevada inibição do desenvolvimento dos bioindicadores.

O aminocyclopyrachlor apresentou elevado potencial de lixiviação, de tal forma que, independentemente da lâmina de precipitação simulada, este foi encontrado nas camadas mais profundas da coluna. Estes resultados corroboram com os obtidos por Oliveira Jr, Alonso e Koskinen (2011) e Oliveira Jr et al. (2013), que com base nos coeficientes de sorção do aminocyclopyrachlor, o classificaram como muito móvel no solo. O aminocyclopyrachlor foi detectado em profundidades de 70 – 90 cm no solo, após 365 dias de sua aplicação, indicando que a lixiviação dos seus resíduos também pode ocorrer (RYMAN; MILLER; MORTON, 2010).

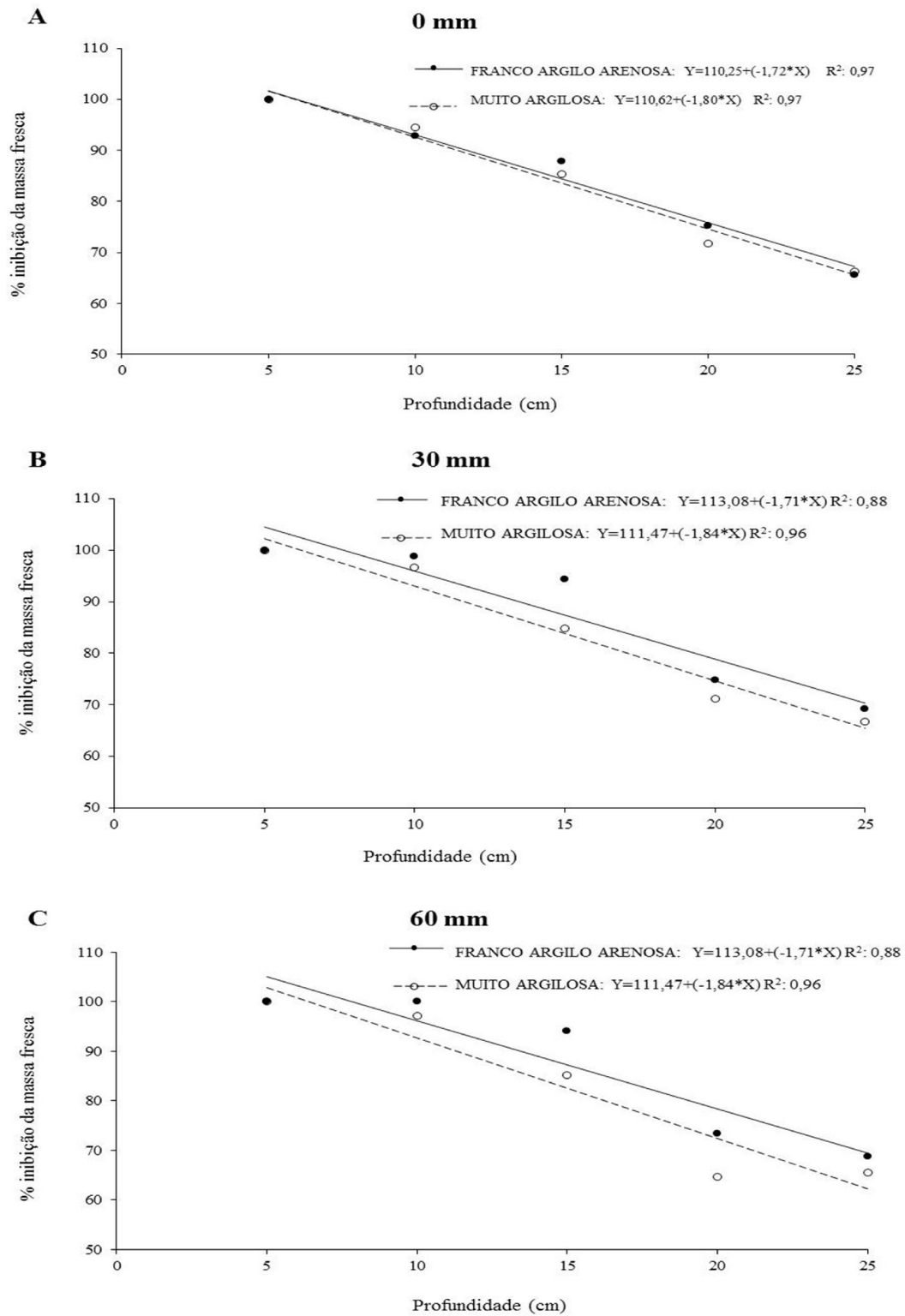


Figura 1. Porcentagem de inibição na massa fresca das plantas de beterraba cultivadas em solos com aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de precipitação de 0 (A), 30 (B) e 60 mm (C).

Comparando os solos com diferentes texturas, é possível verificar que para as lâminas de precipitação de 30 e 60 mm, houve maior porcentagem de inibição do bioindicador para o solo de textura franco argilo arenosa ao longo de toda a coluna. Isso mostra que em solos com menores teores de argila há maior movimentação das moléculas de aminocyclopyrachlor.

A sorção do aminocyclopyrachlor tem correlação positiva com o teor de argila do solo (OLIVEIRA JR; ALONSO; KOSKINEN, 2011). Oliveira Jr et al. (2013), estudando a sorção e dessorção deste herbicida em três diferentes solos dos Estados Unidos, verificaram que o solo com maior teor de argila (60%) pode ter desempenhado papel significativo na sorção do aminocyclopyrachlor. Desta forma, pode-se inferir que no solo de textura muito argilosa o aminocyclopyrachlor encontrava-se mais sorvido aos minerais de argila e, conseqüentemente, menor quantidade do produto estaria disponível na solução do solo e propenso à lixiviação.

As porcentagens de inibição da massa fresca das plantas de beterraba após a aplicação de indaziflam e simulação de 0, 30 e 60 mm de precipitação, encontram-se respectivamente nas figuras 2A, 2B e 2C.

Quando foi aplicado o indaziflam e não houve a simulação de precipitação, a maior parte do produto ficou retida nos 10 cm superficiais da coluna. Na camada entre 10-20 cm foi detectada a presença do herbicida pelas plantas de beterraba, no entanto, a quantidade encontrada promoveu inibição inferior a 20% da massa fresca da parte aérea. Para esta condição, não foram observadas diferenças marcantes entre o potencial de lixiviação do indaziflam nos solos de diferentes texturas (figura 2A).

A simulação de 30 mm de precipitação (figura 2B) foi suficiente para proporcionar a movimentação das moléculas de indaziflam para camadas um pouco mais profundas do que na ausência de precipitação (figura 2A), mesmo assim não foi suficiente para alcançar a seção final da coluna (20-25 cm). Para esta precipitação notou-se maior percolação do indaziflam no solo de textura franco argilo arenosa (figura 2B).

Quando o indaziflam foi submetido à simulação de 60 mm de precipitação (figura 2C), novamente observou-se que este se concentrou nas camadas superficiais e apenas alguns resíduos foram detectados em profundidades superiores a 15 cm, de tal forma que as porcentagens de inibição para esta profundidade foram inferiores a 20%, independentemente do solo estudado.

Estudos de Jhala e Singh (2012) mostraram que o indaziflam lixiviou até 12,5 cm de profundidade após a simulação de 50 mm de precipitação em solo com 4% de argila e 0,5% de matéria orgânica. Quando a lâmina de irrigação foi de 150 mm, este atingiu 27,2 cm de profundidade. Jhala, Ramirez e Singh (2012) também conduziram ensaios de lixiviação com indaziflam, utilizando *Lolium multiflorum* como bioindicador, em solos com 4% de argila e 0,5% de matéria orgânica. Estes autores verificaram que quando se utilizaram-se 73 g ha<sup>-1</sup> de indaziflam houve lixiviação perceptível pelo bioindicador até os 15, 20 e 25 cm de profundidade para as lâminas de precipitação de 50, 100 e 150 mm, respectivamente. Enquanto que para a maior dose do herbicida (145 g ha<sup>-1</sup>) a lixiviação ocorreu até 20, 25 e 30 cm. Esses resultados reforçam os obtidos nesse experimento com indaziflam, uma vez que quando se aumentou o volume de precipitação observou maior movimentação deste herbicida ao longo do perfil da coluna.

Para o herbicida indaziflam foi possível notar que nem mesmo a simulação de 60 mm de precipitação foi suficiente para lixiviá-lo para camadas mais profundas. Alonso et al. (2011) verificaram em trabalhos de sorção e dessorção que esta molécula possui potencial de mobilidade moderado a baixo no solo, e uma vez sorvida aos coloides dificilmente retorna para a solução do solo.

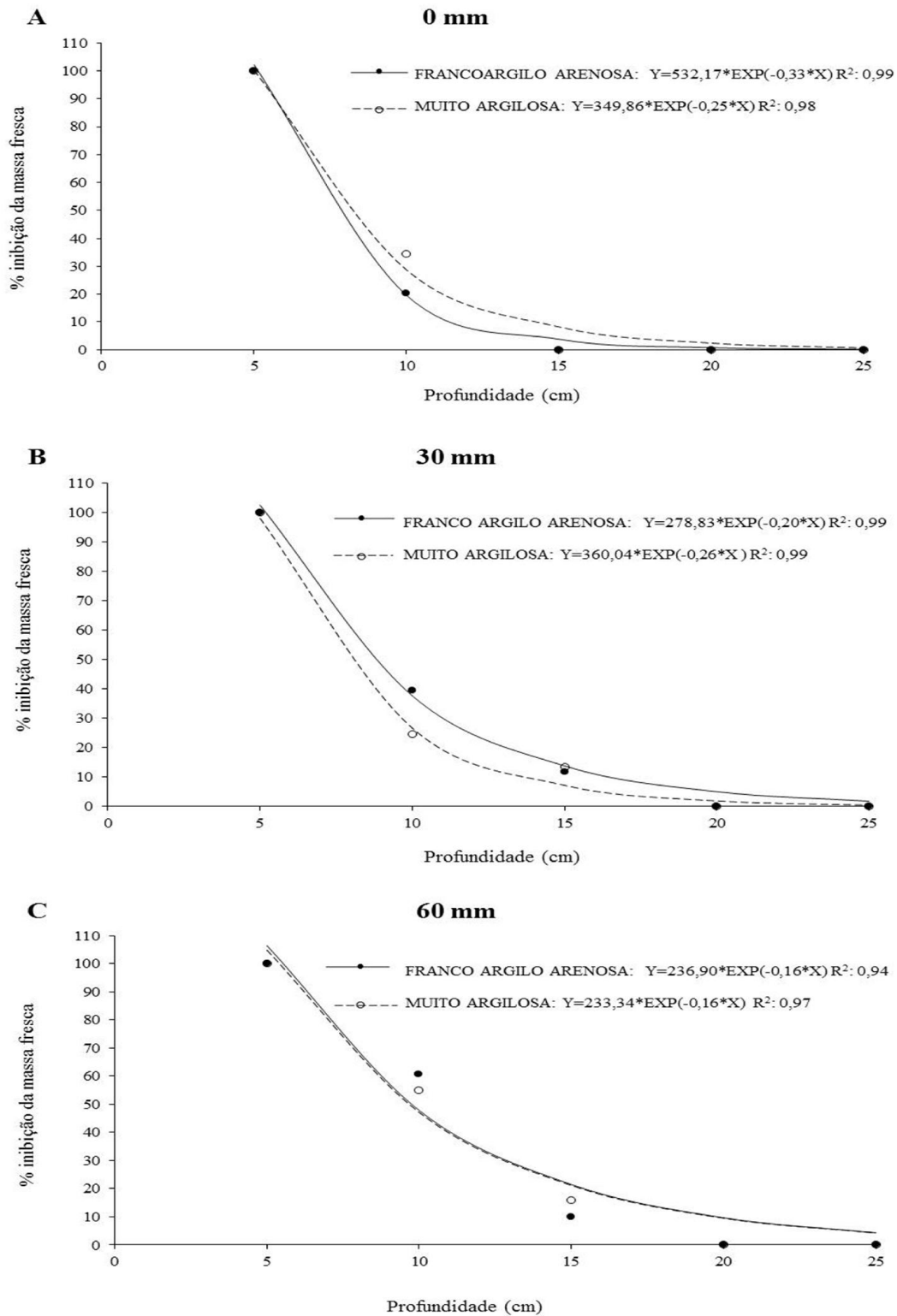


Figura 2. Porcentagem de inibição na massa fresca das plantas de beterraba cultivadas em solos com aplicação de indaziflam e simulação de precipitação de 0 (A), 30 (B) e 60 mm (C).



Os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam apresentaram comportamento distinto em relação ao potencial de lixiviação, sendo que o primeiro apresentou maior mobilidade que o segundo (figuras 1 e 3).

A diferença na mobilidade destes herbicidas pode estar associada às características físico-químicas destas moléculas, como a constante de equilíbrio de ionização do ácido (pKa), a solubilidade e o coeficiente de sorção normalizado, conforme o teor de carbono orgânico ( $K_{oc}$ ).

A constante de equilíbrio de ionização do ácido (pKa) se relaciona com a possibilidade de ionização das moléculas em soluções com diferentes valores de pH (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam são caracterizados como herbicidas ácidos fracos, ou seja, são aqueles cujas formas moleculares são capazes de doar um próton e formar íons carregados negativamente. O valor de pKa do aminocyclopyrachlor e indaziflam é de, respectivamente, 4,65 e 3,50 (FINKELSTEIN et al., 2008; U.S. EPA., 2011). Como os solos utilizados nesse trabalho apresentaram valores de pH superiores ao pKa dos dois herbicidas é possível inferir que os herbicidas encontravam-se em maior concentração na forma aniônica e, desta forma, estavam mais propensos a lixiviação.

A solubilidade é definida pela quantidade máxima de herbicida que dissolve em água pura a determinada temperatura. A solubilidade do aminocyclopyrachlor é 2800 mg L<sup>-1</sup> (pH 7,0 -9,0) (FINKELSTEIN et al., 2008), enquanto que a do indaziflam é de 2,2 mg L<sup>-1</sup> (pH 7,0 -9,0) (U.S. EPA., 2011). Moléculas herbicidas que são altamente solúveis são rapidamente distribuídas no ciclo hidrológico, enquanto que aquelas que apresentam solubilidade muito baixa podem ter o seu transporte limitado com a água (OLIVEIRA JR; REGITANO, 2009).

O coeficiente de sorção normalizado pelo teor de carbono orgânico ( $K_{oc}$ ) fornece uma medida de distribuição relativa do herbicida entre o adsorvente (argila, matéria orgânica) e o solvente (água), corrigido pelo teor de carbono orgânico do solo (SILVA; VIVIAN; OLIVEIRA JR, 2007; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). O valor de  $K_{oc}$  do aminocyclopyrachlor é de 28 mg g<sup>-1</sup> (FINKELSTEIN et al., 2008) e do indaziflam oscila entre 434 e 1339 mg g<sup>-1</sup> (ALONSO et al. 2011). Estes valores indicam que o indaziflam possui maior tendência a se ligar aos coloides do solo do que o aminocyclopyrachlor, explicando mais uma vez o maior potencial de mobilidade nas colunas deste último herbicida.

O potencial de lixiviação de um herbicida está ligado diretamente à contaminação de recursos hídricos no subsolo, uma vez que deslocado das camadas superficiais, onde se concentra a maior parte da matéria orgânica e atividade microbiana, sua presença no sistema é

prolongada (PRATA et al., 2001). O indaziflam apresenta menor mobilidade no solo do que o aminocyclopyrachlor, de maneira que mesmo exposto a uma simulação de 60 mm de precipitação, a mobilidade do indaziflam se limita a 20 cm de profundidade, enquanto que para o aminocyclopyrachlor há maior percolação ao longo das colunas.

Para verificar o potencial de contaminação do lençol freático deve ser levado em consideração o coeficiente de sorção do herbicida e também a meia-vida do produto. A meia-vida no solo do aminocyclopyrachlor e indaziflam é de 32,5 – 128 (FINDELSTEIN et al., 2008; LINDENMAYER, 2012) e > 150 dias (BAYER, 2010), respectivamente. Considerando estas duas características, pode-se inferir que o aminocyclopyrachlor tem maior probabilidade de contaminação de águas subterrâneas se comparado ao indaziflam, tanto pela maior mobilidade nas colunas quanto pela sua maior persistência.

## CONCLUSÕES

As precipitações possuem capacidade de interferir na lixiviação dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam.

O aminocyclopyrachlor apresenta maior potencial de lixiviação do que o indaziflam em colunas de solo.

O aminocyclopyrachlor tem sua mobilidade aumentada quando aplicado em solo de textura franco argilo arenosa em relação ao solo de textura muito argilosa. Já para o indaziflam não foram notadas diferenças significativas entre os solos com diferentes texturas.

## REFERÊNCIAS

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.

BAYER ENVIRONMENTAL SCIENCE. **Specticle herbicide technical bulletin**; 2010; 16 pp.

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

FINKELSTEIN, B.L.; ARMEL, G.R.; BOLGUNAS, S.A.; CLARK, D.A.; CLAUS, J.S.; CROSSWICKS, R.J.; HIRATA, C.M.; HOLLINGSHAUS, G.J.; KOEPPE, M.K.; RARDON, P.L.; WITTENBACH, V.A.; WOODWARD, M.D. Discovery of aminocyclopyrachlor (proposed common name) (DPX-MAT28): a new broad spectrum auxinic herbicide. In: Proceedings of the 236th ACS National Meeting in Philadelphia, PA. Washington. **Abstracts...** American Chemical Society, 2008.

INOUE, M.H.; MARCHIORI JR, O.; OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; TORMENA, C.A. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v.20, n.1, p.125-132, 2002.

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

JHALA, A.J.; SINGH, M. Leaching of indaziflam compared with residual herbicides commonly used by Florida citrus. **Weed Technology**, v.26, n.3, p.602-607, 2012.

KELLER, K.E.; WEBER, J.B. Soybean (*Glycine max*) influences metolachlor mobility in soil. **Weed Science**, v. 45, n. 6, p. 833-841; 1997.

LEE, R.F.; WEBER, J.B. Influence of polymers on the mobility, loss, and bioactivity of from C-labeled atrazine, metolachlor, and primisulfuron. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 41, n. 6, p. 988-995, 1993.

LIMA, R.O.; OLIVEIRA, M.F.; SILVA, A.A.;MAGALHÃES, J.V. Comportamento do herbicida flumioxazin em solo com diferentes doses de calcário. **Revista Ceres**, v.46, n.268, p.607-613, 1999.

LINDENMAYER, R.B. **Understanding aminocyclopyrachlor behavior in soil and plant**.2012. 82f. Degree of doctor (Colorado State University). Colorado, 2012.

MONQUERO, P.A.; BINHA, D.P.; AMARAL, L.R.; SILVA, P.V.; SILVA, A.C.; INACIO, E.M. Lixiviação de clomazone + ametryn, diuron+ hexazinone e isoxaflutole em dois tipos de solo. **Planta Daninha**, v.26, n. 3, p. 685-691, 2008a.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V. Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.403-409, 2008b.

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

OLIVEIRA JR, R.S. Mecanismos de Ação de Herbicidas. OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba, p. 209-260, 2001.

OLIVEIRA JR, R.S.; ALONSO, D.G.; KOSKINEN, W.C.; PAPIERNIKS, K. S. Comparative sorption, desorption and leaching potential of aminocyclopyrachlor and picloran. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.48, n.12, p.1049-1057, 2013.

OLIVEIRA JR., R.S.; ALONSO, D.G.; KOSKINEN, W.C. Sorption-desorption of aminocyclopyrachlor in selected Brazilian soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.8, p.4045-4050, 2011.

OLIVEIRA JR, R.S.; REGITANO, J.B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009, p.187-248.

OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A.M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011, p.264-304.

PRATA, F.; CARDINALI, V.C.B.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V.L.; REGITANO, J.B. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Scientia Agrícola**, v.60, n.1, p.175-180, 2003.

PRATA.F.; LAVORENTI. A.; REGITANO J.B.; TORNISIELO V.L. Degradação e sorção de ametrina em dois solos com aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.7, p.975-981, 2001.

RYMAN, J.; MILLER, J. S.; MORTON, T. **Aminocyclopyrachlor: human health risk assessment for proposed uses as herbicide**. USEPA Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances: Washington, DC, 2010, p.1-76.

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: UFV, 2007, p.189-248.

U.S. EPA. **Pesticide fact sheet for indaziflam**. 2011. Disponível em: <http://www.epa.gov/opprd001/factsheets/indaziflam.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2013.

VELINI, E.D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: 1992. p. 44-64.

## **CAPÍTULO 4**

**Comparação entre o potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar**

## RESUMO

O controle químico das plantas daninhas é ferramenta indispensável na condução da cultura da cana-de-açúcar. O uso intensivo de herbicidas faz com que nestas áreas seja registrada a maior ocorrência de resíduos de herbicidas em águas superficiais e subterrâneas. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em colunas de solo, o potencial de lixiviação de herbicidas já utilizados na cultura da cana-de-açúcar e de duas novas moléculas em fase de desenvolvimento, após a simulação de precipitações de 30 e 60 mm. Foram realizados dois experimentos que consistiram da aplicação de diferentes herbicidas (amicarbazone, hexazinone, [diuron + hexazinone] - formulação 1 e formulação 2, tebuthiuron, imazapic, sulfentrazone, metribuzin, oxyfluorfen, clomazone, indaziflam e aminocyclopyrachlor) em colunas de PVC preenchidas com solo. Para a lâmina de precipitação de 30 mm, os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam apresentaram comportamento semelhante às demais moléculas testadas. Quando se aumentou o volume de precipitação (60 mm), o aminocyclopyrachlor manteve comportamento parecido com os outros herbicidas, no entanto, o indaziflam concentrou-se na camada superficial da coluna, sendo uma opção interessante para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** aminocyclopyrachlor, bioensaio, indaziflam, mobilidade.

## INTRODUÇÃO

Os mecanismos que controlam a distribuição dos pesticidas no ambiente são lixiviação, carreamento superficial, volatilização, sorção e degradação. A lixiviação corresponde ao transporte vertical dos pesticidas no perfil do solo com a água da chuva ou irrigação que infiltra pelos poros. É importante mencionar que diversos fatores relacionados ao solo, ao clima e à molécula do pesticida influenciam seu transporte no perfil do solo.

As duas propriedades mais importantes do pesticida no que diz respeito ao potencial de lixiviação são a sorção (usualmente medidas por índices como  $K_d$ ,  $K_{oc}$ ,  $K_f$ ) e a meia-vida ( $t_{1/2}$ ) do produto. A sorção dita a disponibilidade de um pesticida na solução do solo e a meia-vida reflete sua persistência, portanto, ambos regulam o potencial de lixiviação do pesticida. A solubilidade é de importância secundária, embora solubilidades muito baixas possam limitar o transporte com a água (OLIVEIRA JR.; REGITANO, 2009).

A avaliação da lixiviação de pesticidas no solo pode envolver abordagens diretas ou indiretas. Estimativas diretas incluem a aplicação dos pesticidas no campo ou em colunas de solo. As estimativas indiretas são baseadas na medida de parâmetros que utilizam modelos para avaliação do potencial de contaminação dos pesticidas no solo (OLIVEIRA JR.; KOSINEN; FERREIRA, 2001). Os principais critérios utilizados para estimar o potencial de lixiviação de um pesticida no solo são o Índice GUS (Groundwater Ubiquity Score) (GUSTAFSON, 1989), Índice LIX (leachability index) (SPADOTTO, 2002), CDFCA (California Department of Food and Agriculture) (WIDERSON; KIM, 1986) e COHEN (COHEN et al., 1984).

Por ser cultivada em larga escala e ter o crescimento inicial lento, a utilização do controle químico das plantas daninhas é ferramenta indispensável na condução da cultura da cana-de-açúcar, onde diversos herbicidas são aplicados anualmente. Esse intenso uso de herbicidas faz com que nas áreas próximas ao cultivo de cana-de-açúcar seja registrada a maior ocorrência de resíduos de herbicidas em águas superficiais e subterrâneas em relação a outras culturas (SOUTHWICK et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar comparativamente, em colunas de solo, o potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar e das novas moléculas, aminocyclopyrachlor e indaziflam após a simulação de precipitações de 30 e 60 mm.



## MATERIAL E MÉTODOS

Dois ensaios foram conduzidos em casa de vegetação, localizada no Centro de Tecnologia de Irrigação (CTI), pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM). Suas coordenadas geográficas são latitude 23°23'44,4'' Sul e longitude 51°57'03,6'' Oeste e altitude média de 511 m.

As amostras de solo foram coletadas da profundidade de 0-20 cm, secas ao ar e peneiradas (2 mm). Este solo foi classificado como sendo de textura franco argilo arenosa, sendo constituído por 69% de areia, 29% de argila e 2% de silte. Com relação às características químicas, apresentou pH (H<sub>2</sub>O) de 5,9; 3,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>; 3,17 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 0,67 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 0,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 47,6 mg dm<sup>-3</sup> de P e 11,89 g dm<sup>-3</sup> de C.

Os experimentos consistiram da aplicação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar em colunas de PVC preenchidas com solo, sendo que para cada experimento foi simulada uma precipitação (30 ou 60 mm). Ambos os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, disposto em esquema fatorial 17x5. O primeiro fator foi constituído pelos herbicidas (doses em g i.a. ha<sup>-1</sup>) amicarbazone (1050), hexazinone (375), [diuron + hexazinone] ([1106 + 134]) -formulação 1, [diuron + hexazinone] ([936 + 264]) - formulação 2, tebuthiuron (800), imazapic (105), sulfentrazone (600), metribuzin (1440), oxyfluorfen (720), clomazone (900), indaziflam (75, 100 e 125), aminocyclopyrachlor (30, 45 e 60) e uma testemunha sem aplicação de herbicida, utilizada como padrão de comparação. O segundo fator foi constituído por cinco faixas de profundidades nas colunas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-25 cm).

As unidades experimentais foram constituídas de colunas de solo montadas em tubos de PVC de 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura, previamente seccionadas longitudinalmente, para manter as duas metades unidas foi utilizado fita adesiva e amarradas com arame liso. Na parte inferior das colunas, foi colocada tela de polietileno com malha de 1 mm, presa por meio de borrachas, a fim de evitar a perda de solo. Cada coluna recebeu aproximadamente 3 kg de solo. Após o acondicionamento do solo, as colunas foram umedecidas por capilaridade por um período de 24 h, quando o solo encontrava-se saturado até o topo da coluna. A seguir, as colunas foram mantidas sobre bancadas em casa de vegetação por 24 h para que o excesso de água fosse drenado (INOUE et al., 2002; 2007; GUERRA et al., 2013).

Os herbicidas foram aplicados ao topo das colunas em 05/10/2011 (30 mm) e 02/12/2011 (60 mm), utilizando um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, munido de

quatro pontas XR110.02, mantido à pressão de trabalho de 2 kgf cm<sup>-2</sup>, e com taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. No momento da aplicação do primeiro e do segundo ensaio, as condições ambientais eram de temperatura de 28 e 30,4° C, umidade relativa do ar de 63 e 57%, ventos de 1,3 e 2,7 km h<sup>-1</sup>, respectivamente, e solo úmido para ambos os ensaios. No momento da aplicação, manteve-se a distância de 50 cm entre as pontas de pulverização e o topo da coluna.

Um dia após a aplicação dos herbicidas foram simuladas no topo das colunas as precipitações equivalentes a 30 e 60 mm, uma para cada experimento. Para a simulação da precipitação determinou-se em ensaios preliminares o período de tempo em que as colunas permaneceriam sob um sistema de irrigação por microaspersão; as colunas tiveram as metades separadas longitudinalmente, 24 h após a simulação das precipitações. Cada metade foi dividida em cinco seções de 5 cm a partir da superfície onde o herbicida foi aplicado (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-25 cm de profundidade). O solo de cada uma destas seções foi transferido para vasos de polietileno com capacidade de 250 cm<sup>3</sup>. Em seguida, foram semeadas três sementes por vaso de pepino (*Cucumis sativus*), como bioindicador da presença dos herbicidas testados. As irrigações para a manutenção da umidade dos vasos foram realizadas duas vezes ao dia em todos os tratamentos, por meio de um sistema de microaspersão.

Decorridos 21 dias da semeadura do bioindicador, o número de plantas vivas foi anotado e, em seguida, foi feito o corte da parte aérea rente ao solo. Este material foi pesado em balança de precisão a fim de se obter a massa fresca da parte aérea. A partir destes dados, foi calculada a porcentagem de inibição em relação à respectiva testemunha sem herbicida. Estes dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-knott.

Para estimar indiretamente o potencial de lixiviação dos herbicidas foram utilizados os índices GUS, LIX, CDFA e Cohen.

#### *Groundwater Ubiquity Score – GUS*

O índice GUS (índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas), proposto por Gustafson (1989), é calculado a partir dos valores de meia-vida do composto no solo e do coeficiente de sorção normalizado para o teor de carbono orgânico. Este índice é empírico e classifica os compostos de acordo com sua tendência de lixiviação:

$$GUS = \log t_{1/2} (4 - \log K_{oc})$$

em que GUS representa um índice adimensional,  $t_{1/2}$  representa a meia-vida do herbicida no solo (dias) e  $Koc$  representa o coeficiente de sorção normalizado para o teor de carbono orgânico ( $L\ kg^{-1}$ ). Herbicidas com  $GUS < 1,8$  são considerados não lixiviáveis, ao passo que índices superiores a 2,8 representam produtos lixiviadores. Aqueles com valores entre 1,8 e 2,8 são considerados intermediários.

#### *LIX*

O índice de lixiviação (LIX) (SPADOTO, 2002) oferece uma série de valores mais facilmente interpretáveis que o índice GUS, e os resultados em uma escala limitando o potencial de lixiviação máximo e mínimo, enquanto os resultados de GUS em uma série menos definível, inclui valores negativos. A seguinte fórmula descreve o índice LIX, considerando  $k$  como a constante de degradação de primeira ordem do agroquímico no solo:

$$LIX = e^{-k} \cdot Koc$$

O índice LIX é considerado apenas para avaliar o potencial de lixiviação do agroquímico. Este índice é uma ferramenta poderosa para identificar agroquímicos não lixiviáveis ( $LIX = 0$ ) e lixiviáveis ( $LIX \geq 0,1 - 1,0$ ) (SPADOTTO, 2002).

#### *CDFFA*

O critério adotado pelo California Department of Food and Agriculture (CDFFA), proposto por Widerson e Kim (1986), estabelece que herbicidas que apresentem  $Koc$  menor que  $512\ L\ kg^{-1}$  e meia-vida superior a 11 dias são classificados como produtos lixiviáveis.

#### *Cohen*

Cohen et al. (1984) estabeleceram características do herbicida que podem determinar seu potencial de lixiviação. Herbicidas com  $Koc$  menores que  $300\ L\ kg^{-1}$  e valores de meia-vida superiores a 21 dias são considerados lixiviáveis, ao passo que aqueles com  $Koc$  superiores a  $500\ L\ kg^{-1}$  e meia-vida inferior a 14 dias representam produtos não lixiviáveis. Os valores de  $t_{1/2}$  e  $Koc$  utilizados para cálculo dos índices foram baseados em Senseman (2007), Finkelstein et al. (2008) e Bayer (2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### a) Ensaio de lixiviação em colunas de solo

Na tabela 1 estão apresentados os resultados de porcentagem de inibição da parte aérea das plantas de pepino cultivadas em solo submetido à aplicação de herbicidas, seguida da simulação de precipitação de 30 mm.

Dos herbicidas avaliados neste experimento, o indaziflam e o aminocyclopyrachlor são moléculas que se encontram em fase de desenvolvimento no Brasil, por isso, praticamente, não existem informações disponíveis para as condições tropicais.

Verificou-se que os herbicidas indaziflam (75 e 100 g ha<sup>-1</sup>) e aminocyclopyrachlor (30 e 45 g ha<sup>-1</sup>) não proporcionaram redução na massa fresca da parte aérea das plantas de pepino em nenhuma das profundidades da coluna. Isso provavelmente ocorreu pela baixa sensibilidade do bioindicador às menores doses destes herbicidas, pois quando se aplicaram as doses de 125 g ha<sup>-1</sup> de indaziflam e 60 g ha<sup>-1</sup> de aminocyclopyrachlor foi perceptível a mobilidade por toda a coluna.

Os herbicidas sulfentrazone e oxyfluorfen não ultrapassaram os 5 cm iniciais da coluna, enquanto que o clomazone e metribuzin foram detectados pelo pepino até 15 cm de profundidade, quando foi simulada a precipitação de 30 mm.

Para esta lâmina de precipitação, os herbicidas que apresentaram maior mobilidade foram amicarbazone, hexazinone, [diuron+hexazinone] [1106+14] e [936+264], tebuthiuron, imazapic, indaziflam (125 g ha<sup>-1</sup>) e aminocyclopyrachlor (60 g ha<sup>-1</sup>), sendo detectados pelo bioindicador por toda a extensão da coluna (25 cm).

Tabela 1. Porcentagem de inibição da parte aérea das plantas de pepino cultivadas em solo provenientes de colunas submetidas à aplicação de herbicidas, seguida da simulação de precipitação de 30 mm.

% de Inibição na massa fresca em relação à testemunha								
Herbicidas	Doses (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Profundidades (cm)						
		0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25		
Amicarbazone	1125	93,2 Aa	63,6 Bb	54,5 Ca	51,0 Ca	26,8 Da		
Hexazinone	375	82,8 Ab	44,5 Bc	45,6 Ba	21,6 Cb	21,6 Ca		
[diuron+hexazinone]	[1106+134]	55,6 Ad	30,7 Bd	27,7 Bb	24,8 Bb	14,8 Cb		
[diuron+hexazinone]	[936+264]	94,4 Aa	28,6 Bd	30,9 Bb	32,1 Bb	9,6 Cb		
Tebuthiuron	800	46,2 Ae	11,4 Be	10,2 Bc	17,9 Bc	17,0 Bb		
Imazapic	105	80,8 Ab	37,2 Bc	28,8 Cb	24,4 Cb	10,1 Db		
Sulfentrazone	600	23,5 Af	0 Bf	0 Bd	0 Bd	0 Bc		
Metribuzin	1440	98,6 Aa	83,6 Ba	20,3 Cb	0 Dd	0 Dc		
Oxyfluorfen	480	4,5 Ag	0 Af	0 Ad	0 Ad	0 Ac		
Clomazone	900	13,4 Ag	9,6 Ae	3,3 Bd	0 Bd	0 Bc		
Indaziflam	75	0 Ag	0 Af	0 Ad	0 Ad	0 Ac		
Indaziflam	100	0 Ag	0 Af	0 Ad	0 Ad	0 Ac		
Indaziflam	125	67,6 Ac	27,8 Bd	25,1 Bb	26,1 Bb	7,4 Cc		
Aminocyclopyrachlor	30	0 Ag	0 Af	0 Ad	0 Ad	0 Ac		
Aminocyclopyrachlor	45	0 Ag	0 Af	0 Ad	0 Ad	0 Ac		
Aminocyclopyrachlor	60	43,8 Ae	24,0 Bd	15,1 Bc	14,3 Bc	16,5 Bb		
CV (%)		33,43						

[ ] mistura formulada.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Na tabela 2 estão expostos os resultados de porcentagem de inibição da parte aérea das plantas de pepino cultivadas em solo submetido à aplicação de herbicidas, seguido da simulação de precipitação de 60 mm. Todos os herbicidas foram detectados em alguma camada com 60 mm de precipitação.

Tabela 2. Porcentagem de inibição da parte aérea das plantas de pepino cultivadas em solo provenientes de colunas submetidas à aplicação de herbicidas, seguida da simulação de precipitação de 60 mm.

% Inibição na Massa fresca em relação à testemunha								
Tratamentos	Doses (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Profundidades (cm)						
		0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25		
Amicarbazone	1125	89,7 Ab	90,4 Aa	96,4 Aa	100,0 Aa	97,0 Aa		
Hexazinone	375	81,1 Ab	96,4 Aa	96,1 Aa	90,5 Aa	0 Bb		
[diuron+hexazinone]	[1106+134]	87,9 Ab	87,6 Aa	96,0 Aa	55,5 Bb	0 Cb		
[diuron+hexazinone]	[936+264]	100,0 Aa	100,0 Aa	99,4 Aa	92,6 Aa	0 Bb		
Tebuthiuron	800	100,0 Aa	100,0 Aa	79,1 Bb	0 Ce	0 Cb		
Imazapic	105	47,6 Ac	47,1 Ac	17,5 Bf	0 Ce	0 Cb		
Sulfentrazone	600	53,3 Ac	67,1 Bb	31,6 Ce	14,9 Dd	0 Eb		
Metribuzin	1440	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 Aa	33,5 Bc	0 Cb		
Oxyfluorfen	480	35,2 Ad	0 Be	0 Bg	0 Be	0 Bb		
Clomazone	900	46,3 Ac	38,5 Ac	30,2 Ae	0 Be	0 Bb		
Indaziflam	75	96,7 Aa	49,4 Bc	26,1 Ce	23,1 Cd	0 Db		
Indaziflam	100	100,0 Aa	45,5 Bc	29,9 Ce	14,8 Dd	0 Eb		
Indaziflam	125	100,0 Aa	38,5 Bc	22,0 Ce	18,8 Cd	0 Db		
Aminocyclopyrachlor	30	55,7 Ac	47,4 Ac	45,5 Ad	33,3 Bc	0 Cb		
Aminocyclopyrachlor	45	43,4 Ac	50,0 Ac	37,3 Ad	31,7 Ac	0 Bb		
Aminocyclopyrachlor	60	47,3 Ac	45,1 Ac	58,5 Ac	48,5 Ab	0 Bb		
CV (%)				21,77				

[ ] mistura formulada.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

O indaziflam e aminocyclopyrachlor, independentemente da dose testada, apresentaram mobilidade até 20 cm, diferente do observado com a lâmina de 30 mm, em que apenas a maior dose de cada um destes herbicidas foi detectada em maiores profundidades. Entretanto, segundo Oliveira Jr, Alonso e Koskinen (2011), os resultados de coeficientes de sorção do aminocyclopyrachlor sugerem que este apresenta elevada mobilidade.

Jhala e Singh (2012) verificaram que o volume de precipitação tem influência direta na mobilidade do indaziflam. Estes autores observaram lixiviação deste herbicida até os 12 e 27 cm de profundidade após a simulação de 50 e 150 mm de precipitação. Em outro trabalho,

desenvolvido por Jhala, Ramirez e Singh (2012), a lixiviação de indaziflam foi detectada com *Lolium multiflorum* até 30 cm de profundidade após simulação de 150 mm de precipitação em solo com 4% de argila. Estudos desenvolvidos por Alonso et al. (2011) classificaram o indaziflam, unicamente com base no coeficiente de sorção, como um produto com baixa a moderada mobilidade.

O herbicida que proporcionou as maiores porcentagens de inibição do bioindicador ao longo de toda a extensão da coluna foi o amicarbazone, para as duas lâminas de precipitação simulada (tabelas 1 e 2). Para a lâmina de 60 mm, notaram-se porcentagens de inibição superiores a 89,7% em todas as seções da coluna.

O oxyfluorfen novamente apresentou pequena mobilidade, ficando apenas nos primeiros 5 cm da coluna. Segundo Rodrigues e Almeida (2011), o oxyfluorfen é um herbicida pouco solúvel em água (< 0,1 ppm), apresentando índice de adsorção ( $K_{oc}$ ) de 10.000 mg g<sup>-1</sup> de solo e persistência média de 30 dias. Por essas características, este herbicida dificilmente será lixiviado, o que representa significativa vantagem nas regiões tropicais, onde altas precipitações são normais. A possibilidade de contaminação de água subterrânea por oxyfluorfen é muito baixa, o que torna esse herbicida ambientalmente seguro quanto à percolação no perfil do solo (MELLO et al., 2010).

A movimentação do sulfentrazone ocorreu até 20 cm de profundidade para a lâmina de 60 mm, superior à observada para a de 30 mm (5 cm). Segundo Mello et al. (2010), a intensidade de precipitação influencia diretamente a dinâmica e a lixiviação do sulfentrazone no solo, a qual pode ser elevada nos casos de grande volume de precipitação.

O herbicida hexazinone (350 g ha<sup>-1</sup>) e as duas formulações da mistura pronta de [diuron+hexazinone] ([1106 + 134] g ha<sup>-1</sup> - formulação 1 e [936 + 264] g ha<sup>-1</sup> - formulação 2) foram detectadas até 20 cm de profundidade, quando simulado 60 mm de precipitação. No entanto, pode-se observar que o hexazinone isolado e a formulação 2, provocaram maior inibição nas plantas de pepino, atingindo porcentagens superiores a 90% a 20 cm de profundidade, enquanto que a formulação 1 para esta mesma profundidade promoveu inibição de 55%. Isso provavelmente ocorreu pela formulação 2 conter maior concentração de hexazinone, que é um ingrediente ativo de alta solubilidade necessitando de menos umidade no solo para se movimentar, quando comparado ao diuron (MONQUERO et al., 2008; BOUCHARD et al., 1985) e sendo semelhante ao hexazinone isolado em uma maior dose. Na Georgia (EUA), foi detectado hexazinone tanto na água de escoamento superficial quanto no

fluxo descendente de água no solo por vários meses após a aplicação de uma dose de 1,62 kg ha<sup>-1</sup> (BOUCHARD et al., 1985).

A lixiviação do metribuzin foi perceptível pelas plantas de pepino até a profundidade de 20 cm, quando houve a simulação da lâmina de 60 mm. Nos 15 cm superficiais da coluna, este bioindicador apresentou 100% de inibição da massa fresca, ou seja, as plantas morreram pela alta concentração do herbicida nesta região. Quando comparado com a lâmina de 30 mm (tabela 1), verifica-se que o maior volume de água acarretou maior movimentação do metribuzin ao longo da coluna, o que corrobora com os resultados encontrados por Oliveira et al. (1999), que observaram que a simulação de 90 mm de precipitação promoveu maior lixiviação do metribuzin se comparado com a lâmina de 45 mm. Segundo Savage (1976), lâminas de precipitação maiores proporcionam a diluição do metribuzin ao longo da coluna, pela sua alta solubilidade (1.200 mg L<sup>-1</sup> a 20 °C), com isso há menor adsorção pelos sítios adsorptivos do solo estarem ocupados pela água, resultando em maior movimentação da molécula no perfil do solo.

A movimentação de tebuthiuron após a simulação de 60 mm de precipitação ocorreu até 15 cm de profundidade. Nos 10 cm superficiais da coluna, o bioindicador foi inibido totalmente. Mesmo na profundidade de 15 cm, observaram-se porcentagens de inibição das plantas de pepino de 79,1% (tabela 2). Quando houve a simulação de 30 mm de precipitação (tabela 1), verificou-se que o herbicida tebuthiuron alcançou maiores profundidades (25 cm), todavia, a porcentagem de inibição não ultrapassou os 46,2%.

O clomazone foi detectado pelas plantas de pepino nos 15 cm iniciais da coluna, para ambas as lâminas de precipitação simuladas. No entanto, notaram-se maiores porcentagens de inibição para a lâmina de 60 mm. Segundo Silva et al. (2011), a dissipação, adsorção e translocação do clomazone em diferentes solos apresenta correlação negativa com a CTC, carbono orgânico, argila e Kd. E sob condições de chuva simulada (200 mm), apenas 4,2% do clomazone aplicado na superfície do solo ultrapassou 20 cm de profundidade.

A lixiviação de imazapic foi notada até os 15 cm superficiais da coluna para a precipitação de 60 mm. Trabalhos de Inoue et al. (2007) demonstraram que quando se simula precipitação de 40 mm em um solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico (880, 20 e 100 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente; pH(CaCl<sub>2</sub>)= 4,5 e 5,19 g dm<sup>-3</sup> de C), dependendo da dose e do bioindicador utilizado, a movimentação deste herbicida é verificada até a camada de 10-15 ou 15-20 cm.



**b) Avaliação comparativa do potencial teórico de contaminação do lençol freático**

Na tabela 3 encontra-se a avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas utilizados nestes experimentos, segundo os critérios teóricos GUS (GUSTAFSON, 1989), LIX (SPADOTO, 2002), CDFA (WIDERSON; KIM, 1986) e Cohen (COHEN et al., 1984). O ranqueamento demonstrou que os herbicidas amicarbazone, hexazinone, tebuthiuron, sulfentrazone, metribuzin e aminocyclopyrachlor apresentam potencial de contaminação do lençol freático segundo os quatro critérios utilizados. Além destes, o indaziflam e o clomazone apresentaram potencial de lixiviação em três e dois dos critérios utilizados, respectivamente. Segundo Alonso et al. (2011) pela longa persistência do indaziflam em solos brasileiros este seria classificado como lixiviável.

O único herbicida que não apresentou risco de contaminação de águas subterrâneas foi o oxyfluorfen, para todos os critérios utilizados. Os experimentos de lixiviação confirmam estes índices, pois este herbicida permaneceu na secção superficial da coluna independente da lâmina de precipitação simulada (tabelas 1 e 2).

Tabela 3. Critérios utilizados para determinar o potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cana-de-açúcar.

Herbicidas	½ vida (dias)*	Koc (mg g <sup>-1</sup> )*	Índices			
			GUS	LIX	CDFA	COHEN
Amicarbazone	21	30	L	L	L	L
Hexazinone	90	54	L	L	L	L
Tebuthiuron	127	80	L	L	L	L
Imazapic	120	112	L	L	L	L
Sulfentrazone	212	43	L	L	L	L
Metribuzin	45	60	L	L	L	L
Oxyfluorfen	35	10000	NL	NL	NL	NL
Clomazone	24	300	I	I	L	L
Indaziflam	150	1000	I	L	L	L
Aminocyclopyrachlor	74	28	L	L	L	L

L=Lixiviável; I=Intermediário e NL= Não lixiviável.

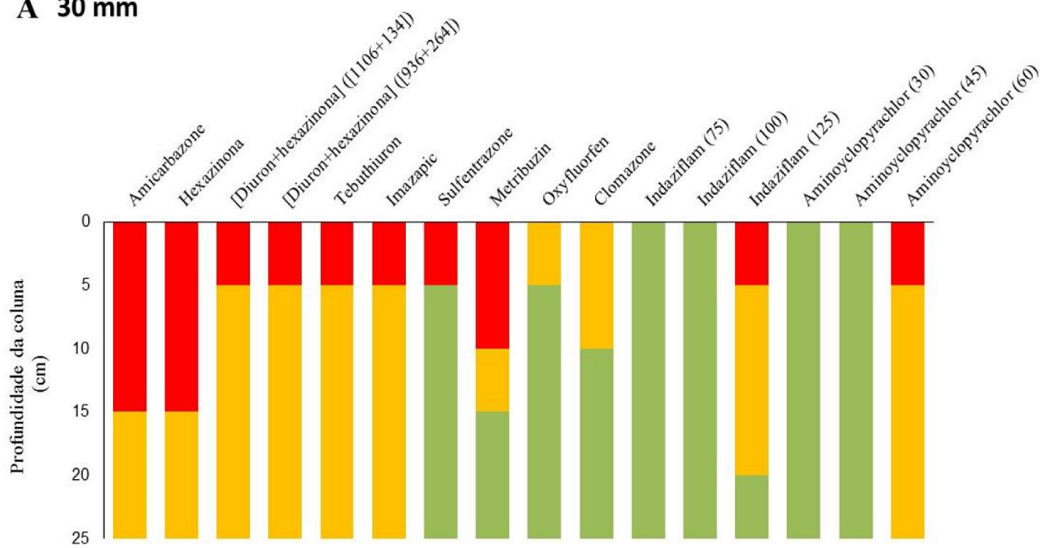
\*Baseado nos dados de Senseman (2007), Bayer (2010), Rodrigues e Almeida (2011), Alonso et al. (2011) e Oliveira Jr. et al. (2011).

Na figura 1 é apresentado um resumo dos resultados obtidos, sendo possível comparar a lixiviação dos herbicidas testados neste estudo. É importante destacar que a sensibilidade do bioindicador talvez não seja a mesma para todos os herbicidas testados, podendo esta ser maior ou menor dependendo do herbicida. Apesar de não existir uma espécie única capaz de ser adequada para vários herbicidas (COLE; CONNING, 1993), o pepino tem sido constantemente utilizado para esse fim (CAETANO et al., 1995).

Para a lâmina de 30 mm, a ordem decrescente de potencial de lixiviação foi a seguinte: hexazinone, amicarbazone, tebuthiuron, [diuron + hexazinone] [836 +264 g ha<sup>-1</sup>], [diuron + hexazinone] [1106 + 134 g ha<sup>-1</sup>], imazapic, aminocyclopyrachlor (60 g ha<sup>-1</sup>), indaziflam (125 g ha<sup>-1</sup>), metribuzin, clomazone, sulfentrazone e oxyfluorfen (figura 1 A). O aminocyclopyrachlor e o indaziflam nas maiores doses testadas (60 e 125 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente) apresentaram comportamento semelhante à maioria das moléculas que possuem registro para a cultura da cana-de-açúcar quando se simularam 30 mm de precipitação, concentrando-se na camada superficial da coluna (5 cm).

Quando a lâmina de precipitação foi de 60 mm, notou-se modificação na ordem de classificação dos herbicidas ficando na seguinte ordem decrescente: amicarbazone, hexazinone, aminocyclopyrachlor (30, 45 e 60 g ha<sup>-1</sup>), sulfentrazone, [diuron + hexazinone] [836 +264 g ha<sup>-1</sup>], [diuron + hexazinone] [1106 + 134 g ha<sup>-1</sup>], metribuzin, indaziflam (75, 100 e 125 g ha<sup>-1</sup>), tebuthiuron, imazapic, clomazone e oxyfluorfen figura 1 B). Para esta lâmina de precipitação, o aminocyclopyrachlor apresentou maior lixiviação do que o indaziflam. O aminocyclopyrachlor comportou-se de forma semelhante aos demais herbicidas, ou seja, o aumento da precipitação causou maior movimentação deste no perfil da coluna. Já o indaziflam, mesmo com a lâmina de precipitação de 60 mm, concentrou-se nos 5 cm iniciais da coluna, sendo uma molécula interessante para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, pois mesmo após maiores intensidades de chuvas este fica na camada do solo onde se encontra a maior parte das sementes de plantas daninhas.

**A 30 mm**



**B 60 mm**

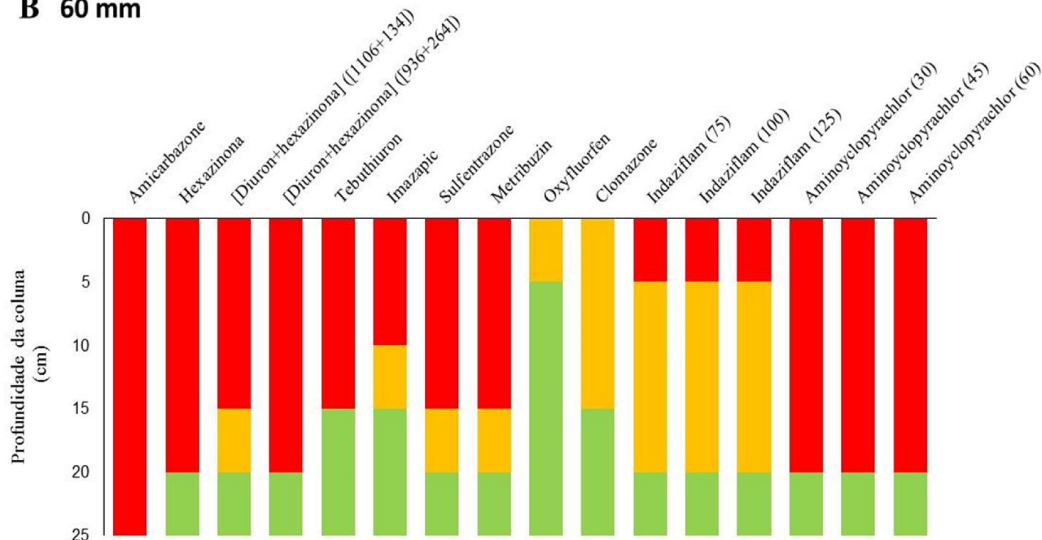


Figura 1. Lixiviação de herbicidas após simulação de lâminas de precipitação de 30 (A) e 60 mm (B). Vermelho: promoveu inibição do bioindicador em relação à testemunha superior a 30%, com sintomas evidentes de intoxicação. Amarelo: inibição do bioindicador em relação à testemunha inferior a 30%. Verde: sem inibição do bioindicador em relação à testemunha.

O movimento dos herbicidas no solo tem grande influência na sua performance no campo. Para os herbicidas que agem na germinação de sementes ou sobre plântulas, pequena lixiviação é desejável, pois pode tornar este mais eficiente, movendo-o da superfície do solo para onde estão concentradas as sementes de plantas daninhas com potencial de germinação, as quais se encontram nos centímetros superficiais do solo (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

Quando foi simulada a lâmina de 30 mm após a aplicação dos herbicidas [diuron + hexazinone] [836 +264 g ha<sup>-1</sup>] e [1106 + 134 g ha<sup>-1</sup>], tebuthiuron, imazapic, sulfentrazone, oxyfluorfen, indaziflam (125 g ha<sup>-1</sup>) e aminocyclopyrachlor (90 g ha<sup>-1</sup>), a maior concentração destes herbicidas permaneceu nos 5 cm iniciais da coluna (figura 1 A). Desta forma, provavelmente estariam em contato com a maior parte das sementes de plantas daninhas do solo, o que possibilitará maior eficiência de controle. Já com a simulação de 60 mm de precipitação (figura 1 B), apenas os herbicidas oxyfluorfen e indaziflam (75, 100 e 125 g ha<sup>-1</sup>) apresentaram maior concentração nos 5 cm superficiais da coluna, com isso é possível verificar que maiores precipitações promoveram maior percolação para a maioria dos herbicidas testados.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados é possível concluir que para a lâmina de precipitação de 30 mm os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam apresentaram comportamento semelhante às demais moléculas testadas; quando se aumentou o volume de precipitação (60 mm), o aminocyclopyrachlor manteve comportamento parecido com os outros herbicidas, no entanto, o indaziflam concentrou-se na camada superficial da coluna, sendo uma opção interessante para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS

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.

BAYER ENVIRONMENTAL SCIENCE. **Specticle herbicide technical bulletin**; 2010; 16p.

BOUCHARD, D.C.; LAVY, T.L.; LAWSON, E.R. Mobility and persistence of hexazinone in a forest watershed. **Journal Environmental Quality**, v. 14, n. 2, p. 229-233, 1985.

CAETANO, L.C.S.; COSTA, L.M.; FREITAS, S.P.; SANTOS, A.M.B.; FONTES, L.E.F. Adsorção e lixiviação do herbicida napropamida em dois Latossolos. **Ciência Prática**, v.19, n.2, p.129-134, 1995.

COHEN, S.; CREEGER, S.; CARSEL, R.; ENFIELD, C. Potential for pesticide contamination of ground water resulting from agricultural uses. In: KRUEGER, R.F.; SEIBER, J.N., eds. **Treatment and disposal of wastes**. Washington, 1984. p.297-325. (ACS Symposium Series, 259)

COLE, J. F. M.; CANNING, L. Rationale for the choice of species in the regulatory testing of the effects of pesticides on terrestrial non-target plants. In: BRITISH CROP PROTECTION CONFERENCE - WEEDS, 1993, Brighton. **Proceedings...** Brighton: 1993. p.151-156.

FINKELSTEIN, B.L.; ARMEL, G.R.; BOLGUNAS, S.A.; CLARK, D.A.; CLAUS, J.S.; CROSSWICKS, R.J.; HIRATA, C.M.; HOLLINGSHAUS, G.J.; KOEPPE, M.K.; RARDON, P.L.; WITTENBACH, V.A.; WOODWARD, M.D. Discovery of aminocyclopyrachlor (proposed common name) (DPX-MAT28): a new broad spectrum auxinic herbicide. In: Proceedings of the 236th ACS National Meeting in Philadelphia, PA. Washington. **Abstracts...** American Chemical Society, 2008.

GUERRA, N.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A.M.; DAN, H.A.; BRAZ, G.B.P. The leaching of trifloxysulfuron and pyriithiobac-sodium in soil columns as a function of soil liming, **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, n.2, p.175-181, 2013.

GUSTAFSON, D.I. Groudwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.8, p.339-357, 1989.

INOUE, M. H.; MARCHIORI JR., O.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; TORMENA, C. A. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.

INOUE, M.H., OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D.G. Potencial de lixiviação de imazapic e isoxaflutole em colunas de solo. **Planta Daninha**, v.25, n.3, p.547-555, 2007.

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

- JHALA, A.J.; SINGH, M. Leaching of indaziflam compared with residual herbicides commonly used by Florida citrus. **Weed Technology**, v.26, n.3, p.602-607, 2012.
- MELLO, C.A.D.; MEDEIROS, W.N.; TUFFI SANTOS, L.D.; FERREIRA, F.A.; TUBURCIO, R.A.S.; FERREIRA, L.R. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.385-392, 2010.
- MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V. Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.403-409, 2008.
- OLIVEIRA JR., R.S.; KOSKINEN, W.C.; FERREIRA, F.A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. **Weed Research**, v.41, p.97-110, 2001.
- OLIVEIRA JR., R.S.; REGITANO, J.B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa-MG, 2009. p.187-248.
- OLIVEIRA JR., R.S.; ALONSO, D.G.; KOSKINEN, W.C. Sorption-desorption of aminocyclopyrachlor in selected Brazilian soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.8, p.4045-4050, 2011.
- OLIVEIRA, M.F.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; RUIZ, H.A. Lixiviação de flumioxazin e metribuzin em dois solos em condições de laboratório. **Planta Daninha**, v.17, n.2, p. 207-215, 1999.
- OLIVEIRA, M.F.; BRIGUENTI, A.M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, 2011. p.263-304.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6 ed. Londrina, PR: 2011. 697 p.
- SAVAGE, K.E. Adsorption and mobility of metribuzin in soil. **Weed Science**, v.24, n.5, p.525-528, 1976.
- SENSEMAN, S.A. **Herbicide Handbook**, 9. ed., Weed Science Society of America, Lawrence, KS, 2007.
- SILVA, D.R.O.; AVILA, L.A; AGOSTINETTO, D.; BUNDT, A.C.; PRIMEL, E.D.; CALDAS, S.S. Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras e arroz irrigado. **Química Nova**, v.34, n.5, p.748-752, 2011.
- SOUTHWICK, L.M.; GRIGG, B.C.; KORNECKI, T.S.; FOUSS, J.L. Potential influence of sugarcane cultivation on estuarine water quality of Louisiana's gulf coast. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.15, p.4393-4399, 2002.
- SPADOTTO, C. A. Screening method for assessing pesticide leaching potential. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v.12, n.1, p. 69-78, 2002.

WIDERSON, M.R.; KIM, K.D. **The pesticide contamination prevention act: setting specific numerical values.** Sacramento, California Dep. Food and Agric., Environmental Monitoring and Pest Management, 1986. 287p.



## **CAPÍTULO 5**

### **Influência da precipitação e da palha da cana-de-açúcar na eficiência de controle do aminocyclopyrachlor e indaziflam**

## RESUMO

O sistema de colheita da cana-crua modificou a dinâmica do manejo de plantas daninhas para esta cultura, alterando as espécies infestantes prevalentes proporcionando uma barreira entre o herbicida e o solo. Com isso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da palhada de cana-de-açúcar e da precipitação na eficiência de controle dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam, para as espécies *Ipomoea grandifolia* e *Euphorbia heterophylla*. Foram conduzidos dois ensaios, um para o aminocyclopyrachlor e outro para o indaziflam, ambos os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação no campus da Faculdade Integrado de Campo Mourão – PR. Cada experimento contou com oito tratamentos com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação entre a presença de palha (10 ton ha<sup>-1</sup>), irrigação por capilaridade e simulação de precipitação (20 mm). Foram realizadas avaliações de porcentagem de controle de *I. grandifolia* e *E. heterophylla* e número de plantas por vaso. Os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam aplicados diretamente ao solo foram eficientes no controle de *I. grandifolia* e *E. heterophylla*. A simulação de precipitação de 20 mm ou a irrigação diária sobre a palha é indispensável para promover a retirada do aminocyclopyrachlor e indaziflam da palha e proporcionar controle satisfatório de *I. grandifolia* e *E. heterophylla*.

**Palavras-chave:** *Ipomoea grandifolia*, *Euphorbia heterophylla*, pluviosidade, cobertura morta.

## INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tem exercido importante papel na economia brasileira. A grande produção alcançada nos últimos anos e o aumento contínuo da produtividade deixou o Brasil como líder mundial na agroindústria sucroenergética. (SANTANA, 2012). No ano agrícola de 2012/2013, ocorreu uma renovação da área de plantio, maior que a renovação de 2011/2012 (PORTO, 2012). Com esta renovação, a área cultivada com cana-de-açúcar alcançou 8.485 mil hectares, já a produtividade média foi de 69,44 t ha<sup>-1</sup>, 3,52% maior que a safra anterior. No Brasil, São Paulo é o Estado que se destaca na produção de cana-de-açúcar, com mais de 50% da área, cerca de 4.419,46 mil hectares (UDOP, 2013).

Assim como as outras culturas, a cana-de-açúcar sofre com a incidência de pragas, doenças e plantas daninhas. Planta daninha é qualquer espécie vegetal que interfere de forma negativa nas atividades humanas (FONTES;SHIRATSUCHI; NEVES, 2003). Estas plantas competem pelos recursos do meio, como água, luz e nutrientes, reduzindo a disponibilidade destes para a cultura, causando redução na produtividade, quando o controle não é adequado (SANTOS; MARCHI; MARCHI, 2008). Elas também desenvolvem mecanismos especiais que aperfeiçoam a capacidade de competição para que sobrevivam em condições adversas como, efeitos alelopáticos, hábito trepador, entre outros (PITELLI, 1987) e podem atuar ainda como hospedeiras de patógenos, doenças e pragas (VASCONCELOS et al., 2012). Desta forma, a produtividade e a qualidade da matéria-prima são reduzidas pela interferência das plantas daninhas.

A colheita sem a queima da cultura deixa sobre o solo uma grande camada de palha, que pode ultrapassar 20 t ha<sup>-1</sup>. Esta técnica de colheita criou um novo sistema de produção de cana-de-açúcar popularmente conhecida como cana-crua (VELINI; NEGRISOLI, 2000 citado por DURIGAN; TIMOSSO; LEITE, 2004). Estes resíduos vegetais depositados no solo mudam de certa forma o microclima do mesmo, alterando a luminosidade, temperatura e umidade, principais elementos no controle da dormência e germinação de sementes de plantas daninhas (CORREIA; REZENDE, 2002). Deste modo, a palha mantida no solo pode interferir na germinação, dormência e mortalidade das sementes de plantas daninhas. Porém, estas mudanças são muito específicas e dinâmicas, pois não dependem apenas da quantidade da palha, mas essencialmente da espécie daninha que pode ou não ser favorecida pela cobertura morta (CORREIA; DURIGAN, 2004). Dentre as espécies que tendem a manter-se como

infestantes no sistema de cana-crua estão a *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) e *Euphorbia heterophylla* (leiteiro) (MARTINS et al., 1999).

Quando um herbicida é aplicado sobre a palha, é interceptado pela superfície desta e torna-se vulnerável volatilização e/ou fotólise, até ser lixiviado para o solo (LOCKE; BRYSON, 1997). Lamoreaux, Jain e Hess (1993) ressaltam que o transporte de herbicidas da palha para o solo é dependente da capacidade da palha de cobrir o solo e reter estes herbicidas, das características físico-químicas do herbicida, bem como do período em que a área permanece sem chuva após a aplicação.

O aminocyclopyrachlor (ácido 6-amino-5-cloro-2-ciclopropilpirimidino-4-carboxílico) é um herbicida mimetizador de auxina, do novo grupo químico dos ácidos pirimidinecarboxílicos. Este foi registrado nos Estados Unidos no ano de 2010, para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas e arbustos em áreas não agrícolas e pastagens incluindo gramados, aeroportos, rodovias, ferrovias, áreas de recreação etc. (TURNER et al., 2009). No Brasil, encontra-se em fase de desenvolvimento para as culturas da cana-de-açúcar e pastagem.

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1H-inden-1-il]-6-[(1R)-1-fluoroetilo]-1,3,5-triazina-2,4-diamina) é um herbicida que pertence a nova classe química alquilazina (KAAPRO; HALL, 2012), este evita a formação de novas células da parede celular, causando a paralisação do crescimento da planta, porém seu mecanismo de ação ainda não está totalmente esclarecido (MYERS et al., 2009; KAAPRO; HALL, 2012). Este herbicida encontra-se em fase de desenvolvimento no Brasil para as culturas da cana-de-açúcar, café e citros.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da precipitação e palha da cana-de-açúcar na eficiência de controle dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam, para as espécies *Ipomoea grandifolia* e *Euphorbia heterophylla*.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação no Campus Experimental da Faculdade Integrado de Campo Mourão – PR, localizado na rodovia BR 158, km 207, Jardim Batel, Campo Mourão – PR (latitude 23°99'04'' Sul, longitude 52°36'37'' Oeste e altitude média de 508 m). O solo utilizado como substrato, para ambos os ensaios, foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2013), sendo constituído por 76% de argila, 13% de areia e 11% de silte, pH 5,99 e 2,3% de matéria orgânica.

O primeiro experimento foi realizado com o herbicida aminocyclopyrachlor (90 g ha<sup>-1</sup>) entre os meses de agosto e outubro de 2013. E o segundo com o indaziflam (100g ha<sup>-1</sup>) entre os meses de março e maio de 2014.

O delineamento experimental utilizado para ambos os ensaios foi o inteiramente casualizado, sendo oito tratamentos (tabela 1) e quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais, para cada experimento. Estas unidades foram representadas por vasos de polietileno com capacidade de 3 kg de substrato.

Tabela 1. Descrição dos diferentes tratamentos utilizados para o controle das plantas daninhas, utilizando os herbicidas aminocyclopyrachlor (experimento 1) e indaziflam (experimento 2).

<b>Tratamentos</b>	<b>Herbicida</b>	<b>Palha de cana</b>	<b>Chuva simulada (mm)</b>
1	Sem	Sem	Sem
2	Sem	Com	Sem
3	Sobre o solo	Sem	Sem
4	Sobre a palha	Com	20
*5	Sobre a palha	Com	20
6	Sobre a palha	Com	Sem
*7	Sobre a palha	Com	Sem
8	Sob a palha	Com	Sem

\* Tratamentos irrigado por capilaridade

Ambos os experimentos foram instalados seguindo a seguinte sequência: preenchimento dos vasos com o substrato, semeadura das plantas daninhas, cobertura com a palha (dependendo do tratamento), aplicação do herbicida e simulação de precipitação (dependendo do tratamento). Após preenchimento dos vasos, procedeu-se a semeadura das plantas daninhas (15 sementes por vaso). As espécies avaliadas durante o experimento foram corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla*).

Após realizada a semeadura das plantas daninhas, foram adicionados 20g de palha de cana-de-açúcar, com objetivo de simular uma cobertura de 10 ton. de palha por hectare.

Para ambas as aplicações utilizou-se pulverizador de pressão constante, pressurizado a CO<sub>2</sub> e equipado com uma barra contendo quatro pontas de pulverização, em jato plano leque do tipo AVISO 110.02, espaçadas em 50 cm, sob pressão de 206,8 kPa, promovendo um volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>. O experimento com o aminocyclopyrachlor foi aplicado no dia 19 de agosto de 2013. No momento da aplicação, as condições ambientais foram de temperatura de 26,7°C, umidade relativa do ar de 49,8%, ventos de 3,0 km h<sup>-1</sup> e o solo encontrava-se úmido. O segundo experimento foi aplicado no dia 14 de março de 2014. No momento da aplicação, as condições ambientais foram de temperatura de 30°C, umidade relativa do ar de 62,1%, ventos de 0,2 km h<sup>-1</sup> e o solo encontrava-se úmido.

Após a aplicação do herbicida, os vasos dos tratamentos 4 e 5 receberam a simulação da chuva equivalente a 20 mm de precipitação. A simulação da precipitação foi feita com o auxílio de copo dosador, com volume de 400 mL; este volume foi colocado em regador e feito a irrigação do vaso, nos tratamentos necessários. Trabalhos de Prado et al. (2010) mostraram que a simulação de uma lâmina de precipitação de 20 mm após a aplicação dos herbicidas de diuron, tebuthiuron e metribuzin é suficiente para percolar estes herbicidas de uma camada de palha de 10 ton. por hectare e proporcionar controle satisfatório de *I. grandifolia*.

A irrigação para a manutenção da umidade dos vasos foi feita com uma mangueira de baixa vazão dois dias após a aplicação dos herbicidas e se manteve em intervalos de um dia entre cada irrigação, exceto nos tratamentos 5 e 7, onde a irrigação foi realizada por capilaridade, e onde foram utilizados pratos sob os vasos, completando-os conforme a necessidade.

Foram realizadas avaliações de controle da corda-de-viola e leiteiro aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) para o experimento com aminocyclopyrachlor e aos 7, 14, 21 e 28 DAA para o experimento de indazifam. Foi utilizado como critério de avaliação do controle a escala visual percentual proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas

Daninhas (1995), sendo que 0% representa nenhum controle e 100% a morte da planta. Juntamente com a última avaliação de controle aos 35 ou 28 DAA, para aminocyclopyrachlor e indaziflam, respectivamente, foi realizada a contagem do número de plantas por vaso.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### a) Aminocyclopyrachlor

As médias das porcentagens de controle para a espécie *I. grandifolia* estão apresentadas na tabela 2. Apenas a presença de palha, sem a aplicação do aminocyclopyrachlor (T2) não foi suficiente para suprimir o desenvolvimento das plantas de corda-de-viola, o que corrobora com estudos de Martins et al. (1999). Aos 14 DAA, os tratamentos que receberam aplicação de aminocyclopyrachlor diretamente no solo (T3 e T8) foram os únicos a proporcionar controle satisfatório de corda-de-viola. A mesma tendência pode ser observada nas avaliações realizadas aos 21 e 28 DAA.

Na avaliação final (35 DAA), o tratamento que utilizou o método de aplicação no solo sem a presença de palha (T3), o tratamento com aplicação também no solo com a posterior adição de palha (T8), o que recebeu aplicação sobre a palha e simulação de precipitação (T4) e o que recebeu a aplicação sobre a palha, com a presença de precipitação e irrigado por capilaridade (T5), apresentaram as melhores médias, diferindo significativamente dos demais tratamentos, e promovendo os maiores níveis de controle de *I. grandifolia*. Esse resultado sugere que a quantidade de aminocyclopyrachlor desprendida da palha após a simulação de 20 mm de precipitação é suficiente para proporcionar elevados níveis de controle de corda-de-viola. E quando não ocorre precipitação após a aplicação do herbicida o controle desta espécie é prejudicado.

Com estes resultados, observa-se que a aplicação do aminocyclopyrachlor no solo apresenta ganhos em relação à aplicação realizada sobre a palha, corroborando com os dados obtidos por Carbonari et al. (2007), utilizando o herbicida amicarbazone. Os dados do presente trabalho corroboram com os de Cavenaghi (2007) cuja presença de precipitação é muito importante para a lixiviação do herbicida amicarbazone aplicado sobre palha de cana-de-açúcar para o solo. Isso deixa evidente que a chuva é um fator importantíssimo para a lixiviação deste herbicida, fazendo com que o produto alcance profundidades que atinjam o banco de sementes presente no solo quando não for aplicado diretamente no mesmo. Estes resultados corroboram com os de Carbonari et al. (2008), para a espécie de *Ipomoea* spp., em que reforça que quando o herbicida é aplicado diretamente no solo com ou sem a cobertura morta, os resultados são satisfatórios, já em aplicação feita sobre a palha, recebendo em sequência uma precipitação de 20 mm, há excelentes níveis de controle.



Trabalhos de Prado et al. (2010) mostraram que a simulação de uma lâmina de precipitação de 20 mm após a aplicação dos herbicidas de diuron, tebuthiuron e metribuzin é suficiente para percolar estes herbicidas de uma camada de palha de 10 ton. por hectare e proporcionar controle satisfatório de *I. grandifolia*.

Desta forma, verificou-se que o aminocyclopyrachlor proporciona excelente controle de *I. grandifolia* quando aplicado diretamente no solo. Quando este herbicida é aplicado sobre 10 ton ha<sup>-1</sup> de palha um volume de precipitação de 20 mm é suficiente para retirar o herbicida da palha e promover controle satisfatório da corda-de-viola.

Na tabela 3 estão expostas as porcentagens de controle para a espécie *E. heterophylla* aos 14, 21, 28 e 35 DAA.

Tabela 2. Porcentagem de controle de *I. grandifolia* aos 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação dos tratamentos com aminocyclopyrachlor. Campo Mourão, PR, 2013.

Tratamentos	Herbicida	Palha de cana	Chuva simulada (mm)	Controle de <i>I. grandifolia</i> (%)			
				14 DAA	21 DAA	28 DAA	35 DAA
1	Sem	Sem	Sem	0,0 c	0,0 c	0,0 d	0,0 e
2	Sem	Com	Sem	0,0 c	0,0 c	0,0 d	0,0 e
3	Sobre o solo	Sem	Sem	80,0 a	72,5 b	82,0 b	96,2 a
4	Sobre a palha	Com	20	18,7 c	20,0 c	41,2 c	78,2 b
*5	Sobre a palha	Com	20	48,7 b	37,5 c	68,7 b	87,0 a
6	Sobre a palha	Com	Sem	10,0 c	11,2 c	28,7 c	60,0 c
*7	Sobre a palha	Com	Sem	18,7 c	6,7 c	16,2 d	33,7 d
8	Sob a palha	Com	Sem	99,2 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a
CV (%)		-		46,72	59,39	34,04	16,56

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

\* Tratamentos irrigado por capilaridade.

Tabela 3. Porcentagem de controle de *E. heterophylla* aos 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação dos tratamentos com aminocyclopyrachlor. Campo Mourão, PR, 2013.

Tratamentos	Herbicida	Palha de cana	Chuva simulada (mm)	Controle de <i>E. heterophylla</i> (%)			
				14 DAA	21 DAA	28 DAA	35 DAA
1	Sem	Sem	Sem	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 c
2	Sem	Com	Sem	25,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 c
3	Sobre o solo	Sem	Sem	99,2 a	99,2 a	99,5 a	99,5 a
4	Sobre a palha	Com	20	43,7 b	65,0 a	88,2 a	99,5 a
*5	Sobre a palha	Com	20	56,2 b	56,2 a	81,2 b	95,7 a
6	Sobre a palha	Com	Sem	57,5 b	69,2 a	93,2 a	98,7 a
*7	Sobre a palha	Com	Sem	20,0 b	36,2 b	72,5 b	50,0 b
8	Sob a palha	Com	Sem	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a
CV (%)		-		67,67	55,38	16,92	18,16

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

\* Tratamentos irrigado por capilaridade.

A utilização de 10 ton. ha<sup>-1</sup> de palha da cana-de-açúcar não foi suficiente para inibir a germinação e emergência do leiteiro. Martins et al. (1999) verificaram que nem mesmo 15 ton. ha<sup>-1</sup> de palha de cana-de-açúcar é suficiente para inibir a germinação e emergência de *E. heterophylla*.

A simulação de precipitação após a aplicação sobre ou sob a palha alcançaram controle satisfatório desta espécie. Os tratamentos com a aplicação do herbicida feita diretamente no solo (T3 e T8) promovem a inibição do desenvolvimento desta espécie. Em aplicações realizadas sobre a camada de palha, a chuva foi essencial, pois possibilitou o transporte do herbicida da palha para a superfície do solo, coincidindo com os resultados de Carbonari et al. (2008; 2010).

Dos tratamentos que receberam aplicação de aminocyclopyrachlor, o tratamento sem a presença de precipitação sobre a palha e irrigação por capilaridade (T7) não apresentou controle satisfatório. A possível explicação para isso é que pela irrigação diária deste tratamento ter sido realizada por capilaridade, o produto ficou aderido na palha. A irrigação diária nos tratamentos sem precipitação (T6) proporcionou a lixiviação do aminocyclopyrachlor, controlando as plantas de leiteiro.

O número de plantas por vaso está apresentado na tabela 4.

Tabela 4. Número de plantas vivas por vaso aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos com aminocyclopyrachlor. Campo Mourão, PR, 2013.

Tratamentos	Herbicida	Palha de cana	Chuva simulada(mm )	Plantas por vaso	
				<i>I. grandifolia</i>	<i>E. heterophylla</i>
1	Sem	Sem	Sem	3,5 a	2,5 a
2	Sem	Com	Sem	3,0 a	3,7 a
3	Sobre o solo	Sem	Sem	0,5 b	0,2 b
4	Sobre a palha	Com	20	2,5 a	0,5 b
*5	Sobre a palha	Com	20	1,7 a	0,5 b
6	Sobre a palha	Com	Sem	3,7 a	0,2 b
*7	Sobre a palha	Com	Sem	2,5 a	1,5 b
8	Sob a palha	Com	Sem	0,0 b	0,0 b
CV (%)		-		48,93	86,94

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

\* Tratamentos irrigado por capilaridade.

As menores médias de controle de *I. Grandifolia* foram observadas no tratamento com a aplicação somente sobre o solo (T3) e no que foi aplicado sobre o solo e adicionado a palha sobre o mesmo (T8), comprovando os resultados de porcentagem de controle (tabela 2).

A espécie *E. heterophylla* apresentou excelentes resultados nos tratamentos que receberam aplicação de aminocyclopyrachlor. Exceto o tratamento 2 que teve apenas a presença de palha para o controle e apresentou médias semelhantes à testemunha (T1).

Desta forma, podemos inferir que a aplicação do aminocyclopyrachlor diretamente no solo é eficiente para o controle de *I. grandifolia* e *E. heterophylla*. Quando este herbicida é aplicado na palha é necessário que ocorra precipitação para deslocá-lo da palha para a superfície do solo e controlar satisfatoriamente estas espécies. Isso ocorre pelas características físico-químicas desta molécula herbicida. A alta solubilidade desta molécula ( $4.200 \text{ mg L}^{-1}$ ) e seu baixo coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ) de 2,48 (FINKELSTEIN et al., 2008) proporcionam a baixa adsorção desta molécula a palha.

Segundo Christoffoleti et al. (2009), herbicidas hidrofílicos ou polares (valores de  $K_{ow} < 10$ ) apresentam baixa afinidade a materiais lipídicos e, conseqüentemente, baixa adsorção à palha, em virtude da sua alta solubilidade. Normalmente, estes herbicidas são recomendados para utilização em sistema de cana-crua.

#### **b) Indaziflam**

Na tabela 5 estão apresentados os resultados de porcentagem de controle de *I. grandifolia* para as avaliações realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação do indaziflam.

Segundo as médias de controle de *I. grandifolia*, verificou-se que apenas a presença de palha de cana-de-açúcar, sem a aplicação do indaziflam (T2) não promoveu inibição na germinação e emergência destas plantas. Esses resultados são reforçados na avaliação de número de plantas por vaso apresentados na tabela 7, corroborando com estudos de Martins et al. (1999).

Tabela 5. Porcentagem de controle de *Ipomoea grandifolia* aos 7, 14, 21, e 28 dias após a aplicação dos tratamentos com indaziflam. Campo Mourão, PR, 2014.

Tratamentos	Herbicida	Palha de cana	Chuva simulada (mm)	Controle de <i>I. grandifolia</i> (%)			
				7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
1	Sem	Sem	Sem	0,0 c	0,0 b	0,0 c	0,0 b
2	Sem	Com	Sem	0,0 c	0,0 b	0,0 c	0,0 b
3	Sobre o solo	Sem	Sem	82,5 a	85,0 a	82,5 a	85,0 a
4	Sobre a palha	Com	20	25,0 b	71,2 a	25,0 b	71,2 a
*5	Sobre a palha	Com	20	80,0 a	83,0 a	80,0 a	83,0 a
6	Sobre a palha	Com	Sem	71,2 a	80,0 a	71,2 a	80,0 a
*7	Sobre a palha	Com	Sem	0,0 c	0,0 b	0,0 c	0,0 b
8	Sob a palha	Com	Sem	77,5 a	86,2 a	77,5 a	86,2 a
CV (%)		-		29,04	19,16	24,42	18,42

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

\* Tratamentos irrigado por capilaridade.

Os resultados obtidos na primeira avaliação (7 DAA) demonstram o controle satisfatório para *I. grandifolia* no tratamento onde foi realizada a aplicação diretamente no solo (T3) e também no tratamento onde foi utilizada a simulação de precipitação com objetivo de transportar o herbicida até o banco de sementes (T5).

Os resultados obtidos com as avaliações realizadas aos 14, 21 e 28 DAA mostram a eficiência que se tem com a simulação de chuva logo após a aplicação do herbicida (T4 e T5), visando ao transporte do herbicida para o solo. De maneira geral, verificou-se que quando não foi simulada precipitação após a aplicação do herbicida sobre a palha e a irrigação de manutenção foi realizada por capilaridade (T7), houve desenvolvimento das plantas de corda-de-viola semelhante à testemunha sem herbicida. Esse resultado mostra que a simulação de precipitação após a aplicação do indaziflam é de fundamental importância para promover a retirada do herbicida da palha e movê-lo para o solo onde se encontra o banco de sementes de plantas daninhas e o mesmo possa efetuar a ação desejada.

Na tabela 6 estão apresentados os resultados de porcentagem de controle de *E. heterophylla* para as avaliações realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação do indaziflam.

Somente a presença de 10 ton. de palha de cana-de-açúcar não foi suficiente para inibir a germinação e emergência das plantas de leiteiro (tabela 6). Segundo Martins et al. (1999), nem mesmo a presença de 15 ton. de palha de cana-de-açúcar por hectare é suficiente para inibir o desenvolvimento de plantas de *E. heterophylla*, de tal forma que no sistema de colheita de cana-crua esta espécie tende a manter como uma potencial espécie invasora.

Tabela 6. Porcentagem de controle de *Euphorbia heterophylla* aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos. Campo Mourão, PR, 2014.

Tratamentos	Herbicida	Palha de cana	Chuva simulada (mm)	Controle de <i>E. heterophylla</i> (%)			
				7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
1	Sem	Sem	Sem	0,0 d	0,0 d	0,0 d	0,0 d
2	Sem	Com	Sem	0,0 d	0,0 d	0,0 d	0,0 d
3	Sobre o solo	Sem	Sem	100,0 a	98,0 a	100,0 a	98,0 a
4	Sobre a palha	Com	20	81,2 b	83,7 b	81,2 b	83,7 b
*5	Sobre a palha	Com	20	98,5 a	85,0 b	98,5 a	85,0 b
6	Sobre a palha	Com	Sem	23,7 c	45,0 c	23,7 c	45,0 c
*7	Sobre a palha	Com	Sem	0,0 d	0,0 d	0,0 d	0,0 d
8	Sob a palha	Com	Sem	78,7 b	80,5 b	78,7 b	80,5 b
CV (%)		-		29,04	19,16	21,04	18,92

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

\* Tratamentos irrigado por capilaridade.



O indaziflam mostrou-se um produto muito eficiente no controle de leiteiro. Na avaliação feita aos 7 DAA já foi observado controle satisfatório dessa planta daninha nos tratamentos com a aplicação direta no solo (T3 e T8) e naqueles com a presença de palha e simulação de precipitação (T4 e T5). Esta mesma tendência ocorreu nas avaliações subsequentes, de tal forma que estes foram os tratamentos mais eficientes para o controle de *E. heterophylla*.

Pode-se observar que nos tratamentos com presença de palha, a simulação de chuva no mesmo dia da aplicação, é essencial para a eficiência do indaziflam. Isso fica evidente, quando comparamos o controle de *E. heterophylla* nos tratamentos 6 e 7, onde esses tratamentos não receberam simulação de precipitação após a aplicação do herbicida, e foram os únicos que receberam o herbicida mas não promoveram controle satisfatório desta espécie. Estes resultados corroboram com os obtidos por Rossi et al. (2013), para o herbicida metribuzin. Estes autores observaram maior transposição do herbicida para o solo, quando foi feita a simulação de precipitação no mesmo dia da aplicação do herbicida.

Durante as avaliações de controle de *I. grandifolia* e *E. heterophylla* observou-se a eficiência proporcionada pelo herbicida indaziflam para estas duas espécies.

Pela grande importância da água, em retirar o produto da palhada e no transporte para o solo, para ambas as plantas daninhas analisadas, observou-se 0% de controle no tratamento 7, pois sua irrigação era feita por capilaridade, sem ter contato da água com a palha e o produto.

O número de plantas por vaso após a aplicação de indaziflam está representado na tabela 7.

Segundo a contagem de número de plantas realizada aos 28 DAA, reforçou-se para ambas as plantas daninhas, que somente a presença de palhada (T2), não tem eficiência na inibição da germinação das plantas invasoras, possuindo as mesmas quantidades e o mesmo porte de plantas que a testemunha em solo desprotegido (T1).

Os melhores resultados em *I. grandifolia* e *E. heterophylla* quanto ao número de plantas, são aqueles onde os tratamentos receberam aplicação do indaziflam diretamente no solo (T3 e T8), porém obteve porcentagens e números de plantas igualmente satisfatórias nos tratamentos com a simulação de chuva (20 mm). A chuva é a responsável pelo transporte do herbicida até o solo. Diversos trabalhos demonstraram que os primeiros 20 mm iniciais são

responsáveis pelo carregamento da maior parte dos herbicidas, apresentando alta capacidade de transporte dos mesmos (TOFOLI et al., 2009; PRADO et al., 2010; ROSSI et al., 2013).

Tabela 7. Número de plantas por vaso aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos. Campo Mourão, PR, 2014.

Tratamentos	Herbicida	Palha de cana	Chuva simulada(mm)	Plantas por vaso	
				<i>I. grandifolia</i>	<i>E. heterophylla</i>
1	Sem	Sem	Sem	4,5 a	5,5 a
2	Sem	Com	Sem	4,2 a	6,5 a
3	Sobre o solo	Sem	Sem	1,0 b	0,0 b
4	Sobre a palha	Com	20	1,5 b	3,0 b
*5	Sobre a palha	Com	20	2,0 b	2,0 b
6	Sobre a palha	Com	Sem	3,7 a	5,2 a
*7	Sobre a palha	Com	Sem	3,5 a	5,2 a
8	Sob a palha	Com	Sem	0,7 b	2,0 b
CV (%)		-		49,23	59,29

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

\* Tratamentos irrigado por capilaridade.

O tratamento 7 cuja irrigação foi feita por capilaridade e não teve simulação de chuva, teve resultados não satisfatórios equivalentes aos das testemunhas sem indaziflam (T1 e T2). O tratamento que recebeu a aplicação de indaziflam, não simulação de precipitação e irrigação de manutenção sobre a camada de palha (T6) também obteve maior número de plantas de corda-de-viola e leiteiro. Esses resultados indicam que para o herbicida indaziflam promover controle satisfatório de plantas daninhas quando aplicado sobre a palha é imprescindível que ocorra precipitação o mais próximo possível da aplicação para retirar o herbicida da palha e transportá-lo para o solo onde se encontram as sementes das plantas daninhas. Cavenaghi et al. (2007), trabalhando com o herbicida amicarbazone, observaram que quanto maior o intervalo de tempo entre a aplicação do herbicida e a primeira chuva, menor é a percolação do herbicida da palha para o solo, interferindo de forma significativa no controle das plantas daninhas.

Comparando os dois experimentos, é possível verificar que os herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam apresentam comportamento semelhante. Quando estes são aplicados diretamente sobre o solo ou sobre a palha e depois recebem lâmina de precipitação

de 20 mm, promovem controle satisfatório de *I. grandifolia* e *E. heterophylla*. No entanto, ausência de precipitação após a aplicação destes herbicidas sobre a palha resulta em ineficácia dos mesmos no controle destas espécies.

## CONCLUSÕES

O aminocyclopyrachlor e indaziflam aplicados diretamente ao solo mostraram-se eficientes no controle de *I. grandifolia*. e *E. heterophylla*.

A simulação de precipitação de no mínimo 20 mm ou a irrigação diária, ambas sobre a palha, é indispensável para promover a retirada do aminocyclopyrachlor e indaziflam da palha e proporcionar controle satisfatório de *I. grandifolia* e *E. heterophylla*.

## REFERÊNCIAS

CARBONARI, C.A. **Eficácia do herbicida amicarbazone em aplicação conjunta com a colheita de cana-de-açúcar no controle das principais plantas daninhas da cultura.** 2007. 127 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D.; CORREIA, M.R.; NEGRISOLI, E.; ROSSI, C.V.; OLIVEIRA, C.P. Efeitos de períodos de permanência de clomazone + hexazinona no solo e na palha de cana-de-açúcar antes da ocorrência de chuvas na eficácia de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.28, n.1, p. 197-205, 2010.

CARBONARI, C.A.; MESCHEDE, D.K.; CORREA, M.R.; VELINI, E.D.; TOFOLI, G.R. Eficácia do herbicida diclosulam em associação com a palha de sorgo no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. **Planta daninha**, v.26, n.3, p.657-664, 2008.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

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

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.22, n.1. p. 7, 2004.

CORREIA, N.M.; REZENDE, P.M.D. Manejo integrado de plantas daninhas na cultura da soja. 2002. Disponível em: <<http://www.editora.ufla.br/upload/boletim/tecnico/boletim-tecnico-51.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2013.

DURIGAN, J.C.; TIMOSSI, P. C.; LEITE, G.J. Controle químico da tiririca (*Cyperus roundus*), com e sem cobertura do solo pela palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.22, n.1, p.1-7, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 305p.

FINKELSTEIN, B.L.; ARMEL, G.R.; BOLGUNAS, S.A.; CLARK, D.A.; CLAUS, J.S.; CROSSWICKS, R.J.; HIRATA, C.M.; HOLLINGSHAUS, G.J.; KOEPPE, M.K.; RARDON, P.L.; WITTENBACH, V.A.; WOODWARD, M.D. Discovery of aminocyclopyrachlor (proposed common name) (DPX-MAT28): a new broad spectrum auxinic herbicide. In: Proceedings of the 236th ACS National Meeting in Philadelphia, PA. Washington. **Abstracts...** American Chemical Society, 2008.

FONTES, J.R.A.; SHIRATSUCHI, L.S.; NEVES, J.L. **Manejo integrado de plantas daninhas (Documento 103).** Planaltina: Embrapa, 2003.

- KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam, a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Pakistan Journal Weed Science Research**, v.18, n.esp., p.267-270, 2012.
- LAMOREAUX, R. J.; JAIN, R.; HESS, F. D. Efficacy of dimethenamid, metolachlor and encapsulated alachlor in soil covered with crop residue. **Brighton Crop Protec. Conference – Weeds**, v. 3, p. 1015-1020, 1993.
- LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v.45, n.2, p. 307-320, 1997.
- MARTINS, D.; VELINI, E.D.; MARTINS, C.C.; SOUZA, L.S. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.17, n.1, p.151-161, 1999.
- MYERS, D. F.; HANRAHAN, R.; MICHEL, J.; MONKE, B.; MUDGE, L.; OLSEN, C.; PARKER, A.; SMITH, J.; SPAK, D. Indaziflam/BCS AA170717—a new herbicide for preemergent control of grasses and broadleaves in turf and ornamentals. **Proc South Weed Sci Soc Abstr.**, v.62, p.393, 2009.
- PITELLI, R. A. **Competição e controle de plantas daninhas em áreas agrícolas**. Série Técnica IPEF. Piracicaba, v.38, n.12, set. 1987.
- PORTO, S. I. **Cana de açúcar**. Brasília: Conab, 2012.
- PRADO, A.B.C.A.; OBARA, F.E.B.; BRUNHARO, C.A.G.; MELO, M.S.C.; ALVES, M.C. Dinâmica de herbicidas aplicados em pré-emergência sobre palha de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.179-187, 2010.
- ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D.; LUCHINI, L.C.; CORREA, M.R.; PIVETTA, J.P.; COSTA, A.G.F.; SILVA, F.M.L. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v.31, n.1, p.223-230, 2013.
- SANTANA, D.C.D. **Estudo da lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar com plantas bioindicadoras**. 2012. 134 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2012.
- SANTOS, J.C.F.; MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S. **Cobertura do solo no controle de plantas daninhas do café** (Documento 226). Planaltina: Embrapa, 2008.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, **procedimento para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42p.
- TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.815-821, 2009.

TURNER, R.G; CLAUS, J.S.; HIDALGO, E.; HOLLIDAY, M.J.; ARMEL, G.R. Technical introduction of the new DuPont vegetation management herbicide aminocyclopyrachlor. **Proc South Weed Sci Soc Abstr.**, v.62, p.405, 2009.

UDOP. UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento.** Disponível em:  
<[http://www.udop.com.br/download/estatistica/area\\_cultivada/19jul13\\_area\\_produtividade\\_brasil.pdf](http://www.udop.com.br/download/estatistica/area_cultivada/19jul13_area_produtividade_brasil.pdf)> Acesso em: 20 ago. 2013.

VASCONCELOS, M.D.C.C.D.; SILVA, A.F.A.D.; LIMA, R.D.S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Agropecuária Científica no Semi Árido**, v.8, n.1, p.06, mar. 2012.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de novas moléculas herbicidas é de fundamental importância para o manejo de plantas daninhas, principalmente para a cultura da cana-de-açúcar, que utiliza quase que exclusivamente o controle químico como método de controle.

No entanto, diversos aspectos devem ser avaliados antes da utilização de uma nova molécula herbicida. Um deles é como esta molécula irá se comportar no solo, uma vez que diversos fatores influenciam em seu comportamento e conseqüentemente em sua eficácia.

Para o herbicida aminocyclopyrachlor, verificou-se que os teores de argila e matéria orgânica do solo e o volume de precipitação interferem no seu comportamento. Já o indaziflam sofre menor influência dos teores de argila e matéria orgânica, no entanto, o volume de precipitação tem capacidade de aumentar em sua lixiviação.

Comparando as duas novas moléculas em fase de desenvolvimento para a cana-de-açúcar pode-se dizer que ambas apresentam longa persistência no solo e podem ser aplicadas sobre camada de palha, desde que ocorram precipitações após a aplicação. Quanto ao potencial de lixiviação o aminocyclopyrachlor apresenta maior capacidade de movimentação no perfil do solo. O indaziflam lixivia quando submetido a maiores volumes de precipitação, mas mesmo assim tende a se concentrar nas camadas mais superficiais, em relação ao que o aminocyclopyrachlor.

Como se trata de moléculas que por enquanto não possuem registro para o controle de plantas daninhas no Brasil, outros estudos devem ser realizados buscando-se compreender melhor a sua dinâmica em ambientes tropicais.



## Apêndices

### Capítulo 1

#### Sensibilidade de espécies vegetais aos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam

##### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta massa fresca da parte aérea dos bioindicadores aos 21 dias após aplicação de aminocyclopyrachlor.

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Espécie (E)	7	98,59	14,08	193,12*
Dose (D)	5	43,33	8,67	118,82*
E x D	35	51,65	1,47	20,23*
Erro	144	10,50	0,07	-
Total	191	204,06	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

##### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta massa fresca da parte aérea dos bioindicadores aos 21 dias após aplicação de indaziflam.

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Espécie (E)	7	80,46	11,49	218,40*
Dose (D)	5	62,08	12,41	235,93*
E x D	35	55,55	1,58	30,16*
Erro	144	7,58	0,05	-
Total	191	205,67	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

## Capítulo 2

### Persistência da atividade biológica de aminocyclopyrachlor e indaziflam em solos de diferentes texturas

#### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor.

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo (S)	1	324,48	324,48	14,91*
Época (E)	5	17491,31	3498,26	160,77*
S x E	5	658,00	131,60	6,05*
Erro	48	1044,48	21,76	-
Total	59	19518,27	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

#### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor. DESDOBRAMENTO

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo / E0	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / E30	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / E60	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / E90	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / E120	1	397,40	397,40	18,26*
Solo / E150	1	585,07	585,07	26,89*
Erro	48	1044,48	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da soja após aplicação de aminocyclopyrachlor.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo (S)	1	128,89	128,89	6,55*
Época (E)	5	10033,61	2006,72	101,93*
S x E	5	131,59	26,32	1,34 <sup>ns</sup>
Erro	48	945,01	19,69	-
Total	59	11239,11	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da soja após aplicação de aminocyclopyrachlor.  
DESDOBRAMENTO**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo / E0	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / E30	1	206,12	206,12	10,00*
Solo / E60	1	7,53	7,53	0,36 <sup>ns</sup>
Solo / E90	1	32,58	32,58	1,66 <sup>ns</sup>
Solo / E120	1	2,44	2,44	0,12 <sup>ns</sup>
Solo / E150	1	11,82	11,82	0,60 <sup>ns</sup>
Erro	48	945,01	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

### Capítulo 3

#### Potencial de lixiviação dos herbicidas aminocyclopyrachlor e indaziflam

##### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 0 mm de precipitação.

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo (S)	1	5,31	5,31	0,096 <sup>ns</sup>
Profundidade (P)	4	6339,35	1584,84	28,63*
S x P	4	38,54	9,63	0,17 <sup>ns</sup>
Erro	30	1660,49	55,43	-
Total	39	8043,70	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

##### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 0 mm de precipitação.

##### DESDOBRAMENTO

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo / P5	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P10	1	5,51	5,51	0,10 <sup>ns</sup>
Solo / P15	1	13,06	13,06	0,24 <sup>ns</sup>
Solo / P20	1	24,22	24,22	0,44 <sup>ns</sup>
Solo / P25	1	1,065	1,065	0,02 <sup>ns</sup>
Erro	30	1660,49	55,35	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 30 mm de precipitação.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo (S)	1	126,95	126,95	10,69*
Profundidade (P)	4	6710,40	1677,60	141,31*
S x P	4	106,90	26,72	2,25 <sup>ns</sup>
Erro	30	356,16	11,87	
Total	39	7300,41	-	

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 30 mm de precipitação.  
DESDOBRAMENTO**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo / P5	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P10	1	8,76	8,76	0,74 <sup>ns</sup>
Solo / P15	1	187,79	187,79	15,82*
Solo / P20	1	24,40	24,40	2,06 <sup>ns</sup>
Solo / P25	1	12,90	12,90	1,09 <sup>ns</sup>
Erro	30	356,16		-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 60 mm de precipitação.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo (S)	1	225,38	225,38	12,83*
Profundidade (P)	4	8059,61	2014,90	144,73*
S x P	4	123,33	30,83	1,76 <sup>ns</sup>
Erro	30	526,86	17,56	
Total	39	8935,20	-	

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 60 mm de precipitação.  
DESDOBRAMENTO**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo / P5	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P10	1	15,60	15,60	0,89 <sup>ns</sup>
Solo / P15	1	155,67	155,67	8,86*
Solo / P20	1	155,67	155,67	8,86*
Solo / P25	1	21,78	21,78	1,24 <sup>ns</sup>
Erro	30	526,86	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de indaziflam e simulação de 0 mm de precipitação.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo (S)	1	81,80	81,80	1,72 <sup>ns</sup>
Profundidade (P)	4	60036,79	15009,20	316,25*
S x P	4	327,18	81,80	1,72 <sup>ns</sup>
Erro	30	1423,79	47,46	-
Total	39	61869,55	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de indaziflam e simulação de 0 mm de precipitação.  
DESDOBRAMENTO**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo / P5	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P10	1	408,98	408,98	8,62*
Solo / P15	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P20	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P25	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Erro	30	1423,79	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de indaziflam e simulação de 30 mm de precipitação.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Solo (S)	1	752,21	752,21	17,41*
Profundidade (P)	4	58245,79	14561,45	336,94*
S x P	4	3339,66	834,92	19,32*
Erro	30	1296,52	43,22	-
Total	39	63634,18	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de indaziflam e simulação de 30 mm de precipitação.  
DESDOBRAMENTO**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Solo / P5	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P10	1	4085,18	4085,18	94,53*
Solo / P15	1	6,70	6,70	0,16 <sup>ns</sup>
Solo / P20	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P25	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Erro	30	1296,52	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.



**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de aminocyclopyrachlor e simulação de 60 mm de precipitação.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo (S)	1	0,11	011	0,01 <sup>ns</sup>
Profundidade (P)	4	61453,48	15363,37	766,33*
S x P	4	128,81	32,20	1,61 <sup>ns</sup>
Erro	30	601,54	20,04	-
Total	39	62183,84	-	

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea da beterraba após aplicação de indaziflam e simulação de 60 mm de precipitação.  
DESDOBRAMENTO**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Solo / P5	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P10	1	58,59	58,59	2,92 <sup>ns</sup>
Solo / P15	1	70,32	70,32	3,51 <sup>ns</sup>
Solo / P20	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Solo / P25	1	0,00	0,00	0,00 <sup>ns</sup>
Erro	30	601,44	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

## Capítulo 4

### Comparação entre o potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea do pepino após aplicação de herbicidas e simulação de 30 mm de precipitação.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Herbicida (H)	16	121623,47	7601,47	177,40*
Profundidade (P)	4	47506,41	11876,60	277,17*
H x P	64	55252,53	863,32	20,15*
Erro	255	10926,71	42,85	-
Total	339	235309,12	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de inibição da massa fresca da parte aérea do pepino após aplicação de herbicidas e simulação de 60 mm de precipitação.**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Herbicida (H)	16	188535,57	11783,47	126,32*
Profundidade (P)	4	181030,71	45257,68	485,17*
H x P	64	107067,32	1672,93	17,93*
Erro	255	23786,83	93,28	-
Total	339	500420,43	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

## Capítulo 5

### Influência da precipitação e palha da cana-de-açúcar na eficiência de controle do aminocyclopyrachlor e indaziflam

#### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 14 DAA do aminocyclopyrachlor

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

$H_1$ : pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	39770,88	5681,55	21,95*
Erro	24	6213,00	258,88	-
Total	31	45983,88	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese  $H_0$ .

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese  $H_0$ .

#### Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 21 DAA do aminocyclopyrachlor

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

$H_1$ : pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	38186,50	5455,21	16,09*
Erro	24	8135,50	338,98	-
Total	31	46322,00	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese  $H_0$ .

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese  $H_0$ .

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 28 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	40346,88	5763,84	27,95*
Erro	24	4950,00	206,25	-
Total	31	45296,00	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 35 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	47154,47	6736,35	75,82*
Erro	24	2132,25	88,84	-
Total	31	49286,72	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta número de plantas de corda-de-viola aos 35 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	51,36	7,33	6,41*
Erro	24	27,50	1,14	-
Total	31	78,88	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 14 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	36338,22	5191,17	4,49*
Erro	24	27719,25	1154,97	-
Total	31	64057,47	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 21 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	42659,00	6094,14	7,00*
Erro	24	20871,00	869,62	-
Total	31	63530,00	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 28 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	49987,97	7141,13	55,82*
Erro	24	3070,25	127,93	-
Total	31	53058,21	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 35 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	57184,38	8169,19	53,69*
Erro	24	3651,50	152,14	-
Total	31	60835,88	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta número de plantas de leiteiro aos 35 DAA do aminocyclopyrachlor**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	49,97	7,13	7,07*
Erro	24	24,25	1,01	-
Total	31	74,22	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 7 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	43124,22	6160,60	41,34*
Bloco	3	489,84	163,28	1,10
Erro	21	3128,91	149,00	-
Total	31	46742,97	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 14 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	49903,38	7129,05	75,56*
Bloco	3	504,13	168,04	1,78
Erro	21	1981,38	94,35	-
Total	31	52388,88	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 21 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	41744,47	5963,50	46,57*
Bloco	3	845,84	281,95	2,02
Erro	21	2688,90	128,04	-
Total	31	45279,21	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle corda-de-viola aos 28 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	46224,47	6603,50	42,11*
Bloco	3	748,34	249,45	1,59
Erro	21	3293,41	156,83	-
Total	31	50266,22	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta número de plantas de corda-de-viola aos 28 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	63,97	9,13	5,34*
Bloco	3	11,34	3,78	2,21
Erro	21	35,91	1,71	-
Total	31	111,21	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 7 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	59220,22	8460,03	83,73*
Bloco	3	501,34	167,11	1,65
Erro	21	2121,91	101,04	-
Total	31	61843,47	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 14 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	52463,22	7494,75	87,06*
Bloco	3	109,84	36,61	0,43
Erro	21	1807,91	86,09	-
Total	31	54380,97	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.



**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 21 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	53678,50	7668,35	53,93*
Bloco	3	33,00	11,00	0,08
Erro	21	2986,00	142,19	-
Total	31	56697,50	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta porcentagem de controle leiteiro aos 28 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	55142,97	7877,57	87,06*
Bloco	3	69,59	23,20	0,26
Erro	21	1900,16	90,48	-
Total	31	57112,72	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

**Quadro de análise de variância (Anova) para a variável resposta número de plantas de leiteiro aos 28 DAA do indaziflam**

H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ .

H<sub>1</sub>: pelo menos uma média difere da outra a 5% de probabilidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento (T)	7	143,38	20,48	4,28*
Bloco	3	1,13	0,38	0,08
Erro	21	100,38	4,78	-
Total	31	244,88	-	-

\* significativo a 5% de probabilidade, rejeita a hipótese H<sub>0</sub>.

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade, aceita a hipótese H<sub>0</sub>.